

Ε.Μ.ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας

Διευθυντής : Καθηγητής Μ.Γ.Αγγελόπουλος

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΒΡΑΣΜΟΥ
ΣΕ ΥΔΡΟΨΥΚΤΟΥΣ ΠΥΡΗΝΙΚΟΥΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ**

Εφαρμογή: Μελέτη του φαινομένου της επαναψύξεως ράβδων πυρηνικού καυσίμου.

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΤΟΥ

ΕΥΑΓΓΕΛΟΥ Π. ΧΙΝΗ

Μηχανολόγου Μηχανικού, Διπλ.Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ 1994

ΜΕΛΗ ΕΠΤΑΜΕΛΟΥΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

Μέλη της Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

Μ.Γ.ΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΣ
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Δ.Ι.ΛΕΩΝΙΔΟΥ
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Σ.Ε.ΣΙΜΟΠΟΥΛΟΣ
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Γ. ΜΠΕΡΓΕΛΕΣ
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Κ. ΡΑΚΟΠΟΥΛΟΣ
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Δ. ΠΑΠΑΝΤΩΝΗΣ
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Σ. ΧΑΤΖΗΔΑΚΗΣ
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Π Ρ Ο Λ Ο Γ Ο Σ

Η παρούσα Διδακτορική Διατριβή εκπονήθηκε στον Τομέα Πυρηνικής Τεχνολογίας του ΕΜΠ κατά το χρονικό διάστημα: Ιουνίου 1990 - Ιουνίου 1994. Από τη θέση αυτή, αισθάνομαι την υποχρέωση και έχω τη χαρά να ευχαριστήσω όλους εκείνους οι οποίοι βοήθησαν στο ξεκίνημα, στην πορεία αλλά και στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής Καθηγητές του Τομέα Πυρηνικής Τεχνολογίας κ.κ. Μ.Γ. Αγγελόπουλο, Δ.Ι. Λεωνίδου και Σ.Ε. Σιμόπουλο (Εισηγητή), για την ευκαιρία που μου έδωσαν να εργασθώ στον Τομέα Πυρηνικής Τεχνολογίας, για την ανάθεση του θέματος και τις συμβουλές και παραινέσεις-τους καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσης Διδακτορικής Διατριβής, καθώς και για την εξασφάλιση της απαραίτητης υλικοτεχνικής υποδομής. Βεβαίως, οφείλονται πολλά στον Εισηγητή του θέματος της Διατριβής, για την υποστήριξη και την καθοδήγηση που παρείχε σε όλα τα στάδια της Διατριβής, καθώς και για τις συμβουλές-του στη διατύπωση του τελικού κειμένου.

Οι ευχαριστίες επεκτείνονται στους κ.κ. Γ. Μπεργελέ Καθηγητή ΕΜΠ, Κ. Ρακόπουλο Καθηγητή ΕΜΠ, Δ. Παπαντώνη Αναπληρωτή Καθηγητή ΕΜΠ και Σ. Χατζηδάκη Αναπληρωτή Καθηγητή ΕΜΠ για την τιμή που μου έκαναν να δεχθούν να συμμετάσχουν στην Επταμελή Εξεταστική Επιτροπή της Διατριβής.

Όπως αναλυτικά θα αναφερθεί στα Κεφάλαια της Διατριβής, το Τμήμα Δοκιμών της Πειραματικής Εγκατάστασης η οποία μελετήθηκε, σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε στα πλαίσια της Διατριβής αυτής, αποτελεί μέρος μιας μεγάλης δωρεάς, Εργαστηριακού Εξοπλισμού Θερμοϋδραυλικής του Thermal Power Section του Imperial College of Science and Technology - University of London, προς τον Τομέα Πυρηνικής Τεχνολογίας του ΕΜΠ. Θα ήθελα να εκφράσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου στον Καθηγητή W. Murgatroyd για την πρωτοβουλία-του καθώς και για όλες τις ενέργειες τις οποίες κατέβαλε για την πραγματοποίηση της δωρεάς αυτής.

Στη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσης Διδακτορικής Διατριβής, η τύχη έφερε σε δρόμους παράλληλους με το δικό μου δύο Συναδέλφους Διπλωματούχους Μηχανολόγους Μηχανικούς ΕΜΠ και Υποψήφιους Διδάκτορες, τους κ.κ. Μ. Αναγνωστάκη και Ν. Πετρόπουλο. Τους ευχαριστώ για όλη τη βοήθεια και συμπαράσταση, ιδιαίτερα στη φάση της συγγραφής της Διατριβής.

Σημαντική ήταν η συμβολή, στην εκπόνηση της Διδακτορικής αυτής Διατριβής, όλου του προσωπικού, επιστημονικού και διοικητικού, του Τομέα Πυρηνικής Τεχνολογίας του ΕΜΠ.

Ιδιαίτερα όμως θα πρέπει να ευχαριστήσω τον Διπλωματούχο Μηχανολόγο-Ηλεκτρολόγο ΕΜΠ κ. Δ. Πετρόπουλο για την καθοδήγησή του στις ηλεκτρομηχανολογικές και ηλεκτρονικές κατασκευές. Οι ιδιαίτερες ευχαριστίες επεκτείνονται και στον Τεχνικό κ. Β. Ηλία για τις άοκνες και πολύ πέραν των επαγγελματικών-του υποχρεώσεων προσπάθειες που κατέβαλε στη φάση της κατασκευής του ΘΥΚ αλλά και μετέπειτα συνεχώς, ώστε να παραμένει η εγκατάσταση πάντοτε λειτουργική.

Αρκετές από τις συνιστώσες της Εγκατάστασης, σχεδιάστηκαν, κατασκευάστηκαν και ετέθησαν σε λειτουργία στα πλαίσια Διπλωματικών Εργασιών στην επίβλεψη των περισσότερων από τις οποίες είχα την τιμή να συμβάλω. Στο κείμενο, γίνεται διακεκριμένη αναφορά στους συντάκτες των Διπλωματικών αυτών Εργασιών, τους οποίους αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω ιδιαίτερα.

Ορισμένα από τα εξαρτήματα της Εγκατάστασης την οποία πραγματεύεται η παρούσα Εργασία, εδώρησαν προς το Ίδρυμα οι Εταιρείες τις οποίες θα πρέπει ιδιαίτερα να αναφέρω και να ευχαριστήσω:

- *ΒΙΕΧ Α.Ε., Κατασκευές και Εξοπλισμοί Βιομηχανικών Εγκαταστάσεων,*
- *ΚΑΤΣΑΡΟΣ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ ΑΒΕΕ και ENDRESS + HAUSER GmbH + Co,*
- *ΑΣΤ ΤΕΧΝΙΚΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ ΕΠΕ,*
- *SPIRAL, Εταιρεία κατασκευής Ηλεκτρικών Αντιστάσεων,*
- *SMM ΑΒΕΕ, Ανώνυμη Βιομηχανική Εταιρεία Κατασκευής και Εμπορίας Προϊόντων Πληροφορικής,*
- *ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΙΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ (ΔΕΗ).*

Οι ευχαριστίες επεκτείνονται στην Εταιρεία "ΑΧΙΛΛΕΑΣ Σ. ΚΟΥΠΠΙΑΣ & ΣΙΑ Α.Ε." η οποία ανέλαβε την κατασκευή των μεταλλικών κατασκευών του ΘΥΚ, η οποία απεδείχθη εξαιρετικά αξιόπιστη, αλλά και οικονομικά επωφελής για το Ίδρυμα.

Οφείλω, επίσης να ευχαριστήσω, τον Ειδικό Λογαριασμό Έρευνας του Ίδρυματος, για την οικονομική υποστήριξή μου επί 18 μήνες, καθώς και τον Πρόεδρο και τη Γενική Συνέλευση του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών για τη σχετική υποστήριξή τους. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω το Ι.Ε. "ΒΥΖΑΝΤΙΟΝ" για την ευκαιρία εργασίας με την οποία μου εξασφάλισε μια οικονομική ανακούφιση κατά την τετραετία της εκπόνησης της Διατριβής.

Ευχαριστώ, τέλος, τους γονείς μου, τον αδελφό μου και τη σύζυγό μου για τη συμπαράσταση και την κατανόηση που απλόχερα μου προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια.

Αθήνα, Αύγουστος 1994
Ευάγγελος Π. Χίνης

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2.	ΟΙ ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΝΑΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΩΝ ΤΗΣ ΣΕΙΡΑΣ PC-LAB ΚΑΙ Ο ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΟΥΣ	7
2.1	Εισαγωγή.	7
2.2	Συγκρότηση των Μονάδων Αναλογικών και Ψηφιακών Μετατροπών της σειράς PC-LAB.	8
2.2.1	Συγκρότηση του Μετατροπέα PCL-718.	9
2.2.1.1	Το Υποσύστημα Αναλογοψηφιακής Μετατροπής (ADC).	10
2.2.1.2	Το Υποσύστημα Ψηφιοαναλογικής Μετατροπής (DAC).	13
2.2.1.3	Τα Ψηφιακά Κανάλια εισόδου/εξόδου (I/O).	13
2.2.1.4	Ρυθμίσεις και Επιλογές του Μετατροπέα PCL-718.	14
2.2.2	Συγκρότηση του Ενισχυτή-Πολυπλέκτη PCLD-889.	17
2.2.3	Συγκρότηση της Τερματικής Μονάδας PCLD-780.	25
2.2.4	Συνδεσμολογία των Μονάδων σε "Αλυσίδα" (Daisy-Chain).	26
2.3	Διασύνδεση των Μεταλλακτών του ΘΥΚ σε Προσωπικό Η/Υ μέσω των Μονάδων της Σειράς PC-LAB.	27
2.4	Δυνατότητες Ελέγχου μέσω Λογισμικού των Μονάδων Αναλογικών και Ψηφιακών Μετατροπών της σειράς PC-LAB.	28
2.4.1	Αναλογικός και Ψηφιακός Μετατροπέας Τύπου PCL-718.	30
2.4.2	Διαδικασία Εκτέλεσης μιας Αναλογοψηφιακής Μετατροπής.	35
2.4.3	Ελεγχος της Ψηφιακής Εισόδου.	36
2.4.4	Ελεγχος της Μονάδας Ενισχυτή-Πολυπλέκτη PCLD-889.	37
2.5	Προγράμματα και Υπορουτίνες του Κατασκευαστή για τον Ελεγχο των Μονάδων - Διαπιστώσεις.	38
2.6	Υπορουτίνες και Προγράμματα Ελέγχου των Μονάδων Μετατροπών που Συντάχθηκαν στα Πλαίσια της Παρούσης ΔΔ.	40
2.6.1	Μεθοδολογία Κλήσεως Υπορουτινών ASSEMBLY από Προγράμματα FORTRAN.	41
2.6.2	Υπορουτίνες Ελέγχου σε Γλώσσα ASSEMBLY.	45
2.6.2.1	Υπορουτίνα Ελέγχου της Μονάδας Αναλογοψηφιακού Μετατροπέα PCL-718: TOADC.	46
2.6.2.2	Υπορουτίνα Ελέγχου του Συστήματος Μονάδων Ενισχυτή-Πολυπλέκτη PCLD-889 και Αναλογοψηφιακού Μετατροπέα PCL-718: TOMUX.	52
2.6.2.3	Υπορουτίνα Ελέγχου της Μονάδας Ψηφιακής Εισόδου της PCL-718: DIGIT.	58

2.6.3	Απλά Προγράμματα Συλλογής Δεδομένων για τον Ελεγχο της Λειτουργίας των Συνταχθεισών Υπορουτινών.	64
2.7	Σύγκριση Ρουτινών της Παρούσης ΔΔ με τις Ρουτίνες του Κατασκευαστή.	65
	Σχήματα Κεφαλαίου 2	68
3.	ΜΕΛΕΤΗ, ΣΧΕΔΙΑΣΗ, ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ, ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΕΣ ΘΕΣΕΩΣ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΘΥΚ	80
3.1	Εισαγωγή.	80
3.2	Βασική Συγκρότηση και Λειτουργίες του ΘΥΚ.	82
3.2.1	Σύντομο Ιστορικό της Μελέτης και της Σχεδιοκατασκευής του ΘΥΚ.	84
3.2.2	Προβλεπόμενη Χρήση του ΘΥΚ.	87
3.3	Το Δοχείο Βρασμού.	88
3.4	Το Τμήμα Δοκιμών.	89
3.5	Ο Συμπυκνωτής και το Δοχείο Συγκεντρώσεως.	94
3.6	Η Συγκρότηση του Ικριώματος.	95
3.7	Το Υδραυλικό Κύκλωμα.	95
3.8	Το Ηλεκτρολογικό Κύκλωμα.	98
3.8.1	Ηλεκτρολογικό Κύκλωμα Δοχείου Βρασμού.	99
3.8.2	Ηλεκτρολογικό Κύκλωμα Δοχείου Συγκεντρώσεως.	100
3.8.3	Ηλεκτρολογικό Κύκλωμα Τμήματος Δοκιμών.	100
3.8.4	Ηλεκτρολογικό Κύκλωμα Υδραυλικών Κλάδων ΘΥΚ.	102
3.9	Σταθμοί Μετρήσεως και Ρυθμίσεως.	102
3.9.1	Παρακολούθηση της Κατάστασης Δισταθών Μονάδων από Απευθείας Συνδεδεμένο Η/Υ.	104
3.9.2	Παρακολούθηση της Τροφοδοσίας των Ηλεκτρικών Αντιστάσεων της Ράβδου.	106
3.10	Δοκιμές θέσης σε Λειτουργία.	107
3.11	Παρακολούθηση της Λειτουργίας του ΘΥΚ.	110
	Σχήματα Κεφαλαίου 3	111
4.	ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΠΙΤΗΡΗΣΗΣ, ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΤΟΥ ΘΥΚ : RIG	132
4.1	Εισαγωγή.	132
4.2	Το Πρόγραμμα RIG.	135
4.2.1	Το Μιμικό Διάγραμμα Παρακολούθησης της Κανονικής Λειτουργίας.	136
4.2.1.1	Απεικόνιση της Κατάστασης του Δοχείου Βρασμού.	137
4.2.1.2	Απεικόνιση της Κατάστασης του Τμήματος Δοκιμών.	138
4.2.1.3	Απεικόνιση της Κατάστασης του Συμπυκνωτή.	139
4.2.1.4	Απεικόνιση της Κατάστασης του Δοχείου Συγκεντρώσεως.	139

4.2.1.5	Απεικόνιση της Κατάστασης των Κλάδων.	139
4.2.2	Το Βοηθητικό Menu Μεταβολής των Τιμών των Παραμέτρων του Προγράμματος.	140
4.2.3	Το Μιμικό Διάγραμμα Παρακολούθησης Πειράματος Επανάψυξης χωρίς Καταγραφή των Αποτελεσμάτων.	142
4.2.4	Το Μιμικό Διάγραμμα Παρακολούθησης Πειράματος Επανάψυξης με Καταγραφή των Αποτελεσμάτων.	143
4.3	Το Κύριο Πρόγραμμα RIG_MAIN.	143
4.3.1	Η Υπορουτίνα Επιτήρησης Κανονικής Λειτουργίας: NORMAL.	144
4.3.2	Η υπορουτίνα Επιτήρησης Εκτέλεσης Πειράματος Επαναψύξεως χωρίς Καταγραφή Αποτελεσμάτων: RNWRT.	146
4.3.3	Η Υπορουτίνα Επιτήρησης Εκτέλεσης Πειράματος Επαναψύξεως με Καταγραφή Αποτελεσμάτων: RWRITE.	146
4.3.3.1	Το Αρχείο Εξόδου για την Καταγραφή των Μετρήσεων κατά τη Φάση της Επανάψυξης.	149
4.4	Οι Υπορουτίνες Αναλογικών και Ψηφιακών Μετατροπών.	152
4.4.1	Η Υπορουτίνα Αναλογοψηφιακών Μετατροπών: TOADC.	152
4.4.2	Η Υπορουτίνα Ελέγχου της Αναλογοψηφιακής Μετατροπής από Κανάλι του Ενισχυτή-Πολυπλέκτη: TOMUX.	152
4.4.3	Η Υπορουτίνα Ελέγχου της Ψηφιακής Εισόδου: DIGIT.	153
4.5	Οι Υπορουτίνες για τον Έλεγχο των Περιφερειακών του PC.	154
4.5.1	Η Υπορουτίνα Καθαρισμού της Οθόνης του Η/Υ: CLR.	154
4.5.2	Η Υπορουτίνα Μετακίνησης του Δρομέα και Εμφάνισης Κειμένου στην Οθόνη του Η/Υ: DSPSCR.	154
4.5.3	Η Υπορουτίνα Ανάγνωσης του Πληκτρολογίου: READKB.	155
4.5.4	Η Υπορουτίνα Παρακολούθησης του Πληκτρολογίου: KEYBRD.	155
4.5.5	Η Υπορουτίνα Μετακίνησης του Δρομέα σε Συγκεκριμένη Θέση επί της Οθόνης του Η/Υ: MVCUR.	156
4.5.6	Η Υπορουτίνα Ανάγνωσης της Ημερομηνίας: IDATE.	156
4.5.7	Η Υπορουτίνα Ανάγνωσης της Ωρας: ITIME.	157
4.6	Οι Υπορουτίνες Επιτήρησης της Κατάστασης του ΘΥΚ και Απεικόνισής της υπό τη Μορφή Μιμικού Διαγράμματος.	157
4.6.1	Η Υπορουτίνα Επιλογής του Χρωματικού Υποβάθρου στο οποίο σχεδιάζεται το Μιμικό Διάγραμμα BACKGR.	158
4.6.2	Η Υπορουτίνα Εμφάνισης του Μιμικού Διαγράμματος: DISPL.	158
4.6.3	Η Υπορουτίνα Παρακολούθησης της Κατάστασης των Σωληνοειδών Βαλβίδων και των Εξαρτημένων-τους Συνιστωσών : VALVES.	158

4.6.4	Η Υπορουτίνα Εμφάνισης της Καταστάσεως των Θερμαντικών Αντιστάσεων του Δοχείου Βρασμού: RESIS.	159
4.6.5	Η Υπορουτίνα Εμφάνισης της Καταστάσεως της Αντλίας Τροφοδοσίας: PWAY.	160
4.6.6	Η Υπορουτίνα Εμφάνισης του Κλάδου του Ατμού από την Εξοδο του Δοχείου Βρασμού: SOWAY.	160
4.6.7	Η Υπορουτίνα Εμφάνισης του Κλάδου του Ατμού από την Σωληνοειδή Βαλβίδα SV1 έως το Τμήμα Δοκιμών: S1WAY.	161
4.6.8	Η Υπορουτίνα Εμφάνισης του Κλάδου του Νερού από τη Σωληνοειδή Βαλβίδα SV2 ως το Τμήμα Δοκιμών: S2WAY.	162
4.6.9	Υπορουτίνες Εμφάνισης της Κατάστασης της Ράβδου καθώς και των Φάσεων του Νερού στο Τμήμα Δοκιμών και στους Κλάδους Απαγωγής.	162
4.6.9.1	Η Υπορουτίνα Εμφάνισης της Κατάστασης του Τμήματος Δοκιμών: RIGWAY.	163
4.6.9.2	Υπορουτίνα TS.	164
4.6.9.3	Υπορουτίνα TS46.	164
4.6.9.4	Υπορουτίνα TS47.	164
4.6.9.5	Υπορουτίνα TS48.	165
4.6.9.6	Υπορουτίνα S6WAY.	165
4.6.9.7	Υπορουτίνα S32WAY.	165
4.6.9.8	Υπορουτίνα S31WAY.	166
4.6.10	Η Υπορουτίνα Εμφάνισης της Κατάστασης Προσαγωγής στο Δοχείο Συγκεντρώσεως: S42WAY.	166
4.6.11	Η Υπορουτίνα Εμφάνισης του Κλάδου του Νερού μετά την Σωληνοειδή Βαλβίδα SV4: S41WAY.	167
4.7	Οι Υπορουτίνες Διαγνωστικών Μηνυμάτων.	167
4.7.1	Η Υπορουτίνα WARNGS.	167
4.7.2	Η Υπορουτίνα STUDENT.	168
4.8	Οι Υπορουτίνες Βοηθητικών Υπολογισμών.	168
4.8.1	Το Υποπρόγραμμα Υπολογισμού της Θερμοκρασίας στην οποία αντιστοιχεί Θερμοηλεκτρική Τάση θερμοστοιχείου τύπου K : TEMPK.	169
4.8.2	Η Function F των θερμοστοιχείων Τύπου K.	170
4.8.3	Το Υποπρόγραμμα Υπολογισμού της Θερμοκρασίας στην οποία αντιστοιχεί Θερμοηλεκτρική Τάση θερμοστοιχείου τύπου J : TEMPJ.	170
4.8.4	Η Function FFF των θερμοστοιχείων τύπου J.	171
4.8.5	Η Υπορουτίνα Υπολογισμού της Θερμοκρασίας Κορεσμού STEM.	171
4.9	Μετάφραση, Συγκρότηση και Κλήση του Προγράμματος RIG.	172

4.10	Δεδομένα του Προγράμματος RIG.	172
	Πίνακας Κεφαλαίου 4	175
	Σχήματα Κεφαλαίου 4	176
5.	ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΕΠΑΝΑΨΥΞΗΣ ΥΠΕΡΘΕΡΜΑΝΘΕΙΣΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ	181
5.1	Εισαγωγή.	
5.2	Το Ατύχημα Απώλειας Ψυκτικού και το Σύστημα Εκτακτης Ψύξεως.	182
5.3	Το Φαινόμενο της Επανάψυξης.	184
5.4	Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.	188
5.4.1	Αναλυτικά Μοντέλα Επανάψυξης.	188
5.4.2	Πειραματικές Εργασίες.	190
5.4.2.1	Πειράματα σε Ατμοσφαιρικές Συνθήκες.	192
5.4.2.2	Πειράματα σε Περιβάλλον Ατμού.	193
5.4.3	Συσχετίσεις.	194
5.5	Η Οργάνωση και Εκτέλεση των Πειραμάτων Επανάψυξης στα πλαίσια της παρούσης ΔΔ.	197
5.5.1	Οι πειραματικές συνθήκες.	198
5.5.2	Μεθοδολογία του Πειράματος.	200
5.5.3	Επεξεργασία Αποτελεσμάτων μιας Πειραματικής Προσομοίωσης Επανάψυξης.	203
5.5.3.1	Ρουτίνες επεξεργασίας των αποτελεσμάτων μιας πειραματικής προσομοίωσης.	206
5.5.3.2	Αλγόριθμος Υπολογισμού του Χρόνου Διέλευσης του Υγρού Μετώπου από ένα Σταθμό Μέτρησης της Θερμοκρασίας.	208
5.5.3.3	Επεξεργασία με την Παραδοχή της Ισοταχούς Κίνησης του Υγρού Μετώπου.	212
5.6	Γενικά Συμπεράσματα από την Επεξεργασία των Πειραμάτων Επανάψυξης.	213
5.7	Επεξεργασία ενός Πειραματικού Υποσυνόλου με την Παραδοχή της Ισοταχούς Κίνησης του Υγρού Μετώπου.	217
5.7.1	Δομή Αρχαιοθέτησης και Προγράμματα Στατιστικής Επεξεργασίας των Αρχείων με τις Πειραματικές Προσομοιώσεις.	220
5.7.2	Πρόγραμμα για την Απλή ή την Παραμετρική Γραφική Επεξεργασία Πειραματικών Υποσυνόλων.	223
5.8	Συμπεράσματα από την Πειραματική Μελέτη της Επανάψυξης σε Ατμοσφαιρικές Συνθήκες και υπό Πίεση Ατμού 2 έως 7 bar.	226
5.9	Συσχέτιση και Διατύπωση Αναδρομής Προσομοίωσης της Διεργασίας της Επανάψυξης.	231
	Πίνακες Κεφαλαίου 5	238

	Σχήματα Κεφαλαίου 5	248
6.	ΕΠΙΛΟΓΟΣ	293
6.1	Εισαγωγή.	293
6.2	Σύνοψη-Συμπεράσματα.	293
6.3	Σημεία Πρωτοτυπίας της Παρούσης ΔΔ.	295
6.4	Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα και Βελτίωση της Εγκατάστασης.	296
	Βιβλιογραφία κατ'αύξουσα σειρά	298
	Βιβλιογραφία κατ'αλφαβητική σειρά	312

Ε Ι Σ Α Γ Ω Γ Η

Το 1980 άρχισε, στο Εργαστήριο Πυρηνικής Τεχνολογίας του ΕΜΠ, ένα ερευνητικό πρόγραμμα πειραματικής και θεωρητικής διερεύνησης των φαινομένων διφασικής ροής που εμφανίζονται κατά την ψύξη του πυρήνα των Πυρηνικών Αντιδραστήρων Ισχύος (ΠΑΙ), είτε κατά την κανονική λειτουργία των, είτε σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Από τους πρώτους στόχους του προγράμματος αυτού ήταν η σχεδίαση, με την προοπτική της κατασκευής, μιας εγκατάστασης μελέτης, με την τεχνική της προσομοίωσης, των πιοπάνω φαινομένων.

Η μελέτη της εγκατάστασης αυτής άρχισε και εξελίχθηκε πάντοτε μέσα στα πλαίσια των εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων της τότε Εδρας Πυρηνικής Τεχνολογίας και μετέπειτα, από το 1983, του ομώνυμου Εργαστηρίου του Τομέα Πυρηνικής Τεχνολογίας.

Με την ανάληψη από τον Τομέα Πυρηνικής Τεχνολογίας, το 1984, του μαθήματος "Μετρήσεις Τεχνικών Μεγεθών και Εργαστήριο" και την υπαγορευθείσα ανάγκη για εισαγωγή αυτοματοποιημένων μετρητικών τεχνικών από απευθείας συνδεδεμένους Ηλεκτρονικούς Υπολογιστές (Η/Υ), έγινε αναθεώρηση της σχεδίασης της εγκατάστασης με κεντρικό άξονα την αυτοματοποίηση της μετρητικής-της φυσιογνωμίας. Ο γράφων είχε την ευκαιρία να παρακολουθήσει, κατά τη φάση της ενασχόλησής του στον Τομέα Πυρηνικής Τεχνολογίας στα πλαίσια της Διπλωματικής Εργασίας-του, προκαταρκτικές εργασίες για τη σχεδιοκατασκευή βασικών συνιστωσών της εγκατάστασης αυτής, η οποία μεταγενέστερα ονομάστηκε Θερμοϋδραυλικό Κύκλωμα (ΘΥΚ). Στη συνέχεια, ανέλαβε την εκπόνηση της παρούσης Διδακτορικής Διατριβής (ΔΔ) στα πλαίσια της οποίας ολοκληρώθηκε η μελέτη, η σχεδίαση και η κατασκευή της εγκατάστασης, η οποία εξοπλίστηκε με σύγχρονα συστήματα αυτομάτου ελέγχου και παρακολούθησης της λειτουργίας της. Πυρήνας των συστημάτων αυτών είναι ένας Η/Υ τύπου IBM-PC συμβατού, με απευθείας

συνδεδεμένες μονάδες αναλογικών και ψηφιακών μετατροπών. Το σύστημα ολοκληρώθηκε με τη σύνταξη, από τον γράφοντα, τόσο κατάλληλων ρουτινών σε γλώσσα ASSEMBLY όσο και ολοκληρωμένου προγράμματος για τον έλεγχο της εγκατάστασης, την εμφάνιση της κατάστασης της σε Μιμικό Διάγραμμα στην οθόνη του Η/Υ και της ηλεκτρονικής καταγραφής όλων των μετρούμενων φυσικών μεγεθών.

Με τη χρησιμοποίηση της εγκατάστασης αυτής, η οποία τέθηκε σε παραγωγική λειτουργία το 1991, είναι δυνατό να μελετηθούν ένα πλήθος θερμοϋδραυλικών φαινομένων τα οποία λαμβάνουν χώρα σ' ένα τυπικό κανάλι ψύξεως ΠΑΙ τόσο κατά τη μόνιμη, όσο και κατά τη μεταβατική λειτουργία του Αντιδραστήρα.

Ένα από τα κυριότερα φυσικά φαινόμενα, για την ασφαλή λειτουργία ενός ΠΑΙ, είναι και το μεταβατικό φαινόμενο της επαναψύξεως (rewetting) των ενδεχομένως υπερθερμανθεισών ράβδων πυρηνικού καυσίμου ενός υδρόψυκτου ΠΑΙ. Είναι γνωστό ότι οι υδρόψυκτοι ΠΑΙ, διαθέτουν υδραυλικά κυκλώματα νερού για την απαγωγή της παραγόμενης θερμικής ισχύος από τις ράβδους του Πυρηνικού Καυσίμου. Το νερό στα κυκλώματα αυτά εργάζεται υπό υψηλή πίεση η οποία κυμαίνεται περί τα 70 bar στον Αντιδραστήρα Ζέοντος Υδάτος (BWR) και περί τα 150 bar στον Αντιδραστήρα Πεπιεσμένου Υδάτος (PWR). Κάθε μη αναμενόμενη μείωση της ροής του ψυκτικού μέσου μέσα από την καρδιά του Αντιδραστήρα, μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρές συνέπειες για ολόκληρη την εγκατάσταση του ΠΑΙ. Τέτοια μείωση της ροής μπορεί να οφείλεται σε ποικιλία λόγων όπως π.χ. διαρροή σε μια μικρή σωλήνωση, αστοχία μιας ή περισσοτέρων αντλιών κυκλοφορίας του ψυκτικού, ή πλήρης αποκοπή του κυριότερου σωλήνα προσαγωγής ή απαγωγής νερού στον Πυρήνα του Αντιδραστήρα. Κάθε τέτοιο συμβάν, που οδηγεί σε μείωση της παροχής ψυκτικού στην καρδιά του Αντιδραστήρα, ορίζεται ως **Ατύχημα Απώλειας Ψυκτικού (Loss-of-Coolant-Accident, LOCA)**. Σε αυτές τις περιπτώσεις, είναι άκρως αναγκαία η ακαριαία ενεργοποίηση ενός **Συστήματος Εφεδρικής Ψύξης Εκτακτης Ανάγκης (Emergency Core Cooling System, ECCS)** με το οποίο επιδιώκεται ο περιορισμός της αποκάλυψης των ενδεχομένως υπερθερμανθέντων στοιχείων του πυρηνικού καυσίμου και, κατά συνέπεια, η πρόληψη του φαινομένου της τήξεως των εξαιτίας της συνεχιζόμενης, ακόμη και μετά τη βύθιση των ράβδων ελέγχου, παραγωγής θερμότητας εκ των ραδιενεργών διασπάσεων (decay heating). Η διαδικασία της επανεγκατάστασης ενός φιλμ ψύχοντος υγρού επί της επιφάνειας των υπερθερμανθεισών ράβδων, δηλαδή η διαδικασία της επαναψύξεως των, είναι εξαιρετικού ενδιαφέροντος, τόσο για τη σχεδιοκατασκευή, όσο και για την ασφαλή λειτουργία της εγκατάστασης στην περίπτωση ενός ατυχήματος LOCA.

Σχεδόν όλα τα στάδια εξέλιξης της διφασικής ροής, από την υπόψυκτη ροή υγρού

μέχρι τη σταγονοειδή ροή ή ακόμη και τη μονοφασική ροή ατμού, εμφανίζονται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της επαναψύξεως. Ας προστεθεί ότι, οι διαφορικές εξισώσεις οι οποίες περιγράφουν το φαινόμενο στα διάφορα τμήματα, κατά μήκος της ράβδου του πυρηνικού καυσίμου, εξαρτώνται από τη μεταβαλλόμενη κίνηση ενός υγρού μετώπου. Ετσι, για να επιλυθεί το πρόβλημα αυτό των διαφορικών εξισώσεων με κινούμενη οριακή συνθήκη (moving boundary problem, [115]) είναι απαραίτητη όχι μόνο η κατάλληλη αριθμητική τεχνική, αφού για κλειστές λύσεις δεν πρέπει καν να γίνεται συζήτηση, αλλά και η παροχή από το πείραμα καταλλήλων τιμών για ορισμένες από τις οριακές συνθήκες. Οι τιμές αυτές είναι απαραίτητες ακόμη και στις περιπτώσεις που καθίσταται εφικτό να δοθεί κλειστή λύση με την παραδοχή της ισοταχούς κίνησης της πιο πάνω οριακής συνθήκης, δηλαδή της ψευδο-σταθεροποίησης (quasi-steady state) του προβλήματος. Τέλος είναι προφανώς σαφές ότι πειραματικές τιμές απαιτούνται για τη διατύπωση απλουστευμένων ημιεμπειρικών ή εμπειρικών εξισώσεων για την περιγραφή του φαινομένου.

Συνεπώς, η πρόβλεψη (prediction) του φαινομένου της επανάψυξης είτε αυτή γίνεται με αριθμητικούς κώδικες είτε γίνεται με απλές ημιεμπειρικές σχέσεις, έχει ανάγκη πειραματικής υποστήριξης από κατάλληλες πειραματικές εγκαταστάσεις. Παρόλη την εμφανή αναγκαιότητα των εγκαταστάσεων αυτού του τύπου και παρόλη τη μεγάλη ζήτηση εκ μέρους της επιστημονικής κοινότητας για πειραματικά αποτελέσματα από τις εν λόγω εγκαταστάσεις, εντούτοις οι ανά τον κόσμο αναφερόμενες πειραματικές εγκαταστάσεις, ανέρχονται σε λίγες δεκάδες. Αυτό συμβαίνει διότι η μελέτη, ο σχεδιασμός, η κατασκευή και η επιτυχής λειτουργία αυτού του είδους των εγκαταστάσεων συνιστούν μια ιδιαίτερα σύνθετη διαδικασία. Ένα μεγάλο μέρος της διαδικασίας αυτής πραγματοποιείται η παρούσα ΔΔ, η οποία προσπαθεί και κάνει συνδυασμένη χρήση της πειραματικής εμπειρίας της παρελθούσης 25ετίας αλλά και των σύγχρονων μετρητικών τεχνικών που εμφανίστηκαν την τελευταία 5ετία.

Στο κείμενο που ακολουθεί, το οποίο συνοδεύεται από ένα εκτενές και λεπτομερές τεύχος με τα παραρτήματά του, γίνεται προοδευτικά η παρουσίαση των μεμονωμένων συστημάτων με τα οποία συγκροτήθηκε τόσο το μηχανικό μέρος (Hardware) όσο και το λογικό μέρος (Software) της πειραματικής εγκατάστασης με την οποία εκτελέστηκε μια επιτυχής σειρά πειραμάτων επαναψύξεως σε ένα εύρος πειραματικών συνθηκών στο οποίο παρατηρούνται ανεπαρκή δεδομένα στη διεθνή βιβλιογραφία.

Συγκεκριμένα:

Στο **Κεφάλαιο 2**, αναπτύσσεται η δομή, η λειτουργία και η διασύνδεση των μονάδων αναλογικών και ψηφιακών μετατροπών της σειράς PCLAB που προκρίθηκε και χρησιμοποιήθηκε στο ΘΥΚ. Περιγράφεται επίσης η μεθοδολογία προγραμματισμού, σε γλώσσα *ASSEMBLY* των υπόψιν μονάδων που αναπτύχθηκε αποκλειστικά στα πλαίσια της παρούσης ΔΔ, δοθέντος ότι το λογισμικό του κατασκευαστή ήταν αφενός μεν περιορισμένων δυνατοτήτων, αφετέρου δε προβληματικό από πλευράς χρόνου δειγματοληψίας.

Στο **Κεφάλαιο 3**, περιγράφεται η μελέτη, ο σχεδιασμός, η κατασκευή και οι δοκιμές θέσεως σε λειτουργία (commissioning) του ΘΥΚ. Συγκεκριμένα περιγράφονται:

- Η συγκρότηση του θερμούδραυλικού Κυκλώματος (ΘΥΚ).
- Η εγκατάσταση και ηλεκτρική διασύνδεση των 40 περίπου μεταλλακτών για τη μέτρηση θερμοκρασίας, πίεσης και παροχής στις διάφορες θέσεις του ΘΥΚ.
- Η εγκατάσταση των αισθητήρων και των μονάδων δισταθούς καταστάσεως του ΘΥΚ,
- Η εγκατάσταση του συστήματος αυτομάτου ελέγχου του ΘΥΚ,
- Η διασύνδεση των μεταλλακτών του ΘΥΚ, με τις απευθείας συνδεδεμένες μονάδες αναλογικών και ψηφιακών μετατροπών σε προσωπικό Η/Υ τύπου PC.

Στο **Κεφάλαιο 4** περιγράφεται το ολοκληρωμένο πρόγραμμα ελέγχου του ΘΥΚ: **RIG**. Το εν λόγω πρόγραμμα έχει συνταχθεί με βάση τις αρχές του Δομημένου Προγραμματισμού σε γλώσσα FORTRAN και καλεί -μεταξύ άλλων- τις υπορουτίνες σε *ASSEMBLY* για τον έλεγχο των μονάδων αναλογικών και ψηφιακών μετατροπών, που είναι απευθείας συνδεδεμένες στον προσωπικό Η/Υ τύπου PC. Το πρόγραμμα **RIG**:

- Εμφανίζει φιλικό menu μέσω του οποίου ο πειραματιστής τροφοδοτεί τον Η/Υ με απαραίτητα στοιχεία για τις επιθυμητές ιδιομορφίες του πειράματός του.
- Ελέγχει συνεχώς την κατάσταση των αυτοματισμών του ΘΥΚ και λαμβάνει, με βάση τη δοθείσα από το menu συχνότητα δειγματοληψίας, μετρήσεις απ' όλους τους μεταλλάκτες της εγκατάστασης. Τα αποτελέσματά του τα εμφανίζει στην έγχρωμη οθόνη του Η/Υ υπό τη μορφή κατάλληλου κατά περίπτωση μιμικού διαγράμματος, το οποίο απεικονίζει πιστά την κατάσταση των κλάδων του ΘΥΚ. Παράλληλα, στην περίπτωση που εκτελείται πείραμα επαναψύξεως, καταγράφονται -εφόσον έχει ζητηθεί από το menu- σε αρχείο οι τιμές όλων των μετρούμενων φυσικών μεγεθών.

- Εμφανίζει με κατάλληλο χρωματικό κώδικα, προειδοποιητικά μηνύματα στην περίπτωση που αυτό υπαγορεύεται από τους μηχανισμούς ασφαλείας.

Στο **Κεφάλαιο 5**, αναπτύσσεται η πειραματική μελέτη του φαινομένου της επαναψύξεως ράβδων πυρηνικού καυσίμου. Παρουσιάζεται και αναλύεται η πειραματική μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, η τεχνική διασύνδεσης του συστήματος PC/DOS όπου έγιναν τα πειράματα με το σύστημα HP9000/370 όπου ακολούθησε η στατιστική επεξεργασία και οι γραφικές τεχνικές που αναπτύχθηκαν επί τούτου στα πλαίσια της παρούσης ΔΔ. Τέλος, αναπτύσσονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τις επεξεργασίες των πειραματικών αποτελεσμάτων.

Τα εκτελεσθέντα πειράματα έγιναν για επίπεδα πίεσης 1-7 bar και για τιμές:

- του επιπέδου παροχής του υγρού 1 lpm (λίτρο ανά λεπτό),
- του επιπέδου της υπόψυξης 0 °C και
- του επιπέδου παροχής μάζας του ατμού 0.015-0.043 kg/min.

Επιπλέον, στο υπόψιν Κεφάλαιο, γίνεται σύγκριση των υπόψιν πειραματικών αποτελεσμάτων με αποτελέσματα άλλων πειραμάτων και εκτιμήσεων της βιβλιογραφίας και επεκτείνονται τεχνικές προσομοίωσης της επανάψυξης με νερό από ψυκτικό υγρό τύπου Freon-113.

Τέλος, στο **Κεφάλαιο 6**, συνοψίζονται τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας και επισημαίνονται τα σημεία με βάση τα οποία καταδεικνύεται η συνεισφορά-της στην πρόοδο της Τεχνολογίας και της Επιστήμης καθώς και η πρωτοτυπία στην προσέγγιση των τεχνικών και πειραματικών θεμάτων που αντιμετώπισε. Εξάλλου, στο ίδιο Κεφάλαιο υπογραμμίζονται τα θέματα εκείνα, που όπως προέκυψε από την Εργασία, χρειάζονται περαιτέρω διερεύνηση.

Το παρόν τεύχος που παρουσιάζει την Εργασία της Διδακτορικής Διατριβής είναι αυτοτελές. Όμως, σε όσα σημεία κρίθηκε η ανάπτυξη ότι έπρεπε να είναι πιο λεπτομερής, ώστε να διευκολύνονται οι προπτυχιακοί σπουδαστές ή όποιος άλλος χρειασθεί να ανατρέξει σ' αυτήν, τα σχετικά κείμενα περιελήφθησαν σε τεύχος "**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**". Στο Παράρτημα περιελήφθησαν και όλες οι λίστες των προγραμμάτων καθώς και τα λεπτομερή σχέδια της εγκατάστασης.

Στο τέλος του παρόντος τεύχους δίνεται ο πίνακας της Βιβλιογραφίας, τόσο κατ' αύξοντα αριθμόν όσο και αλφαβητικά, ώστε να διευκολύνεται ο αναγνώστης. Από τις 115 βιβλιογραφικές παραπομπές του πίνακα αυτού, οι 72 αναφέρονται ρητά μέσα στο κείμενο. Οι υπόλοιπες 43, οι οποίες επισημαίνονται στον πίνακα με ένα

χαρακτήρα * αμέσως μετά τον αριθμό τους, είναι γενικού μεν ενδιαφέροντος, αλλά απαραίτητες για όποιον θα ήθελε να εντρυφήσει στα θέματα της επαναψύξεως, στα οποία αναφέρονται οι υπόψιν παραπομπές. Ο γράφων ήντλησε αρκετές πληροφορίες και από τις παραπομπές αυτές αλλά δεν θεώρησε σκόπιμο να επιβαρύνει το κείμενο παραπέμποντας σ' αυτές.

ΟΙ ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΝΑΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΩΝ ΤΗΣ ΣΕΙΡΑΣ PC-LAB ΚΑΙ Ο ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΟΥΣ

2.1 Εισαγωγή.

Είναι γνωστό [1, σελ.330]^{*} ότι, για να καταστεί δυνατή η καταγραφή και η εκμετάλλευση, από Η/Υ, του ηλεκτρικού σήματος το οποίο παράγεται από ένα μεταλλάκτη, είναι απαραίτητη η οδήγησή του σε κατάλληλη μονάδα προσαρμογής, συνδεδεμένη στο Bus του Η/Υ. Η μονάδα αυτή ονομάζεται Αναλογοψηφιακός Μετατροπέας (ADC, Analogue-to-Digital Converter). Εξυπακούεται ότι στις περιπτώσεις που απαιτείται το σήμα πριν οδηγηθεί στον ADC, ενισχύεται κατάλληλα.

Κεντρικός στόχος της παρούσης Διδακτορικής Διατριβής (ΔΔ)[†] είναι η μελέτη της λειτουργίας μιας σειράς μονάδων αναλογικών και ψηφιακών μετατροπών που είναι αποκλειστικά κατάλληλες για τη σύνδεσή τους στο Bus προσωπικών ηλεκτρονικών υπολογιστών (PC) τύπου AT. Οι μονάδες αυτές (Αναλογοψηφιακός Μετατροπέας, Ενισχυτής-Πολυπλέκτης, Ψηφιακή Εξοδος), χρησιμοποιήθηκαν για τη διασύνδεση σε προσωπικό υπολογιστή μεταλλακτών (θερμοκρασίας, πίεσης, παροχής), που είναι προσαρμοσμένοι σε διάφορα σημεία του θερμοϋδραυλικού Κυκλώματος (ΘΥΚ) του Τομέα Πυρηνικής Τεχνολογίας του ΕΜΠ.

Οι πιο πάνω μονάδες, οι οποίες έχουν χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία των σημάτων στο ΘΥΚ, είναι προϊόντα της Εταιρίας *Advantech Co. Ltd*, Taiwan ([3],

* Με τον συμβολισμό αυτό (...) γίνεται παραπομπή στον πίνακα της βιβλιογραφίας, που βρίσκεται στο τέλος του παρόντος.

† Με το συμβολισμό αυτό (ΔΔ) γίνεται αναφορά στο παρόν κείμενο.

[4], [21]). Οι συγκεκριμένες μονάδες αποτελούν τυπικό δείγμα κατά το μάλλον ή ήττον τυποποιημένων μονάδων διαφόρων κατασκευαστών που είναι κατάλληλες για προσάρτηση στο bus H/Y τύπου PC, Δηλαδή, τόσο η συγκρότησή τους (*Hardware*) όσο και ο προγραμματισμός-τους (*Software*), με μικρές παραλλαγές, απαντώνται στις περισσότερες μονάδες αυτού του τύπου. Έτσι λοιπόν η γνώση που αποκτήθηκε από τη μελέτη και την ανάλυση της λειτουργίας των μονάδων αναλογικών και ψηφιακών μετατροπών καθώς και το λογισμικό και οι εφαρμογές που ανεπτύχθησαν στα πλαίσια της παρούσης ΔΔ είναι δυνατόν εύκολα και χωρίς σημαντικές μεταβολές να χρησιμοποιηθούν και στις αντίστοιχες μονάδες άλλων κατασκευαστών.

Δηλαδή, το προϊόν της παρούσης ΔΔ, σε ό,τι αφορά τις μονάδες αναλογικών και ψηφιακών μετατροπών για το bus προσωπικών υπολογιστών τύπου AT, είναι συμβατό για τις αντίστοιχες μονάδες όλων των κατασκευαστών.

Στο Κεφάλαιο αυτό, θα περιγραφεί η συγκρότηση (*Hardware*), η συνδεσμολογία, η διασύνδεση, καθώς και το λογισμικό προγραμματισμού (*Software*), που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσης ΔΔ, τριών μονάδων της σειράς PC-LAB, οι οποίες έχουν χρησιμοποιηθεί για τη διασύνδεση στο ΘΥΚ μεταλλακτών παρακολούθησης και ελέγχου της λειτουργίας του.

2.2 Συγκρότηση των Μονάδων Αναλογικών και Ψηφιακών Μετατροπών της σειράς PC-LAB.

Στην παράγραφο αυτή θα παρουσιαστεί η συγκρότηση (*Hardware*) των μονάδων αναλογικών και ψηφιακών μετατροπών της σειράς PC-LAB της Εταιρίας *Advantech Co. Ltd*, καθώς και των παρελκομένων τους. Η παρουσίαση των τριών αυτών μονάδων:

- Αναλογοψηφιακού και Ψηφιοαναλογικού Μετατροπέα PCL-718,
- Ενισχυτή-Πολυπλέκτη PCLD-889 και
- Τερματικής Μονάδας PCLD-780

δεν θα περιοριστεί σε μετάφραση των αναφερομένων στα σχετικά εγχειρίδια (*Manuals*) του κατασκευαστή, τα οποία άλλωστε είναι φειδωλά σε πληροφορίες, αλλά θα εκταθεί σε όσα ο συντάκτης της παρούσης ΔΔ απεκόμισε κατά την τετράχρονη περίπου ενασχόλησή του με τις μονάδες αυτές και θα γίνει κατά επαγωγικό τρόπο, ώστε να διευκολύνονται οι τυχόν εις το μέλλον χρήστες των υπόψιν μονάδων.

2.2.1 Συγκρότηση του Μετατροπέα PCL-718.

Ο Μετατροπέας PCL-718 [3] αποτελεί ένα γρήγορο, αξιόπιστο και υπολογιστικά ισχυρό εργαλείο σε όσες εφαρμογές απαιτούν:

- είτε ψηφιοποίηση αναλογικού σήματος και καταχώρηση ή αποθήκευσή του στη μνήμη του προσωπικού Η/Υ,
- είτε μετατροπή ψηφιακής πληροφορίας, που προωθείται μέσω του bus του Η/Υ, σε αναλογικό σήμα.

Αυτό επιτυγχάνεται με τα εξής δύο υποσυστήματα που διαθέτει η μονάδα:

- Το υποσύστημα αναλογοψηφιακής μετατροπής και
- το υποσύστημα ψηφιοαναλογικής μετατροπής.

Τέλος η μονάδα διαθέτει ακόμη δύο ψηφιακά κανάλια εισόδου-εξόδου (Input-Output, I/O) ένα για την είσοδο και ένα για την έξοδο.

Πριν προχωρήσουμε, σε επόμενες παραγράφους, στην παρουσίαση της συγκρότησης και των χαρακτηριστικών καθενός από τα πιο πάνω υποσυστήματα δίνουμε τα **Γενικά Χαρακτηριστικά** ολοκλήρου της μονάδας :

1. Οι Διαστάσεις της μονάδας είναι 34.00×9.80×2.00 cm και το βάρος-της 277.6gr. Η ενλόγω μονάδα είναι μια καρτέλλα (board) κατάλληλη για άμεση προσάρτηση στο bus του υπολογιστή τύπου AT. Η τάση τροφοδοσίας της μονάδας είναι +5V συνεχές (DC) και η μέγιστη τιμή εντάσεως ρεύματος τροφοδοσίας 1A, που υπό κανονικές συνθήκες παρέχονται από την καρτέλα προσάρτησης των μονάδων του PC (Motherboard), σε κατάλληλο connector της οποίας προσαρτάται η ενλόγω μονάδα. Υπάρχει όμως και η δυνατότητα η τάση αυτή να παρασχεθεί και από εξωτερικό τροφοδοτικό συνεχούς τάσεως, μέσω τερματικών ακροδεκτών. Η θερμοκρασιακή περιοχή λειτουργίας της μονάδας είναι 0 έως +50 °C.
2. Η επικοινωνία με τις εξωτερικές συσκευές γίνεται μέσω τεσσάρων τερματικών ακροδεκτών (connectors), όπως φαίνεται στα σχ. 2.1 και 2.2. Δύο από τους ακροδέκτες (οι CN1 και CN2) είναι προσπελάσιμοι από το εξωτερικό περιβάλλον του κιβωτίου του Υπολογιστού, ενώ για τους υπόλοιπους δύο (CN3 και CN4) απαιτείται ειδική προέκταση· η προέκταση αυτή είναι διαθέσιμη από την Εταιρία *Advantech Co. Ltd* υπό την εμπορική ονομασία (*PCLK-1050, Industrial Wiring Kit*). Υπάρχει ένας επιπλέον connector (CN5) για

προαιρετική σύνδεση εξωτερικού ρυθμοδότη/χρονόμετρου. Τέλος, διατίθενται για τις ανάγκες του χρήστη οι εξής έξοδοι:

- Connector CN2, pin 7: -5VDC/0.8mA, unfused.
- Connector CN3, pin 19: +5VDC/0.8mA, unfused.
- Connector CN3, pin 20: +12VDC/0.3mA, unfused.
- Connector CN4, pin 19: +5VDC/0.8mA, unfused.
- Connector CN4, pin 20: +12VDC/0.3mA, unfused.
- Connector CN5, pin 19: +5VDC/0.8mA, unfused.

Για την επικοινωνία, χρησιμοποιούνται πολύκλινα καλώδια (10 ζευγών) σε σειρά (flat-cables), τα οποία λόγω του γεγονότος ότι εκ κατασκευής δεν είναι θωρακισμένα έναντι ηλεκτρονικού θορύβου, δεν πρέπει να ξεπερνούν σε μήκος τα 2m' έτσι αποφεύγεται αλλοίωση του μεταφερόμενου σήματος.

2.2.1.1 Το Υποσύστημα Αναλογοψηφιακής Μετατροπής (ADC).

Το υποσύστημα αυτό αποτελείται από μία μονάδα αναλογοψηφιακού μετατροπέα (*Analogue to Digital Converter, ADC*) με διακριτική ικανότητα 12 δυαδικών ψηφίων.

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά του είναι τα ακόλουθα:

1. Διασυνδέσεις

Η πηγή του προς ψηφιοποίηση αναλογικού σήματος μπορεί να τροφοδοτηθεί εις την είσοδο του μετατροπέα (ADC) με δύο μεθοδολογίες, την απλή και τη διαφορική σύνδεση:

- Η αναφερόμενη ως **απλή σύνδεση**, απαιτεί την σύνδεση ενός μόνο πόλου της πηγής τάσεως (του θετικού) προς το κανάλι του ADC (σύνδεση στον ακροδέκτη *High*, σχ. 2.3). Ο άλλος πόλος της πηγής καθώς και ο ακροδέκτης *Low* του ADC βραχυκυκλώνεται με τη γη του συστήματος (σασί). Η προς μέτρηση τάση είναι η τάση του θετικού πόλου ως προς γην δηλαδή γίνεται μέτρηση δυναμικού (σχ. 2.3).
- Η αναφερόμενη ως **διαφορική σύνδεση**, απαιτεί την σύνδεση και των δύο πόλων της πηγής τάσεως προς τους δύο ακροδέκτες του ADC. Ο θετικός

πόλος της πηγής οδηγείται προς τον ακροδέκτη *High* ενώ ο αρνητικός προς τον ακροδέκτη *Low*. Συνιστάται να γειώνεται ο αρνητικός ακροδέκτης με τη γη του ADC. Στην προκείμενη περίπτωση γίνεται μέτρηση διαφοράς δυναμικού.

2. Περιοχή λειτουργίας (είσοδος).

Στη μονάδα μπορεί να τροφοδοτηθεί είτε μονοπολικό (*Unipolar*) είτε διπολικό (*Bipolar*) σήμα τάσεως εισόδου. Βεβαίως, η επιλογή αυτή η οποία γίνεται μέσω διακόπτη, πρέπει να είναι συμβατή με τη μεθοδολογία σύνδεσης. Δηλαδή εάν επιλεγεί διπολικό σήμα εισόδου, κατ'ανάγκη θα πρέπει να ακολουθηθεί διαφορική σύνδεση. Υπάρχει μια ποικιλία περιοχών λειτουργίας του αναλογικού σήματος εισόδου που μπορεί να επιλεγεί μέσω καταλλήλων διακοπών που βρίσκονται πάνω στην κάρτα. Οι περιοχές αυτές έχουν ως εξής:

- Μονοπολικό: +1V, +2V, +5V, +10V.
- Διπολικό: ±0.5V, ±1.0V, ±2.5V, ±5.0V, ±10.0V

Η μέγιστη επιτρεπόμενη τάση υπερφορτίσεως (*Overvoltage*) είναι ±30V.

3. Διακριτική Ικανότητα.

Η διακριτική ικανότητα του ADC είναι 12 δυαδικά ψηφία (bits). Δηλαδή το μέγιστο σήμα εισόδου μετατρέπεται στον ψηφιακό αριθμό 4095, ενώ το ελάχιστο σήμα εισόδου στον αριθμό 0. Βεβαίως, θα πρέπει να επισημανθεί ότι όλοι οι καταχωρητές της παρούσης μονάδας διαθέτουν 8 bits και συνεπώς απαιτείται συνεργασία δύο καταχωρητών για τη λειτουργία του αποκαλούμενου ως καταχωρητού δεδομένων (*Data Buffer Register, DBR*) των 12 δυαδικών ψηφίων. Στην περίπτωση που η περιοχή λειτουργίας είναι μονοπολική 0-10V, η διακριτική ικανότητα της μονάδας σε μονάδες τάσεως είναι $10V/4096 = 2.44mV$. Κατά συνέπεια η μετατροπή τάσεως (V_s) σε ψηφιακή πληροφορία (d) παρέχεται από τη σχέση [1, σχ.10.48]:

$$d = (2^Y - 1) \cdot (V_s - V_{min}) / (V_{max} - V_{min}) \quad (2.1)$$

όπου,

V_{max} : η τάση που αντιστοιχεί στο άνω όριο της περιοχής λειτουργίας,

V_{min} : η τάση που αντιστοιχεί στο κάτω όριο της περιοχής λειτουργίας και

N : το πλήθος των δυαδικών ψηφίων που διαθέτει ο καταχωρητής δεδομένων του ADC.

4. Χρόνος Δειγματοληψίας.

Η μονάδα διαθέτει έναν εσωτερικό ρυθμοδότη/χρονόμετρο του τύπου INTEL-8254, που μπορεί εν γένει να παρέχει παλμούς σε εύρος συχνοτήτων από 0.00023Hz (1 παλμός ανά 71 πρώτα λεπτά της ώρας) έως 2.5MHz ($2.5 \cdot 10^6$ παλμοί ανά δευτερόλεπτο). Από το εύρος αυτό, ο κατασκευαστής έχει επιλέξει δυο συχνότητες τις οποίες διαθέτει στο χρήστη της μονάδας προκειμένου να μπορεί να την ρυθμοδοτεί, δηλαδή προκειμένου να επιλέγει τον επιθυμητό χρόνο δειγματοληψίας' οι συχνότητες αυτές είναι:

- 1 MHz
- 10 MHz

Στην περίπτωση της παρούσας εργασίας έχει επιλεγεί 1MHz. Με τη συχνότητα αυτή επιτυγχάνεται μέγιστη συχνότητα μετατροπής 60kHz, δηλαδή ελάχιστος χρόνος δειγματοληψίας 16.7μs.

5. Πολυπλέκτης.

Η μονάδα PCL-718 διαθέτει εσωτερικό πολυπλέκτη στην είσοδό της, με 16 κανάλια απλής σύνδεσης (Single Ended) ή 8 κανάλια διαφορικής σύνδεσης (Differential). Η επιλογή του καναλιού του πολυπλέκτη το σήμα του οποίου οδηγείται κάθε φορά προς τον ADC γίνεται με επιλογή από το λογισμικό.

6. Καταχωρητές ελέγχου.

Ο ADC διαθέτει 4 καταχωρητές ενδείξεως λειτουργίας και ελέγχου καταστάσεως του ADC (Control Status Registers, CSR). Η λειτουργία των καταχωρητών αυτών, δηλαδή ο συγκεκριμένος ρόλος καθενός των δυαδικών-του ψηφίων (bits) παρουσιάζεται πιοκάτω στην § 2.4.1

7. Σκανδαλισμός και λειτουργία.

Ο σκανδαλισμός (triggering) του ADC, η σηματοδότηση δηλαδή της ενεργοποίησης μιας αναλογοψηφιακής μετατροπής και -στη συνέχεια- η προώθηση του ψηφιακού αποτελέσματος δια του bus προς τη μνήμη του Η/Υ, είναι εφικτός και γίνεται, κατόπιν κατάλληλης επιλογής από διατιθέμενους διακόπτες:

- Άμεσα από το λογισμικό (software), δηλαδή από πρόγραμμα Η/Υ με άμεση κλήση κατάλληλης υπορουτίνας όταν το επιθυμεί ο προγραμματιστής ή ο χρήστης του προγράμματος.
- Με σκανδαλισμό από τον εσωτερικό ρυθμοδότη που διαθέτει η μονάδα ή από εξωτερικό ρυθμοδότη ο οποίος μπορεί να διασυνδεθεί με αυτήν. Εξυπακούεται ότι στην περίπτωση χρησιμοποίησης ρυθμοδότη, το πρόγραμμα ελέγχου του ADC πρέπει να λειτουργεί με βάση τη φιλοσοφία της παρενθετικής διακοπής.

Και στις δυο πιο πάνω περιπτώσεις το αποτέλεσμα προωθείται στη μνήμη είτε με ευθύνη του προγράμματος του χρήστη, είτε με ενεργοποίηση της δυνατότητας Άμεσης Προσπέλασης Μνήμης (Direct Memory Access, DMA), που διαθέτει η μονάδα.

8. Μέθοδος Ψηφιοποίησης.

Η μέθοδος ψηφιοποίησης που ακολουθείται είναι εκείνη των *διαδοχικών προσεγγίσεων* [1, σελ.377]. Τόσον η ακρίβεια, όσο και η γραμμικότητα της μετατροπής είναι ± 1 bit.

2.2.1.2 Το Υποσύστημα Ψηφιοαναλογικής Μετατροπής (DAC).

Διατίθενται δύο κανάλια εξόδου των 12 bits για ψηφιοαναλογικές μετατροπές (D/A). Τα εν λόγω κανάλια είναι δυνατό να χρησιμοποιήσουν ως τάση αναφοράς, είτε την από τη μονάδα προσφερόμενη (-5V), οπότε η έξοδός τους θα κυμαίνεται μεταξύ 0 και +5V, είτε οποιαδήποτε άλλη εξωτερική τάση αναφοράς εναλλασσόμενη (AC) ή συνεχής (DC), προς επίτευξη οποιασδήποτε άλλης τάσεως εξόδου στην περιοχή το πολύ 0 ~ +10V ή 0 ~ -10V.

2.2.1.3 Τα Ψηφιακά Κανάλια εισόδου/εξόδου (I/O).

Διατίθενται ένα ψηφιακό κανάλι εισόδου και ένα ψηφιακό κανάλι εξόδου των 16 bits. Η εφαρμοζόμενη τεχνολογία είναι συμβατή με εκείνες του τύπου TTL (Transistor-Transistor Logic) και DTL (Diode-Transistor Logic). Αυτό συνεπάγεται [20, σελ.640] ότι η "λογική" τιμή LOW (δυναμικό 0) ισοδυναμεί (σε περίπτωση positive logic όπως εδώ) με επιβαλλόμενη τάση 0 ~ +0.8V, ενώ η "λογική" τιμή HIGH (δυναμικό 1) ισοδυναμεί με επιβαλλόμενη τάση +2 ~ +5V. Εάν η τάση λάβει τιμή μεταξύ +0.8 και +2V, υπάρχει σοβαρό ενδεχόμενο σφάλματος κατά

το χειρισμό της ψηφιακής πληροφορίας.

2.2.1.4 Ρυθμίσεις και Επιλογές του Μετατροπέα PCL-718.

Στις προηγούμενες παραγράφους, παρουσιάστηκαν τα χαρακτηριστικά και οι δυνατότητες επιλογής χαρακτηριστικών που διαθέτει η μονάδα αναλογικών και ψηφιακών μετατροπών τύπου PCL-718. Από όσα παρατέθηκαν, κατέστη φανερό, ότι ο χρήστης μπορεί να επιλέγει επιθυμητά χαρακτηριστικά είτε με τη βοήθεια διακοπών που υπάρχουν επάνω στην κάρτα (Hardware), είτε με τη βοήθεια του προγράμματός του (Software). Εξυπακούεται ότι η πρώτη δυνατότητα, δηλαδή της επιλογής χαρακτηριστικών από διακόπτες, γίνεται πριν η κάρτα προσαρμοσθεί στο bus του Η/Υ. Στην παράγραφο αυτή, θα παρουσιάσουμε τις ρυθμίσεις που έγιναν στη μονάδα PCL-718 στα πλαίσια της παρούσης εργασίας.

Στο σχ. 2.1 απεικονίζεται η θέση των διακοπών, των βυσμάτων, των ποτενσιομέτρων και των βραχυκυκλωτήρων της μονάδας. Η λειτουργία καθενός των ανωτέρω καθώς και οι ρυθμίσεις που έγιναν έχουν ως εξής:

- **Διακόπτης SW1:** Έλεγχος του εσωτερικού ρυθμοδότη/χρονόμετρου της μονάδας.

Δυνατές τιμές : 1 MHz και 10 MHz

Επιλεγείσα τιμή: 1 MHz

- **Διακόπτης SW2:** Επιλογή μονοπολικής (Unipolar) ή διπολικής (Bipolar) περιοχής λειτουργίας (τάσεων εισόδου).

Δυνατές τιμές : UNI και BIP

Επιλεγείσα τιμή: UNI

- **Διακόπτης SW3:** Επιλογή 16 καναλιών απλής σύνδεσης ή 8 καναλιών διαφορικής σύνδεσης.

Δυνατές τιμές : 16 CH και 8 CH

Επιλεγείσα τιμή: 8 CH

- **Διακόπτης SW4:** Επιλογή επιπέδου D.M.A.

Δυνατές τιμές : DRQ1 ή DRQ3

Επιλεγείσα τιμή: DRQ3

- **Πολυδιακόπτης SW5:** Επιλογή περιοχής λειτουργίας (τάσεως εισόδου) Επισημαίνεται ότι, η επιλεγόμενη περιοχή έχει άμεση εξάρτηση από την επιλογή που έχει γίνει μέσω του διακόπτη SW2.

Δυνατές τιμές : 0-10V, 0-5V, 0-2V, 0-1V, Άλλη, καθοριζόμενη από τον χρήστη (user-defined), (για επιλογή UNI μέσω του SW2), είτε $\pm 10V$, $\pm 5V$, $\pm 2.5V$, $\pm 1V$, $\pm 0.5V$, Άλλη, καθοριζόμενη από τον χρήστη, (για επιλογή BIP μέσω του SW2).

Επιλεγείσα τιμή: 0-10V (OFF ON OFF OFF OFF OFF)

- **Πολυδιακόπτης SW6:** Επιλογή διευθύνσεων των καταχωρητών ελέγχου (Control Status Registers, CSR) και των καταχωρητών δεδομένων (Data Buffer Registers, DBR) μέσω των οποίων η μονάδα επικοινωνεί με τον Η/Υ. Είναι ενδεχόμενο, κάποιες από τις διατιθέμενες από τον Η/Υ διευθύνσεις να έχουν ήδη δεσμευθεί για χρήση από άλλες μονάδες. Για το λόγο αυτό, δίδεται στο χρήστη η δυνατότητα να προσδιορίσει ο ίδιος την περιοχή των διευθύνσεων που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν από τη μονάδα, για την επικοινωνία της με τον Υπολογιστή.

Δυνατές τιμές : 64 διαφορετικές περιοχές διευθύνσεων

Επιλεγείσα τιμή: Δεκαεξαδική (hex) 300-30F, που είναι η προτεινόμενη από τον κατασκευαστή (κατάσταση πολυδιακόπτη: 110000).

- **Βραχυκυκλωτήρας JP1:** Επιλογή τάσεως αναφοράς για χρήση από το ψηφιοαναλογικό κανάλι 0.

Δυνατές τιμές :

- Εσωτερική τάση αναφοράς (-5V). Στην περίπτωση αυτή η τάση εξόδου θα κυμαίνεται κατά περίπτωση μεταξύ 0 και +5V.
- Εξωτερική τάση αναφοράς (V_{ref}). Στην περίπτωση αυτή, η τάση εξόδου θα κυμαίνεται κατά περίπτωση, μεταξύ 0 και $-V_{ref}$.

Εάν επιλεγεί η χρήση εξωτερικής τάσεως αναφοράς, πρέπει να ληφθεί πρόνοια ώστε αυτή να περιορίζεται εντός των ορίων $\pm 10V$ · είναι επίσης επιτρεπτό να χρησιμοποιηθεί και εναλλασσόμενη τάση αναφοράς, κάτι το οποίο επιτρέπει στη μονάδα να λειτουργήσει και ως γεννήτρια τετραγωνικών παλμών, αρκεί η συχνότητα ταλάντωσης να μην υπερβαίνει την τιμή των 100kHz.

Επιλεγείσα τιμή: Εσωτερική τάση αναφοράς

- **Βραχυκυκλωτήρας JP2:** Επιλογή τάσεως αναφοράς για χρήση από το ψηφιοαναλογικό κανάλι 1. Λειτουργεί αντίστοιχα προς τον JP1.

Δυνατές τιμές : Εσωτερική ή Εξωτερική τάση αναφοράς

Επιλεγείσα τιμή: Εσωτερική τάση αναφοράς

- **Ποτενσιόμετρο VR1:** Ρύθμιση Offset ψηφιοαναλογικού καναλιού 0, σύμφωνα με όσα αναφέρονται στο *ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α* της παρούσης.
- **Ποτενσιόμετρο VR2:** Ρύθμιση Κέρδους ψηφιοαναλογικού καναλιού 0, σύμφωνα με όσα αναφέρονται στο *ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α* της παρούσης.
- **Ποτενσιόμετρο VR3:** Ρύθμιση Offset ψηφιοαναλογικού καναλιού 1, σύμφωνα με όσα αναφέρονται στο *ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α* της παρούσης.
- **Ποτενσιόμετρο VR4:** Ρύθμιση Κέρδους ψηφιοαναλογικού καναλιού 1, σύμφωνα με όσα αναφέρονται στο *ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α* της παρούσης.
- **Ποτενσιόμετρο VR5:** Ρύθμιση Offset αναλογοψηφιακών καναλιών, σύμφωνα με όσα αναφέρονται στο *ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α* της παρούσης.
- **Ποτενσιόμετρο VR6:** Ρύθμιση Κέρδους αναλογοψηφιακών καναλιών, σύμφωνα με όσα αναφέρονται στο *ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α* της παρούσης.
- **Ποτενσιόμετρο VR7:** Εξάλειψη του φαινομένου Common Mode. Υπενθυμίζεται ότι σύμφωνα με το φαινόμενο Common Mode, η μονάδα αλλοιώνει το εισερχόμενο σ αυτήν σήμα, εξαιτίας μη συμμετρης πρόσληψης ηλεκτρονικού θορύβου από τις δύο γραμμές οδήγησης του σήματος (+ και -) της μονάδας.

Στο σημείο αυτό, αναγκαίο είναι να γίνουν οι ακόλουθες επισημάνσεις:

- Ο εσωτερικός ρυθμοδότης/χρονόμετρο της μονάδας, ρυθμίσθηκε στο 1MHz διότι η συχνότητα αυτή εκρίθη επαρκής για τα φαινόμενα που πρόκειται να καταγραφούν από τη μονάδα.
- Το μονοπολικό εύρος τάσεως (UNI) επελέγη διότι οι τάσεις που αναμένεται να μετρηθούν είναι θετικές.
- Η επιλογή 8 καναλιών διαφορικής τάσεως είναι περιοριστικός όρος για να καταστεί δυνατή η σύνδεση του ADC με εξωτερική μονάδα του

Πολυπλέκτη/Ενισχυτή (Multiplexer, MUX^{*}), όπως θα αναφερθεί στη συνέχεια.

- Η επιλογή επιπέδου D.M.A. δεν ενδιαφέρει, διότι τα παρατηρούμενα φαινόμενα δεν απαιτούν τόσο γρήγορη δειγματοληψία ώστε να είναι αναγκαία η χρησιμοποίηση D.M.A.
- Η επιλογή της περιοχής τάσεως εισόδου έγινε, λαμβάνοντας υπόψιν ότι, οι προς μέτρηση συσκευές παράγουν μόνο θετικές τάσεις εντός της περιοχής αυτής.

2.2.2 Συγκρότηση του Ενισχυτή-Πολυπλέκτη PCLD-889.

Τα διατιθέμενα κανάλια από τον εσωτερικό πολυπλέκτη του ADC, δεν επαρκούν για την κάλυψη των αναγκών του ΘΥΚ. Για το λόγο αυτό, έγινε έρευνα αγοράς [19] για τον εντοπισμό και την προμήθεια των κατάλληλων μονάδων οι οποίες θα καθιστούσαν δυνατή την αύξηση των διατιθέμενων καναλιών στο επίπεδο των 35, τα οποία με συντηρητικό υπολογισμό, εκρίθησαν μόλις επαρκή για την κάλυψη των υπάρχουσών αναγκών της εγκατάστασης.

Οι προς επιλογή μονάδες, ήταν επιβεβλημένο να πληρούν δύο βασικές προϋποθέσεις:

- Να συνεργάζονται απρόσκοπτα με τον ήδη εγκατεστημένο ADC τύπου PCL-718, και
- Να μπορούν να δεχθούν, στην είσοδο των καναλιών τους σήματα από θερμοστοιχεία.

Η δεύτερη προϋπόθεση είναι συνυφασμένη και με δύο επιπλέον δυνατότητες τις οποίες έπρεπε να ικανοποιούν οι υπό επιλογή μονάδες:

- Τη δυνατότητα κατάλληλης ενίσχυσης των σημάτων των χρησιμοποιούμενων θερμοστοιχείων, ώστε να είναι δυνατή η επεξεργασία-τους από τον ADC.
- Τη δυνατότητα αντιστάθμισης της θερμοηλεκτρικής τάσης της επαφής αναφοράς, δηλαδή τη δυνατότητα ενός ενσωματωμένου στη μονάδα "Ηλεκτρονικού Σημείου Πάγου".

Τα θερμοστοιχεία τα οποία χρησιμοποιούνται στο ΘΥΚ είναι δύο τύπων:

* Στη συνέχεια, για λόγους συντόμευσης, θα αναφερόμεθα στην υπόψη μονάδα με τον όρο (MUX).

- Chromel-Alumel (τύπος K) για λήψη μετρήσεων θερμοκρασίας σε διάφορες θέσεις του ΘΥΚ και
- Iron-Constantan (τύπος J) για λήψη μετρήσεων στο Τμήμα Δοκιμών.

Είναι γνωστό [1, πιν.10.2.4] ότι η θερμοηλεκτρική σταθερά k ($E=k \cdot \theta$) των θερμοστοιχείων τύπου K και J είναι 41 και 52.7μV/K αντίστοιχα. Λαμβάνοντας υπόψιν ότι οι προς μέτρηση θερμοκρασίες με χρήση θερμοστοιχείων τύπου K δεν αναμένεται να υπερβούν τους 200 °C, προκύπτει αναμενόμενη μέγιστη παραγόμενη τάση 8.2mV. Εάν ληφθεί υπόψιν επιπλέον ότι, ο ADC έχει διακριτική ικανότητα σε μονάδες τάσεως εισόδου για τη συγκεκριμένη προρρυθμισθείσα περιοχή 2.44mV (§2.2.1.1(3)), γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι, για να γίνει πλήρης εκμετάλλευση της περιοχής λειτουργίας του ADC απαιτείται ενίσχυση του σήματος τάσεως του θερμοστοιχείου με κέρδος 1000. Αυτό σημαίνει ότι για την περιοχή θερμοκρασιών 0 έως 200°C, τα παραγόμενα σήματα των θερμοστοιχείων, μετά από ενίσχυση, θα κυμαίνονται από 0 έως 8.2V. Με βάση τα προαναφερθέντα κριτήρια, επελέγη τελικά η μονάδα Ενισχυτή-Πολυπλέκτη τύπου PCLD-889 της Εταιρίας *Advantech Co. Ltd* η οποία επιπλέον παρουσιάζει το πλεονέκτημα της πλήρους συμβατότητας με την επόμενη της μονάδα PCL-718. Αντίστοιχα, οι προς μέτρηση θερμοκρασίες με τύπου J θερμοστοιχεία αναμένεται να φθάσουν τους 900°C συνεπώς η μέγιστη αναμενόμενη τάση είναι 4.7mV. Στην περίπτωση λοιπόν των θερμοστοιχείων τύπου J, απαιτείται ενίσχυση του παραγόμενου σήματος τάσεως με κέρδος 200. Στην περίπτωση αυτή επελέγη να χρησιμοποιηθεί μια ακόμη μονάδα Ενισχυτή-Πολυπλέκτη τύπου PCLD-889 της Εταιρίας *Advantech Co. Ltd*.

Από τα ανωτέρω συνάγεται ότι οι προς επιλογή μονάδες πρέπει εκτός των άλλων να παρέχουν δυνατότητα ενίσχυσης του σήματος εισόδου σε δύο τουλάχιστον διαφορετικά επίπεδα κέρδους, 200 και 1000.

Με βάση τα προαναφερθέντα κριτήρια, επελέγη τελικά η μονάδα Ενισχυτή-Πολυπλέκτη τύπου PCLD-889 της Εταιρίας *Advantech Co. Ltd* η οποία επιπλέον παρουσιάζει το πλεονέκτημα της πλήρους συμβατότητας με την επόμενη της μονάδα PCL-718. Η υπόψιν μονάδα έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά [4]:

1. Γενικά Χαρακτηριστικά και Διασυνδέσεις του Ενισχυτή-Πολυπλέκτη PCLD-889.

Η μονάδα συγκροτείται επί πλακέτας (board) διαστάσεων 20.50x11.43 cm και το βάρος-της είναι 256gr. Το μέγιστο ρεύμα εξόδου της μονάδας είναι 20mA. Η μονάδα διαθέτει επίσης ηλεκτρονική προστασία έναντι παρασιτικών παρεμβολών, καθώς και δυνατότητες επεξεργασίας του σήματος, όπως φιλτράρισμα, εξομάλυνση, εξασθένηση και παράλληλη διακλάδωση (shunt). Η

μονάδα αυτή, για λόγους που θα καταφανούν στη συνέχεια, δε συνδέεται στο bus του PC αλλά είναι αυτοτελής μονάδα διασυνδεόμενη στον αναλογικό και ψηφιακό μετατροπέα τύπου PCL-718 ενδεχομένως μετά από διασύνδεση σε αλυσίδα (Daisy Chain) και με άλλες μονάδες του ίδιου τύπου. Κάθε μονάδα PCLD-889 είναι τοποθετημένη εντός ειδικού μεταλλικού κιβωτίου (Box) τύπου PCLD-ENC (Enclosure Box). Το συγκεκριμένο κιβώτιο είναι κατασκευασμένο από χυτοπρεσσαριστό Αλουμίνιο και διαθέτει ειδικές θέσεις πρόσδεσης δύο το πολύ μονάδων τύπου PCL. Το εν λόγω κιβώτιο:

- εξασφαλίζει φυσική προστασία στη μονάδα όταν αυτή πρέπει να εγκαθίσταται σε "επισφαλείς" περιβαλλοντικά χώρους,
- δρα ως ισοθερμοκρασιακό κιβώτιο (Isothermal Box) συμβάλλοντας στη σωστή αντιστάθμιση της θερμοκρασίας που γίνεται από το ενσωματωμένο Ηλεκτρονικό Σημείο Πάγου της μονάδας, και
- δρα ως "Κλωβός Faraday" προστατεύοντας τη μονάδα από Ηλεκτρονικές Περεμβολές του περιβάλλοντός της.

Η μονάδα διαθέτει για την επικοινωνία της με τον ADC και με άλλες μονάδες 8 connectors (σχ. 2.5). Εξ αυτών, τα CN1 και CN3, (σχ. 2.6) είναι pin-to-pin ισοδύναμα και μεταφέρουν το αναλογικό σήμα από τους Ενισχυτές-Πολυπλέκτες (MUX) προς τον ADC. Τα CN2 και CN4 (σχ. 2.6) είναι pin-to-pin ισοδύναμα, και δέχονται την ψηφιακή πληροφορία η οποία παρέχεται επί του ψηφιακού καναλιού εξόδου του ADC με την πληροφορία αυτή, ενημερώνεται ο MUX σχετικά με το κανάλι της εισόδου του, το σήμα του οποίου θα προωθηθεί προς τον ADC καθώς και με το επιθυμητό κέρδος του ενισχυτού του. Η αντιστοιχία των σημάτων, και κατ'επέκταση των δυαδικών τιμών που αυτά αντιπροσωπεύουν (§2.2.1.3), προς τις τιμές του κέρδους του Ενισχυτή-Πολυπλέκτη και του προς επιλογή καναλιού του MUX, δίνονται στον ακόλουθο Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1

Τιμές των δυαδικών ψηφίων του καταχωρητή που προσδιορίζουν το κέρδος και το κανάλι της μονάδας PCLD-889.

D6	D5	D4	Κέρδος	D3-D2-D1-D0	Κανάλι
0	0	0	0.5	0000	0
0	0	1	1	0001	1
0	1	0	2	.	.
0	1	1	10	.	.
1	0	0	50	.	.
1	0	1	100	.	.
1	1	0	200	1110	14
1	1	1	1000	1111	15

Τα CN5 και CN6 είναι εισοδοί των καναλιών του MUX και είναι διαμορφωμένα σε Klemmen. Η συνδεσμολογία στην είσοδο των καναλιών είναι του ίδιου τύπου με εκείνη του ADC, η οποία περιγράφηκε ανωτέρω (§2.2.1.1(1), σχ.2.3 και 2.4). Το CN7 παρέχει υπό μορφήν αναλογικού σήματος την αντισταθμιζόμενη τάση αναφοράς θερμοκρασίας της μονάδας. Τέλος το CN8 χρησιμοποιείται για την προαιρετική εξωτερική ηλεκτρική τροφοδοσία της μονάδας. Η μονάδα διαθέτει για κάθε κανάλι, προστασία έναντι ανοικτοκυκλώματος (Open Circuit Detection, σχ. 2.7). Η προστασία αυτή συγκροτείται από κατάλληλα ηλεκτρονικά στοιχεία τα οποία, σε περίπτωση εμφάνισης ανοικτοκυκλώματος, οδηγούν στην είσοδο του καναλιού τάση, ίση προς -10V. Ο έλεγχος, λοιπόν, προγραμματιστικά της εισόδου, για υψηλή τιμή αρνητικής τάσεως σε κάθε δειγματοληψία, οδηγεί στη διαπίστωση ενδεχόμενου ανοικτοκυκλώματος*.

2. Πολυπλέκτης.

Ο Πολυπλέκτης διαθέτει 16 διαφορεικά κανάλια εισόδου το σήμα ενός από τα οποία κάθε φορά οδηγεί ("πλέκει") προς την έξοδο της μονάδας, δηλαδή την είσοδο του ακολουθούντος ADC. Η επιλογή του επιθυμητού προς "πλέξιν"

* Στην περίπτωση της χρησιμοποίησης της μονάδας στα πλαίσια της παρούσης ΔΔ δε μπορεί να εφαρμοσθεί η υπόψιν περιγραφόμενη προστασία, διότι ο ADC για λόγους που αναφέρθηκαν προηγουμένως (§ 2.2.1.4, Διακόπτης SW5), εργάζεται στην περιοχή τάσεων εισόδου 0 έως 10V και για το λόγο αυτό δεν είναι δυνατό να ανιχνεύσει την σε περίπτωση ανοικτοκυκλώματος παραγόμενη τάση των -10V. Παρά ταύτα, η ανίχνευση ανοικτοκυκλώματος τυχόντος θερμοστοιχείου του ΘΥΚ είναι άμεσα παρατηρήσιμη διότι, οι αναμενόμενες ενδείξεις από τα διάφορα θερμοστοιχεία είναι υψηλές, λόγω του ότι υψηλές είναι και οι θερμοκρασίες που μετρώνται στο ΘΥΚ κατά τη λειτουργία του. Τυχόν ανοικτοκύκλωμα, οδηγεί σε λήψη θερμοκρασιών πολύ χαμηλών και συνεπώς σαφώς μη πραγματικών, οι οποίες σηματοδοτούν αμέσως και εμφανώς την ύπαρξη προβλήματος.

καναλιού, γίνεται με την τροφοδότηση κατάλληλης ψηφιακής πληροφορίας στην ψηφιακή είσοδο την οποία διαθέτει η μονάδα. Στην περίπτωση που η τροφοδότηση του σήματος εξόδου της μονάδας γίνεται σε ακολουθούσα μονάδα τύπου PCL-718, στην ψηφιακή είσοδο του PCLD-889 τροφοδοτείται η ψηφιακή πληροφορία από ψηφιακή έξοδο της μονάδας PCL-718. Η λειτουργία της ψηφιακής εισόδου της PCLD-889, θα παρουσιαστεί στην §2.4.3 που ακολουθεί. Τέλος, η μονάδα PCLD-889 είναι δυνατό να συνδεθεί και με άλλες μονάδες του ιδίου τύπου σε "Αλυσίδα" τύπου Daisy-Chain. Η συνδεσμολογία αυτή είναι δυνατό να ανεβάσει τον αριθμό των διαθέσιμων καναλιών εισόδου σε 128 το πολύ.

3. Καταχωρητές.

Η μονάδα δεν διαθέτει καταχωρητές ελέγχου, μολονότι αυτό θα ήταν επιθυμητό. Κατά τον συντάκτη της παρούσης ΔΔ, το γεγονός αυτό είναι ένα σημαντικό μειονέκτημα της μονάδας PCLD-889. Επιπλέον μειονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι ο κατασκευαστής της μονάδας στα εγχειρίδια που την συνοδεύουν (manuals) δεν κάνει καμία υπόδειξη σχετικά με τον τρόπο ελέγχου της μονάδας. Βέβαια, ο κατασκευαστής επιτρέπει στον χρήστη τον έλεγχο της μονάδας μέσω ρουτινών τις οποίες διαθέτει, οι οποίες όπως αναλυτικά θα παρουσιαστεί στη συνέχεια, αφενός μεν αποτελούν "μαύρα κουτιά", αφετέρου δε, διαπιστώθηκε ότι έχουν σοβαρά λάθη. Όπως αναλυτικά θα παρουσιαστεί σε επόμενη παράγραφο του παρόντος κεφαλαίου, μια από τις βασικές εργασίες της παρούσης ΔΔ ήταν η μελέτη του θέματος της εξυπηρέτησης της μονάδας PCLD-889. Για το σκοπό αυτό, ο συντάκτης της παρούσας ΔΔ ανέπτυξε λογισμικό, το οποίο εκμεταλλευόμενο την κατάσταση των καταχωρητών της μονάδας PCL-718, μπορεί και επιτηρεί την μονάδα PCLD-889. Βεβαίως το γεγονός ότι δεν υπάρχουν καταχωρητές, συνεπάγεται τη δυνατότητα της μη-απευθείας σύνδεσης της μονάδας στο bus του Η/Υ. Έτσι η μονάδα PCLD-889 θα πρέπει να θεωρείται απλά ως μονάδα υποστήριξης του ADC και όχι ως βασική και ανεξάρτητη μονάδα συνδεόμενη στο bus του Η/Υ.

4. Ενισχυτής σήματος εισόδου.

Η μονάδα διαθέτει ενισχυτή με κέρδος καθοριζόμενο είτε μέσω διακόπτου τεσσάρων θέσεων (hardware selectable gain), είτε μέσω προγράμματος (software selectable gain) στις τιμές 0.5, 1, 2, 10, 50, 100, 200 και 1000.

5. Ηλεκτρονικό Σημείο Πάγου.

Η μονάδα διαθέτει εγκατεστημένο ηλεκτρονικό "σημείο πάγου" (Ice Point) και δυνατότητα υποστήριξης θερμοστοιχείων τύπου T, J, E, K, R και S. Η λειτουργία της αντιστάθμισης μέσω ηλεκτρονικού σημείου πάγου επιτυγχάνεται με παραγωγή τάσεως +24.4 mV ανά 1 K με αφετηρία τους 0 °C, με 0V Offset στους 0 °C.

Στο σχ. 2.5, απεικονίζεται η θέση των διακοπών, των βυσμάτων, των ποτενσιομέτρων και των βραχυκυκλωτήρων του Ενισχυτή/Πολυπλέκτη (MUX). Η λειτουργία ενός εκάστου των ανωτέρω καθώς και οι ρυθμίσεις των δύο υπόψιν μονάδων* που συνδέθηκαν σε "Αλυσίδα" στα πλαίσια της παρούσης ΔΔ, έχουν ως εξής:

- **Διακόπτης SW1:** Επιλογή ρύθμισης του Κέρδους της μονάδας.

Δυνατές τιμές :

- Local: Ρύθμιση του Κέρδους μέσω του Hardware (Switch Selectable).
- Remote: Ρύθμιση του κέρδους μέσω του Software δηλαδή μέσω πληροφορίας η οποία παρέχεται στην ψηφιακή είσοδο της μονάδας.

Επιλεγείσα τιμή:

Μονάδα A: Local

Μονάδα B: Local

- **Διακόπτης SW2:** Επιλογή του Κέρδους (εάν είναι Switch Selectable).

Δυνατές τιμές : 0.5, 1, 2, 10, 50, 100, 200 και 1000.

Επιλεγείσα τιμή:

Μονάδα A: 1000

Μονάδα B: 200

- **Βραχυκυκλωτήρες JP0-JP15:** Επιλογή δράσεως φίλτρου ή όχι στις εισόδους των καναλιών. Το υπόψιν φίλτρο, αποτελείται από ένα πυκνωτή 1μF παράλληλα προς μια αντίσταση 1.2kOhm και όταν είναι ενεργό, είναι συνδεδεμένο παράλληλα

* Υπενθυμίζεται ότι στο ΘΥΚ χρησιμοποιούνται δύο μονάδες MUX:

- η ΜΟΝΑΔΑ Α εξυπηρετεί τα θερμοστοιχεία τύπου K και
- η ΜΟΝΑΔΑ Β εξυπηρετεί τα θερμοστοιχεία τύπου J.

προς τους δύο πόλους του σήματος. Το φίλτρο αποκόπτει τις υψηλές συχνότητες (Low-pass filter), έχει συχνότητα αποκοπής (Cutoff Frequency) 417Hz και άρα σταθερά χρόνου 2.4ms (1/417). Χρόνος ίσος με μια σταθερά χρόνου για το κύκλωμα RC, σημαίνει ελάττωση της τάσεως λόγω ηλεκτρονικού θορύβου στο 63% της αρχικής. Πρακτικά για μια ικανοποιητική απόσβεση απαιτείται χρόνος ίσος με 5 σταθερές χρόνου [20, σελ.382], ήτοι χρόνος απόκρισης ίσος προς 12ms. Βεβαίως εάν χρειασθεί δειγματοληψία και από άλλα κανάλια του MUX, ο χρόνος ο οποίος μεσολαβεί μεταξύ δύο διαδοχικών πλέξεων του ίδιου καναλιού, είναι μεγαλύτερος του χρόνου απόκρισης των 12ms, και συνεπώς δεν υπάρχει καμία επιπλέον καθυστέρηση εξαιτίας του χρόνου απόκρισης κατά τη λειτουργία της μονάδας. Η χρήση του φίλτρου ενδείκνυται στην περίπτωση που το τροφοδοτούμενο σήμα προέρχεται από θερμοστοιχείο, διότι, στην περίπτωση αυτή, αφενός μεν τροφοδοτούνται ασθενή σήματα ευαίσθητα στην επίδραση υψίσυχων παρασιτικών παρεμβολών, αφετέρου δε χρησιμοποιούνται μεγάλου μήκους μη-πεπλεγμένα καλώδια (non twisted pair cables), κάτι που επίσης ευνοεί την ανάπτυξη ηλεκτρονικού θορύβου.

Δυνατές τιμές : ON ή OFF.

Επιλεγείσα τιμή:

Μονάδα A: ON

Μονάδα B: ON

- **Βραχυκυκλωτήρας JP16:** Σχετικά με τον βραχυκυκλωτήρα αυτόν με τον οποίο καθορίζεται η μορφολογία της αλυσίδας μονάδων PCLD-889 (Daisy-Chain), θα επανέλθουμε στην § 2.2.4.

Δυνατές τιμές : Κανάλια 0 έως και 7.

Επιλεγείσα τιμή:

Μονάδα A: Κανάλι 0

Μονάδα B: Κανάλι 2

- **Βραχυκυκλωτήρας JP17:** Με τον βραχυκυκλωτήρα αυτόν επιλέγεται η δυνατότητα οδήγησης προς τον ADC, του αναλογικού σήματος που αντιστοιχεί στη θερμοκρασία αναφοράς του σασί του πολυπλέκτη (MUX). Το σήμα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αντιστάθμιση, υπολογιστικά, της θερμοκρασίας αναφοράς των θερμοστοχείων που ενδεχομένως συνδέονται στο MUX· έτσι, υποκαθίσταται η λειτουργία ενός ηλεκτρονικού σημείου πάγου.

Δυνατές τιμές : Κανάλια 0 έως και 7.

Επιλεγείσα τιμή:

Μονάδα A: Κανάλι 1

Μονάδα B: Κανάλι 3

- **Βραχυκυκλωτήρας JP18 (ζεύγος):** Επιλογή τροφοδοσίας της μονάδας, μέσω του ADC (PC) ή εξωγενούς πηγής (EXT).

Δυνατές τιμές : PC ή EXT.

Επιλεγείσα τιμή:

Μονάδα A: PC

Μονάδα B: PC

- **Ποτενσιόμετρο VR1:** Ρύθμιση Ηλεκτρονικού σημείου πάγου, σύμφωνα με όσα αναφέρονται στο *ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β* της παρούσης.
- **Ποτενσιόμετρο VR2:** Ρύθμιση του Offset εισόδου, σύμφωνα με όσα αναφέρονται στο *ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β* της παρούσης.
- **Ποτενσιόμετρο VR3:** Ρύθμιση του Offset εξόδου, σύμφωνα με όσα αναφέρονται στο *ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β* της παρούσης.
- **Ποτενσιόμετρο VR4:** Ρύθμιση Κέρδους σε επίπεδο 0.5, σύμφωνα με όσα αναφέρονται στο *ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β* της παρούσης.
- **Ποτενσιόμετρο VR5:** Ρύθμιση Κέρδους σε επίπεδο 1, σύμφωνα με όσα αναφέρονται στο *ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β* της παρούσης.
- **Ποτενσιόμετρο VR6:** Ρύθμιση Κέρδους σε επίπεδο 2, σύμφωνα με όσα αναφέρονται στο *ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β* της παρούσης.
- **Ποτενσιόμετρο VR7:** Ρύθμιση Κέρδους σε επίπεδο 10, σύμφωνα με όσα αναφέρονται στο *ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β* της παρούσης.
- **Ποτενσιόμετρο VR8:** Ρύθμιση Κέρδους σε επίπεδο 50, σύμφωνα με όσα αναφέρονται στο *ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β* της παρούσης.
- **Ποτενσιόμετρο VR9:** Ρύθμιση Κέρδους σε επίπεδο 100, σύμφωνα με όσα αναφέρονται στο *ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β* της παρούσης.
- **Ποτενσιόμετρο VR10:** Ρύθμιση Κέρδους σε επίπεδο 200, σύμφωνα με όσα

αναφέρονται στο *ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β* της παρούσης.

- **Ποτενσιόμετρο VR11:** Ρύθμιση Κέρδους σε επίπεδο 1000, σύμφωνα με όσα αναφέρονται στο *ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β* της παρούσης.

2.2.3 Συγκρότηση της Τερματικής Μονάδας PCLD-780.

Η Μονάδα PCLD-780 [21] που απεικονίζεται στο σχ. 2.8, είναι μια τερματική μονάδα η οποία βασικά εξυπηρετεί τη συνδεσμολογία του ADC. Υπενθυμίζεται ότι ο MUX διαθέτει Klemmen για τη σύνδεση εξωτερικών γραμμών μεταφοράς σήματος στα κανάλια του. Τα αναλογικά σήματα προς τον ADC τροφοδοτούνται:

- Επί της τερματικής μονάδας PCLD-780.
- Στις εισόδους ενός των προηγούμενων του ADC, MUX.

Δηλαδή η τερματική μονάδα PCLD-780 χρησιμοποιείται όταν δεν υπάρχει λόγος συνδεσμολογίας του σήματος σε MUX. Στις συνδεσμολογίες επί της τερματικής αυτής μονάδας θα αναφερόμαστε στο μέλλον με τον όρο εξωτερική γραμμή.

Όπως φαίνεται στο σχ. 2.8 η μονάδα PCLD-780 διαθέτει 20 ζεύγη βυσμάτων τύπου Klemmen (A1-A2, A3-A4 κ.λ.π.). Ο ADC, ο οποίος δεν διαθέτει εκ κατασκευής Klemmen, παραλαμβάνει τα σήματα από τα ζεύγη βυσμάτων της τερματικής μονάδας, με τη χρήση 2 πολυσύρματων καλωδίων των 10 ζευγών έκαστο, τα οποία συνδεσμολογούνται επί της τερματικής μονάδας σε δύο connectors των 20 pins (CNA και CNB). Ο connector CNA παραλαμβάνει τα σήματα των βυσμάτων τύπου A, ενώ ο CNB τα σήματα των βυσμάτων τύπου B. Στην περίπτωση του ΘΥΚ, όσα από τα σήματα δεν κρίθηκε αναγκαίο να οδηγηθούν στους MUX, συνδέθηκαν επί της τερματικής μονάδας PCLD-780 στην περιοχή B (connector CNB).

Η Μονάδα οι διαστάσεις της οποίας είναι 10.16×11.43×2.0 cm, διαθέτει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Φίλτρο αποκοπής υψηλών συχνοτήτων (Low-pass Filter), για κάθε ένα κανάλι, με συχνότητα αποκοπής 3.6kHz (στην περίπτωση του ΘΥΚ δε χρησιμοποιείται).
- Ηλεκτρονικό κύκλωμα υποβιβασμού τάσεως (10:1) για μέτρηση τάσεων εκτός ορίων του ADC για κάθε ένα κανάλι.
- Ηλεκτρονικό κύκλωμα μετατροπής των σημάτων εντάσεως 4-20mA, που αποτελεί τη συνήθη περίπτωση παραγόμενου σήματος από μεταλλάκτες, σε σήματα τάσεως 1-5VDC.

Η αντιστοιχία Klemmen τερματικής μονάδας PCLD-780 - connector της PCL-718 είναι η ακόλουθη (σχ. 2.2 και 2.8):

- Το επάνω αριστερά pin (No 1) τυχόντος connector του ADC αντιστοιχεί στο κάτω δεξιά Klemme της τερματικής μονάδας (A1). Αντίστοιχα, το επάνω δεξιά pin (No 2) του connector του ADC, αντιστοιχεί στο κάτω αριστερά Klemme της τερματικής μονάδας (A2). Οι ανωτέρω αντιστοιχίες ισχύουν με τις εξής συμβάσεις:
 - Η καρτέλλα του ADC είναι τοποθετημένη κατακόρυφα ώστε τα Slots συνδέσεως με το Bus να έχουν προσανατολισμό προς τα κάτω. Το τυχόν connector κοιτάζουμε έτσι ώστε να βλέπουμε τα pins του.
 - Η καρτέλλα της τερματικής μονάδας είναι τοποθετημένη εμπρός μας σε τρόπο ώστε να βλέπουμε ολόκληρη την επιφάνειά της στην οποία είναι τοποθετημένα τα Klemmen (ορθή όψη). Ο προσανατολισμός-της είναι τέτοιος ώστε, τα 20-pin connectors για τη σύνδεση με τον ADC να ευρίσκονται αριστερά, ενώ τα Klemmen δεξιά.

2.2.4 Συνδεσμολογία των Μονάδων σε "Αλυσίδα" (Daisy-Chain).

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, ένα σύνολο από μονάδες MUX τύπου PCLD-889, μπορεί να συνδεθούν λογικά σειριακά υπό μορφήν "αλυσίδας" (daisy-chain) η οποία καταλήγει σε μια μονάδα PCL-718 προκειμένου να επεκταθεί ο βαθμός της πολύπλεξης. Η μεθοδολογία της υπόψιν συνδεσμολογίας, περιγράφεται στη συνέχεια.

Όπως σχηματικά φαίνεται στο σχ. 2.9, κάθε μια μονάδα MUX της "Αλυσίδας", συνδέεται ηλεκτρικά παράλληλα, μέσω των ισοδύναμων connectors CN1 και CN3 προς το connector CN1 της μονάδας PCL-718, και μέσω των ισοδύναμων connectors CN2 και CN4 προς το connector CN3 της μονάδας PCL-718. Υπενθυμίζουμε ότι, μέσω του connector CN3 της μονάδας PCL-718, προωθείται προς τις μονάδες MUX, τόσον η πληροφορία σχετικά με το κανάλι του MUX το σήμα του οποίου θα προωθηθεί προς το connector CN1 της μονάδας PCL-718, όσο και η πληροφορία σχετικά με το επιθυμητό κέρδος του MUX.

Κατά τη συνδεσμολογία της "Αλυσίδας", θα πρέπει να προβλεφθεί ένα και μόνον ένα αποκλειστικά κανάλι του εσωτερικού MUX της μονάδας PCL-718 με το οποίο θα επικοινωνεί αποκλειστικά ο καθένας από τους εξωτερικούς MUX της "Αλυσίδας". Η επιλογή αυτή γίνεται επί καθεμιάς των μονάδων PCLD-889 με τους

βραχυκυκλωτήρες:

- **JP16**, για τα κανάλια των αναλογικών πληροφοριών (υποχρεωτική επιλογή).
- **JP17**, για το αναλογικό σήμα αντιστάθμισης της θερμοκρασίας αναφοράς καθενός MUX (προαιρετική επιλογή).

Επισημαίνεται ότι, οι βραχυκυκλωτήρες των μονάδων PCLD-889 έχουν 10 δυνατές τιμές, από τις οποίες μόνο οι 8 πρώτες (0-7) μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την επικοινωνία με την PCL-718 δοθέντος ότι η τελευταία διαθέτει εσωτερικό πολυπλέκτη 8 μόνον διαφορικών καναλιών. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η μέγιστη δυνατότητα σύνδεσης ως προς γην σημάτων με τη συγκρότηση "Αλυσίδα" με 8 το πολύ MUX, ανέρχεται σε:

$$8 \text{ MUX} \times 16 \text{ κανάλια/MUX} = 128 \text{ κανάλια}$$

Η πρακτική που συνήθως ακολουθείται όπως φαίνεται και στο σχ. 2.9, είναι, τα κανάλια επικοινωνίας καθενός MUX, να αριθμούνται από το 0 για τον πλησιέστερο προς τον ADC MUX, έως το 7 για τον πλέον απομακρυσμένο. Στην περίπτωση του ΘΥΚ όπου έχει χρησιμοποιηθεί "αλυσίδα" με δυο MUX, όπως φαίνεται στο σχ. 2.10:

- Ο πλησιέστερος προς τον ADC MUX, φέρει την κωδική ονομασία Β, επικοινωνεί με το κανάλι 2 (JP16) για την αναλογική πληροφορία και το κανάλι 3 (JP17) για το ηλεκτρονικό σημείο πάγου και χρησιμοποιείται με κέρδος 200, για τα σήματα που προέρχονται από θερμοστοιχεία τύπου J.
- Ο δεύτερος MUX φέρει την κωδική ονομασία Α, επικοινωνεί με το κανάλι 0 (JP16) για την αναλογική πληροφορία και το κανάλι 1 (JP17) για το ηλεκτρονικό σημείο πάγου και χρησιμοποιείται με κέρδος 1000, για τα σήματα που προέρχονται από θερμοστοιχεία τύπου K.

2.3 Διασύνδεση των Μεταλλακτών του ΘΥΚ σε Προσωπικό Η/Υ μέσω των Μονάδων της Σειράς PC-LAB.

Η διασύνδεση των μεταλλακτών του ΘΥΚ μέσω των μονάδων της σειράς PC-LAB προς τον Η/Υ ΑΤ τύπου IBM-PC Συμβατού 80386/40 MHz, έγινε με βάση τις εξής αρχές:

- Το εύρος του σήματος κάθε μεταλλάκτη πρωτογενώς ή μετά από κατάλληλη ενίσχυση να καλύπτει όλη την περιοχή λειτουργίας του ADC, που έχει ρυθμισθεί από 0 έως 10V.
- Σε περίπτωση ενισχύσεως, οι ακροδέκτες του σήματος συνδεσμοποιούνται επί

του κατάλληλου πολυπλέκτη-ενισχυτή σε τρόπο ώστε το (-) του σήματος να είναι συνδεδεμένο στο LOW και γεφυρωμένο με την γη (GND) του πολυπλέκτη-ενισχυτή, ενώ το (+) του σήματος να είναι συνδεδεμένο στο HIGH. Ο πολυπλέκτης ενισχυτής συνδέεται μέσω "Αλυσίδας" με τον ADC.

- Σε περίπτωση που δεν απαιτείται ενίσχυση, το σήμα οδηγείται σε μια θέση συνδέσεως της τερματικής μονάδας PCLD-780 και στη συνέχεια στον ADC.
- Τα κανάλια τόσο του ADC όσο και του MUX τα οποία δε χρησιμοποιούνται, πρέπει να είναι γεφυρωμένα (HIGH, LOW και GND).

Τέλος, υπενθυμίζεται ότι ο ADC είναι προσαρτημένος επί της καρτέλας προσάρτησης των μονάδων του PC (Motherboard) και συνεπώς μονίμως συνδεδεμένος επάνω στο bus τύπου AT. Επίσης, κάθε MUX είναι τοποθετημένο μέσα σε ειδικό ισοθερμοκρασιακό (isothermal) κιβώτιο για προστασία-του και διατήρηση σταθερών συνθηκών προς αντιστάθμιση της θερμοκρασίας.

Στο σχ. 2.11 παρέχεται διαγραμματικά η διασύνδεση των μεταλλακτών του ΘΥΚ. Επιπλέον, απεικονίζεται η αντιστοιχία των bits της ψηφιακής εισόδου (D/I) με τις μονάδες δισταθούς καταστάσεως (SV1, SV2, ...) η κατάσταση (ON/OFF) των οποίων παρακολουθείται από την είσοδο αυτή· περισσότερα για το θέμα αυτό θα παρατεθούν στο Κεφάλαιο 3 που ακολουθεί.

2.4 Δυνατότητες Ελέγχου μέσω Λογισμικού των Μονάδων Αναλογικών και Ψηφιακών Μετατροπών της σειράς PC-LAB.

Οι μονάδες αναλογικών και ψηφιακών μετατροπών κάθε κατασκευής, επικοινωνούν με τον Η/Υ με τη βοήθεια των καταχωρητών τους οποίους διαθέτουν.

Οι καταχωρητές συγκροτούνται από μια σειρά δυαδικών ψηφίων (bits), και χρησιμοποιούνται για προσωρινή αποθήκευση δυαδικών αριθμών. Η προσπέλασή τους γίνεται μέσω διευθύνσεων οι οποίες τους αποδίδονται από τον χρήστη. Συνήθως οι διευθύνσεις αυτές ανήκουν στο σύστημα αριθμής των διευθύνσεων της μνήμης του Η/Υ μολονότι οι μονάδες αυτές είναι περιφερειακές και βρίσκονται εκτός κεντρικής μνήμης. Αυτό γίνεται σε όλα τα συστήματα για τη διευκόλυνση του προγραμματισμού των υπόψιν μονάδων. Οι διευθύνσεις των καταχωρητών, οι οποίες δεν πρέπει να συγχέονται με άλλες διευθύνσεις είτε της Κεντρικής Μνήμης είτε άλλων περιφερειακών μονάδων, μπορεί να μεταβάλλονται με τη βοήθεια μικροδιακοπών τους οποίους φέρουν οι μονάδες. Έτσι, ο χρήστης έχει την ευχέρεια να αποδώσει μια διεύθυνση σε κάθε καταχωρητή, η οποία πρέπει να

βρίσκεται μέσα σε μια περιοχή η οποία συνιστάται από τον κατασκευαστή της μονάδας.

Διάφοροι κατασκευαστές τέτοιων μονάδων, χρησιμοποιούν διάφορους αλγόριθμους για την απόδοση μέσω μικροδιακοπών μιας διεύθυνσης καταχωρητή. Συνήθως για να περιορίσουν το πλήθος των μικροδιακοπών με τους οποίους αποδίδεται η διεύθυνση, θεωρούν ότι η διεύθυνση υπολογίζεται ως το άθροισμα δύο τιμών:

- μιας βασικής τιμής (Base Address) και
- μιας δευτέρας τιμής προστιθέμενης στην προηγούμενη (Offset).

Έτσι η διεύθυνση του καταχωρητή, θεωρείται ότι είναι το άθροισμα της BASE ADDRESS και του OFFSET:

$$\text{Διεύθυνση Καταχωρητή} = \text{BASE ADDRESS} + \text{OFFSET}$$

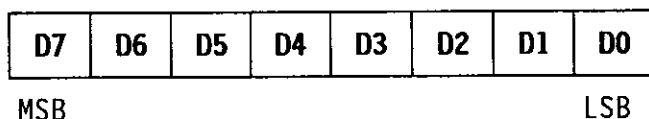
Στις μονάδες της σειράς PC-LAB η βασική διεύθυνση είναι η ίδια για όλους τους καταχωρητές της μονάδας και καθορίζεται με τη βοήθεια του διακόπτη SW6 επί της κάρτας. Στο offset, ο κατασκευαστής της μονάδας έχει αποδώσει μια αριθμητική τιμή, ανάλογα με τον καταχωρητή, όπως θα καταφανεί στην επόμενη §2.4.1. Κατά συνέπεια στις μονάδες της σειράς αυτής, ο χρήστης καθορίζει μέσω του διακόπτη SW6 την τιμή της βασικής διεύθυνσης και στη συνέχεια προκύπτουν, κατά τα αναφερόμενα στην §2.4.1, οι διευθύνσεις κάθε καταχωρητή. Οι καταχωρητές κάθε μονάδας αναλογικής/ψηφιακής μετατροπής, διακρίνονται σε δύο γενικές κατηγορίες:

- **Καταχωρητές Δεδομένων (Data Buffer Registers, DBR ή Data Registers)** για την καταχώρηση των δεδομένων των αναλογικών και των ψηφιακών μετατροπών, και
- **Καταχωρητές Ελέγχου και Καταστάσεως (Control Status Registers, CSR)** οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της μονάδας και την παροχή ενδείξεων της κατάστασης λειτουργίας της.

Υπενθυμίζεται ότι οι μονάδες αναλογικών και ψηφιακών μετατροπών, είναι εκ κατασκευής κατάλληλες για να συνεργάζονται με δεδομένο τύπο Η/Υ. Ειδικότερα, η σειρά PC-LAB είναι κατάλληλη για Η/Υ τύπου IBM PC και Συμβατούς, οι οποίοι διαθέτουν AT bus. Όπως θα καταφανεί και στη συνέχεια, ο Η/Υ χρειάζεται να πληροφορείται ή να ενεργοποιεί συγκεκριμένα, συνήθως μεμονωμένα bits, ενός καταχωρητή. Το λογισμικό που διατίθεται, δεν διαθέτει τη δυνατότητα αναγνώσεως ή ενεργοποιήσεως ενός συγκεκριμένου bit αλλά ενός συνόλου από bits, το πλήθος

των οποίων εξαρτάται από τον κατασκευαστή· π.χ. οι αναλογικές και ψηφιακές μονάδες της σειράς Η/Υ τύπου PDP/LSI μπορούν και αναγιγνώσκουν ή αποθέτουν πληροφορία, σε καταχωρητές των 16 δυαδικών ψηφίων. Αντίστοιχα, στους αναλογικούς και ψηφιακούς μετατροπείς για Η/Υ τύπου IBM-PC και Συμβατούς, οι καταχωρητές έχουν χωρητικότητα μόνον 8 δυαδικών ψηφίων. Έτσι, εάν το πλήθος των 8 δυαδικών ψηφίων δεν επαρκεί για τον έλεγχο μιας αναλογικής και ψηφιακής μονάδας, τότε ενδεχομένως να χρειάζεται και δεύτερος καταχωρητής για τον έλεγχο της μονάδας αυτής. Βεβαίως στην περίπτωση των καταχωρητών δεδομένων, ποτέ δεν επαρκούν τα 8 δυαδικά ψηφία, διότι οι αναλογικοί και ψηφιακοί μετατροπείς έχουν διακριτική ικανότητα από 12 δυαδικά ψηφία και πάνω. Έτσι λοιπόν στην περίπτωση που ο Η/Υ δεν διαθέτει καταχωρητές των 12 δυαδικών ψηφίων και πάνω, ο κατασκευαστής δίνει το αποτέλεσμα σε συνδυασμό δύο ή και περισσότερων πολλές φορές καταχωρητών.

Οι καταχωρητές των μονάδων της σειράς PC-LAB που θα εξετάσουμε, έχουν χωρητικότητα 8 bits, των οποίων η σχετική διάταξη θα θεωρήσουμε ότι είναι: **D7-D6-D5-D4-D3-D2-D1-D0**, όπου D7 είναι το σημαντικότερο bit (the Most Significant Bit - MSB) και D0 είναι το λιγότερο σημαντικό bit (Least Significant Bit - LSB). Ο συμβολισμός λοιπόν των καταχωρητών γίνεται ως εξής:



Στις παραγράφους που ακολουθούν, θα περιγράψουμε τη δομή και τη λειτουργία των καταχωρητών των μονάδων αναλογικών και ψηφιακών μετατροπών της σειράς PC-LAB.

2.4.1 Αναλογικός και Ψηφιακός Μετατροπέας Τύπου PCL-718.

Η μονάδα αναλογικού και ψηφιακού μετατροπέα τύπου PCL-718 διαθέτει συνολικά 16 καταχωρητές. Από αυτούς, ορισμένοι λειτουργούν αποκλειστικά ως καταχωρητές ελέγχου, άλλοι ως καταχωρητές δεδομένων, και λίγοι εξυπηρετούν αμφότερες τις λειτουργίες τόσο του ελέγχου, όσο και της καταχώρησης των πληροφοριών. Θα περιγράψουμε στη συνέχεια τη λειτουργία των καταχωρητών, χρησιμοποιώντας για την ταυτοποίησή τους το offset τους. Επισημαίνεται ότι η ονομασία η οποία αποδίδει τη λειτουργία κάθε καταχωρητή δεν δίδεται από τον κατασκευαστή, αλλά από τον γράφοντα, ώστε να διευκολύνει τον αναγνώστη στην αντίληψη του ρόλου κάθε καταχωρητή.

1. **BASE+0** : Κανάλι αναλογοψηφιακής μετατροπής και χαμηλής αξίας υποσύνολο του αποτελέσματος - *CSR & DBR*.

Μετά από κάθε καταχώρηση* στον καταχωρητή αυτό, ενεργοποιείται μια αναλογοψηφιακή μετατροπή.

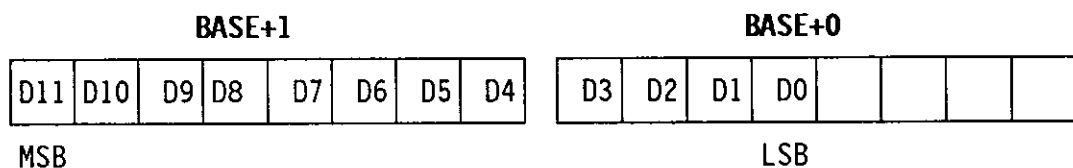
D3-D2-D1-D0 : Αποτίθεται† το κανάλι της αναλογοψηφιακής μετατροπής.

D7-D6-D5-D4 : Αποτίθεται το υποσύνολο των λιγότερο σημαντικών ψηφίων (*LSB*) της αναλογοψηφιακής μετατροπής.

2. **BASE+1** : Υψηλής αξίας υποσύνολο του αποτελέσματος της αναλογοψηφιακής μετατροπής - *DBR*.

D7-D6-D5-D4-D3-D2-D1-D0 : Αποτίθεται το υποσύνολο των περισσότερο σημαντικών ψηφίων (*MSB*) της αναλογοψηφιακής μετατροπής.

Ετσι, το αποτέλεσμα μιας αναλογοψηφιακής μετατροπής προκύπτει από συνδυασμό των καταχωρητών *BASE+0* & *BASE+1* ως εξής:



3. **BASE+2** : Κανάλια του εσωτερικού MUX που σαρώνονται - *CSR*.

Με την καταχώρηση στον καταχωρητή αυτό καθορίζεται μια διαδοχή καναλιών του εσωτερικού MUX, τα οποία θα σαρωθούν κατά την επόμενη αναλογοψηφιακή μετατροπή.

D3-D2-D1-D0 : Καταχωρείται το κανάλι της εκκίνησης.

D7-D6-D5-D4 : Καταχωρείται το κανάλι τερματισμού.

4. **BASE+3** : Χαμηλής αξίας υποσύνολο των ψηφιακών I/O - *DBR*.

D7-D6-D5-D4-D3-D2-D1-D0 : Καταχωρείται το χαμηλό υποσύνολο (*LSB*) της ψηφιακής εξόδου.

D7-D6-D5-D4-D3-D2-D1-D0 : Αποτίθεται το χαμηλό υποσύνολο (*LSB*) της

* Με την έννοια "καταχώρηση" (ρήμα: καταχωρώ) θα αναφερόμεθα στη συνέχεια σε ενέργεια του προγράμματος του χρήστη του H/Y, δηλαδή σε ενέργεια του χρήστη.

+ Με την έννοια "απόθεση" (ρήμα: αποθέτω) θα αναφερόμεθα στη συνέχεια σε ενέργεια των μονάδων της σειράς PC-LAB, δηλαδή σε αποτελέσματα της λειτουργίας του *firmware* το οποίο διαθέτουν.

ψηφιακής εισόδου.

5. **BASE+4** : Χαμηλής αξίας υποσύνολο προς αναλογική μετατροπή (κανάλι 0) - *DBR*.

D7-D6-D5-D4 : Καταχωρείται το υποσύνολο των λιγότερο σημαντικών ψηφίων (*LSB*) της ψηφιακής πληροφορίας η οποία θα μετατραπεί σε αναλογική στην έξοδο του καναλιού 0.

6. **BASE+5** : Υψηλής αξίας υποσύνολο προς αναλογική μετατροπή (κανάλι 0) - *CSR* & *DBR*.

Μετά από κάθε καταχώρηση στον καταχωρητή αυτόν, ξεκινάει μια ψηφιοαναλογική μετατροπή στο κανάλι 0.

D7-D6-D5-D4-D3-D2-D1-D0 : Καταχωρείται το υποσύνολο των περισσότερο σημαντικών ψηφίων (*MSB*) της ψηφιακής πληροφορίας η οποία θα μετατραπεί σε αναλογική στην έξοδο του καναλιού 0.

7. **BASE+6** : Χαμηλής αξίας υποσύνολο προς αναλογική μετατροπή (κανάλι 1) - *DBR*.

D7-D6-D5-D4 : Καταχωρείται το υποσύνολο των λιγότερο σημαντικών ψηφίων (*LSB*) της ψηφιακής πληροφορίας η οποία θα μετατραπεί σε αναλογική στην έξοδο του καναλιού 1.

8. **BASE+7** : Υψηλής αξίας υποσύνολο προς αναλογική μετατροπή (κανάλι 1) - *CSR* & *DBR*.

Μετά από κάθε καταχώρηση στον καταχωρητή αυτόν, ξεκινάει μια ψηφιοαναλογική μετατροπή στο κανάλι 1.

D7-D6-D5-D4-D3-D2-D1-D0 : Καταχωρείται το υποσύνολο των περισσότερο σημαντικών ψηφίων (*MSB*) της ψηφιακής πληροφορίας η οποία θα μετατραπεί σε αναλογική στην έξοδο του καναλιού 1.

9. **BASE+8** : Έλεγχος της κατάστασης μιας αναλογοψηφιακής μετατροπής - *CSR*.

Ο καταχωρητής αυτός παρέχει, ανάλογα με τις τιμές των δυαδικών ψηφίων του, πληροφόρηση για την εξέλιξη της αναλογοψηφιακής μετατροπής. Καταχώρηση οποιασδήποτε πληροφορίας στον καταχωρητή, έχει ως αποτέλεσμα τον μηδενισμό του δυαδικού ψηφίου D4 ενώ τα υπόλοιπα δυαδικά ψηφία του καταχωρητή παραμένουν ανεπηρέαστα.

D7 : Αποτίθεται η πληροφορία σχετικά με την εξέλιξη της αναλογοψηφιακής μετατροπής (End Of Conversion, EOC). Συγκεκριμένα αν:

- D7=0 : Ο αναλογοψηφιακός μετατροπέας είναι ανενεργός και έτοιμος για την επόμενη μετατροπή. Το αποτέλεσμα της προηγούμενης μετατροπής είναι διαθέσιμο στον DBR (BASE+1,D7-D6-D5-D4-D3-D2-D1-D0 & BASE+0,D7-D6-D5-D4).
- D7=1 : Ο αναλογοψηφιακός μετατροπέας είναι απαχολημένος με μια μετατροπή.

D6 : Αποτίθεται η κατάσταση της περιοχής λειτουργίας συγκεκριμένα:

- D6=0 : διπολική (Bipolar, BIP) περιοχή λειτουργίας.
- D6=1 : μονοπολική (Unipolar, UNI) περιοχή λειτουργίας.

D5 : Αποτίθεται η κατάσταση λειτουργίας των καναλιών εισόδου και συγκεκριμένα:

- D5=0 : Ο αναλογοψηφιακός μετατροπέας λειτουργεί με 8 διαφορεικά κανάλια.
- D5=1 : Ο αναλογοψηφιακός μετατροπέας λειτουργεί με 16 απλά κανάλια.

D4 : Αποτίθεται η πληροφορία περί της ολοκλήρωσης ή μη αναλογοψηφιακής μετατροπής στο χρονικό διάστημα που παρήλθε από τον προηγούμενο μηδενισμό αυτού του bit (INT), συγκεκριμένα:

- D4=0 : Καμία μετατροπή δεν ολοκληρώθηκε στο χρονικό διάστημα που παρήλθε από τον προηγούμενο καθαρισμό αυτού του bit.
- D4=1 : Η μετατροπή έχει ολοκληρωθεί. Σε περίπτωση που το bit D7 του καταχωρητή BASE+9 έχει τιμή 1, στέλνεται ένα σήμα παρενθετικής διακοπής στο bus του H/Y σε επίπεδο επιλεγόμενο μέσω των bits D6-D5-D4 του καταχωρητή BASE+9.

D3-D2-D1-D0 : Στην περίπτωση που το bit D7 είναι 0, σε αυτά τα δυαδικά ψηφία αποτίθεται το επόμενο κανάλι του αναλογοψηφιακού μετατροπέα από το οποίο πρόκειται να γίνει μετατροπή.

10. **BASE+9** : Μέθοδος επικοινωνίας PCL-718 και H/Y - CSR.

D7 : Αποτίθεται η πληροφορία περί της δυνατότητας της μονάδας προς ενεργοποίηση παρενθετικής διακοπής (Interrupt) του H/Y. Συγκεκριμένα:

- D7=0 : Δεν επιτρέπεται ενεργοποίηση παρενθετικής διακοπής.
- D7=1 : Επιτρέπεται η ενεργοποίηση παρενθετικής διακοπής.

D6-D5-D4 : Στην περίπτωση που επιτρέπεται η ενεργοποίηση παρενθετικής διακοπής, αποτίθεται η πληροφορία περί του επιπέδου προτεραιότητάς της. Στη συνέχεια παρατίθεται η αντιστοιχία τιμών των δυαδικών ψηφίων D6-D5-D4 - επιπέδου παρενθετικής διακοπής:

0-1-0 : IRQ2 0-1-1 : IRQ3 1-0-0 : IRQ4 1-0-1 : IRQ5
1-1-0 : IRQ6 1-1-1 : IRQ7

D2 : Αποτίθεται η πληροφορία περί της δυνατότητας ενεργοποίησης Αμεσης Προσπέλασης Μνήμης (*DMA*). Συγκεκριμένα:

- DMA=0 : Δεν επιτρέπεται η λειτουργία DMA.
- DMA=1 : Επιτρέπεται η λειτουργία DMA.

D1-D0 : Αποτίθεται η πληροφορία περί της μεθόδου σκανδαλισμού της μονάδας προκειμένου να εκτελεσθεί μια μετατροπή. Η αντιστοιχία των τιμών D1-D0 - Μεθόδου Σκανδαλισμού, έχει ως εξής:

0-X* : Σκανδαλισμός μέσω του λογισμικού.

1-0 : Σκανδαλισμός μέσω εξωτερικού σκανδαλιστή.

1-1 : Σκανδαλισμός μέσω του ρυθμοδότη/χρονόμετρου της μονάδας.

11. **BASE+10** : Αποτίθεται η πληροφορία περί της μεθόδου λειτουργίας του εσωτερικού ρυθμοδότη της μονάδας *CSR*.

D7-D6-D5-D4-D3-D2 : Δυαδικά ψηφία των οποίων η τιμή δεν ενδιαφέρει.

D0 : Αποτίθεται η πληροφορία περί της δυνατότητας ή όχι λειτουργίας του ρυθμοδότη της μονάδας. Έτσι:

- D0=0 : Έχει ενεργοποιηθεί η λειτουργία του ρυθμοδότη.
- D0=1 : Δεν έχει ενεργοποιηθεί η λειτουργία του ρυθμοδότη.

D1 : Αποτίθεται η πληροφορία περί της χρήσεως εξωτερικού ή εσωτερικού ρυθμοδότη/χρονόμετρου της μονάδας. Έτσι:

* Το X στην περίπτωση αυτή σημαίνει τιμή αδιάφορα 0 ή 1.

- D1=0 : Χρησιμοποιείται εξωτερικός ρυθμοδότης.
 - D1=1 : Χρησιμοποιείται εσωτερικός ρυθμοδότης με ταχύτητα χρονισμού 100kHz.
12. **BASE+11** : Υψηλής αξίας υποσύνολο των ψηφιακών I/O - *DBR*.
- D7-D6-D5-D4-D3-D2-D1-D0** : Καταχωρείται το υψηλό υποσύνολο (*MSB*) της ψηφιακής εξόδου.
- D7-D6-D5-D4-D3-D2-D1-D0** : Αποτίθεται το υψηλό υποσύνολο (*MSB*) της ψηφιακής εισόδου.
13. **BASE+12** : *DBR*.
14. **BASE+13** : *DBR*.
15. **BASE+14** : *DBR*.
16. **BASE+15** : *CSR*.

Με τους τέσσερις πιο πάνω καταχωρητές (α/α 13-16), ρυθμίζεται η λειτουργία των τριών ανεξάρτητων χρονομέτρων/απαριθμητών του ρυθμοδότη τύπου INTEL-8254 που διαθέτει η μονάδα PCL-718. Τα σχετικά με τη δυνατότητα αυτή έχουν ήδη αναφερθεί στην §2.2.1.1. Η πολύπλοκη λειτουργία των καταχωρητών αυτών δεν θα παρουσιασθεί εδώ, διότι οι εν λόγω καταχωρητές δεν χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσης ΔΔ. Ας προστεθεί ότι αυτός ο ρυθμοδότης χρησιμοποιείται εάν η μονάδα χρησιμοποιηθεί ως χρονομέτρο-απαριθμητής διακεκριμένων γεγονότων ή ως γεννήτρια παλμών (τετραγωνικών, ημιτονοειδών, κ.λ.π.).

Ο ADC που έχει χρησιμοποιηθεί στη συγκρότηση του ΘΥΚ, έχει επιφορτιστεί κατά βάση με εργασίες αναλογοψηφιακών μετατροπών καθώς και με την ανάγνωση ψηφιακής εισόδου. Κρίθηκε σκόπιμο για το λόγο αυτό, να εμβαθύνουμε περισσότερο στον τρόπο εκτέλεσης των συγκεκριμένων εργασιών. Η λεπτομερής περιγραφή των προαναφερθεισών εργασιών, δίδεται στη συνέχεια.

2.4.2 Διαδικασία Εκτέλεσης μιας Αναλογοψηφιακής Μετατροπής.

Για να ξεκινήσει και στη συνέχεια να παρακολουθηθεί προγραμματιστικά μια αναλογοψηφιακή μετατροπή από ένα κανάλι ενός ADC PCL-718, ο οποίος

εξυπακούεται ότι είναι άεργος, ακολουθείται η εξής διαδικασία:

1. Καταχωρείται στον καταχωρητή BASE+2 το κανάλι εκκίνησης καθώς και το κανάλι τερματισμού της σάρωσης, τα οποία εν προκειμένω συμπίπτουν. Για παράδειγμα, εάν η αναλογιοψηφιακή μετατροπή ζητείται από το κανάλι 5* τότε η τιμή που πρέπει να καταχωρηθεί στον BASE+2 είναι σε δυαδική μορφή:

D7	D6	D5	D4		D3	D2	D1	D0
0	1	0	1		0	1	0	1
5				5				

2. Καταχωρείται μια οποιαδήποτε πληροφορία στον καταχωρητή BASE+8. Αυτό, σύμφωνα με τα αναφερόμενα στην § 2.4.1(9), έχει σαν αποτέλεσμα το μηδενισμό του bit D4, συνθήκη απαραίτητη για την παρακολούθηση της πορείας της αναλογιοψηφιακής μετατροπής, που θα ακολουθήσει.
3. Γίνεται μια τυχαία καταχώρηση στον καταχωρητή BASE+0, ώστε να "σκανδαλιστεί" και να ξεκινήσει η μετατροπή.
4. Γίνεται συνεχής εναλλακτικός έλεγχος των bits D4 και D7 του καταχωρητή BASE+8, για να διαπιστωθεί εάν έχει ολοκληρωθεί η αναλογιοψηφιακή μετατροπή. Αυτή η συνθήκη ικανοποιείται όταν $D4=1$ και $D7 \neq 1$, δηλαδή $D7=0$.
5. Σε περίπτωση που ο έλεγχος του εδαφίου 4 δείξει ότι έχει ολοκληρωθεί η μετατροπή, διαβάζουμε το αποτέλεσμα εύρους 12 bits, από τους καταχωρητές BASE+1 (bits D7 έως D0) και BASE+0 (bits D7 έως και D4), σύμφωνα με τα αναφερόμενα στην § 2.4.1(2).

2.4.3 Έλεγχος της Ψηφιακής Εισόδου.

Ο έλεγχος της ψηφιακής εισόδου των 16 bits περιορίζεται πρακτικά σε ανάγνωση του περιεχομένου των καταχωρητών BASE+3 και BASE+11, όπου έχουν αποθεθεί αντίστοιχα, το χαμηλό (LSB) και το υψηλό (MSB) υποσύνολο της ψηφιακής εισόδου. Ας υπενθυμίσουμε ότι σχετικά με την είσοδο αυτή έχει γίνει αναφορά στην §2.2.1.3. Επιπροσθέτως, ας αναφέρουμε ότι η εκμετάλλευση ενός μεμονωμένου bit της ψηφιακής εισόδου, επιτρέπει την ανίχνευση της κατάστασης (LOW/HIGH) ενός αναλογικού σήματος που τροφοδοτεί την είσοδο, η οποία αντιστοιχεί στο υπόψιν

* Υπενθυμίζεται ότι τα κανάλια του εσωτερικού MUX του ADC αριθμούνται από 0 έως 15.

bit.

2.4.4 Έλεγχος της Μονάδας Ενισχυτή-Πολυπλέκτη PCLD-889.

Σκόπιμο είναι -καταρχήν- να υπενθυμίσουμε ότι :

- Ο Ενισχυτής - Πολυπλέκτης PCLD-889, είναι ένας εξωτερικός πολυπλέκτης, ο οποίος διαβιβάζει το αναλογικό σήμα προς ένα από τα κανάλια του ADC PCL-718, σύμφωνα και με τα αναφερόμενα στις §§ 2.2.2 και 2.2.4.
- Ο υπόψιν MUX δεν διαθέτει κανένα καταχωρητή ελέγχου της λειτουργίας του και ως εκ τούτου ο έλεγχός του επαφίεται στις δυνατότητες των καταχωρητών του συνεργαζόμενου ADC.
- Η συνεργασία των δύο μονάδων καθορίζεται κατά βάση από τη φιλοσοφία των σημάτων στον connector CN2 του MUX PCLD-889 (§ 2.2.2), το οποίο συνδέεται ισοδύναμα προς το connector CN3 του ADC PCL-718, δηλαδή την ψηφιακή του έξοδο.

Η διαδικασία ελέγχου του συστήματος MUX-ADC που ακολουθεί, είναι εκείνη που προτείνεται από τον κατασκευαστή των μονάδων. Στα πλαίσια της παρούσης ΔΔ, όμως, διαπιστώθηκε ότι ο συγχρονισμός των μονάδων με την προτεινόμενη από τον κατασκευαστή διαδικασία είναι επισφαλής. Για το λόγο αυτό, όπως αναλυτικά θα επιχειρηματολογηθεί σε παράγραφο που ακολουθεί, προτείνεται νέα και ασφαλής διαδικασία ελέγχου, η οποία αποτελεί συμβολή της παρούσης ΔΔ.

Η προτεινόμενη από τον κατασκευαστή διαδικασία, υπό την προϋπόθεση ότι αμφότερες οι μονάδες είναι άεργες, είναι η ακόλουθη:

1. Καταχωρείται στον καταχωρητή BASE+3 το κανάλι του MUX το αναλογικό σήμα του οποίου θα προωθηθεί στον ADC (bits D3,D2,D1,D0), καθώς και η επιθυμητή ενίσχυση*, σύμφωνα και με τα όσα αναφέρονται στην § 2.2.2. Επισημαίνεται ότι η κωδικοποίηση των κερδών και των καναλιών του MUX, ως προς το περιεχόμενο του υπόψιν καταχωρητή, έχει δοθεί στην § 2.2.2. Τέλος, υπενθυμίζεται ότι στην περίπτωση του MUX του ΘΥΚ έχει γίνει μηχανική επιλογή του κέρδους των ενισχυτών. Το bit D7 δεν χρησιμοποιείται, για την ακρίβεια δεν "παραλαμβάνεται" καν από το

* αυτή η πληροφορία επηρεάζει τον MUX μόνον εάν έχει επιλεγεί λειτουργία με ορισμό της ενίσχυσης μέσω Software (bits D6,D5,D4).

συγκεκριμένο connector της μονάδας, το οποίο στην αντίστοιχη θέση δεν συνδεσμοποιείται με αγωγό της ηλεκτρονικής πλακέτας-φορέα της μονάδας PCLD-889.

2. Καταχωρείται στον καταχωρητή BASE+2 το κανάλι ενάρξεως και πέρατος της μετατροπής του εσωτερικού MUX του ADC.
3. Καταχωρείται μια οποιαδήποτε πληροφορία στον καταχωρητή BASE+8. Αυτό, σύμφωνα με τα αναφερόμενα στην § 2.4.1(9), έχει σαν αποτέλεσμα το μηδενισμό του bit D4, συνθήκη απαραίτητη για την παρακολούθηση της πορείας της αναλογοψηφιακής μετατροπής, που θα ακολουθήσει.
4. Γίνεται μια τυχαία καταχώρηση στον καταχωρητή BASE+0, ώστε να "σκανδαλιστεί" και να ξεκινήσει η μετατροπή.
5. Γίνεται συνεχής εναλλακτικός έλεγχος των bits D4 και D7 του καταχωρητή BASE+8, για να διαπιστωθεί εάν έχει ολοκληρωθεί η αναλογοψηφιακή μετατροπή. Αυτή η συνθήκη ικανοποιείται όταν $D4=1$ και $D7 \neq 1$, δηλαδή $D7=0$.
6. Σε περίπτωση που ο έλεγχος του εδαφίου 5 δείξει ότι έχει ολοκληρωθεί η μετατροπή, αποτίθεται το αποτέλεσμα εύρους 12 bits, στους καταχωρητές BASE+1 (bits D7 έως D0) και BASE+0 (bits D7 έως και D4), σύμφωνα με τα αναφερόμενα στην § 2.4.1(2).

2.5 Προγράμματα και Υπορουτίνες του Κατασκευαστή για τον Έλεγχο των Μονάδων - Διαπιστώσεις.

Ο κατασκευαστής των μονάδων της σειράς PCL, προσφέρει μαζί με τις μονάδες και μια σειρά προγραμμάτων τα οποία υποστηρίζουν τις μονάδες. Τα προγράμματα αυτά είναι γραμμένα σε γλώσσα προγραμματισμού BASICA και καλούν προσφερόμενες επίσης ρουτίνες σε γλώσσα προγραμματισμού ASSEMBLY που καλούνται μόνο από BASICA (BASICA callable). Στο χρήστη διατίθενται μεν τα source προγράμματα σε γλώσσα BASIC, ώστε να διαθέτει παραδείγματα εφαρμογών, αλλά όχι και οι υπορουτίνες, των οποίων δίδεται μόνο ο κώδικας σε object μορφή. Έτσι, η προγραμματιστική δομή δεν είναι διαθέσιμη για τον χρήστη, στην προκειμένη περίπτωση. Στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ δίδεται κατάλογος των προγραμμάτων αυτών με συγκεκριμένη αναφορά στη λειτουργία καθενός από αυτά. Λεπτομερής περιγραφή των προγραμμάτων αυτών δίδονται στις Διπλωματικές Εργασίες [18] και [19] -στην επίβλεψη της εκπόνησης των οποίων συμμετείχε ο γράφων- στα πλαίσια των οποίων δοκιμάσθηκε η λειτουργία τους.

Από την ενασχόλησή του με τα προγράμματα εφαρμογής του κατασκευαστή καθώς και τις καλούμενες από αυτά υπορουτίνες-τους, ο γράφων κατέληξε στις εξής διαπιστώσεις, εξαιτίας των οποίων η χρησιμοποίησή-τους για τη συλλογή δεδομένων από το ΘΥΚ κρίθηκε απαγορευτική:

- Οι υπορουτίνες σε γλώσσα ASSEMBLY δεν διατίθενται στον χρήστη σε source μορφή. Αυτό αποτελεί μειονέκτημα διότι δεν είναι δυνατό, αφενός μεν να ελεγχθούν για τυχόν λάθη, αφετέρου δε να προσαρμοσθούν σε άλλη επιθυμητή εξειδικευμένη εφαρμογή.
- Οι διατιθέμενες υπορουτίνες είναι "Basic Callable", δηλαδή εκμεταλλεύσιμες από μια γλώσσα, η οποία και αργή είναι και περιορισμένες δυνατότητες έχει για ανάπτυξη μεγάλων προγραμμάτων, όπως αυτό για τον έλεγχο του ΘΥΚ· είναι δε εντελώς ακατάλληλη για ανάπτυξη με βάση τις αρχές του δομημένου προγραμματισμού. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με το ότι δεν διέτιθεντο οι υπορουτίνες σε γλώσσα ASSEMBLY κατέστησε αναγκαία την εξ' ύπαρχής συγγραφή νέων υπορουτινών.
- Οι υπορουτίνες και τα υποπρογράμματα του κατασκευαστή αποδείχθηκαν πολύ αργά και πέρα από τα αναμενόμενα επίπεδα, με βάση τις ταχύτητες δειγματοληψίας του ADC. Σε αυτό συνέβαλε και η χρήση της γλώσσας GWBASIC, η οποία, μολονότι εύχρηστη και προσφερόμενη για απλές εφαρμογές, είναι εντούτοις αργή και αποτελεί λανθασμένη επιλογή στην περίπτωση ανάπτυξης κωδικών για μεγάλες και εξειδικευμένες εφαρμογές, όπως η αναπτυχθείσα στα πλαίσια της παρούσης ΔΔ. Όπως διαπιστώθηκε, οι απαγορευτικά μεγάλοι χρόνοι δειγματοληψίας μειώνονταν σημαντικά εάν από το πρόγραμμα αφαιρείτο η κλήση της συναρτήσεως *FUNCTIONO*, η οποία εκτελούνταν κάθε φορά πριν από κάθε αναλογοψηφιακή μετατροπή. Υπενθυμίζεται ότι η *FUNCTIONO* έχει -κατά τον κατασκευαστή- προορισμό τον καθορισμό της αρχικής καταστάσεως του ADC. Βέβαια με την αφαίρεση της *FUNCTIONO*, μειώθηκε σημαντικά ο χρόνος δειγματοληψίας, αλλά οι επόμενες της πρώτης μετατροπές έδιναν ημιτελές αποτέλεσμα. Από την εμπειρία που αποκτήθηκε διαπιστώθηκε ότι η *FUNCTIONO*, πέραν του ρόλου που της αποδίδει ο κατασκευαστής, εισάγει "τεχνητά" χρονική καθυστέρηση ώστε να ολοκληρώνεται εκ του ασφαλούς, αλλά χωρίς "έξυπνο έλεγχο"^{*}, κάθε αναλογοψηφιακή μετατροπή. Ο τρόπος αυτός επίλυσης του προβλήματος εκτός από λανθασμένος προγραμματιστικά, είναι και αναξιόπιστος, διότι εάν η χρονική καθυστέρηση λύει σχεδόν πάντοτε το

* Δηλαδή κάνοντας χρήση των ενδείξεων των καταχωρητών

πρόβλημα στην περίπτωση δοκιμής σε "αργό" Η/Υ (λ.χ. Η/Υ τύπου ΠΥΘΙΑ με ταχύτητα επεξεργαστή 12 MHz), τίποτε δεν εξασφαλίζει - το αντίθετο μάλιστα είναι το πιο πιθανό να συμβεί, όπως και συνέβη στη φάση των δοκιμών - ότι το πρόβλημα θα αντιμετωπίζεται εξίσου καλά στην περίπτωση δοκιμής σε "γρήγορο" Η/Υ (λ.χ. Η/Υ τύπου TURBO-X με ταχύτητα 40 MHz) στον οποίο η συγκεκριμένη καθυστέρηση δεν είναι ικανή να αντιμετωπίσει το πρόβλημα του ατελούς ελέγχου του χρονισμού του ADC.

- Ένα ακόμη σοβαρό πρόβλημα, που παρουσιάστηκε κατά τη δοκιμή των προγραμμάτων του κατασκευαστή, οφείλονταν στον ατελή έλεγχο του χρόνου ενημερώσεως του MUX σχετικά με το κανάλι μετατροπής και το κέρδος του ενισχυτή. Δηλαδή, φαίνεται ότι οι υπορουτίνες αποθέτουν στη ψηφιακή έξοδο τις σχετικές πληροφορίες προς τον MUX και προχωρούν στην αμέσως επόμενη εντολή χρήσης του MUX, χωρίς να ελέγξουν εάν είχε προηγουμένως ολοκληρωθεί από το firmware ο καθορισμός της αρχικής κατάστασης του MUX. Βεβαίως ένα ερώτημα, που τίθεται στο σημείο αυτό, είναι το πώς θα μπορούσαν να ενημερωθούν σχετικά με το MUX, αφού δεν διατίθεται κανένας καταχωρητής ελέγχου του MUX. Η απάντηση στο ερώτημα αυτό και η επίλυση του σχετικού προβλήματος, αποτελεί συμβολή της παρούσας ΔΔ, όπως θα καταφανεί στην παράγραφο που ακολουθεί.

2.6 Υπορουτίνες και Προγράμματα Ελέγχου των Μονάδων Μετατροπών που Συντάχθηκαν στα Πλαίσια της Παρούσης ΔΔ.

Εξαιτίας των προαναφερθέντων, στην § 2.5, προβλημάτων, αποφασίσθηκε η συγγραφή νέων υπορουτινών σε ASSEMBLY, σε αντικατάσταση των υπορουτινών της βιβλιοθήκης PCL718.BIN του κατασκευαστή, οι οποίες κρίθηκαν μη ικανοποιητικές για να χρησιμοποιηθούν στα προγράμματα του ΘΥΚ. Η συγγραφή των υπορουτινών αυτών σε μια πρώτη προσέγγιση έγινε στα πλαίσια των ΔΕ⁺ [18] και [19]. Όμως οι υπόψιν ρουτίνες υπέστησαν στη συνέχεια σημαντικές βελτιώσεις, στα πλαίσια της παρούσης ΔΔ, τόσο από πλευράς επικοινωνίας από το καλούν FORTRAN πρόγραμμα, όσο και από πλευράς λειτουργικής δοκιμής. Έτσι η τελική τους μορφή, όπως διαμορφώθηκε στα πλαίσια της παρούσης ΔΔ, ήταν ασύγκριτα ταχύτερη από ό,τι οι προηγούμενες προσεγγίσεις στα πλαίσια των πιο πάνω ΔΕ. Εξυπακούεται ότι επιπλέον συντάχθηκαν προγράμματα για τον έλεγχο των υπορουτινών σε γλώσσα

+ ΔΕ : Διπλωματική Εργασία.

FORTTRAN, καθώς και μεγαλύτερα προγράμματα εφαρμογής. Θα ήταν ίσως περιττό, στο σημείο αυτό, να τονισθεί η αναγκαιότητα προγραμματισμού σε γλώσσα ASSEMBLY συσκευών και μονάδων συνδεδεμένων με το bus του Η/Υ. Αυτό οφείλεται τόσο στη δυνατότητα ελέγχου συγκεκριμένων δυαδικών ψηφίων των καταχωρητών ελέγχου των μονάδων, όσο και στην αυξημένη ταχύτητα που ενγένηι παρέχει η γλώσσα αυτή. Στις παραγράφους που ακολουθούν, θα παρουσιασθούν οι υπορουτίνες σε γλώσσα ASSEMBLY καθώς και προγράμματα εφαρμογής κατά περίπτωση. Τέλος, ας προστεθεί ότι η συγκρότηση μεγάλων προγραμμάτων είναι δυνατό να επιτευχθεί μόνο με την εφαρμογή των αρχών του δομημένου προγραμματισμού. Αυτή η μεθοδολογία συγγραφής προγραμμάτων έχει ακολουθηθεί και στην περίπτωση των προγραμμάτων που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια της παρούσης ΔΔ.

Τα κείμενα όλων των αναφερομένων προγραμμάτων και ρουτινών παρατίθενται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ.

2.6.1 Μεθοδολογία Κλήσεως Υπορουτινών ASSEMBLY από Προγράμματα FORTRAN.

Ένα από τα λεπτά σημεία που απασχολούν ένα προγραμματιστή όταν εφαρμόζει τις αρχές του δομημένου προγραμματισμού, είναι η μεθοδολογία επικοινωνίας προγραμμάτων - υπορουτινών, ιδιαίτερα, όταν οι διάφορες προγραμματιστικές μονάδες συντάσσονται σε διαφορετικές γλώσσες προγραμματισμού. Τέτοια είναι και η περίπτωση της παρούσης εφαρμογής, όπου οι υπορουτίνες ελέγχου των μονάδων PC-LAB έχουν συνταχθεί σε γλώσσα ASSEMBLY ενώ τα προγράμματα που τις καλούν, καθώς και άλλες βοηθητικές υπορουτίνες είναι γραμμένα σε γλώσσα FORTRAN. Πριν προχωρήσουμε στη μεθοδολογία επικοινωνίας μεταξύ προγραμμάτων FORTRAN και υπορουτινών ASSEMBLY, θα αναφερθούμε σε συντομία στις βασικές αρχές του προσωπικού Η/Υ τύπου PC, που είναι κατασκευασμένος με βάση τη γνωστή σειρά επεξεργαστών 80x86 της εταιρείας *Intel*.

Κατά πρώτον θα πρέπει να περιγράψουμε τη συγκρότηση του επεξεργαστή 80386 της εταιρείας *Intel* με τον οποίο είναι εφοδιασμένος ο Η/Υ της εγκατάστασης. Όσα θα αναφερθούν για το συγκεκριμένο επεξεργαστή, καλύπτουν πλήρως και την περίπτωση του επεξεργαστού 80286 της ίδιας εταιρείας με τον οποίο ο 80386 είναι πλήρως συμβατός. Ο επεξεργαστής 80386 αποτελείται από δύο τμήματα (σχ. 2.12, [5]):

- Από την μονάδα εκτέλεσης εντολών (Execution Unit, EU) και
- Από τη μονάδα ελέγχου του Bus (Bus Interface Unit, BIU).

Οι δύο αυτές μονάδες επικοινωνούν μέσω του εσωτερικού Bus του επεξεργαστή το οποίο έχει ικανότητα (δύναται να μεταφέρει ταυτόχρονα) 16 bits. Η EU είναι η μονάδα στην οποία γίνονται οι πράξεις και αποτελεί την καρδιά του Επεξεργαστή. Αποτελείται από τις διατάξεις οι οποίες ελέγχουν τη δυαδική αριθμητική του επεξεργαστή (Arithmetic-Logical Unit - ALU, EU-Control-Logic, κ.λ.π.), και από καταχωρητές οι οποίοι παίζουν πρωτεύοντα ρόλο σε όλη τη διαδικασία προγραμματισμού του Η/Υ. Η BIU είναι η μονάδα η οποία ελέγχει την επικοινωνία του Επεξεργαστή με το εξωτερικό Bus του Η/Υ το οποίο έχει ικανότητα 8 bits, και μέσω αυτού με τις υπόλοιπες μονάδες του Η/Υ.

Υπενθυμίζεται ότι μέσω του εξωτερικού bus ή απλά bus, επικοινωνούν μεταξύ τους όλες οι μονάδες οι οποίες συγκροτούν τον υπόψιν υπολογιστή καθώς και η Μνήμη. Βεβαίως, ο συντονισμός των μονάδων Εισόδου/Εξόδου στην περίπτωση του Η/Υ τύπου PC, γίνεται με ευθύνη του Συστήματος Εισόδου/Εξόδου (I/O Subsystem) το οποίο ρυθμίζει τον τρόπο με τον οποίο λειτουργούν οι Πόρτες (Ports) Εισόδου/Εξόδου. Το εν λόγω σύστημα λειτουργεί σε ανεξάρτητο χρονισμό από τον Επεξεργαστή και βρίσκεται υπό τον έλεγχο του ειδικού προγράμματος-*firmware* γραμμένου σε *μνήμη-μόνον-ανάγνωσης* (read-only-memory) που διαθέτει το PC και ονομάζεται **Basic Input Output System (BIOS)**.

Η διαδικασία κλήσεως μιας υπορουτίνας από μια καλούσα ρουτίνα, πρόγραμμα ή άλλη υπορουτίνα, εξυπηρετείται στην περίπτωση των Η/Υ τύπου PC από την ευκολία που παρέχει ο Stack Segment ή απλά Stack. Ο Stack Segment είναι μια περιοχή της μνήμης η οποία χρησιμοποιείται αποκλειστικά από το Λειτουργικό Σύστημα (Λ/Σ) και χρησιμεύει σαν πρόχειρο σημειωματάριο. Ο Stack (θυμωσιά) γεμίζει με τρόπο αντίστροφο με τον τρόπο που θα γέμιζε μια στοίβα από νομίσματα πάνω σ' ένα τραπέζι. Το νόμισμα που τοποθετήθηκε τελευταίο, θεωρείται πάντοτε ότι έχει τη σχετική θέση 1. Το νόμισμα που τοποθετήθηκε 6 θέσεις προηγούμενα από την πλέον πρόσφατη τοποθέτηση, θεωρείται ότι έχει σχετική θέση 6. Εάν η διεύθυνση του Stack χαρακτηρίζεται από τη συμβολική ονομασία **bp**, αναφερόμεθα στο στοιχείο του Stack με τη σχετική θέση **x** με το άθροισμα **bp+x**. Δηλαδή, η σχετική θέση είναι η θέση του στοιχείου ως προς τη θέση της κορυφής του Stack. Στην περίπτωση κλήσεως υπορουτινών, ο Stack χρησιμοποιείται, με τη μεθοδολογία που θα αναφέρομε σε λίγο, για την αποθήκευση της διεύθυνσεως της εντολής της καλούσης ρουτίνας όπου έγινε η κλήση της υπορουτίνας, καθώς και των περιεχομένων των τυπικών ή και των πραγματικών παραμέτρων της υπορουτίνας. Η επικοινωνία μιας ρουτίνας σε ASSEMBLY με το καλούν πρόγραμμα, είναι δυνατό να γίνει με τρεις τρόπους ([9], [10], [11], [12], [13], [14]):

A. Κλήση μέσω Παραμέτρων Εισόδου/Εξόδου :

call subname(var1,var2,var3...)

όπου:

subname το όνομα της ASSEMBLY ρουτίνας,

var1, var2, var3... τα ονόματα των μεταβλητών μέσω των οποίων διεξάγεται η επικοινωνία.

Εάν υποθέσουμε ότι ο ορισμός των μεταβλητών στο FORTRAN πρόγραμμα είναι **Integer*2** (1 λέξη = 16 bits), τότε η μορφή του Stack είναι η ακόλουθη ([5], [6], [17]):

base var1	(High byte)
base var1	(Low byte)
offset var1	(High byte)
offset var1	(Low byte)
base var2	(High byte)
base var2	(Low byte)
offset var2	(High byte)
offset var2	(Low byte)
base var3	(High byte)
base var3	(Low byte)
offset var3	(High byte)
offset var3	(Low byte)
return address	(High byte)
return address	(Low byte)<-- Stack Pointer

όπου:

return address : είναι η διεύθυνση μνήμης στην οποία οφείλει να επιστρέψει ο έλεγχος μετά την εκτέλεση της υπορουτίνας,

base varm (m=1,2,3,...) : είναι η βασική διεύθυνση στη μνήμη της μεταβλητής *varm* και

offset varm (m=1,2,3,...) : είναι η σχετική θέση ως προς τη βασική διεύθυνση της μεταβλητής *varm*.

B. Κλήση μέσω Πίνακος :

call subname(array)

όπου:

subname : το όνομα της ASSEMBLY ρουτίνας,

array : το όνομα του πίνακα μέσω του οποίου διεξάγεται η επικοινωνία. Στην προκειμένη περίπτωση το array(1) φέρει την τιμή που έφερε πριν το var1, το array(2) την τιμή του var2 κ.ο.κ.

Εάν θεωρήσουμε ότι ο ορισμός του πίνακα στο FORTRAN πρόγραμμα είναι **Integer*2** (1 λέξη = 16 bits), τότε η μορφή του Stack είναι η ακόλουθη:

```
base array(1) (High byte)
base array(1) (Low byte)
offset array(1)(High byte)
offset array(1)(Low byte)
return address (High byte)
return address (Low byte)<-- Stack Pointer
```

Υπενθυμίζεται ότι οι τιμές του πίνακα αποθηκεύονται στον Data Segment υπό την εξής δομή:

```
array(4) (High byte)<-- bx+6
array(4) (Low byte)
array(3) (High byte)<-- bx+4
array(3) (Low byte)
array(2) (High byte)<-- bx+2
array(2) (Low byte)
array(1) (High byte)<-- bx
array(1) (Low byte)
```

όπου:

return address, είναι η διεύθυνση μνήμης στην οποία οφείλει να επιστρέψει ο έλεγχος μετά την εκτέλεση της υπορουτίνας,

base, είναι η βασική διεύθυνση στη μνήμη της περιοχής στην οποία είναι αποθηκευμένος ο πίνακας (array(1)) και

offset είναι η σχετική θέση ως προς τη βασική διεύθυνση, στην οποία είναι αποθηκευμένος ο πίνακας (array(1)).

Γ.Κλήση μέσω πίνακος και παραμέτρων Εισόδου/Εξόδου :

```
call subname(var1,array,var2,var3)
```

όπου η μορφή του Stack Segment είναι η εξής:

```
base var1      (High byte)<-- bp+18
base var1      (Low  byte)
offset var1    (High byte)
offset var1    (Low  byte)
base array     (High byte)<-- bp+14
base array     (Low  byte)
offset array   (High byte)
offset array   (Low  byte)
base var2      (High byte)<-- bp+10
base var2      (Low  byte)
offset var2    (High byte)
offset var2    (Low  byte)
base var3      (High byte)<-- bp+6
base var3      (Low  byte)
offset var3    (High byte)
offset var3    (Low  byte)
return address (High byte)
return address (Low  byte)<-- Stack Pointer
```

Από τα προαναφερθέντα συνάγεται ότι η επικοινωνία των ρουτινών σε ASSEMBLY με το καλούν πρόγραμμα σε FORTRAN συνιστάται να γίνεται μέσω πίνακος, διότι με τον τρόπο αυτό μειώνεται σημαντικά η χρονική καθυστέρηση που εισάγεται με τη διαρκή ενημέρωση του Stack Segment. Επιπλέον, ο δεσμευμένος στη μνήμη μεταβλητός χώρος για τη χρήση του Stack περιορίζεται σημαντικά, ενώ ταυτόχρονα η κλήση της ρουτίνας από το καλούν πρόγραμμα γίνεται αισθητά απλούστερη. Στη σύνταξη των ρουτινών σε ASSEMBLY που έχουν χρησιμοποιηθεί στη συγκρότηση του ΘΥΚ και οι οποίες θα περιγραφούν τόσο στο παρόν Κεφάλαιο όσο και στα επόμενα, ακολουθείται σχολαστικά αυτός ο τρόπος.

2.6.2 Υπορουτίνες Ελέγχου σε Γλώσσα ASSEMBLY.

Οι λόγοι για τους οποίους απαιτήθηκε η σύνταξη ανεξάρτητων υπορουτινών σε ASSEMBLY αναλύθηκαν διεξοδικά πιο πάνω. Εγινε κάθε δυνατή προσπάθεια, ώστε οι

υπορουτίνες αυτές να εκμεταλλεύονται όλες τις δυνατότητες των καταχωρητών ελέγχου, με αποτέλεσμα να λειτουργούν αξιόπιστα ανεξαρτήτως χρονισμού.

2.6.2.1 Υπορουτίνα Ελέγχου της Μονάδας Αναλογοψηφιακού Μετατροπέα PCL-718: TOADC.

Η πρώτη προσπάθεια σύνταξης υπορουτίνας για τον έλεγχο της Μονάδας Αναλογοψηφιακού Μετατροπέα PCL-718, έγινε στα πλαίσια των ΔΕ [18] και [19], στην επίβλεψη των οποίων συμμετείχε ο γράφων. Η πρώτη αυτή έκδοση της υπορουτίνας ελέγχου του ADC :

- αφενός μεν απαιτούσε ενεργοποίηση εμπειρικά καθοριζόμενης χρονικής καθυστέρησης, μεταξύ καθορισμού αρχικών συνθηκών λειτουργίας (initialization) και ενεργοποίησης μιας αναλογοψηφιακής μετατροπής (triggering), για να λειτουργήσει σωστά η αναλογοψηφιακή μετατροπή, όπως συνέβαινε και με τις υπορουτίνες της βιβλιοθήκης PCL718.BIN,
- αφετέρου δε επικοινωνούσε με το καλούν πρόγραμμα FORTRAN με απλές μεταβλητές και όχι με πίνακες, έχοντας ως συνέπεια μείωση της ταχύτητας λειτουργίας. Με την παρούσα έκδοση η οποία θα παρουσιασθεί στη συνέχεια αίρονται τα πιο πάνω μειονεκτήματα.

1. Κλήση της υπορουτίνας

Η κλήση της υπορουτίνας από πρόγραμμα FORTRAN γίνεται ως εξής:

call toadc(array)

όπου *array* πίνακας με δύο στοιχεία τύπου Integer*2 :

array(1) : κανάλι του εσωτερικού MUX από το οποίο ζητείται μετατροπή (0-7)

array(2) : αποτέλεσμα της μετατροπής (0-4095)

Ενδείξεις σφάλματος κατά τη μετατροπή:

array(2)=-1 : Σφάλμα κατά τη μετατροπή

2. Περιγραφή των κυριότερων λειτουργιών της υπορουτίνας *

Initialization και δήλωση Μεταβλητών:

```
        page    60,132
name    toadc
data    segment 'data'
copy    db      ?
ada1    dw      ?
data    ends
dgroup  group   data
code    segment 'code'
        assume  cs:code,ds:dgroup,ss:dgroup
public  toadc
toadc   proc    far
```

Αποθήκευση στο Stack του σημείου εκκινήσεως της ρουτίνας, ώστε να είναι δυνατό να επανέλθει ο έλεγχος στο καλούν πρόγραμμα μετά την ολοκλήρωση της εκτέλεσης της ρουτίνας:

```
        push    bp
        mov     bp,sp
```

Πέρασμα στην υπορουτίνα της τιμής του πρώτου στοιχείου του πίνακα εισόδου/εξόδου, το οποίο περιέχει τον αύξοντα αριθμό του καναλιού του ADC από το οποίο πρόκειται να γίνει η δειγματοληψία:

```
        les     bx,dword ptr [bp+6]
        mov     al,es:[bx]
        mov     copy,al
```

Δημιουργία της πληροφορίας κανάλι έναρξης/κανάλι πέρατος της σάρωσης (εν προκειμένω είναι τα ίδια) και καταχώρησή της στον καταχωρητή BASE+2:

```
        mov     cl,04h
        shl     al,cl
        add     al,copy
        mov     dx,0302h
        out     dx,al
```

Το τμήμα που ακολουθεί, είναι από τα πλέον σημαντικά της υπόψιν υπορουτίνας.

* Όλες οι λίστες των υπορουτινών και των προγραμμάτων παρέχονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ.

Αυτό, διότι αντιμετωπίζει επιτυχώς το πρόβλημα χρονισμού της υπορουτίνας, που όπως ήδη επισημάνθηκε διεξοδικά, παρουσιάζεται τόσο στις υπορουτίνες του κατασκευαστή, όσο και στις υπορουτίνες που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια των ΔΕ [18] και [19]. Υπενθυμίζουμε ότι στις περιπτώσεις αυτές το πρόβλημα αντιμετωπίστηκε με την εισαγωγή εμπειρικά καθοριζόμενου χρόνου καθυστέρησης μεταξύ καθορισμού αρχικών συνθηκών και ενεργοποίησης αναλογοψηφιακής μετατροπής. Πιστεύεται ότι η αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού κατά τεχνοκρατικά σωστό τρόπο, αποτελεί μια από τις κύριες συμβολές της παρούσης ΔΔ.

Πριν όμως προχωρήσουμε, ας δούμε λίγο πιο αναλυτικά σε ποιές από τις ιδιομορφίες της αρχιτεκτονικής των Η/Υ τύπου PC οφείλεται αυτό το πρόβλημα. Συχνά, μέσα σ' ένα πρόγραμμα, ο Η/Υ τύπου PC εντέλλεται να εκτελέσει μια εντολή εισόδου ή εξόδου μέσω μιας πόρτας-του σε μια περιφερειακή συσκευή. Στις περιπτώσεις αυτές, ουσιαστικά ζητείται η μεταφορά του περιεχομένου μιας θέσεως μνήμης, μέσω του bus προς τον καταχωρητή δεδομένων της περιφερειακής μονάδας προκειμένου να προωθηθεί προς τη συσκευή. Στις περιπτώσεις παλαιότερων λειτουργικών συστημάτων πραγματικού χρόνου (RT-11, RSX-11M, RSX-11S) το λειτουργικό σύστημα επέτρεπε στο χρήστη να συγχρονίζεται με τον Η/Υ και να παρακολουθεί όλη τη λειτουργία μέχρις ολοκλήρωσής της μέσω του προγράμματός του. Στην περίπτωση της αρχιτεκτονικής PC/DOS τα πράγματα δεν είναι ακριβώς έτσι: ο χρήστης δίδει τη σχετική εντολή εισόδου/εξόδου και τη διακίνηση της πληροφορίας μέσω του Bus Interface Unit (BIU) αναλαμβάνει αποκλειστικά το υποσύστημα Εισόδου/Εξόδου (Input/Output Subsystem), το οποίο λειτουργεί με δικό-του αυτόνομο χρονισμό ([5], [8]) υπό την καθοδήγηση του προγράμματος BIOS (Basic Input Output System). Αυτό έχει ως συνέπεια το πρόγραμμα να συνεχίζει την εκτέλεση των επόμενων εντολών ενώ παράλληλα το BIOS προωθεί την πληροφορία στην υπόψιν πόρτα.

Εάν αυτό συμβεί στην περίπτωση μιας συμβατικής μη πραγματικού χρόνου συσκευής, όπως π.χ. ένας εκτυπωτής ή ένας σχεδιογράφος (plotter) αυτό δεν έχει καμία σημασία και συνέπεια. Ας δούμε όμως, τι μπορεί να συμβεί στην περίπτωση που η ελεγχόμενη συσκευή λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο, όπως συμβαίνει με τον ADC: δίδεται από το πρόγραμμα και προωθείται δια του bus η εντολή καθορισμού των αρχικών συνθηκών με ευθύνη και χρονισμό του BIOS ενώ αμέσως μετά, δίδεται η εντολή ενεργοποίησης μιας αναλογοψηφιακής μετατροπής. Εάν το πολύ μικρό χρονικό διάστημα μεταξύ των δύο εντολών του προγράμματος είναι μικρότερο από το χρόνο που απαιτείται για τη διακίνηση της πληροφορίας με ευθύνη του BIOS και την εν συνεχεία ενεργοποίηση του firmware της μονάδας που καθορίζει τελικά

τις αρχικές συνθήκες, τότε είναι δεδομένο ότι η εντολή της αναλογοψηφιακής μετατροπής μπορεί να φθάσει πριν καθορισθούν οι συνθήκες στη μονάδα, με απρόβλεπτες συνέπειες. Το τμήμα του προγράμματος που ακολουθεί, έχει ως στόχο τον έλεγχο της ολοκλήρωσης μιας εντολής προς το BIOS πριν εκτελεσθεί επόμενη εντολή του προγράμματος. Δηλαδή το τμήμα αυτό του προγράμματος καθώς και μερικά ακόμη που θα περιγραφούν στη συνέχεια, συμβάλλουν στο να μετατραπεί το Λ/Σ DOS του Η/Υ τύπου PC από **Σύστημα Μη Πραγματικού Χρόνου** που είναι, σε **Σύστημα Πραγματικού Χρόνου**, στο οποίο ο χρήστης είναι δυνατό να ελέγχει πλήρως τη ροή των πληροφοριών.

Το πιο πάνω πρόβλημα αντιμετωπίστηκε ως εξής :

Γίνεται ανάγνωση του CSR BASE+8 προκειμένου να διαπιστωθεί εάν το κανάλι που έχει αποτεθεί (D3-D2-D1-D0) συμφωνεί με εκείνο που καταχωρήθηκε προηγουμένως στον BASE+2. Εάν η τιμή συμπίπτει, η εκτέλεση της ρουτίνας συνεχίζεται. Εάν όχι, τότε ο έλεγχος μεταφέρεται στη θέση της ρουτίνας με δείκτη "error".

```
mov    dx,0308h
in     al,dx
and    al,00001111b
cmp    al,copy
jnz    error
```

Πέραν του προφανούς ελέγχου, η πιο πάνω εντολή

```
in al,dx
```

η οποία αναλαμβάνει να εκτελεσθεί από το BIOS, μας εξασφαλίζει από το εξής:

*το BIOS αναλαμβάνει πλέον την ευθύνη του σωστού χρονισμού της προηγούμενης εντολής **out** που του έχει ανατεθεί να εκτελέσει και της τρέχουσας **in**.*

Δηλαδή είναι βέβαιο, χωρίς να χρειάζεται να εισαχθεί καμία χρονική καθυστέρηση ότι θα εξελιχθεί ομαλά η ροή του προγράμματος εφόσον από το Bus ζητάμε να εκτελέσει δύο διαδοχικές κατοπτρικές και ως προς τον ADC λειτουργίες, μια **out** και μια **in**.

Μηδενίζεται το bit D4 του CSR BASE+8 σύμφωνα με τα αναγραφόμενα στην § 2.4.1(9):

idle:

```
mov    dx,0308h
```

```
mov    al,00h
out    dx,al
```

Διαβάζεται ο CSR BASE+8 και ελέγχεται εάν η προπάνω καταχώρηση ολοκληρώθηκε. Εάν ναι, η εκτέλεση του προγράμματος συνεχίζεται. Εάν όχι, επαναλαμβάνεται το προηγούμενο βήμα:

```
in     al,dx
test   al,80h
jnz    idle
```

Τυχαία καταχώρηση στον καταχωρητή BASE+0 ώστε να σκανδαλιστεί και να ξεκινήσει η μετατροπή:

```
mov    dx,0300h
mov    al,00h
out    dx,al
```

Ανάγνωση του CSR BASE+8 και έλεγχος για 1 του bit D4 ώστε να διαπιστωθεί εάν έχει ολοκληρωθεί η μετατροπή. Εάν ναι, συνεχίζεται η ροή του προγράμματος. Εάν όχι, επαναλαμβάνεται ο έλεγχος:

wait:

```
mov    dx,0308h
in     al,dx
test   al,10h
jz     wait
```

Εφόσον διαπιστώθηκε προηγουμένως η ολοκλήρωση της μετατροπής, στο σημείο αυτό, ελέγχεται εάν η μετατροπή έγινε σωστά με το D7 του CSR BASE+8. Εάν ναι (D7=0), συνεχίζεται η ροή του προγράμματος. Εάν όχι, ο έλεγχος μεταφέρεται στη θέση με ένδειξη "error":

```
test   al,80h
jnz    error
```

Διαβάζονται από τον καταχωρητή BASE+0 τα τέσσερα LSB της ψηφιακής πληροφορίας:

```
mov    dx,0300h
in     al,dx
mov    cl,04
shr    al,cl
cbw
```

```
mov    adal,ax
```

Διαβάζονται από τον καταχωρητή BASE+1 τα οκτώ MSB της ψηφιακής πληροφορίας:

```
mov    dx,0301h
in     al,dx
mov    ah,00h
mov    cl,04
shl   ax,cl
```

Σχηματίζεται η 12-bit πληροφορία και αποθηκεύεται στο δεύτερο στοιχείο του πίνακα επικοινωνίας:

```
add    ax,adal
mov    es:[bx+2],ax
```

Ο Stack ανακτά τη δομή που είχε πριν την κλήση της ρουτίνας:

```
mov    sp,bp
pop    bp
```

Ο έλεγχος επιστρέφει στο καλούν πρόγραμμα:

```
ret    4
```

Στην περίπτωση ανεπιτυχούς μετατροπής, επιστρέφει η τιμή -1 αντί της αναμενόμενης θετικής τιμής:

error:

```
mov    ax,-1
mov    es:[bx+2],ax
mov    sp,bp
pop    bp
ret    4
```

Εντολές περατώσεως εκτελέσεως:

```
toadc  endp
code   ends
end
```

2.6.2.2 Υπορουτίνα Ελέγχου του Συστήματος Μονάδων Ενισχυτή-Πολυπλέκτη PCLD-889 και Αναλογοψηφιακού Μετατροπέα PCL-718: TOMUX.

Όπως προαναφέρθηκε και στην περίπτωση της ρουτίνας TOADC που εξετάσαμε προηγουμένως, η πρώτη προσπάθεια σύνταξης της υπορουτίνας TOMUX, έγινε στα πλαίσια της ΔΕ [19]. Η πρώτη αυτή προσέγγιση παρουσίασε προβλήματα αντίστοιχα με αυτά που έχουμε προαναφέρει για την TOADC, δηλαδή:

- επικοινωνούσε με το καλούν πρόγραμμα με απλές μεταβλητές και όχι με πίνακα έχοντας ως συνέπεια μείωση της ταχύτητας λειτουργίας,
- για να λειτουργήσει σωστά απαιτούσε επιβολή αυθαίρετα καθοριζόμενης καθυστέρησης μεταξύ καθορισμού αρχικών συνθηκών 'λειτουργίας (initialization) και ενεργοποίησης μιας αναλογοψηφιακής μετατροπής (triggering).

Η ρουτίνα αυτή χρησιμοποιείται για αναλογοψηφιακές μετατροπές όταν το σήμα προέρχεται από εξωτερικό MUX συνδεδεμένο στον ADC τύπου PCLD-889. Εξυπακούεται ότι στην περίπτωση που ένας ADC αναλαμβάνει να εκτελέσει αναλογοψηφιακές μετατροπές τόσο από σήματα τροφοδοτούμενα στον εσωτερικό MUX όσο και από σήματα στον εξωτερικό MUX, τότε χρησιμοποιούνται αντίστοιχα οι υπορουτίνες TOADC και TOMUX.

Για το λόγο αυτό, οδηγήθηκαμε στην εξής βελτιωμένη μορφή.

1. Κλήση της υπορουτίνας

Η κλήση της υπορουτίνας από προγράμματα FORTRAN γίνεται ως εξής:

call tomux (array)

όπου:

array πίνακας με τέσσερα στοιχεία τύπου Integer*2

με

array(1) : κανάλι του εξωτερικού MUX από το οποίο ζητείται μετατροπή (0-15).

array(2) : κανάλι του εσωτερικού MUX στο οποίο "πλέκονται" τα κανάλια του εξωτερικού MUX.

array(3) : αποτέλεσμα της μετατροπής (0 - 4095).

array(4) : αριθμός εκτελεσθεισών επαναλήψεων.

Ενδείξεις σφάλματος κατά τη μετατροπή:

array(3)=-1 : Σφάλμα κατά τη μετατροπή.

array(3)=-2 : Μη ολοκλήρωση εντός προκαθορισθέντος χρόνου.

2. Περιγραφή των κυριότερων λειτουργιών της υπορουτίνας

Initialization και δήλωση Μεταβλητών:

```
                page    60,132
name    tomux
data    segment 'data'
copy    db    ?
cop1    db    ?
mux     db    ?
adal    dw    ?
crit    dw    ?
epan    dw    ?
data    ends
dgroup  group  data
code    segment 'code'
        assume cs:code,ds:dgroup,ss:dgroup
public  tomux
tomux   proc   far
```

Αποθήκευση στο Stack του σημείου εκκινήσεως της ρουτίνας, ώστε να είναι δυνατό να επανέλθει ο έλεγχος στο καλούν πρόγραμμα μετά την ολοκλήρωση της εκτέλεσης της ρουτίνας:

```
        push    bp
        mov     bp,sp
```

Πέρασμα στην υπορουτίνα της τιμής του πρώτου στοιχείου του πίνακα εισόδου/εξόδου, το οποίο περιέχει τον αύξοντα αριθμό του καναλιού του MUX από το οποίο πρόκειται να γίνει η δειγματοληψία:

```
        mov     al,00h
        les     bx,dword ptr [bp+6]
        mov     al,es:[bx]
```

Δημιουργία της πληροφορίας ενίσχυση/κανάλι του εξωτερικού MUX και καταχώρηση

στον καταχωρητή BASE+3:

```
mov    mux,a1
mov    a1,00h
mov    c1,04h
shl   a1,c1
add   a1,mux
mov    dx,0303h
out   dx,a1
```

Δημιουργία της πληροφορίας κανάλι έναρξης/κανάλι πέρατος της σάρωσης με τον εσωτερικό MUX (εν προκειμένω είναι τα ίδια) και καταχώρησή της στον καταχωρητή BASE+2:

```
mov    epan,00h
mov    crit,0ffch
```

loopad:

```
mov    a1,es:[bx+2]
mov    copy,a1
mov    c1,04h
shl   a1,c1
add   a1,copy
mov    dx,0302h
out   dx,a1
```

Ανάγνωση του CSR BASE+8 προκειμένου να διαπιστωθεί εάν το κανάλι του εσωτερικού MUX που έχει αποτεθεί (D3-D2-D1-D0), συμφωνεί με εκείνο που καταχωρήθηκε προηγουμένως στον BASE+2. Εάν η τιμή συμπίπτει με την προηγούμενη, η εκτέλεση της ρουτίνας συνεχίζεται. Εάν όχι, τότε ο έλεγχος μεταφέρεται στη θέση της ρουτίνας με δείκτη "error". Σχετικά με τη σκοπιμότητα και τη σπουδαιότητα της πιοκάτω εντολής **in** έχει γίνει εκτενής ανάλυση στην πιο πάνω υπορουτίνα TOADC.

```
mov    dx,0308h
in     a1,dx
and    a1,00001111b
cmp    a1,copy
jnz   error
```

Μηδενίζεται το bit D4 του CSR BASE+8 σύμφωνα με τα αναφερόμενα στην §2.4.1(9):

idle:

```
mov    dx,0308h
mov    al,00h
out    dx,al
```

Διαβάζεται ο CSR BASE+8 και ελέγχεται εάν η πιο πάνω καταχώρηση ολοκληρώθηκε. Εάν ναι, η εκτέλεση του προγράμματος συνεχίζεται. Εάν όχι, επαναλαμβάνεται το προηγούμενο βήμα:

```
in     al,dx
test   al,80h
jnz    idle
```

Τυχαία καταχώρηση στον καταχωρητή BASE+0 ώστε να σκανδαλιστεί και να ξεκινήσει η μετατροπή:

```
mov    dx,0300h
mov    al,00h
out    dx,al
```

Ανάγνωση του CSR BASE+8 και έλεγχος για 1 του bit D4 ώστε να διαπιστωθεί εάν έχει ολοκληρωθεί η μετατροπή. Εάν ναι, συνεχίζεται η ροή του προγράμματος. Εάν όχι, επαναλαμβάνεται ο έλεγχος:

wait:

```
mov    dx,0308h
in     al,dx
mov    cpl,al
and    al,00010000b
cmp    al,10h
jnz    wait
```

Εάν για κάποιο λόγο ο CSR BASE+8 έχει τιμή 0 σε όλα, άρα και στα τέσσερα LSB, σημαίνει ότι υπάρχει πρόβλημα και ο έλεγχος μεταφέρεται στη θέση "error":

```
mov    al,cpl
and    al,10000000b
cmp    al,80h
jz     error
```

Διαβάζονται από τον καταχωρητή BASE+0 τα τέσσερα LSB της ψηφιακής πληροφορίας:

```
mov    dx,0300h
```

```

in    al,dx
mov   cl,04
shr   al,cl
cbw
mov   adal,ax

```

Διαβάζονται από τον καταχωρητή BASE+1 τα οκτώ MSB της ψηφιακής πληροφορίας:

```

mov   dx,0301h
in    al,dx
mov   ah,00h
mov   cl,04
shl   ax,cl

```

Σχηματίζεται η 12-bit πληροφορία και αποτίθεται στο τρίτο στοιχείο του πίνακα επικοινωνίας:

```

add   ax,adal

```

Στο σημείο αυτό, η ροή θα έπρεπε λογικά να επανέλθει στο καλούν πρόγραμμα. Όμως, όπως έχουμε προαναφέρει, ο MUX δεν διαθέτει κανένα καταχωρητή ελέγχου. Έτσι, αφού καθορίσαμε την αρχική συνθήκη των MUX, ευθύς αμέσως σκανδαλίσαμε τον ADC. Σκανδαλίζουμε τον ADC εν γνώσει μας ότι, ενδεχομένως, δεν έχει ολοκληρωθεί ο καθορισμός των αρχικών συνθηκών στο MUX, και ότι ταυτόχρονα δεν έχει ολοκληρωθεί η διαβίβαση του αναλογικού σήματος δια του MUX προς το κανάλι του ADC. Άρα υποπτευόμεθα ότι αυτό το οποίο έχουμε μπροστά μας, στο τρίτο στοιχείο του πίνακα επικοινωνίας, ως αποτέλεσμα της αναλογοψηφιακής μετατροπής δεν είναι η σωστή πληροφορία· ο μόνος τρόπος για να σιγουρευτούμε είναι να αρχίσουμε μια επαναληπτική διαδικασία μετατροπών με οροφή το εμπειρικά καθορισθέν πλήθος των 48 (30 -στο δεκαεξαδικό σύστημα) επαναλήψεων, η σύγκλιση της οποίας στο ένα bit, μας οδηγεί με ακρίβεια στο τελικό αποτέλεσμα. Εξυπακούεται ότι η μη σύγκλιση μας οδηγεί σε ρουτίνα σφάλματος. Η πρώτη μετατροπή δεν γίνεται εξ ορισμού δεκτή και οδηγεί πάντοτε σε επανάληψη. Εάν το κριτήριο της σύγκλισης ικανοποιηθεί, η ροή επανέρχεται στη θέση "type"· εάν όχι, μεταφέρεται στη θέση "sos" για να ελεγχθεί εάν έχει γίνει υπέρβαση του ορίου επαναλήψεων.

```

mov   dx,crit
sub   dx,01h
cmp   dx,ax
jg    sos

```

```

add    dx,02h
cmp    dx,ax
jge    type

```

Εάν έχει γίνει υπέρβαση του ορίου επαναλήψεων το οποίο έχει προκαθορισθεί στην τιμή 30 δεκαεξαδικό (48 δεκαδικό), ο έλεγχος μεταφέρεται στη θέση "err". Διαφορετικά, αυξάνεται ο μετρητής των επαναλήψεων κατά 1 και ο έλεγχος επιστρέφει στη θέση "loopad":

```

sos:   mov    crit,ax
       mov    dx,egan
       cmp    dx,30h
       jge    err
       add    dx,01h
       mov    egan,dx
       jmp    loopad

```

Εάν έχουμε φθάσει στο στάδιο αυτό, σημαίνει ότι όλα έχουν δουλέψει σωστά και στο σημείο αυτό γίνεται έξοδος του αποτελέσματος της μετατροπής καθώς και του πλήθους των επαναλήψεων:

```

type:  mov    es:[bx+4],ax
       mov    dx,egan
       mov    es:[bx+6],dx

```

Ο Stack pointer επανέρχεται στην τιμή που είχε προ της κλήσεως της ρουτίνας και η ρουτίνα επιστρέφει τον έλεγχο στο καλούν πρόγραμμα:

```

mov    sp,bp
pop    bp
ret    4

```

Εάν υπάρξει κάποιο πρόβλημα άλλο από την εξάντληση των επαναλήψεων, τότε ο έλεγχος μεταφέρεται εδώ, δίδεται στο στοιχείο εξόδου του πίνακα η τιμή -1 και ο έλεγχος επιστρέφει στο καλούν πρόγραμμα:

```

error:
mov    ax,-1
mov    es:[bx+4],ax
mov    sp,bp
pop    bp
ret    4

```

Στη θέση αυτή μεταφέρεται ο έλεγχος εάν οι διατιθέμενες επαναλήψεις έχουν εξαντληθεί και δεν έχει υπάρξει σύγκλιση:

err:

```
mov    ax,-2
mov    es:[bx+4],ax
mov    sp,bp
pop    bp
ret    4
```

Εντολές περατώσεως εκτελέσεως:

```
tomux  endp
code   ends
end
```

2.6.2.3 Υπορουτίνα Ελέγχου της Μονάδας Ψηφιακής Εισόδου της PCL-718: DIGIT.

Για να παρακολουθείται η κατάσταση λειτουργίας δισταθών συσκευών του ΘΥΚ, συντάχθηκε η ρουτίνα DIGIT, η οποία παρακολουθεί και διαβάζει την ψηφιακή είσοδο της μονάδας PCL-718.

1. Κλήση της υπορουτίνας

Η κλήση της υπορουτίνας από προγράμματα FORTRAN γίνεται ως εξής:

```
call digit (array)
```

όπου:

array πίνακας με 16 στοιχεία τύπου Integer*2

με

array(i) : Δισταθής Πληροφορία του i-οστού bit από τα 16 συνολικά, τα οποία συγκροτούν την ψηφιακή πληροφορία της ψηφιακής εισόδου.

2. Περιγραφή των κυριότερων λειτουργιών της υπορουτίνας

Initialization και δήλωση Μεταβλητών:

```
page    60,132
name    digit
data    segment 'data'
```

```

copy    db    ?
ada1    dw    ?
data    ends
dgroup  group data
code    segment 'code'
        assume cs:code,ds:dgroup,ss:dgroup
public  digit
digit   proc   far

```

Αποθήκευση στο Stack του σημείου εκκινήσεως της ρουτίνας, ώστε να είναι δυνατό να επανέλθει ο έλεγχος στο καλούν πρόγραμμα μετά την ολοκλήρωση της εκτέλεσης της ρουτίνας:

```

push    bp
mov     bp,sp
mov     ah,00h

```

Ανάγνωση του bit 0. Γίνεται ανάγνωση του καταχωρητή BASE+3 ο οποίος περιέχει τα 8 LSB της ψηφιακής πληροφορίας. Κάθε bit αντιστοιχεί σε σήμα διασταθούς καταστάσεως (0 ή 1) προερχόμενο από την αντίστοιχη συσκευή της οποίας η κατάσταση παρακολουθείται με τη βοήθεια του ενλόγω bit. Η τιμή κάθε bit διαμορφώνεται σύμφωνα με όσα έχουν αναφερθεί στην § 2.2.1.3, δηλαδή με βάση την κατάσταση της τάσεως στην είσοδο όπως αυτή επιβάλλεται με τη βοήθεια ειδικού κυκλώματος ελεγχόμενου από την παρακολουθούμενη συσκευή. Περισσότερα στο θέμα αυτό, θα δούμε στο Κεφάλαιο 3 που ακολουθεί.

```

mov     dx,0303h
in      al,dx

```

Μηδενισμός όλων των άλλων bits που δε μας ενδιαφέρουν εν προκειμένω:

```

and     al,00000001b

```

Ενημέρωση του αντίστοιχου στοιχείου του πίνακα εξόδου για την τιμή του καταχωρητή η οποία, κατόπιν της επεξεργασίας που έχει υποστεί με την εντολή AND, είναι τελικά είτε 0 είτε 1.

```

les     bx,dword ptr [bp+6]
mov     es:[bx],ax

```

Ανάγνωση του bit 1:

```

;-----

```

```
mov dx,0303h
```

```
in al,dx
```

Ελεγχος του bit 1 για να διαπιστωθεί εάν είναι 0 ή 1:

```
mov cl,01
```

```
shr al,cl
```

```
and al,00000001b
```

Ενημέρωση του πίνακα για το αποτέλεσμα:

```
mov es:[bx+2],ax
```

```
;-----
```

Ανάγνωση του bit 2:

```
mov dx,0303h
```

```
in al,dx
```

```
mov cl,02
```

```
shr al,cl
```

```
and al,00000001b
```

```
mov es:[bx+4],ax
```

```
;-----
```

Ανάγνωση του bit 3:

```
mov dx,0303h
```

```
in al,dx
```

```
mov cl,03
```

```
shr al,cl
```

```
and al,00000001b
```

```
mov es:[bx+6],ax
```

```
;-----
```

Ανάγνωση του bit 4:

```
mov dx,0303h
```

```
in al,dx
```

```
mov cl,04
```

```
shr al,cl
```

```
and al,00000001b
```

```
mov es:[bx+8],ax
```

```
;-----
```

Ανάγνωση του bit 5:

```

mov    dx,0303h
in     al,dx
mov    cl,05
shr   al,cl
and   al,00000001b
mov   es:[bx+10],ax

```

;-----

Ανάγνωση του bit 6:

```

mov    dx,0303h
in     al,dx
mov    cl,06
shr   al,cl
and   al,00000001b
mov   es:[bx+12],ax

```

;-----

Ανάγνωση του bit 7:

```

mov    dx,0303h
in     al,dx
mov    cl,07
shr   al,cl
and   al,00000001b
mov   es:[bx+14],ax

```

;-----

Ανάγνωση του bit 8. Όπως προαναφέρθηκε, τα "High Bits" 8 έως και 15 του ψηφιακού καναλιού εισόδου, διαβάζονται από τον καταχωρητή BASE+11 (ή σε δεκαεξαδικό BASE+B, ήτοι απόλυτη διεύθυνση 300+B hex ήτοι 30Bh):

```

mov    dx,030Bh
in     al,dx
and   al,00000001b
les   bx,dword ptr [bp+6]
mov   es:[bx+16],ax

```

;-----

Ανάγνωση του bit 9:

```

mov    dx,030Bh

```

```
in    al,dx
mov   cl,01
shr   al,cl
and   al,00000001b
mov   es:[bx+18],ax
```

Ανάγνωση του bit 10:

```
;    mov    dx,030Bh
;    in     al,dx
;    mov    cl,02
;    shr   al,cl
;    and   al,00000001b
;    mov   es:[bx+20],ax
```

Ανάγνωση του bit 11:

```
;    mov    dx,030Bh
;    in     al,dx
;    mov    cl,03
;    shr   al,cl
;    and   al,00000001b
;    mov   es:[bx+22],ax
```

Ανάγνωση του bit 12:

```
;    mov    dx,030Bh
;    in     al,dx
;    mov    cl,04
;    shr   al,cl
;    and   al,00000001b
;    mov   es:[bx+24],ax
```

Ανάγνωση του bit 13:

```
;    mov    dx,030Bh
;    in     al,dx
;    mov    cl,05
```



```

;      shr    al,cl
;      and    al,00000001b
;      mov    es:[bx+26],ax
;-----

```

Ανάγνωση του bit 14:

```

;      mov    dx,030Bh
;      in     al,dx
;      mov    cl,06
;      shr    al,cl
;      and    al,00000001b
;      mov    es:[bx+28],ax
;-----

```

Ανάγνωση του bit 15:

```

;      mov    dx,030Bh
;      in     al,dx
;      mov    cl,07
;      shr    al,cl
;      and    al,00000001b
;      mov    es:[bx+30],ax
;-----

```

Ο Stack pointer επανέρχεται στην τιμή που είχε προ της κλήσεως της ρουτίνας και η ρουτίνα επιστρέφει τον έλεγχο στο καλούν πρόγραμμα:

```

      mov    sp,bp
      pop    bp

```

Ο έλεγχος επιστρέφει στο καλούν πρόγραμμα:

```

      ret    4

```

Εντολές περατώσεως εκτελέσεως:

```

digit    endp
code     ends
end

```

Οι εντολές αναγνώσεως της πληροφορίας και ενημερώσεως του αντιστοιχίου στοιχείου εξόδου προκειμένου για τα bits 10 έως και 15, έχουν απενεργοποιηθεί

με τη χρήση του συμβόλου των Σχολίων (Comments) για τη γλώσσα ASSEMBLY -το οποίο ως γνωστόν, είναι το ";" - στην αρχή των αντίστοιχων εντολών. Αυτό προκρίθηκε διότι τα συγκεκριμένα bits στην παρούσα δομή του ΘΥΚ είναι ανενεργά (δεν μεταφέρουν πληροφορίες δισταθούς καταστάσεως), τίποτε δεν αποκλείει όμως -δεδομένου ότι το ΘΥΚ είναι μια "ζωντανή", διαρκώς εξελισσόμενη και πολυεπίδεδη εγκατάσταση- ότι αυτά δε θα ενεργοποιηθούν στο μέλλον. Όταν λοιπόν θα χρησιμοποιηθούν, θα ενεργοποιηθούν τα αντίστοιχα τμήματα της ρουτίνας. Προς το παρόν τυχόν ενεργοποίηση των τμημάτων αυτών, μόνο χρονικές καθυστερήσεις στην εκτέλεση της ρουτίνας θα εισήγαγε, πράγμα το οποίο, όπως είναι αυτονόητο, είναι άκρως ανεπιθύμητο.

Με την τελευταία ρουτίνα που παραθέσαμε, έκλεισε ο κύκλος των ρουτινών του ADC οι οποίες συντάχθηκαν στα πλαίσια της παρούσης ΔΔ.

2.6.3 Απλά Προγράμματα Συλλογής Δεδομένων για τον Έλεγχο της Λειτουργίας των Συνταχθεισών Υπορουτινών.

Για να γίνουν δοκιμές τόσο της λειτουργίας των μονάδων της σειράς PCL, όσο και των συνταχθεισών υπορουτινών ASSEMBLY, συντάχθηκαν στα πλαίσια της παρούσης ΔΔ απλά προγράμματα σε γλώσσα FORTRAN. Τα προγράμματα αυτά καθώς και οι λειτουργίες που επιτελούν, παρουσιάζονται στη συνέχεια.

- **MXSTM** : Εμφανίζει αρχικό Menu με ημερομηνία και ώρα εκτελέσεως, και ζητάει τον επιθυμητό από το χρήστη χρόνο δειγματοληψίας σε ticks (εκατοστά του δευτερολέπτου). Εάν πατηθεί CR (Carriage Return) θεωρεί ότι επιθυμητός χρόνος δειγματοληψίας είναι τα 100 ticks. Εάν ο τεθείς χρόνος δειγματοληψίας είναι μικρότερος από τον από το πρόγραμμα απαιτούμενο, τότε, ο επιτυγχανόμενος χρόνος δειγματοληψίας είναι ο από την εκτέλεση του προγράμματος καθοριζόμενος. Κατά την εκτέλεση του προγράμματος καλείται η ρουτίνα TOMUX οπότε υπολογίζεται και τυπώνεται η ψηφιακή πληροφορία που αντιστοιχεί στο σήμα κάθε καναλιού των δύο MUX (A και B), η ψηφιακή πληροφορία των Ηλεκτρονικών Σημείων Πάγου κάθε MUX, η ψηφιακή πληροφορία των υπολοίπων καναλιών του ADC και τέλος, για κάθε κανάλι του MUX, το πλήθος των επαναλήψεων που απαιτήθηκαν για να επιτευχθεί η σύγκλιση.
- **MXMUX** : Εμφανίζει το ίδιο Menu με το προηγούμενο πρόγραμμα και μετά την εισαγωγή των παραμέτρων λειτουργίας, δειγματολαμβάνει με βάση τον καθορισμένο χρόνο δειγματοληψίας από όλα τα κανάλια των MUX-A, MUX-B και ADC και εμφανίζει στην οθόνη το αποτέλεσμα σε τιμές τάσεως εισόδου.

- **MXCHAN** : Πρόγραμμα ελέγχου των MUX. Εμφανίζει αρχικό Menu στο οποίο καλείται ο χρήστης να δηλώσει τον αριθμό του καναλιού του ADC και τον αριθμό του καναλιού του MUX από το οποίο επιθυμεί να δειγματολάβει οπότε εμφανίζει στην οθόνη την ψηφιακή πληροφορία που συνελέγη και την αντιστοιχούσα σε αυτή τάση.
- **MXSCAN** : Πρόγραμμα ελέγχου ADC και MUX. Εμφανίζει αρχικό Menu με το οποίο καλείται ο χρήστης να επιλέξει εάν θα δειγματολάβει από τα 16 κανάλια του MUX-A, από τα 16 κανάλια του MUX-B ή από τα κανάλια 4 έως 7 του ADC. Για τα επιλεγέντα κανάλια εκτελεί δειγματοληψία και εμφανίζει τα αποτελέσματα στην οθόνη.

Η κλήση του ASSEMBLER για τις ρουτίνες ελέγχου των μονάδων της σειράς PCL γίνεται με τη βοήθεια του αρχείου εντολών (batch file) **MASM.BAT**, η δε εντολή ενεργοποίησής του είναι:

masm name

όπου:

name, το όνομα του αρχείου που περιέχει τη ρουτίνα.

Η κλήση του Μεταφραστή (compiler) της FORTRAN για τα προγράμματα ελέγχου που προαναφέρθηκαν καθώς και η συγκρότηση (Linking) του εκτελέσιμου προγράμματος, γίνονται με τη βοήθεια του Batch File, **RMX.BAT**, η δε εντολή ενεργοποίησής του είναι:

rmx name

όπου:

name, το όνομα του αρχείου που περιέχει το πρόγραμμα.

Τα κείμενα (source) τόσο των ASSEMBLY ρουτινών ελέγχου των μονάδων της σειράς PCL που συντάχθηκαν στα πλαίσια της παρούσης ΔΔ όσο και των προγραμμάτων ελέγχου αυτών σε γλώσσα FORTRAN, παρουσιάζεται στο **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ** της παρούσης.

2.7 Σύγκριση Ρουτινών της Παρούσης ΔΔ με τις Ρουτίνες του Κατασκευαστή.

Μετά τους ελέγχους και τις δοκιμές των προγραμμάτων FORTRAN και των ρουτινών σε ASSEMBLY που συντάχθηκαν στα πλαίσια της παρούσης εργασίας έγινε, όπου αυτό

ήταν δυνατό, συγκριτική μελέτη της λειτουργίας-των σε σχέση με τα αντίστοιχα προγράμματα και ρουτίνες του κατασκευαστή. Αποτέλεσμα της συγκριτικής αυτής μελέτης ήταν η ανάδειξη των πλεονεκτημάτων της παρούσης εργασίας σε σχέση με εκείνη του κατασκευαστή. Τα πλεονεκτήματα αυτά συνοψίζονται ως εξής:

- Μεγάλη ευελιξία και δυνατότητα κλήσης από προγράμματα FORTRAN των υπορουτινών της ΔΔ.
- Ταχύτερη μέχρι και τρεις φορές δειγματοληψία των προγραμμάτων της ΔΔ με ταυτόχρονα καλύτερη ακρίβεια από εκείνη του κατασκευαστή.

Για τη σύγκριση ακολουθήθηκαν τα εξής βήματα:

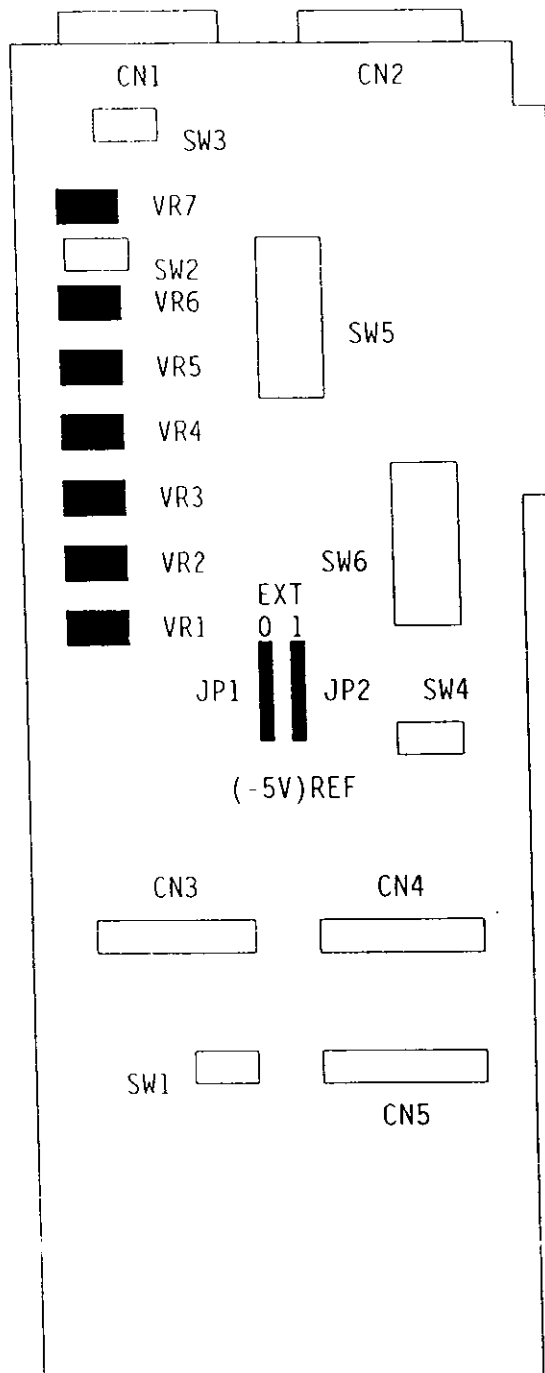
1. Επιλέχθηκε το κανάλι 7 του ADC και τροφοδοτήθηκε με πηγή 1VDC η τάση της οποίας μετρήσιμότητα συνεχώς με παράλληλα συνδεδεμένο ψηφιακό μικροβολτόμετρο τύπου *KEITHLEY-197 AUTORANGING MICROVOLT DMM*. Υπενθυμίζεται ότι με βάση τη σχέση 2.1, η τάση 1VDC αντιστοιχεί σε ψηφιακή πληροφορία 410.
2. Εκτελέστηκε το πρόγραμμα DEMOC0003.BAS* το οποίο αποτελεί προσαρμογή του προγράμματος DEMO003.BAS του κατασκευαστή στη γλώσσα GWBASIC [19]. Με τη βοήθεια του προγράμματος, έγινε δειγματοληψία και τυπώθηκαν 500 μετρήσεις από το κανάλι 7 του ADC. Το χρονικό διάστημα που μεσολαβούσε μεταξύ δύο διαδοχικών μετρήσεων ήταν το συντομότερο που μπορούσε να επιτευχθεί από τη διάταξη και το λογισμικό.
3. Εκτελέστηκε το πρόγραμμα compadc σε γλώσσα FORTRAN που καλεί την υπορουτίνα toadc που έχει συνταχθεί σε γλώσσα ASSEMBLY στα πλαίσια της παρούσης ΔΔ. Με τη βοήθεια του προγράμματος έγινε δειγματοληψία και τυπώθηκαν 500 μετρήσεις από το κανάλι 7 του ADC. Και στην περίπτωση του προγράμματος αυτού, το χρονικό διάστημα που μεσολαβούσε μεταξύ δύο διαδοχικών μετρήσεων, ήταν το συντομότερο που μπορούσε να επιτευχθεί από τη διάταξη και το λογισμικό.
4. Ο χρόνος δειγματοληψίας προκειμένου περί των 500 μετρήσεων του προγράμματος DEMOC0003.BAS ο οποίος μετρήθηκε με τη βοήθεια χρονόμετρου, ήταν 615 εκατοστά του δευτερολέπτου (ticks), η δε ψηφιακή πληροφορία που μετρήθηκε, κυμαίνονταν από 405 έως 412. Ο χρόνος δειγματοληψίας

* Κατά την αναφορά των ονομάτων των προγραμμάτων ακολουθείται η εξής σύμβαση:

- Με κεφαλαία παρατίθενται τα προγράμματα του κατασκευαστή.
- Με πεζά παρατίθενται τα προγράμματα της παρούσης ΔΔ.

προκειμένου περί των 500 μετρήσεων του προγράμματος `compadc`, ο οποίος μετρήθηκε με τη βοήθεια κατάλληλων υπορουτινών σε γλώσσα `ASSEMBLY`, ήταν 418 ticks, η δε ψηφιακή πληροφορία που μετρήθηκε ήταν 410 και 411. Υπενθυμίζεται ότι ο χρησιμοποιούμενος ADC έχει διακριτική ικανότητα 1 bit. Δηλαδή, τόσο από πλευράς ακρίβειας και σταθερότητας όσο και από πλευράς χρόνου δειγματοληψίας, πλεονεκτούν τα προγράμματα της ΔΔ.

5. Αντίστοιχα αποτελέσματα ελήφθησαν από μια πληθώρα μετρήσεων για τιμές τάσεως στην περιοχή λειτουργίας του ADC (0-10VDC).
6. Τροφοδοτήθηκαν τα κανάλια του MUX-A, στον οποίο ως γνωστόν έχει τεθεί κέρδος 1000, με πηγή τάσης 900μVDC. Η τιμή της τάσεως παρακολουθείτο και παρέμενε σταθερή κατά τη διάρκεια των δοκιμών. Ας σημειωθεί ότι η τάση αυτή μετά την ενίσχυση γίνεται 0.9V και αντιστοιχεί σε ψηφιακή πληροφορία 369.
7. Εκτελέστηκε η παραλλαγή THCO του προγράμματος THERMOCO [19] του κατασκευαστή σε γλώσσα `GWBASIC`. Με το πρόγραμμα αυτό έγινε δειγματοληψία από τα 16 κανάλια του MUX-A η οποία επανελήφθη επί 500 φορές.
8. Εκτελέστηκε το πρόγραμμα `compmux` σε γλώσσα `FORTRAN` το οποίο με κλήση της υπορουτινας `tomux` προέβη σε δειγματοληψία από τα 16 κανάλια του MUX-A η οποία επανελήφθη επί 500 φορές.
9. Μετρήθηκε με χρονόμετρο ο συνολικός χρόνος εκτέλεσεως του προγράμματος THCO ο οποίος ανήλθε σε 222 ticks. Επίσης μετρήθηκε με τη βοήθεια ρουτινών χρόνου ο συνολικός χρόνος εκτέλεσεως του προγράμματος `compmux` ο οποίος ανήλθε σε 83 ticks. Η ψηφιακή πληροφορία που εμετράτο στην περίπτωση του προγράμματος του κατασκευαστή, εκυμαινετο μεταξύ 355 και 381. Η ψηφιακή πληροφορία που μετρήθηκε στην περίπτωση των ρουτινών της παρούσης ΔΔ εκυμαινετο μεταξύ 368 και 369. Και από τη δοκιμή αυτή διεπιστώθη ότι και όταν χρησιμοποιείται ο εξωτερικός MUX πλεονεκτούν τα προγράμματα της ΔΔ τόσο από πλευράς ακρίβειας και σταθερότητας όσο και από πλευράς χρόνου δειγματοληψίας.



Σχήμα 2.1 : Θέση Διακοπών, Ποτενσιομέτρων, Βυσμάτων και Βραχυκυκλωτήρων της Μονάδος PCL-718.

**Σχήμα 2.2 : Αντιστοιχία pins των connectors της Μονάδος PCL-718
(Το παρόν σχήμα εκτείνεται σε 3 σελίδες).**

Connector CN1 - Αναλογική Είσοδος (16 Απλά Κανάλια)

A/D IN0	1	2	A/D IN8
A/D IN1	3	4	A/D IN9
A/D IN2	5	6	A/D IN10
A/D IN3	7	8	A/D IN11
A/D IN4	9	10	A/D IN12
A/D IN5	11	12	A/D IN13
A/D IN6	13	14	A/D IN14
A/D IN7	15	16	A/D IN15
AGND	17	18	AGND
AGND	19	20	AGND

Connector CN1 - Αναλογική Είσοδος (8 Διαφορικά Κανάλια)

A/D IN0-HI	1	2	A/D IN0-LOW
A/D IN1-HI	3	4	A/D IN1-LOW
A/D IN2-HI	5	6	A/D IN2-LOW
A/D IN3-HI	7	8	A/D IN3-LOW
A/D IN4-HI	9	10	A/D IN4-LOW
A/D IN5-HI	11	12	A/D IN5-LOW
A/D IN6-HI	13	14	A/D IN6-LOW
A/D IN7-HI	15	16	A/D IN7-LOW
AGND	17	18	AGND
AGND	19	20	AGND

Connector CN2 - Αναλογική Εξοδος

D/A 0-REF	1	2	D/A 1-REF
D/A 0 OUT	3	4	D/A 1 OUT
AGND	5	6	AGND
VREF(-5V)	7	8	
TRIG0	9	10	
	11	12	
	13	14	
	15	16	
	17	18	
	19	20	

(Συνεχίζεται)

Connector CN3 - Ψηφιακή Εξοδος

D/O 0	1	2	D/O 1
D/O 2	3	4	D/O 3
D/O 4	5	6	D/O 5
D/O 6	7	8	D/O 7
D/O 8	9	10	D/O 9
D/O 10	11	12	D/O 11
D/O 12	13	14	D/O 13
D/O 14	15	16	D/O 15
DGND	17	18	DGND
+ 5V	19	20	+12V

Connector CN4 - Ψηφιακή Είσοδος

D/I 0	1	2	D/I 1
D/I 2	3	4	D/I 3
D/I 4	5	6	D/I 5
D/I 6	7	8	D/I 7
D/I 8	9	10	D/I 9
D/I 10	11	12	D/I 11
D/I 12	13	14	D/I 13
D/I 14	15	16	D/I 15
DGND	17	18	DGND
+ 5V	19	20	+12V

Connector CN5 - Ψηφιακή Είσοδος

	1	2	
	3	4	
	5	6	
	7	8	CTR0 CLK
	9	10	CTR0 OUT
	11	12	CTR0 GATE
	13	14	CTR2 OUT
	15	16	
DGND	17	18	DGND
+ 5V	19	20	

(Συνεχίζεται)

όπου,

A/D INX, Το X κανάλι εισόδου απλού αναλογικού σήματος στον ADC.

AGND, Γείωση του αναλογικού σήματος.

A/D INX-HI, Το X κανάλι εισόδου διαφορικού αναλογικού σήματος στον ADC.
(HI-BYTE).

A/D INX-LOW, Το X κανάλι εισόδου διαφορικού αναλογικού σήματος στον ADC.
(LOW-BYTE).

D/A 0-REF, Το κανάλι συνδέσεως της τάσεως αναφοράς καναλιού 0
(εάν επιλεγεί εξωτερική τάση αναφοράς)

D/A 1-REF, Το κανάλι συνδέσεως της τάσεως αναφοράς καναλιού 1
(εάν επιλεγεί εξωτερική τάση αναφοράς)

D/A 0 OUT, Εξοδος αναλογικής τάσεως ψηφιακού καναλιού 0

D/A 1 OUT, Εξοδος αναλογικής τάσεως ψηφιακού καναλιού 1

VREF(-5V), Το κανάλι συνδέσεως της τάσεως αναφοράς
(εάν επιλεγεί εσωτερική τάση αναφοράς)

TRIGO, Εφαρμογή εξωτερικού σκανδαλιστή (Triggering).

D/O X, X bit καναλιού ψηφιακής εξόδου.

DGND, Γείωση ψηφιακού σήματος

+ 5V, Τροφοδοσία + 5V από τροφοδοτικό PC

+12V, Τροφοδοσία +12V από τροφοδοτικό PC

D/I X, X bit καναλιού ψηφιακής εισόδου.

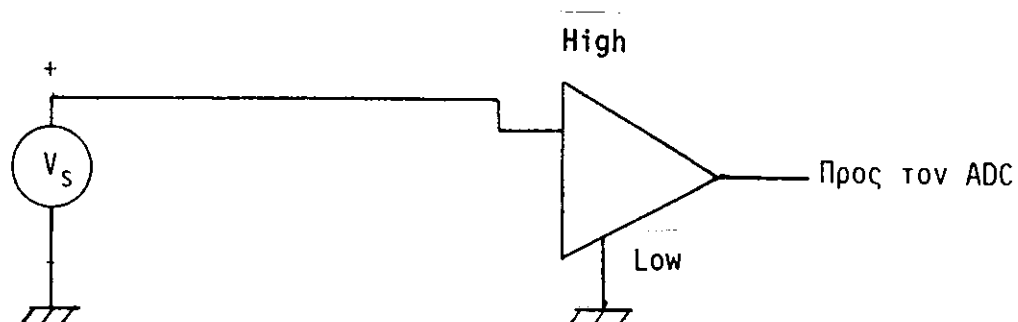
CTRO CLK, Είσοδος Χρονομέτρου Αθροιστή 0.

CTRO OUT, Εξοδος Αθροιστή 0.

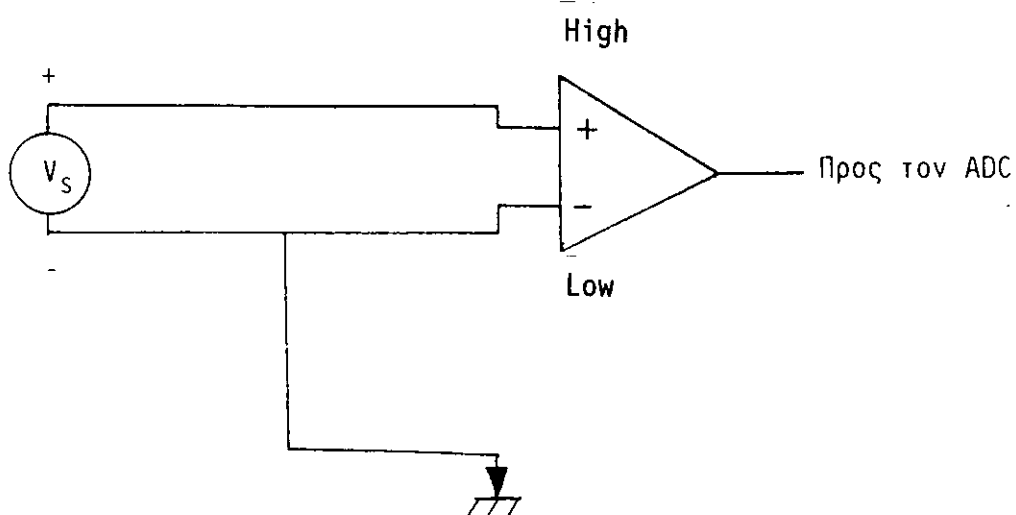
CTRO GATE, Πύλη ελέγχου Αθροιστή 0.

CTR2 OUT, Εξοδος Αθροιστή 2.

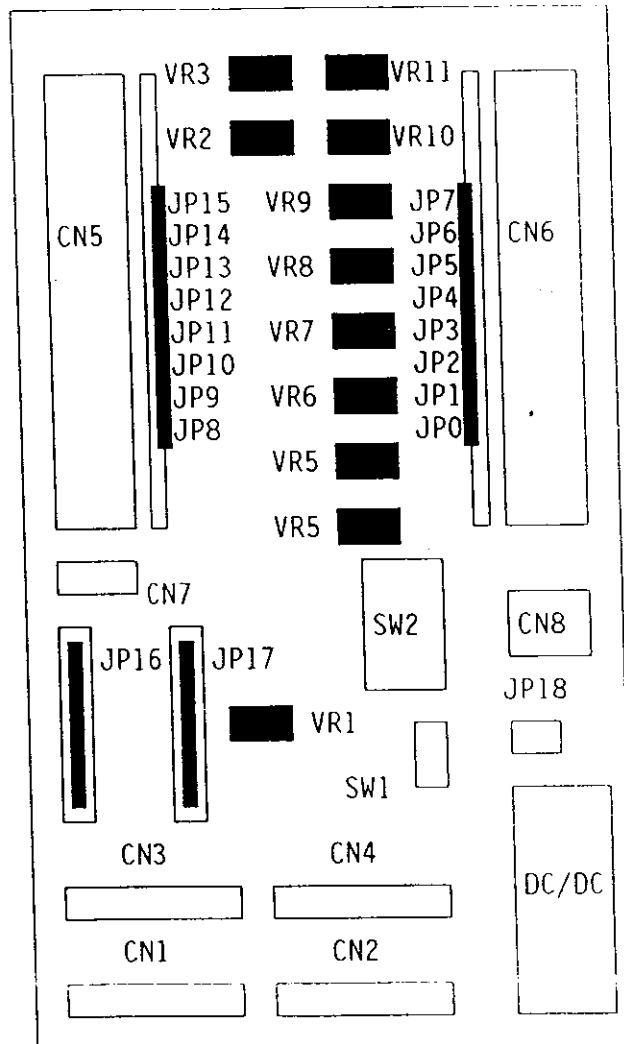
Είσοδος σήματος



Σχήμα 2.3 : Απλή σύνδεση σήματος σε κανάλι του ADC.



Σχήμα 2.4 : Διαφορική σύνδεση σήματος σε κανάλι του ADC.



Σχήμα 2.5 : Θέση Διακοπών, Ποτενσιομέτρων, Βυσμάτων και Βραχυκυκλωτήρων της Μονάδος PCLD-889.

Σχήμα 2.6 : Αντιστοιχία pins των connectors της Μονάδος PCLD-889

Connectors CN1 και CN3 - Αναλογική Εξόδος

ANA OUT0	1	2	AGND
ANA OUT1	3	4	AGND
ANA OUT2	5	6	AGND
ANA OUT3	7	8	AGND
ANA OUT4	9	10	AGND
ANA OUT5	11	12	AGND
ANA OUT6	13	14	AGND
ANA OUT7	15	16	AGND
ANA OUT8	17	18	AGND
ANA OUT9	19	20	AGND

Connectors CN2 και CN4 - Είσοδος ελέγχου και ισχύος

D 0	1	2	D 1
D 2	3	4	D 3
D 4	5	6	D 5
D 6	7	8	
	9	10	
	11	12	
	13	14	
	15	16	
DGND	17	18	DGND
+ 5V	19	20	+12V

όπου,

ANA OUTX, Το X κανάλι εξόδου απλού αναλογικού σήματος προς στον ADC.

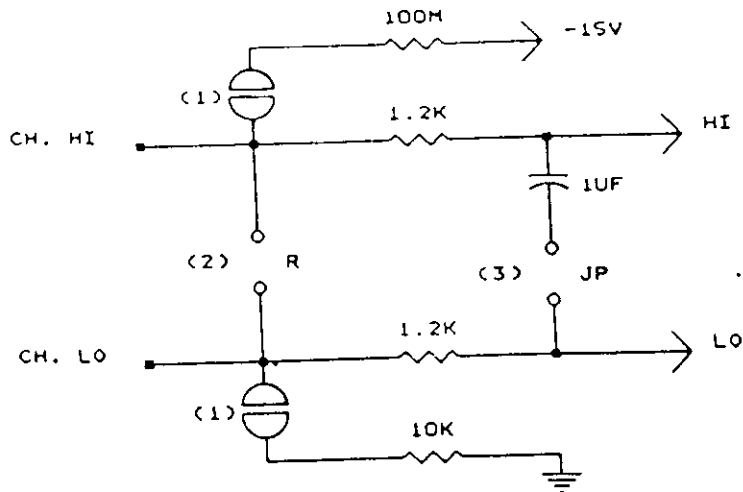
AGND, Γείωση του αναλογικού σήματος.

D X, Το X κανάλι εισόδου σήματος ελέγχου από τον ADC.

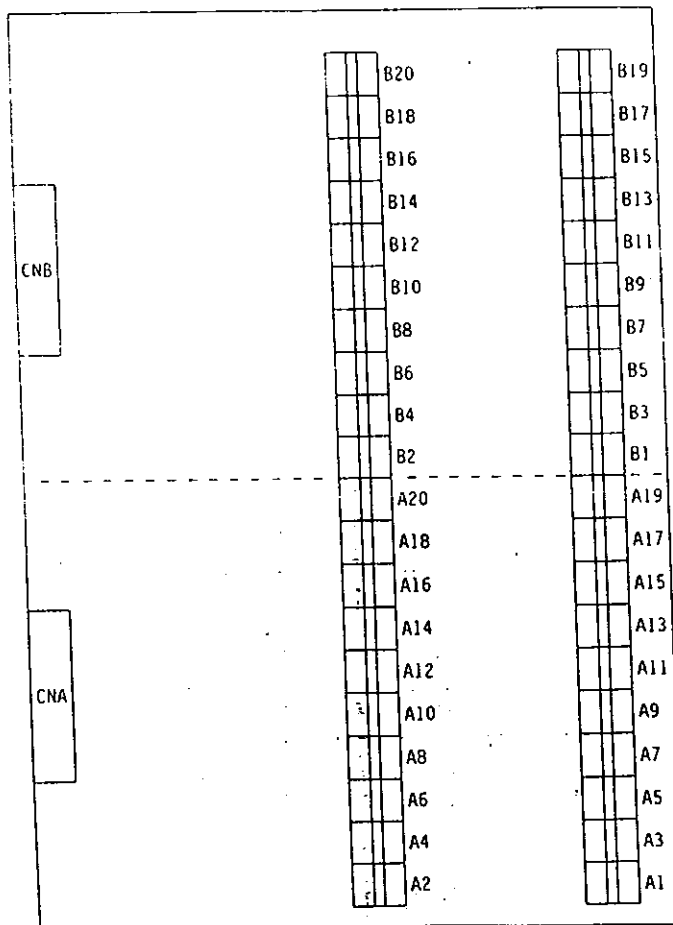
DGND, Γείωση σημάτων ελέγχου.

+ 5V, Τροφοδοσία + 5V από τροφοδοτικό PC.

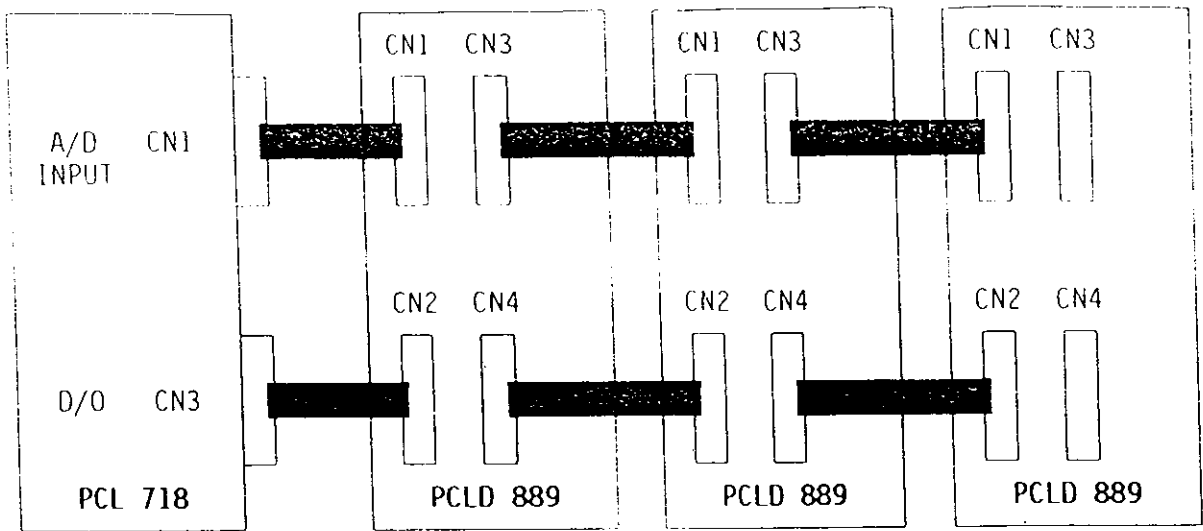
+12V, Τροφοδοσία +12V από τροφοδοτικό PC.



Σχήμα 2.7 : Ηλεκτρονικό Κύκλωμα προστασίας των εισόδων της Μονάδος PCLD-889.

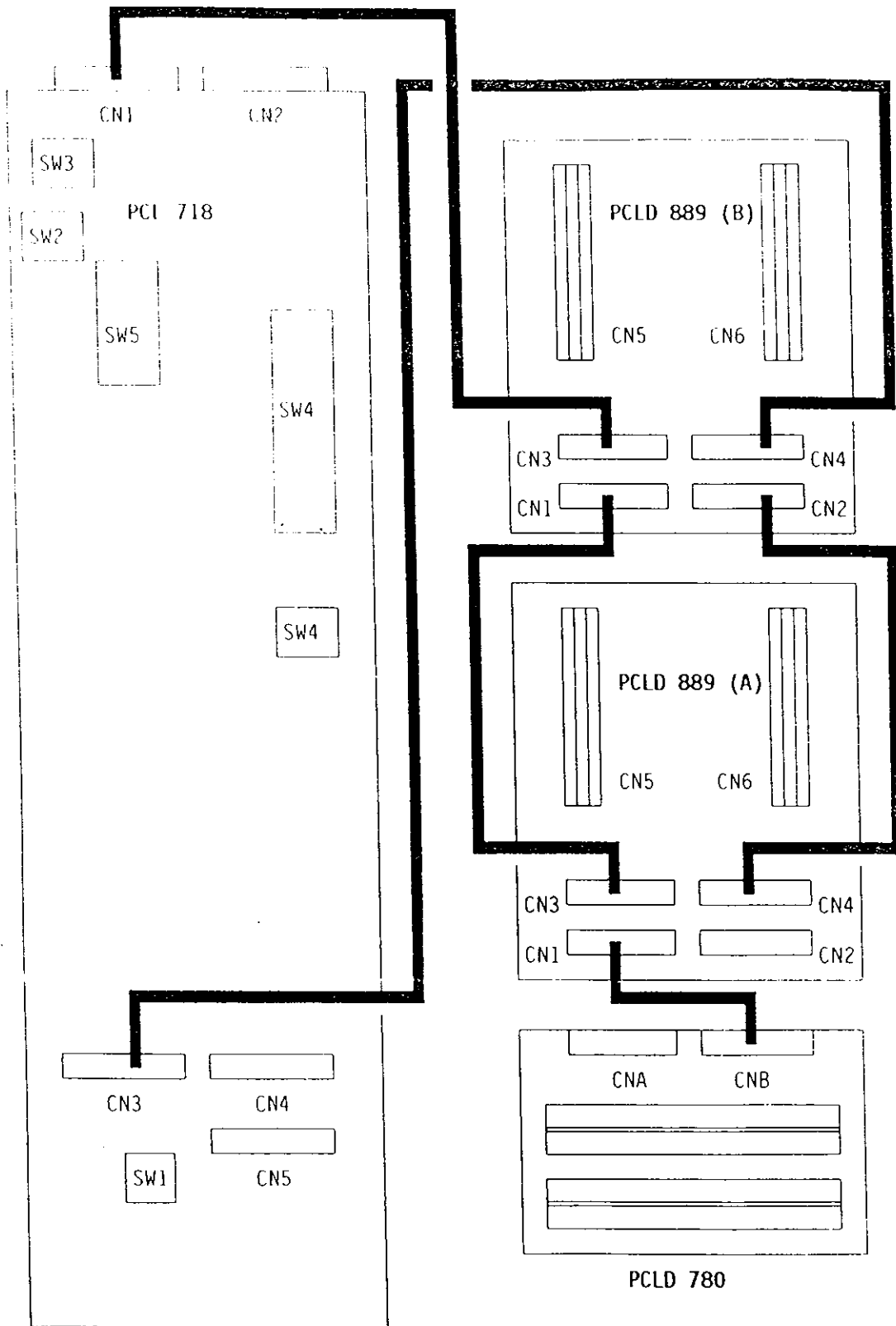


Σχήμα 2.8 : Θέση Βυσμάτων της Μονάδος PCLD-780.

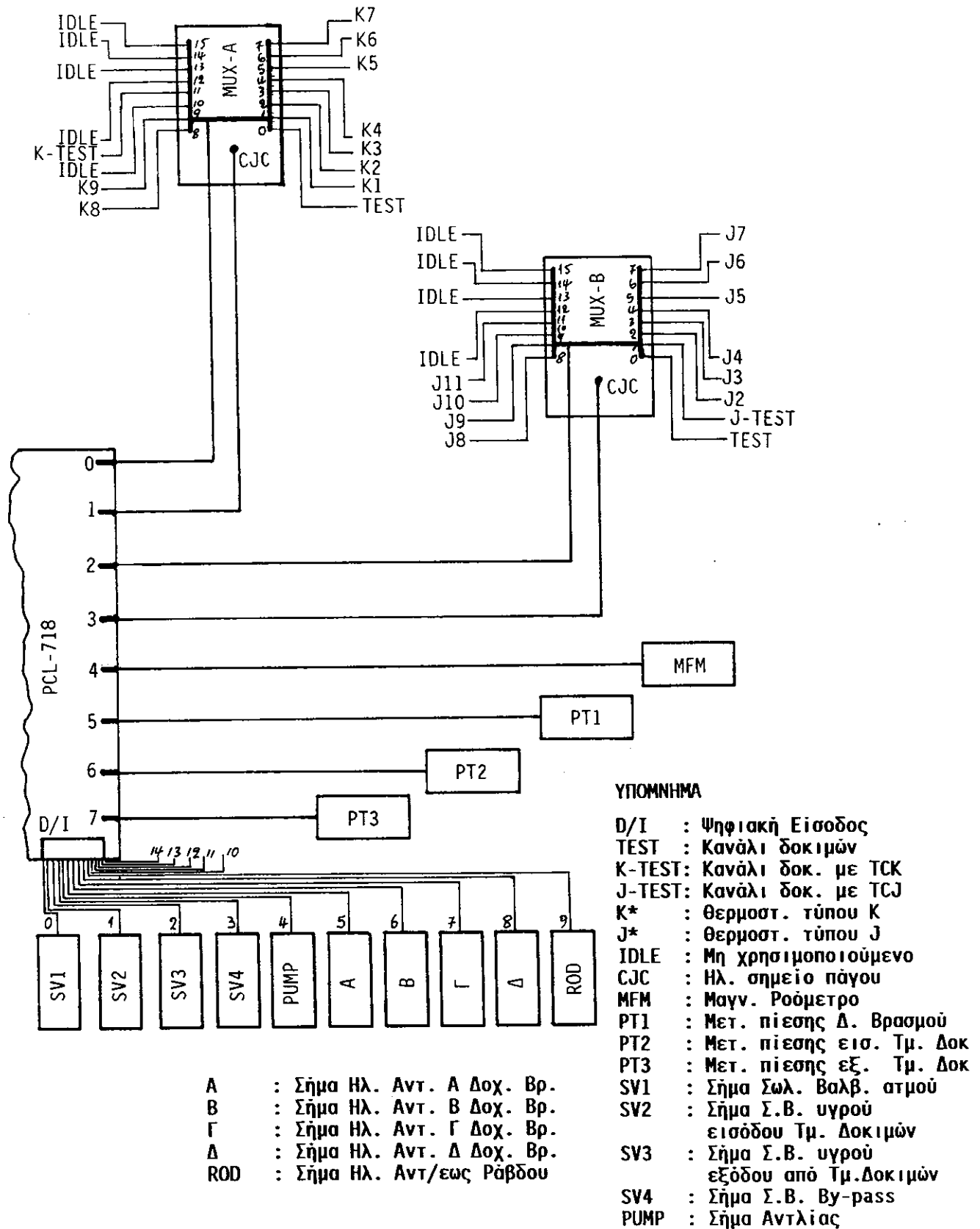


ΚΑΝΑΛΙ ΕΞΟΔΟΥ 0 ΚΑΝΑΛΙ ΕΞΟΔΟΥ 1 ΚΑΝΑΛΙ ΕΞΟΔΟΥ 2

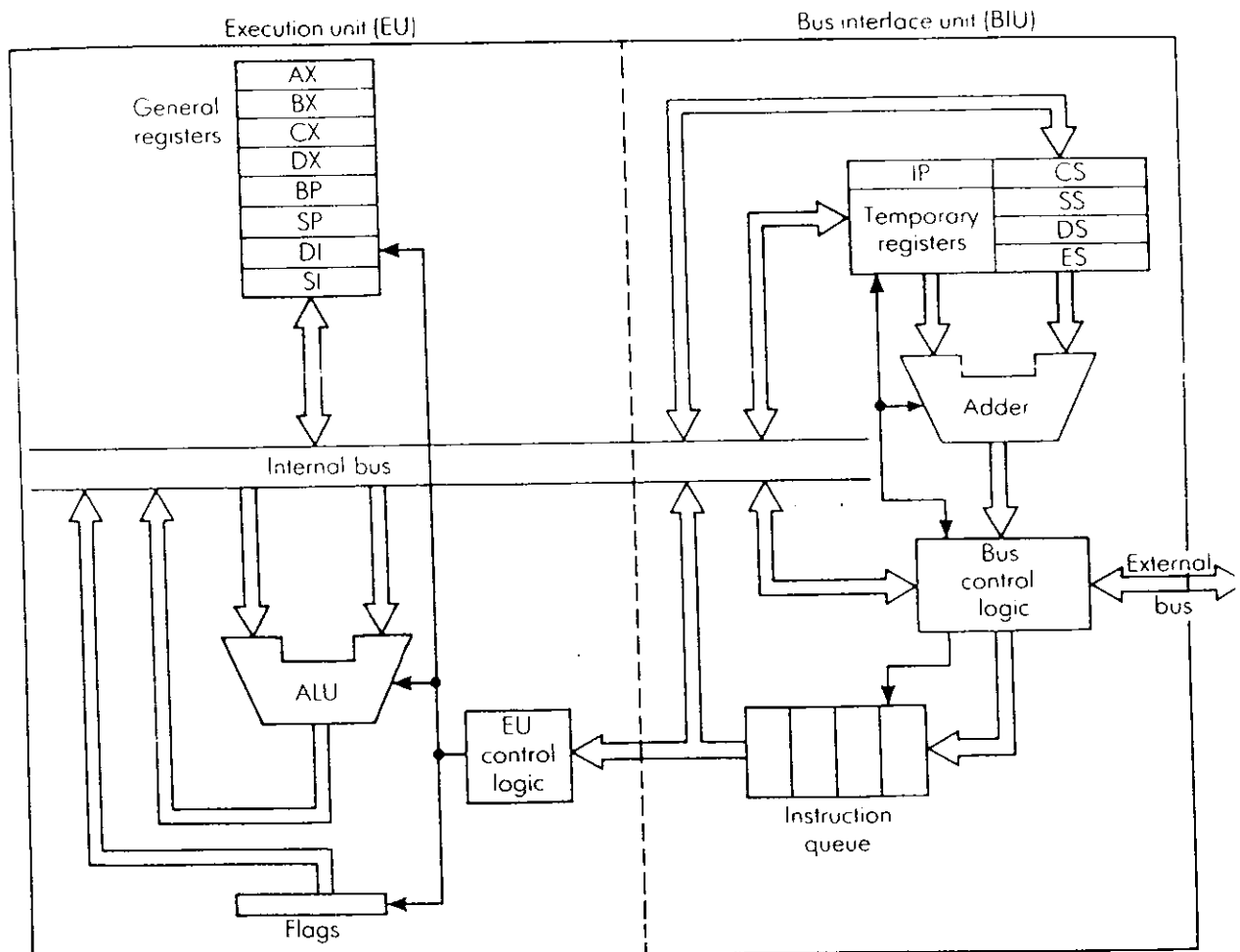
Σχήμα 2.9 : Σύνδεση σε Αλυσίδα Μονάδων της σειράς PCL.



Σχήμα 2.10 : Σύνδεση σε Αλυσίδα των μονάδων Υποδοχής, Επεξεργασίας και Ψηφιοποίησης Αναλογικών Σημάτων του ΘΥΚ.



Σχήμα 2.11 : Διασύνδεση των Μεταλλακτών του ΘΥΚ σε προσωπικό Η/Υ μέσω των μονάδων της σειράς PC-LAB.



Σχήμα 2.12 : Εσωτερική Αρχιτεκτονική του Επεξεργαστή 80386 της INTEL ([5]).

ΜΕΛΕΤΗ, ΣΧΕΔΙΑΣΗ, ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ, ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΕΣ ΘΕΣΕΩΣ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΘΥΚ

3.1 Εισαγωγή.

Ενας από τους ερευνητικούς τομείς του ΕΠΤ-ΕΜΠ* είναι και η μελέτη της θερμοϋδραυλικής συμπεριφοράς των Πυρηνικών Αντιδραστήρων Ισχύος τόσο κατά την κανονική λειτουργία, όσο και - κυριότερα - στην περίπτωση της εφεδρικής ψύξης έκτακτης ανάγκης (σύστημα ECCS†) για την αντιμετώπιση των ατυχημάτων απωλείας ψυκτικού (LOCA‡).

Η μελέτη αυτή εκτείνεται τόσο σε θεωρητικά-υπολογιστικά θέματα (κώδικας REWET[©] [47, 51]) όσο και σε πειραματικές διερευνήσεις. Οι πειραματικές δραστηριότητες ξεκίνησαν το 1979 με τη μελέτη μιας σύγχρονης και πλήρους πειραματικής θερμοϋδραυλικής εγκατάστασης κατάλληλης για τη μελέτη μόνιμων και μεταβατικών φαινομένων βρασμού δεξαμενής και βρασμού εν ροή που συμβαίνουν σε Πυρηνικούς Αντιδραστήρες Ισχύος Νερού. Η εγκατάσταση αυτή ουσιαστικά συνίσταται από δύο γραμμές υγρού νερού και ατμού οι οποίες τροφοδοτούν ένα Τμήμα Δοκιμών-Τυπικό Κανάλι Ροής ΠΑΙ. Η ράβδος πυρηνικού καυσίμου στο υπόψιν Τμήμα Δοκιμών προσομοιώνεται από μια ράβδο ανοξείδωτου χάλυβα θερμαινόμενη ομοιόμορφα από ηλεκτρική αντίσταση. Όπως ήδη αναφέρθηκε, η εγκατάσταση αυτή μελετήθηκε και σχεδιάστηκε στα πλαίσια ΔΕ^Δ με βασικό γνώμονα την παροχή εκπαίδευσης σε προπτυχιακούς και μεταπτυχιακούς σπουδαστές αλλά και την έρευνα αιχμής για

* ΕΠΤ-ΕΜΠ : Εργαστήριο Πυρηνικής Τεχνολογίας του Ε.Μ.Π.

† ECCS : Emergency Core Cooling System.

‡ LOCA : Loss-of-Coolant Accident

© REWET : Μονοδιάστατος μεταβατικός κώδικας για την πρόβλεψη της κίνησης του ψυκτικού του συστήματος ECCS.

Δ ΔΕ : Διπλωματική Εργασία.

τους ΠΑΙ. Στη συνέχεια περί το 1987 ολοκληρώθηκε, με τις γνωστές δυνατότητες και αντιξοότητες των διαδικασιών χρηματοδότησης από τον Τακτικό Προϋπολογισμό του Ιδρύματος, η κατασκευή τριών από τις βασικές συνιστώσες της διάταξης:

- Το Δοχείο Βρασμού,
- το Δοχείο Συγκεντρώσεως, και
- το Ικρίωμα Αναρτήσεως τους.

Το 1989 ολοκληρώθηκε ο εξοπλισμός των δοχείων με τις απαραίτητες συσκευές λειτουργίας, ελέγχου & ρύθμισης. Από το 1990 ο γράφων ανέλαβε, στα πλαίσια της παρούσης ΔΔ, την κατασκευή όλου του κυκλώματος, τον μηχανικό και λογισμικό εξοπλισμό-του (hardware, software) με τις απαραίτητες ασφαλιστικές ρυθμιστικές και μετρητικές διατάξεις και εξετέλεσε, επί 18 περίπου μήνες, όλες τις δοκιμές θέσεως σε λειτουργία (commissioning) στην προβλεπόμενη περιοχή λειτουργίας της εγκατάστασης (πίεση 0-7bar και θερμοκρασία 20-168 °C νερού). Βεβαίως, στα πλαίσια των πιοπάνω δοκιμών προέκυψε πολλές φορές η ανάγκη αναθεωρήσεως της κατασκευής, είτε επειδή αυτό επεβάλλετο, είτε διότι με το χρόνο και με τη χορήγηση νέων πιστώσεων, προχωρούσε η προμήθεια νεότερων και πλέον σύγχρονων οργάνων. Το προϊόν αυτής της εργασίας χρησιμοποιείται ήδη, εκτός της παρούσης ΔΔ, τόσο για την άσκηση προπτυχιακών σπουδαστών, όσο και -πρόσφατα- για την εκπόνηση νέας ΔΔ. Η πειραματική αυτή εγκατάσταση, που ετέθη επίσημα σε λειτουργία τον Οκτώβριο του 1991, ονομάσθηκε Θερμο-Υδραυλικό Κύκλωμα (ΘΥΚ).

Οι ανά τον κόσμο πειραματικές εγκαταστάσεις του συγκεκριμένου τύπου που έχουν αναφερθεί έως σήμερα, ανέρχονται στον αριθμό των 15 περίπου. Από αυτές, οι 10 εγκατεστάθηκαν και λειτούργησαν τη δεκαετία του 1970 με χρήση παρωχημένης για τα σημερινά δεδομένα τεχνολογίας, οι δε υπόλοιπες 5 είναι νεότερες με πιο πρόσφατη αυτήν που συγκροτήθηκε στα πλαίσια της παρούσης ΔΔ.

Τα εργαζόμενα μέσα που έχουν αναφερθεί, είναι κατά το πλείστον το ελαφρύ νερό (H₂O), το Freon (Arcton-113) και το Υγρό Αζωτο (LN₂). Είναι φανερό ότι, τα λοιπά εκτός του H₂O ρευστά, ουσιαστικά χρησιμοποιούνται για λόγους προσομοίωσης της πίεσεως της εγκαταστάσεως, με κριτήριο προσομοίωσης, την ισότητα των λόγων των πιέσεων των φάσεων των ρευστών [2, σελ.75].

Από τις αναφερόμενες εγκαταστάσεις στη βιβλιογραφία, μία, η FLECHT [56, 112, 113] έχει συγκροτηθεί σε πραγματικές διαστάσεις με ράβδους πυρηνικού καυσίμου σε πλέγμα, και ακόμη μια, η NEPTUN Test Facility [22] έχει συγκροτηθεί από 33 ηλεκτρικά τροφοδοτούμενες ράβδους επίσης σε πλέγμα. Οι υπόλοιπες εγκαταστάσεις, διαθέτουν Τμήμα Δοκιμών συγκροτούμενο από μία μόνο ηλεκτρικά τροφοδοτούμενη ράβδο υπό κλίμακα, δηλαδή με μήκος που αποτελεί τμήμα μόνον του

μήκους μιας τυπικής ράβδου πυρηνικού καυσίμου ΠΑΙ.

Στις εγκαταστάσεις αυτές, όπου γίνεται γεωμετρική προσομοίωση στα ύψους 1-2 m Τμήματα Δοκιμών των φαινομένων που πραγματικά συμβαίνουν στα ύψους 3-4 m κανάλια του ΠΑΙ, υπάρχει ανάγκη κατάλληλης προετοιμασίας του μονοφασικού ή διφασικού ρευστού στην είσοδο του Τμήματος Δοκιμών, ώστε να επιτυγχάνεται προσομοίωση των φαινομένων σε προκαθορισμένο τμήμα του καναλιού ενός ΠΑΙ. Αλλά στο θέμα αυτό θα επανέλθουμε διεξοδικά σε επόμενες παραγράφους κατά την παρουσίαση του ΘΥΚ του ΕΠΤ-ΕΜΠ.

Στις παραγράφους που ακολουθούν θα περιγράψουμε, σε όση έκταση επιβάλλει το παρόν Τεύχος, τις κυριότερες συνιστώσες του ΘΥΚ. Στο *ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε* παρέχονται αναλυτικά στοιχεία για όλες τις συσκευές και τα όργανα από τα οποία συγκροτείται η Εγκατάσταση αυτή.

3.2 Βασική Συγκρότηση και Λειτουργίες του ΘΥΚ.

Η πειραματική εγκατάσταση του ΘΥΚ συγκροτείται κατά κύριο λόγο από δύο ανεξάρτητα δίκτυα τα οποία τροφοδοτούν το Τμήμα Δοκιμών με συνεχή και ρυθμιζόμενη ροή υγρού νερού και υδρατμού. Το σχ. 3.1 παρουσιάζει το διάγραμμα ροής της εγκατάστασης, ενώ στο σχ. 3.2 παρουσιάζεται μια γενική άποψη της εγκατάστασης.

Στο υψηλότερο σημείο της εγκαταστάσεως βρίσκεται τοποθετημένο το Δοχείο Βρασμού όπου κατά βάσιν παράγεται το διφασικό μίγμα. Στο δοχείο αυτό το νερό βράζει, θερμαινόμενο από τέσσερις ηλεκτρικές αντιστάσεις συνολικής ισχύος 36kW. Σε παράγραφο που ακολουθεί θα δοθούν όλα τα τεχνικά στοιχεία για το δοχείο αυτό και για τις μεθόδους οι οποίες χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των συνθηκών του βρασμού. Ο υδρατμός εκρέει από την κορυφή του δοχείου προς την κορυφή του Τμήματος Δοκιμών, ενώ το υγρό, κεκορεσμένο ή υπόψυκτο, εκρέει από τον πυθμένα του Δοχείου Βρασμού προς την κεφαλή διανομής στην κορυφή επίσης του Τμήματος Δοκιμών. Στις σωληνώσεις του δικτύου μεταφοράς του ατμού και του υγρού έχουν προσαρμοστεί θερμοαντιστατικές ταινίες για την αντιστάθμιση τυχόν απωλειών από τις έστω και πολύ καλά μονωμένες σωλήνες. Επίσης, στη σωλήνωση της διαδρομής της υγρής φάσης έχει προσαρμοσθεί ένας ψυκτικός μανδύας για την ψύξη του νερού στην περίπτωση που επιθυμείται να γίνουν πειράματα με υπόψυξη στην είσοδο του Τμήματος Δοκιμών. Ο ατμός εγκαταλείπει το Τμήμα Δοκιμών και οδηγείται σ' έναν ομοαξονικό συμπυκνωτή αντιρροής πέντε κλάδων, το συμπύκνωμα του οποίου εκρέει προς το Δοχείο Συγκεντρώσεως, ενώ το υγρό στο κάτω μέρος του Τμήματος Δοκιμών οδηγείται με τη βαρύτητα προς το Δοχείο Συγκεντρώσεως.

Από το Δοχείο Συγκεντρώσεως το συμπύκνωμα επιστρέφει στο Δοχείο Βρασμού με τη βοήθεια φυγοκέντρου αντλίας. Προκειμένου να ρυθμίζεται η ροή προς το Δοχείο Βρασμού, είναι δυνατόν ένα τμήμα του υγρού στην έξοδο της αντλίας να επιστρέφει μέσω παρακάμφσεως (by-pass) στο Δοχείο Συγκεντρώσεως. Βεβαίως η γραμμή αντλίας - Δοχείου Βρασμού διαθέτει βαλβίδα αντεπιστροφής.

Μια επίσης, παράκαμψη (by-pass) του υγρού στην έξοδο από το Δοχείο Βρασμού, ως προς το Τμήμα Δοκιμών, προς το Δοχείο Συγκεντρώσεως εξυπηρετεί, όπως θα εξηγηθεί λεπτομερώς στο επόμενο κεφάλαιο, την προσομοίωση του φαινομένου της απωλείας του ψυκτικού σε κανάλι ΠΑΙ.

Το επίπεδο της πίεσης στο Δοχείο Βρασμού ρυθμίζεται τόσο θερμοστατικά όσο και πνευματικά, με κατάλληλες διατάξεις αυτομάτου ελέγχου στις οποίες θ' αναφερθούμε λεπτομερώς σε επόμενη παράγραφο. Επίσης, παρακολουθείται η στάθμη του υγρού και στα δύο δοχεία για να προφυλάσσονται αφενός μεν οι ηλεκτρικές αντιστάσεις του Δοχείου Βρασμού από αποκάλυψη, αφετέρου δε η αντλία στην έξοδο του Δοχείου Συγκεντρώσεως από εν κενώ λειτουργία. Αμφότερα τα Δοχεία έχουν βαλβίδες ασφαλείας έναντι υπερπίεσης· σε περίπτωση υπερπίεσης οι βαλβίδες ανακουφίζονται μέσω κατάλληλων σωληνώσεων στην ατμόσφαιρα. Η ροή στις διάφορες σωληνώσεις του δικτύου, μπορεί να διακόπτεται ακαριαία με τη χρήση σωληνοειδών βαλβίδων· αυτό εξυπηρετεί τόσο στην περίπτωση προσομοίωσης πειραμάτων, όσο και κυρίως σε περίπτωση αστοχίας. Όπως θα καταφανεί σε επόμενη παράγραφο, ο έλεγχος του ΘΥΚ γίνεται τόσο με συμβατικές διατάξεις όσο και με πλήρως αυτοματοποιημένες ελεγχόμενες από το Η/Υ τύπου PC διατάξεις. Σε κάθε δηλαδή περίπτωση που χρειάζεται επιτήρηση, ρύθμιση ή έλεγχος, υπάρχουν και λειτουργούν παράλληλα τόσο μηχανικά όσο και αυτοματοποιημένα συστήματα - ελεγχόμενα από τον Η/Υ. Το ΘΥΚ διαθέτει άνω των σαράντα σταθμών μετρήσεως των εμπλεκόμενων θερμοϋδραυλικών μεγεθών. Η λήψη των μετρήσεων από τους εν λόγω σταθμούς, γίνεται με τη βοήθεια διατάξεων συλλογής, ενισχύσεως και προσαρμογής σήματος απευθείας συνδεδεμένων στο Bus Η/Υ τύπου IBM-PC συμβατού.

Είναι προφανές ότι η βασική συνιστώσα του ΘΥΚ είναι το **Τμήμα Δοκιμών**. Στο Τμήμα αυτό ουσιαστικά μελετούνται τα φαινόμενα βρασμού δεξαμενής και διφασικής ροής. Όλο το ΘΥΚ έχει κατασκευαστεί, λοιπόν, για να εξυπηρετεί το Τμήμα Δοκιμών. Υγρό νερό και υδρατμός, εισάγονται σε θερμοδυναμική ισορροπία ή σε υπόψυκτη ή υπέρθερμη κατάσταση, ανάλογα με το κατά περίπτωση επιθυμητό. Το Τμήμα Δοκιμών, η βασική συνιστώσα του ΘΥΚ, αποτελεί προσομοίωση, τμήματος μήκους ενός μέτρου, τυπικού καναλιού ψύξεως ΠΑΙ. Συγκροτείται από μεταλλική ράβδο εξωτερικής διαμέτρου 15.875 mm (5/8") η οποία στο εσωτερικό της φέρει

ηλεκτρική αντίσταση για παραγωγή θερμικής ισχύος όταν τροφοδοτείται με ηλεκτρικό ρεύμα. Φέρει ακόμη 12 εσωτερικά εμφυτευμένα θερμοστοιχεία τύπου J (Iron-Constantan) τα οποία παρέχουν ενδείξεις της θερμοκρασίας του περιβλήματος της ράβδου, όπως αναφέρεται στην §3.4. Η ράβδος είναι ομοαξονικά τοποθετημένη εντός καναλιού μήκους ενός περίπου μέτρου, το οποίο συγκροτείται από τεμάχια κατάλληλων διαφανών σωλήνων κατασκευασμένων από πυρίμαχο γυαλί αντοχής σε υψηλές πιέσεις τύπου QVF και εναλλάξιμων με μια μεγάλη ποικιλία από σωλήνες του ίδιου τύπου και διαφόρων διαμορφώσεων, πράγμα που επιτρέπει την κατά τη βούληση του πειραματιστή μεταβολή της γεωμετρίας του καναλιού. Επισημαίνεται η μοναδικότητα του παρόντος Τμήματος Δοκιμών: είναι διαφανές ώστε να επιτρέπει στον πειραματιστή να έχει πλήρη οπτική εποπτεία των δρώντων στο Τμήμα Δοκιμών.

Σε επόμενες παραγράφους θα ακολουθήσει λεπτομερής περιγραφή όλων των επιμέρους συνιστωσών του ΘΥΚ.

3.2.1 Σύντομο Ιστορικό της Μελέτης και της Σχεδιοκατασκευής του ΘΥΚ.

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, η μελέτη και οι πρώτες προσπάθειες σχεδιοκατασκευής του ΘΥΚ έγιναν σε μια αλληλουχία ΔΕ του Τομέα Πυρηνικής Τεχνολογίας κατά τη δεκαετία του 1980. Βεβαίως, η κατασκευή του ΘΥΚ και η αναθεώρηση και βελτίωση της σχεδίασης, όπου χρειαζόνταν, έγιναν αποκλειστικά στα πλαίσια της παρούσης ΔΔ. Θα ήταν σκόπιμο, από πολλές πλευρές, να παρουσιαστεί σε συντομία η συμβολή καθεμιάς από αυτές τις εργασίες στην ολοκλήρωση της παρούσης Πειραματικής Εγκαταστάσεως.

Οι πρώτοι υπολογισμοί και η μελέτη που προέκυψε απ' αυτούς, ενός θερμοϋδραυλικού κυκλώματος νερού για τη μελέτη θερμοϋδραυλικών προβλημάτων κανονικής λειτουργίας και κατάστασης έκτακτης ανάγκης Πυρηνικών Αντιδραστήρων Ισχύος Νερού, έγινε στα πλαίσια της ΔΕ του Γιωτόπουλου Αιμίλιου [43], η οποία ολοκληρώθηκε το έτος 1979. Στα πλαίσια αυτής της ΔΕ έγιναν λεπτομερείς υπολογισμοί και διαστασιολόγηση των κλάδων του κυκλώματος με βάση ανοικτό δίκτυο που θα λειτουργούσε σε ατμοσφαιρικές συνθήκες.

Στη ΔΕ του Βοσίνη Ανδρέα [44] που ολοκληρώθηκε το έτος 1988 και η οποία στηρίχθηκε σε αναθεώρηση της μελέτης για ένα κλειστό θερμοϋδραυλικό κύκλωμα με το νερό υπό πίεση 1-8bar που είχε στο μεταξύ γίνει από τον επιβλέποντα τις εργασίες αυτές, υπολογίστηκαν αναλυτικά και σχεδιάστηκαν τα Δοχεία Βρασμού και Συγκεντρώσεως καθώς και το ύψους τριών περίπου μέτρων Ικρίωμα έδρασης της

εγκατάστασης. Στην ίδια εργασία σχεδιάστηκε η απαιτούμενη διαμόρφωση του χώρου στον οποίον τελικά εγκαταστάθηκε μεταγενέστερα της ΔΕ το ΘΥΚ. Είναι άξιο λόγου να αναφερθεί ότι στα πλαίσια της εργασίας αυτής έγινε και η ανάθεση, μέσω μειοδοτικού διαγωνισμού, της κατασκευής των Δοχείων και του Ικριώματος σε ιδιώτη μειοδότη· η εταιρία *Α.Σ.ΚΟΥΠΠΑΣ & ΣΙΑ ΑΕ* η οποία επανέλαβε τη σχεδίαση και έκανε την κατασκευή κατέληξε πρακτικά στα ίδια σχεδιαστικά μεγέθη, ως προς τη διαστασιολόγηση των συνιστωσών, που είχε καταλήξει και η ΔΕ [44].

Η εγκατάσταση του Ικριώματος και των Δοχείων επί του Ικριώματος, έγινε το έτος 1987, χωρίς βέβαια να γίνει και η διασύνδεση μέσω σωληνώσεων των Δοχείων. Εκείνο τον καιρό, δηλαδή περί το 1987, εσχεδιάζετο η σύνδεση των μεταλλακτών του ΘΥΚ να γίνει απευθείας στους Η/Υ που διέθετε τότε το Εργαστήριο τύπου LSI-11/03. Οι επιτυχείς προσπάθειες για τη σύνδεση αυτή έγιναν στα πλαίσια των ΔΕ [16] και [17]. Συγκεκριμένα στη ΔΕ του Μάγειρα Χρήστου [16] που ολοκληρώθηκε το έτος 1988 συνεδέθη ο κυριότερος μεταλλάκτης της εγκατάστασης δηλαδή το Μαγνητικό Ροόμετρο τύπου PICOMAG DMI-6530 της εταιρίας *Endress & Hauser* απευθείας στον Η/Υ LSI-11/03. Στην ΔΕ του Καλαμπαλίκη Νικόλαου [15] που ολοκληρώθηκε το έτος 1988 έγινε σύνδεση του χωρητικού μεταλλάκτη πίεσης του Δοχείου Βρασμού και προσαρμογή των αντιστάσεων ισχύος 24 kW και των ηλεκτρονικών ελέγχου-των στο Δοχείο Βρασμού· ακολούθησαν δοκιμές θερμοδυναμικής ισορροπίας του βρασμού με έλεγχο από τον απευθείας συνδεδεμένο προς τον χωρητικό μεταλλάκτη πίεσης Η/Υ τύπου LSI-11/03.

Παράλληλα εκείνη την εποχή, δηλαδή περί το 1988, ολοκληρώθηκε η δωρεά ενός παρόμοιου θερμοϋδραυλικού κυκλώματος, με ψυκτικό ρευστό Freon-113, του Mechanical Engineering Department του Imperial College of Science and Technology (ICST) του Πανεπιστημίου του Λονδίνου προς το ΕΠΤ-ΕΜΠ. Από τον εξοπλισμό του θερμοϋδραυλικού αυτού κυκλώματος Freon-113, χρησιμοποιήθηκε ένα από τα τρία δωρηθέντα Τμήματα Δοκιμών περίτεχνης κατασκευής, όπως άλλωστε θα παρουσιαστεί αναλυτικά στη συνέχεια, της Εταιρίας *Hedin Co. Ltd* Μεγ. Βρετανίας. Το υπόψιν Τμήμα Δοκιμών αναρτήθηκε στο Ικρίωμα χωρίς να διασυνδεθεί τότε, υδραυλικά και ηλεκτρικά, όπως άλλωστε και καμία άλλη συνιστώσα του ΘΥΚ.

Το 1989 άρχισε ανεπίσημα και στη συνέχεια το 1990 επίσημα, η ενασχόληση του γράφοντος, στα πλαίσια της ΔΔ του, με την ολοκλήρωση της συγκρότησης του ΘΥΚ, η οποία συνίστατο στην:

- υδραυλική διασύνδεση των συνιστωσών του,

- στην ηλεκτρική διασύνδεση των συνιστωσών του,
- τον εξοπλισμό με μετρητικές διατάξεις συμβατικές και απευθείας συνδεδεμένες,
- τον εφοδιασμό-του με κατάλληλους αυτοματισμούς για την ασφαλή και πλήρως ελεγχόμενη λειτουργία του,
- την συγγραφή του κατάλληλου λογισμικού για την λειτουργία των προγραμμάτων του ελέγχου ρυθμίσεως και μετρήσεων και την
- θέση σε λειτουργία του κυκλώματος.

Πρώτη φροντίδα του γράφοντος ήταν το θέμα της προσαρμογής των μεταλλακτών απευθείας στους Η/Υ. Γρήγορα διαπιστώθηκε ότι η ικανότητα των υπολογιστών LSI-11/03, από πλευράς πολυπλεκτών αφενός και αφετέρου ικανότητας αποθήκευσης σε μαγνητικά μέσα*, ήταν πάρα πολύ περιορισμένη και δεν υπήρχε περίπτωση να αναβαθμισθούν, λόγω του υπερβολικού κόστους. Έτσι, παρά τις απεριόριστες δυνατότητες που διαθέτει ο Η/Υ LSI-11/03 και το Λειτουργικό Σύστημα RT11 για απευθείας σύνδεση με μεταλλάκτες για την εκτέλεση εφαρμογών πραγματικού χρόνου, άρχισε να καλλιεργείται και να ωριμάζει η ιδέα υποκατάστασης του LSI-11/03 από προσωπικούς υπολογιστές τύπου PC. Σε μια πρώτη προσπάθεια έγινε προμήθεια ενός Η/Υ τύπου 80286/12MHz, όπου συνδέθηκε σε πρώτη φάση η μονάδα PCL-718 που περιγράφηκε στο προηγούμενο Κεφάλαιο και σε δεύτερη φάση, περίπου ένα χρόνο αργότερα, έγινε η προμήθεια των πρώτων πολυπλεκτών-ενισχυτών και άρχισαν πλέον συστηματικά να συνδέονται απευθείας προς τη μονάδα αυτή τα θερμοστοιχεία του κυκλώματος. Επισημαίνεται στο σημείο αυτό ότι πολλές καθυστερήσεις που παρουσιάστηκαν στην εξέλιξη της όλης εγκατάστασης, από το 1980 μέχρι περίπου το 1992, οπότε ολοκληρώθηκε η κατασκευή και έγιναν τα εγκαίνιά της, οφείλονταν στις αντιξοότητες εξαιτίας της έλλειψης πιστώσεων του Τακτικού Προϋπολογισμού και σε καμία περίπτωση σε αδράνεια του επιστημονικού και τεχνικού προσωπικού του Τομέα Πυρηνικής Τεχνολογίας.

Τον Οκτώβριο του 1992 έγινε η προμήθεια ενός Η/Υ τύπου PC με επαυξημένες δυνατότητες σε σχέση με εκείνον ο οποίος έως τότε λειτουργούσε στο ΘΥΚ. Ο νέος Η/Υ με επεξεργαστή τύπου 80386/40MHz με έγχρωμη οθόνη και 80 Mbytes σκληρό

* Η συγκρότηση των υπολογιστών LSI-11/03 ήταν η εξής:

- Μνήμη 32 kbytes.
- Δίσκοι 2 flopies 256 kbytes ο καθένας.
- Λειτουργικό Σύστημα RT11/V4.

δίσκο, οδήγησε σε σημαντική αναβάθμιση του Συστήματος Μετρήσεων του ΘΥΚ.

Κατά τη διετία 1990-92, ο γράφων με τη βοήθεια του τεχνικού προσωπικού του Τομέα Πυρηνικής Τεχνολογίας, ολοκλήρωσε το ΘΥΚ και το έθεσε σε δοκιμαστική λειτουργία από την εμπειρία της λειτουργίας αυτής προέβη σε επανειλημμένες αναθεωρήσεις της κατασκευής και ουσιαστικά κατέληξε στην κατασκευή η οποία θα παρουσιαστεί αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους του παρόντος Κεφαλαίου.

3.2.2 Προβλεπόμενη Χρήση του ΘΥΚ.

Το ΘΥΚ, εκ κατασκευής, είναι μια πολύ ευέλικτη εγκατάσταση στην οποία είναι δυνατό να μελετηθούν, πρακτικά όλα τα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα στο θερμοϋδραυλικό κύκλωμα των ΠΑΙ, τόσο κατά την κανονική λειτουργία, όσο και κατά τη διάρκεια μεταβατικών φαινομένων. Το γεγονός ότι τόσο η προσφερόμενη στη ράβδο ηλεκτρική ισχύς, όσο και η θερμοδυναμική κατάσταση του ρευστού στην είσοδο του Τμήματος Δοκιμών είναι απολύτως ελεγχόμενα μεγέθη, καθιστά αυτονόητο ότι είναι δυνατό να προσομοιωθεί οποιοδήποτε τμήμα, μήκους ενός μέτρου, τυπικού καναλιού ΠΑΙ Ελαφρού Νερού (LWR).

Ενδεικτικά παρατίθενται μια σειρά από Ερευνητικές Εργασίες που είναι δυνατό να διεξαχθούν στο ΘΥΚ και αφορούν τους ΠΑΙ:

- Πειράματα προσομοίωσης κανονικής λειτουργίας για τη μελέτη της υπόψυκτης ή/και κεκορεσμένης μετάδοσης θερμότητας νερού.
- Πειράματα προσδιορισμού του Κλάσματος Κενού (Void Fraction) τυπικού καναλιού ΠΑΙ.
- Πειράματα προσδιορισμού της Κρίσιμης Θερμικής Ροής (CHF, Critical Heat Flux) τυπικού καναλιού ΠΑΙ.
- Πειράματα Ημισταθερής (Quasi-Steady State) και Μεταβατικής (Transient) Κατάστασης κατά την επανάψυξη υπερθερμανθείσης ράβδου τυπικού καναλιού ΠΑΙ. Τα πειράματα είναι δυνατό να διεξαχθούν τόσο με ψεκασμό εκ των άνω (Top Spray Cooling), όσο και με πλημμύρισμα εκ των κάτω (Bottom Flooding). Επισημαίνεται ότι οι τεχνικές αυτές χρησιμοποιούνται αποκλειστικά στην πράξη για την αντιμετώπιση σχετικών συμβάντων σε λειτουργούντες Πυρηνοληκτρικούς Σταθμούς παραγωγής.
- Πειράματα για τη μελέτη της Κυματικής και θερμοϋδραυλικής Συμπεριφοράς Πιπτόντων Φιλμς (Free Falling Films) τόσο κατά την Κανονική Λειτουργία, όσο και κατά τη Μεταβατική Κατάσταση τυπικού καναλιού ΠΑΙ με ή χωρίς

μετάδοση θερμότητας.

Τα πιο πάνω πειράματα είναι δυνατό να διεξαχθούν σε μεγάλο εύρος πειραματικών συνθηκών στο Τμήμα Δοκιμών και συγκεκριμένα, πίεσεως, παροχής υγρού στην είσοδο, παροχής ατμού στην είσοδο, υποψύξεως στην είσοδο, προσδιδόμενης θερμικής ισχύος στη ράβδο και αρχικής θερμοκρασίας στην επιφάνεια της ράβδου.

Επισημαίνεται, επίσης, ότι το ΘΥΚ θα μπορούσε να λειτουργήσει με εργαζόμενο μέσο Βαρύ Νερό (D_2O), με μικρές προσαρμογές σε ορισμένα σημεία.

Πέραν των ερευνητικών δραστηριοτήτων, το ΘΥΚ μπορεί να εξυπηρετήσει και εξυπηρετεί από το 1990 συνεχώς, ανάγκες εργαστηριακής εξάσκησης των σπουδαστών στα μαθήματα του Τομέα:

- Μετρήσεις Τεχνικών Μεγεθών και Εργαστήριο.
- Ειδικά Κεφάλαια Πυρηνικής Τεχνολογίας ΙΙ.

Αυτό γίνεται είτε με τη μελέτη φυσικών φαινομένων σε συνιστώσες του ΘΥΚ είτε με την εκμετάλλευση των διατιθεμένων απομαστεύσεων του ΘΥΚ σε περιφερειακές, ειδικής συγκρότησης μικρής κλίμακας, ευέλικτες πειραματικές διατάξεις παιδαγωγικά κατάλληλες για την εξάσκηση των σπουδαστών.

3.3 Το Δοχείο Βρασμού.

Το Δοχείο Βρασμού (σχ.3.3 και σχ.Στ.1^{*}) είναι ένας Κυλινδρικός Ηλεκτρικός Ατμολέβητας στον οποίο το νερό θερμαίνεται έως την κατάσταση κορεσμού στην προρρυθμισθείσα πίεση/θερμοκρασία με 4 Ηλεκτρικές Αντιστάσεις συνολικής ισχύος 36kW (2x12 και 2x6kW).

Κατασκευαστής του δοχείου είναι η εταιρία Α.Σ.ΚΟΥΠΠΑΣ & ΣΙΑ ΑΕ' έτος κατασκευής είναι το 1986. Συνολικό Καθαρό Βάρος 425kg. Ονομαστική πίεση σχεδιασμού είναι τα 6 bar και μέγιστη υδραυλική πίεση δοκιμής τα 9bar. Το δοχείο είναι κατασκευασμένο από χαλυβδοέλασμα πάχους 8mm. Η χωρητικότητα του δοχείου είναι 0.635m³.

Το δοχείο φέρει 3 φλάντζες: δύο στις πλευρές και μια στο άνω μέρος. Οι φλάντζες εξυπηρετούν την επίσκεψη του δοχείου και τις διαδικασίες συντηρήσεως και καθαρισμού.

* Με το συμβολισμό ΣΤ.ι αναφερόμεθα στο σχήμα-ι (i=1,2,...) του Παραρτήματος ΣΤ, στο οποίο παρατίθενται πλήρη κατασκευαστικά σχέδια των συνιστωσών της εγκατάστασως

Σε κάθε μια πλευρική φλάντζα υπάρχουν 3 οπές με σπείρωμα R2" με τα κέντρα τους ευρισκόμενα επί κύκλου ακτίνας 120mm συμμετρικά διατεταγμένες επί της περιφέρειας του κύκλου. Στα σπείρώματα αυτά κοχλιώνονται ηλεκτρικές αντιστάσεις οι οποίες δίδουν τη θερμότητα στο εργαζόμενο μέσο.

Στη φλάντζα του άνω μέρους, υπάρχουν:

- 4 οπές με σπείρωμα M18x1.5.
- 2 μούφες με εσωτερικό σπείρωμα R1/2".
- Μια μούφα με εσωτερικό σπείρωμα NPT 1/2".
- Μια μούφα με εσωτερικό σπείρωμα R1^{1/4}".

Το δοχείο φέρει ακόμη τα εξής ανοίγματα:

- Δυο μούφες με εσωτερικό σπείρωμα R1/2" για τοποθέτηση οπτικού σταθμομέτρου.
- Δυο μούφες με εσωτερικό σπείρωμα R1" στην κάτω πλευρά του δοχείου.
- Δυο μούφες με εσωτερικό σπείρωμα R1/2" στην κάτω πλευρά του δοχείου.
- Μια μούφα με εσωτερικό σπείρωμα R1" στη άνω πλευρά του δοχείου.

Απαραίτητη προϋπόθεση στη σχεδίαση ήταν, η απόσταση μεταξύ των φλαντζών των πλευρών να υπερβαίνει τα 1350 mm ώστε να μην έρχονται σε επαφή μεταξύ τους οι απέναντι θερμαντικές αντιστάσεις.

Το δοχείο δοκιμάστηκε, πιστοποιήθηκε στις προβλεπόμενες πιέσεις (ονομαστική και μέγιστη υδροδυναμική) και ασφαλίστηκε από την Ασφαλιστική Εταιρία *Germanischer Lloyd* (Πίνακας Στ.1[#]).

3.4 Το Τμήμα Δοκιμών.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ως Τμήμα Δοκιμών χρησιμοποιήθηκε το ένα από τα τρία όμοια τμήματα της Δωρεάς του I.C.S.T. προς το ΕΠΤ-ΕΜΠ. Το τμήμα αυτό, που αποτελεί την καρδιά του θερμοϋδραυλικού κυκλώματος, προσομοιώνει γεωμετρικά και φυσικά το ισοδύναμο κανάλι ψύξεως μιας ράβδου πυρηνικού καυσίμου.

Η κυριότερη συνιστώσα του Τμήματος Δοκιμών είναι μία δακτυλιοειδής ράβδος από ανοξείδωτο χάλυβα, εξωτερικής διαμέτρου 15.875mm και πάχους 3.72mm, η οποία

Πρόκειται για Πίνακα που βρίσκεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ

θερμαίνεται ομοιόμορφα στο εσωτερικό-της από ηλεκτρική αντίσταση ισχύος 4.5kW/60VAC (direct heating). Το κανάλι ροής περιορίζεται από ένα διαφανές περίβλημα που συγκροτείται από κατάλληλα τμήματα πυρίμαχου και υψηλής αντοχής σε πιέσεις γυαλιού τύπου QVF εσωτερικής διαμέτρου 1", ώστε να επιτρέπεται οπτική παρατήρηση των δρώντων στο Τμήμα Δοκιμών. Έτσι, ο δακτύλιος ροής του ρευστού έχει εσωτερική διάμετρο 15.875mm, εξωτερική διάμετρο 25.4mm και επιφάνεια ροής 309mm². Οι αντίστοιχες "ισοδύναμοι" διαμέτροι είναι :

- Θερμαινόμενη διάμετρος 25mm και
- Υδραυλική διάμετρος 10mm.

Μεταξύ των εξαρτημάτων του Τμήματος Δοκιμών της δωρεάς του ICST υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία από σωλήνες και εξαρτήματα του γυαλιού τύπου QVF, πράγμα που επιτρέπει την κατά βούληση μεταβολή της γεωμετρίας του καναλιού.

Ένα από τα πλέον ευαίσθητα, από τεχνικής πλευράς, σημείο της κατασκευής ήταν η προσαρμογή του Τμήματος Δοκιμών στα δίκτυα -υγρού και ατμού- της εγκαταστάσεως. Για το σκοπό αυτό, σε αντίστοιχες πειραματικές εγκαταστάσεις κατασκευάζονται ειδικές κεφαλές προσαγωγής και απαγωγής· κατά τη σχεδιοκατασκευή των κεφαλών αντιμετωπίζονται τα εξής -κυρίως- προβλήματα, τα οποία βεβαίως απασχόλησαν και τον γράφοντα, στην περίπτωση του ΘΥΚ:

- Η προσαγωγή στο Τμήμα κάθε μίας φάσης, από ιδιαίτερη σωλήνωση, πρέπει να γίνεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε η μια φάση να μην διαταράσσει τη ροή της άλλης.
- Η κάθε φάση να απάγεται από την προορισμένη γι' αυτή σωλήνωση. Ας μην ξεχνούμε ότι ο ατμός πρέπει να επιστρέψει στο Δοχείο Συγκεντρώσεως απαραίτητα, μέσω του Συμπυκνωτή χωρίς σε καμία περίπτωση να τον βραχυκυκλώνει εκρέοντας από τη γραμμή του υγρού, διότι αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη επικίνδυνα υψηλής πίεσης στο Δοχείο Συγκεντρώσεως, κάτι που ενδεχομένως θα συνεπαγόταν διακοπή της ροής στο ΘΥΚ.
- Σε πολύ χαμηλές παροχές, είναι επιθυμητό η υγρή φάση να παραμένει προσκολλημένη στη ράβδο και να μην αποκολλάται υπό κανονικές συνθήκες απ' αυτήν, κάτι που σημαίνει ότι θα πρέπει να γίνεται κατάλληλη προδιαμόρφωση της ροής επί της επιφανείας της ράβδου πριν από την εισαγωγή στο Τμήμα Δοκιμών όπου γίνονται οι μετρήσεις.
- Στο σημείο της σύνδεσης της ράβδου στο Τμήμα Δοκιμών πρέπει να εξασφαλίζεται άρτια στεγανότητα -ας μην παραβλέπουμε ότι στο Τμήμα αυτό

αναπτύσσονται πιέσεις μέχρι και 7bar- η οποία θα πρέπει να διατηρείται ακόμα και στις περιπτώσεις διαστολής της ράβδου λόγω θέρμανσής της· η θέρμανση της ράβδου μπορεί να αυξήσει τη θερμοκρασία-της μέχρι και τους 800°C.

- Θα πρέπει να εξασφαλίζεται παράλληλα η διαμήκης διαστολή της ράβδου, η οποία στην περίπτωση του ΘΥΚ έχει συνολικό μήκος 1676mm.
- Επιπλέον όλων των ανωτέρω θα πρέπει να συνεκτιμάται ότι επιβάλλονται περιορισμοί στις ροπές συσφίξεως δοθέντος ότι στις συσφίξεις εμπλέκονται εξαιρετικά ανομοιόμορφα υλικά όπως χάλυβας, ορείχαλκος και γυαλί.

Με γνώμονα τις πιο πάνω παρατηρήσεις κατασκευάστηκαν οι διατάξεις κεφαλών προσαγωγής και απαγωγής υγρής και ατμώδους φάσης, μεταξύ των οποίων προσαρμόζεται παράλληλα και το γυάλινο περίβλημα του Τμήματος Δοκιμών (σχ.3.4), που είχαν σχεδιασθεί στην εργασία [2]· όμως, η σχεδίαση αυτή χρειάστηκε να υποστεί μερικές τροποποιήσεις στα πλαίσια της παρούσης ΔΔ, κυρίως λόγω των διαφορετικών ιδιοτήτων μεταφοράς του ψυκτικού μέσου για το οποίο είχε σχεδιασθεί, δηλαδή του Freon-113, και του νερού. Έτσι, π.χ. χρειάστηκε να αλλάξει όλο το ακροφύσιο προσαγωγής της υγρής φάσης και επίσης χρειάστηκε να αντιμετωπιστεί εξ αρχής το σύστημα στεγάνωσης των γυάλινων τμημάτων, τόσο μεταξύ-τους όσο και με τις κεφαλές. Η τελευταία αυτή τροποποίηση, υπαγορεύτηκε κυρίως από τις διαφορές στις περιοχές θερμοκρασιών στις οποίες λειτουργούν οι δύο εγκαταστάσεις, δηλαδή η Βρετανική (θερμοκρασία ράβδου μέχρι 220 °C) και το ΘΥΚ (θερμοκρασία ράβδου μέχρι 800 °C). Δηλαδή οι πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες της ράβδου δοκιμών του ΘΥΚ, που υπαγορεύονται από την κυκλοφορία ενός ρευστού με πολύ μεγαλύτερη λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης απ' ό,τι το Freon-113, συνεπάγεται πολύ μεγαλύτερες διαστολές των υλικών και κατά συνέπεια απαιτεί καλύτερες συναρμογές. Τα O-rings Teflon μεταξύ των γυάλινων κώνων συναρμογής των γυαλιών αποδείχτηκαν ανεπαρκή. Η λύση δόθηκε με τη βοήθεια κατάλληλων δακτυλίων προσαρμογής από θερμοανθεκτική σιλικόνη, οι οποίοι κατασκευάστηκαν με την ίδια κωνικότητα με εκείνη των γυάλινων σωλήνων· οι δακτύλιοι συγκρατούνται στη θέση-τους με τη βοήθεια ειδικών δακτυλίων από αλουμίνιο [σχ. 3.5(a)]. Μετά τη σχεδίαση και κατασκευή των διπλών αυτών δακτυλίων σε εξειδικευμένο Μηχανουργείο, το Τμήμα Δοκιμών καταπονήθηκε σε υψηλές πιέσεις και παράλληλα θερμοκρασίες και διεπιστώθη ότι

παραμένει εξαιρετικά στεγανό μέχρι πίεση 10bar/θερμοκρασία ράβδου 700 °C*.

Στο εσωτερικό του γυάλινου σωλήνα και ομοαξονικά προς αυτόν, είναι τοποθετημένη μεταλλική ράβδος εξωτερικής διαμέτρου 15.875 mm. Η ράβδος δοκιμών (σχ. 3.6, 3.7, 3.8), η κατασκευή της οποίας έγινε σε εξειδικευμένο Μηχανουργείο του Ηνωμένου Βασιλείου (*Hedin Co. Ltd*, [2]), αποτελείται από δύο εγκάρσια τμήματα:

Το εσωτερικό τμήμα είναι ένας σωλήνας εξωτερικής διαμέτρου 12.7 mm από Ανοξειδωτο Χάλυβα (316SS) εντός του οποίου έχει τοποθετηθεί ελικοειδής θερμαντική ταινία από Ni-Cr, η οποία παρουσιάζει αντίσταση 0.9Ω. Η ταινία είναι εγκλιβωτισμένη εντός σκόνης από Οξειδίο του Μαγνησίου (MgO) η οποία παρουσιάζει παραπλήσιες θερμοφυσικές ιδιότητες προς το Οξειδίο του Ουρανίου (UO₂), το οποίο αποτελεί το σύννηθες πυρηνικό καύσιμο των αντιδραστήρων νερού. Στην εξωτερική επιφάνεια του πιο πάνω σωλήνα, έχουν τοποθετηθεί 12 θερμοστοιχεία τύπου J (Iron-Constantan), η επαφή των οποίων βρίσκεται περιμετρικά σε διάφορες θέσεις κατά μήκος του άξονα της ράβδου. Για την οδήγηση των θερμοστοιχείων στην κατάλληλη θέση, αλλά και για την ενίσχυση της κατασκευής, έχουν χρησιμοποιηθεί λεπτές ράβδοι από ανοξειδωτο χάλυβα. Το όλο σύστημα τέλος εγκλιβωτίστηκε μέσα σε ένα άλλο σωλήνα επίσης από 316SS αρχικής εξωτερικής διαμέτρου 17.4625 mm, ο οποίος υπέστη στη συνέχεια εξέλαση με αποτέλεσμα τη μείωση της εξωτερικής του διαμέτρου στην τελική τιμή των 15.875 mm. Οι κατά μήκος του άξονα της ράβδου θέσεις των 12 θερμοστοιχείων απεικονίζονται στο σχ. 3.9. Η έξοδος των θερμοστοιχείων γίνεται από το άνω άκρο της ράβδου.

Η **Ανω Κεφαλή** (σχ. 3.4) ή Κεφαλή Προσαγωγής αποτελείται από δύο ξεχωριστούς θαλάμους εκ των οποίων ο ένας, ο εσωτερικός, εξασφαλίζει την οδήγηση προς το κανάλι δοκιμών του υγρού εισόδου, ενώ ο άλλος, ο εξωτερικός εξασφαλίζει την οδήγηση του ατμού εισόδου. Η είσοδος τόσο του υγρού όσο και του ατμού

* Αξίζει να σημειωθεί ότι μεγάλη εμπειρία αποκτήθηκε στο χειρισμό των συγκεκριμένων τμημάτων με αφορμή τη θραύση που συνέβη στη φάση της συναρμολόγησης σε ένα γυάλινο T-piece, άκρως ευαίσθητο και σπάνιο τμήμα του καναλιού. Η θραύση επήλθε λόγω μη ισομερούς τάνυσης στη φάση της προσαρμογής (υπερβολικό βίδωμα μόνο από τη μια πλευρά). Αυτό οδήγησε στη θραύση του κωνικού τμήματος συνδέσεως. Η επισταμένη έρευνα αγοράς, οδήγησε στον εντοπισμό του μοναδικού στην Ελλάδα Μηχανουργείου το οποίο επισκεύασε το γυάλινο κομμάτι που αστόχησε: το Μηχανουργείο αυτό μπορεί να κατασκευάζει παρόμοια εξαρτήματα QVF, με εξαιρετικά χαμηλό κόστος, εξασφαλίζοντας με τον τρόπο αυτό τη βιωσιμότητα του ευαίσθητου Τμήματος Δοκιμών όσον αφορά τον ευαίσθητο αυτό τομέα. Παράλληλα εντοπίσαμε και τον κατασκευαστή των εν λόγω εξαρτημάτων στο Ηνωμένο Βασίλειο. Ο Πίνακας Στ.2 παραθέτει τη σειρά των προϊόντων που μας ενδιαφέρουν.

γίνεται από δύο αντιδιαμετρικές οπές για την κάθε φάση, φέρουσες σπείρωμα οι οποίες καταλήγουν στους αντίστοιχους θαλάμους. Η ανάμιξη εξασφαλίζεται με τη βοήθεια ειδικού μεταλλικού πορώδους δακτυλίου (Porous Material)*.

Σημαντικό τμήμα της άνω κεφαλής αποτελεί και το ακροφύσιο το οποίο εξασφαλίζει τη δημιουργία κυμάτων στην περίπτωση που οι φυσικές συνθήκες το επιτρέπουν [σχ. 3.5(β)]. Χαρακτηριστικό είναι ότι ο εν λόγω δακτύλιος είχε σχεδιαστεί για τη δημιουργία κυμάτων με εργαζόμενο μέσο Freon-113 το οποίο έχει διαφορετικές ιδιότητες μεταφοράς από το εργαζόμενο μέσο του ΘΥΚ (νερό) στις αντίστοιχες συνθήκες. Κατέστη λοιπόν αναγκαίο να αναπροσαρμοστούν οι διαστάσεις του δακτυλίου αυτού ώστε να επιτευχθεί ο σχηματισμός κυματώσεων και σε πίπτον φιλμ νερού.

Η **Κάτω Κεφαλή** ή Κεφαλή Απαγωγής έχει απλούστερη διαμόρφωση από εκείνη της άνω, η δε κατασκευαστική της επιτυχία έγκειται στη σωστή επιλογή των διατομών και των θέσεων εξόδου του υγρού και του ατμού από το Τμήμα Δοκιμών, ώστε να επιτυγχάνεται η σωστή οδήγηση κάθε φάσεως προς την αντίστοιχη σωλήνωση. Τυχόν αποτυχία στο σημείο αυτό, θα οδηγούσε σε συσσώρευση του ατμού στο δοχείο συγκεντρώσεως μέσω της γραμμής του υγρού και σε διακοπή της λειτουργίας του ΘΥΚ λόγω εξισώσεως των πιέσεων στα δύο δοχεία (Βρασμού-Συγκεντρώσεως). Η έξοδος του υγρού γίνεται από δύο αντιδιαμετρικές οπές φέρουσες σπείρωμα, ενώ η έξοδος του ατμού γίνεται από μια μόνο οπή επίσης φέρουσα σπείρωμα.

Κατά τη φάση της εγκατάστασης του Τμήματος Δοκιμών, αντικαταστάθηκαν όλα τα O-rings στεγάνωσης της ράβδου επί των κεφαλών προσαγωγής και απαγωγής, με αντίστοιχα από θερμοανθεκτικό ελαστικό τύπου Viton. Σε αμφότερα τα άκρα της ράβδου μήκος ίσο με 13" δε θερμαίνεται ώστε να προφυλαχθούν τα O-rings αυτά από υπερθέρμανση. Στα τμήματα αυτά έχουν τοποθετηθεί τα θερμοστοιχεία TC1 και TC12 σχ.3.9, τα οποία χρησιμοποιούνται από το σύστημα αυτομάτου ελέγχου της ηλεκτρικής τροφοδοσίας της ράβδου, ώστε να αποφευχθεί τήξη και συνακόλουθη αστοχία των δακτυλίων στεγάνωσης (O-rings) των κεφαλών του Τμήματος Δοκιμών.

Στα εξαρτήματα του Τμήματος Δοκιμών συμπεριλαμβάνονται και δύο ειδικοί γυάλινοι σωλήνες τύπου-T (T-pieces) οι οποίοι, εάν συνδεσμολογηθούν στα άκρα

* Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, ο πορώδης δακτύλιος που παρεδόθη μαζί με το Τμήμα Δοκιμών, είχε οξειδωθεί και δεν κατέστη δυνατό να καθαριστεί (να διανοιχθούν εκ νέου οι πόροι) παρόλες τις προσπάθειες που έγιναν με τη χρήση διαφόρων τύπων αντισκωριακών υγρών. Έτσι, σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε νέο εξάρτημα σε ειδικευμένο Μηχανουργείο. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε Ορειχάλκινος Δακτύλιος στον οποίο διανοίχθηκαν 100 περίπου διαμπερείς οπές με διάφορες κλίσεις ως προς το σώμα του δακτυλίου, οι οποίες έχουν διάμετρο 0.5 mm. Η λύση που δόθηκε αποδείχθηκε άκρως ικανοποιητική.

του καναλιού δοκιμών, καθιστούν δυνατή τη σύνδεση κατάλληλων ιχνηλατών αγωγιμότητας (probes) με μικρομετρική προώθηση οι οποίοι, σε συνεργασία με κατάλληλη ηλεκτρονική διάταξη, επιτρέπουν τη μέτρηση των χαρακτηριστικών των πιπτόντων φιλμς. Οι ιχνηλάτες αυτοί, αποτελούν επίσης τμήμα της δωρεάς του ICST.

3.5 Ο Συμπυκνωτής και το Δοχείο Συγκεντρώσεως.

Ο Συμπυκνωτής του υδρατμού του ΘΥΚ είναι του τύπου ομοαξονικής αντιρροής, με πέντε κλάδους (σχ. 3.10 και 3.11). Ο Συμπυκνωτής έχει κατασκευαστεί από την *G.G. Engineering Ltd. (London)* σύμφωνα με το πιστοποιητικό ποιοτικού ελέγχου-του έχει δοκιμασθεί σε υδραυλική πίεση 100 lb/in^2 (6.895 bar) (Πίνακας Στ.3).

Η συναλλαγή της θερμότητας γίνεται διαμέσου των τοιχωμάτων σωλήνος εσωτερικής διαμέτρου 1" επί μήκους 5486 mm και στη συνέχεια σωλήνος εσωτερικής διαμέτρου 1/2" επί μήκους 1372 mm.

Ο εν λόγω Συμπυκνωτής έχει αναρτηθεί στον εξωτερικό τοίχο του δωματίου που στεγάζει το ΘΥΚ, με τη βοήθεια ειδικών στηριγμάτων τα οποία επιτρέπουν ελεύθερα τις αναπτυσσόμενες κατά τη λειτουργία-του διαστολές και συστολές.

Στο Δοχείο Συγκεντρώσεως (σχ.3.12 και Στ.2) συγκεντρώνεται το συμπύκνωμα καθώς και το υγρό που εκρέει από το Τμήμα Δοκιμών. Κατασκευαστής του όγκου 200lt δοχείου είναι η εταιρία *A.Σ.ΚΟΥΠΠΑΣ & ΣΙΑ ΑΕ* έτος κατασκευής είναι το 1986. Το συνολικό καθαρό βάρος είναι 200 kgr. Ονομαστική πίεση σχεδιασμού είναι τα 6 bar και μέγιστη υδραυλική πίεση δοκιμής τα 9 bar. Το δοχείο είναι κατασκευασμένο από χαλυβδοέλασμα πάχους 6 mm. Η χωρητικότητα του δοχείου είναι 0.200 m^3 . Το δοχείο φέρει 1 φλάντζα στο άνω μέρος. Η φλάντζα εξυπηρετεί την επίσκεψη του δοχείου ώστε να υποστηρίζονται οι διαδικασίες συντηρήσεως και καθαρισμού. Στη φλάντζα του άνω μέρους, υπάρχουν:

- 2 οπές με σπείρωμα M18x1.5.
- 3 μούφες με εσωτερικό σπείρωμα R1".

Το δοχείο φέρει ακόμη τα εξής ανοίγματα:

- Δυο μούφες με εσωτερικό σπείρωμα R1/2" για τοποθέτηση οπτικού σταθμομέτρου,
- μια μούφα με εσωτερικό σπείρωμα R1" στην κάτω πλευρά του δοχείου,
- δυο μούφες με εσωτερικό σπείρωμα R1/2" στη μια πλαϊνή πλευρά του δοχείου,

και

- μια οπή με σπείρωμα R1" στην άλλη πλαϊνή πλευρά του δοχείου.

Το δοχείο δοκιμάστηκε, πιστοποιήθηκε στις προβλεπόμενες πιέσεις (ονομαστική και μέγιστη υδροδυναμική) και ασφαλίστηκε από την Ασφαλιστική Εταιρία *Germanischer Lloyd* (Πίνακας Στ.5).

3.6 Η Συγκρότηση του Ικριώματος.

Η εγκατάσταση του ΘΥΚ έγινε σε ειδικά διαμορφωμένο υπόγειο χώρο του ΕΠΤ-ΕΜΠ. Ο χώρος αυτός, που δεν διέθετε το κατάλληλο ύψος, εκβαθύνθηκε κατά 1.50m ώστε οριακά να χωρά την ύψους 4.5m εγκατάσταση. Ας προστεθεί ότι θα απαιτείτο ακόμη ύψος 1.5m για την άνεση τόσο από πλευράς λειτουργίας όσο και από πλευράς συντήρησης της εγκατάστασης. Ο χώρος εξοπλίστηκε με κατάλληλη 3-φασική Ηλεκτρική Εγκατάσταση, απαραίτητη για την εξυπηρέτηση των αναγκών του ΘΥΚ. Ο χώρος εγκατάστασης του ΘΥΚ απεικονίζεται στο σχ. 3.13.

Η εκβάθυνση έφερε το επίπεδο του ορύγματος σε σημείο χαμηλότερο από το ύψος των αποχετευτικών φρεάτων με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η απομάκρυνση τυχόν ποσοτήτων διαρρέοντος ύδατος (π.χ. κατά τον καθαρισμό του Δοχείου Συγκεντρώσεως). Για το λόγο αυτό έγινε η προμήθεια ειδικής αντλίας ακαθάρτων υδάτων για εκκένωση του ορύγματος.

Η Κατασκευή και η Συγκρότηση του Ικριώματος (σχ.3.14 και Στ.3), έγινε από την εταιρία κατασκευής των Δοχείων. Στον ειδικά διαμορφωμένο χώρο για την εγκατάσταση του ΘΥΚ του ΕΠΤ-ΕΜΠ, συναρμολογήθηκε η βάση του Ικριώματος, εγκαταστάθηκε το Δοχείο Συγκεντρώσεως στο χαμηλότερο σημείο, συναρμολογήθηκε η μεσοδομή του Ικριώματος και τέλος εγκαταστάθηκε το Δοχείο Βρασμού στο ανώτερο σημείο του Ικριώματος κατά τα προβλεπόμενα από το σχεδιασμό.

Η εγκατάσταση των Δοχείων έγινε με τη βοήθεια ειδικής γερανογέφυρας, που προσαρμόσθηκε στην οροφή του χώρου, και βαρούλκου στο υπέρ την οροφή του υπογείου δάπεδο του ισόγειου. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί ότι τα Δοχεία ήλθαν από το εργοστάσιο κατασκευής με συναρμολογημένες τις φλάντζες-τους' αυτό ήταν επιβεβλημένο για να είναι δυνατό να εκτελεστούν οι Δοκιμές αντοχής των Δοχείων οι οποίες εκτελέστηκαν στις εγκαταστάσεις του κατασκευαστή.

3.7 Το Υδραυλικό Κύκλωμα.

Το υδραυλικό κύκλωμα σε γενικές γραμμές απεικονίζεται στο σχ.3.15 ενώ στο σχ.

Στ.4 εμφανίζεται λεπτομερές προοπτικό σχέδιο του ΘΥΚ. Αξίζει να σημειωθεί ότι για τη χάραξη του λεπτομερούς προοπτικού σχεδίου, ακολουθήθηκαν οι οδηγίες που παρατίθενται στις βιβλιογραφικές πηγές [48] και [49]. Οι επιμέρους συσκευές περιγράφονται αναλυτικά στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε.

Το κύκλωμα συγκροτείται από τέσσερις κύριους και δεκαοκτώ δευτερεύοντες κλάδους στους οποίους συνδέονται οι βασικές συνιστώσες που περιγράφηκαν προηγουμένως, όπως τα Δοχεία Βρασμού και Συγκεντρώσεως, το Τμήμα Δοκιμών και ο Συμπυκνωτής.

Οι βασικοί κλάδοι από τους οποίους συγκροτείται το ΘΥΚ (σχ. 3.15) είναι οι εξής:

- Κλάδος *ΑΒ* τροφοδοσίας του Τμήματος Δοκιμών με υγρό από το Δοχείο Βρασμού.
- Κλάδος *ΓΒ* τροφοδοσίας του Τμήματος Δοκιμών με ατμό από το Δοχείο Βρασμού.
- Κλάδος *ΔΕ* απομάκρυνσης του υγρού από το Τμήμα Δοκιμών και οδήγησής του στο Δοχείο Συγκεντρώσεως.
- Κλάδος *ΔΖ* απομάκρυνσης του ατμού από το Τμήμα Δοκιμών και οδήγησής του στο Συμπυκνωτή.

Οι δευτερεύοντες κλάδοι από τους οποίους συγκροτείται το ΘΥΚ είναι οι εξής:

- Κλάδος *ΑΕ* by-pass του Τμήματος Δοκιμών για απευθείας τροφοδοσία του Δοχείου Συγκεντρώσεως με υγρό από το Δοχείο Βρασμού - παράκαμψη προ του Μανδύα Ψύξεως.
- Κλάδος *ΗΕ* by-pass του Τμήματος Δοκιμών για απευθείας τροφοδοσία του Δοχείου Συγκεντρώσεως με υγρό από το Δοχείο Βρασμού - παράκαμψη μετά το Μαγνητικό Ροόμετρο.
- Κλάδος *ΗΘ* απομαστεύσεων από το προαναφερθέν κύκλωμα για εκτέλεση εκτός ΘΥΚ πειραμάτων.
- Κλάδος *ΔΧ* απομακρύνσεως υγρού από το Τμήμα Δοκιμών για εκτέλεση Ατμοσφαιρικών πειραμάτων.
- Κλάδος *ΚΓ* τροφοδοσίας του Δοχείου Βρασμού με υγρό από το Δοχείο Συγκεντρώσεως.
- Κλάδος *ΚΕ* by-pass Αντλίας του ανωτέρω κυκλώματος
- Κλάδος *ΛΓ* πληρώσεως του Δοχείου Βρασμού με νερό από το δίκτυο υδρεύσεως.
- Κλάδος *ΛΜ* τροφοδοσίας με ψύχον νερό του Μανδύα Ψύξεως από το δίκτυο Υδρεύσεως.
- Κλάδος *ΝΞ* απομακρύνσεως του ψύχοντος νερού του Μανδύα Ψύξεως προς την αποχέτευση.
- Κλάδος *ΑΞ* εκκενώσεως του Δοχείου Βρασμού προς την αποχέτευση.
- Κλάδος *ΟΕ* επιστροφής του συμπυκνώματος από το Συμπυκνωτή στο Δοχείο Συγκεντρώσεως.
- Κλάδος *ΛΠ* προσαγωγής στο Συμπυκνωτή του ψύχοντος νερού από το δίκτυο υδρεύσεως.
- Κλάδος *ΡΞ* απομακρύνσεως από το Συμπυκνωτή του ψύχοντος νερού προς την αποχέτευση.

- Κλάδος ΓΣ συνδέσεως με χειρόπρεσσα για υδραυλική συμπίεση του ΘΥΚ.
- Κλάδος ΓΤ οδήγησης της εκτόνωσης των ασφαλιστικών στο περιβάλλον.
- Κλάδος ΓΥ χειροκίνητης εξαερώσεως Δοχείου Βρασμού.
- Κλάδος ΓΦ εξαερώσεως Δοχείου Βρασμού μέσω θερμοστατικής ατμοπαγίδος. Σχετικά με τη λειτουργία της θερμοστατικής ατμοπαγίδος μπορούν να αναζητηθούν στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι επιτυχής θεωρείται η λειτουργία του ΘΥΚ όταν η επιλογή των διατομών των διαφόρων κλάδων, καθώς και οι συνδεδεμένες συσκευές και αυτοματισμοί που παρεμβάλλονται, συμβάλλουν έτσι ώστε να φθάνει στο Τμήμα Δοκιμών τόσο η υγρή όσο και η ατμώδης φάση στις επιθυμητές για τα πειράματα συνθήκες· όπως θα καταφανεί στη συνέχεια, αυτό συμβαίνει στην περίπτωση του ΘΥΚ.

Ο κλάδος HE by-pass με απομάστευση μετά το Μαγνητικό Ροόμετρο, κρίθηκε αναγκαίος για την προσομοίωση και διεξαγωγή επιτυχών πειραμάτων επαναψύξεως υπερθερμανθείσης ράβδου τυπικού καναλιού ΠΑΙ. Συγκεκριμένα, τα εν λόγω πειράματα απαιτούν διακοπή, για ορισμένο χρονικό διάστημα, της παροχής του υγρού στο Τμήμα Δοκιμών ώστε να προσομοιωθεί το Ατύχημα Απώλειας Ψυκτικού (L.O.C.A.). Στη συνέχεια και αφού η ράβδος υπερθερμανθεί ηλεκτρικά, η παροχή επανέρχεται ώστε να μελετηθεί το φαινόμενο της Επαναψύξεως. Στη φάση της διακοπής της τροφοδοσίας με υγρό του Τμήματος Δοκιμών, το υγρό παροχετεύεται από τον εν λόγω κλάδο ώστε όταν απαιτηθεί επανατροφοδοσία, να μην έχουν αλλοιωθεί τα χαρακτηριστικά της ροής του, όπως θα συνέβαινε εάν η παροχή απλά είχε διακοπεί. Ας προστεθεί ότι η έλλειψη του κλάδου αυτού ήταν μια αδυναμία της θερμοϋδραυλικής εγκατάστασης Freon-113 του ICST [2].

Μια άλλη ιδιαιτερότητα του υδραυλικού κυκλώματος αποτελεί η κλίση των 20° περίπου προς τα άνω, που εδόθη σε τμήμα του κλάδου AB όπου συνδέεται το Μαγνητικό Ροόμετρο. Η κλίση αυτή έχει ως σκοπό να εξασφαλίσει την ασφαλή λειτουργία του Ροομέτρου· η αναγκαιότητά της, περιγράφεται πλήρως στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε.

Ο κλάδος AE by-pass του υγρού αμέσως μετά την έξοδό του από το Δοχείο Βρασμού, έχει σκοπό να δώσει τη δυνατότητα στον πειραματιστή να οδηγήσει κατά βούληση θερμό νερό στο Δοχείο Συγκεντρώσεως. Μερικοί από τους λόγους που αυτό θα ήταν επιθυμητό είναι:

- Η οδήγηση των φυσαλίδων τις οποίες τυχόν μεταφέρει το θερμό υγρό, προς στο Δοχείο Συγκεντρώσεως ώστε να μη διαταραχθεί η ομαλή ροή προς το Τμήμα Δοκιμών.

- Η τροφοδοσία του Δοχείου Συγκεντρώσεως με "πλούσιο" ενεργειακά υγρό ώστε να ανέβει γρήγορα η θερμοκρασία του περιεχομένου υγρού.
- Η ταχεία άνοδος/κάθοδος του ΘΥΚ προς/από υψηλές πιέσεις λειτουργίας.

Ο κλάδος ΔΧ απομακρύνσεως υγρού από το Τμήμα Δοκιμών για εκτέλεση Πειραμάτων σε Ατμοσφαιρικές Συνθήκες, απομαστεύει το υγρό το οποίο δε μπορεί να απομακρυνθεί ελλείψει οδηγούσης διαφοράς πίεσης· το υγρό αυτό θα παρέμενε στο Τμήμα Δοκιμών εμποδίζοντας την εκτέλεση πειραμάτων υπό τις προαναφερθείσες συνθήκες, τόσο στην περίπτωση της επαναψύξεως, όσο και στην περίπτωση μελέτης Πιπτόντων Φιλμς.

Ο κλάδος ΓΥ χειροκίνητης εξαέρωσης, προσφέρει επιπλέον ασφάλεια στο Δοχείο Βρασμού και όταν είναι ανοικτός δημιουργεί ατμοσφαιρικές συνθήκες στο δοχείο.

Η χρήση σωληνοειδών βαλβίδων στο ΘΥΚ, εξασφαλίζει αφενός μεν την μετληχειρισμό απομόνωση των κλάδων σε περίπτωση ατυχήματος, αφετέρου δε την ακαριαία διακοπή - επαναφορά της παροχής στους υπόψιν κλάδους, πράγμα απαραίτητο για την επιτυχή εκτέλεση μιας κατηγορίας πειραμάτων (πειράματα επαναψύξεως).

Για τα δοχεία του ΘΥΚ ελήφθη ειδική πρόνοια θερμικής μόνωσης, τόσο για την αποφυγή θερμικών απωλειών, όσο και για να μην ανεβαίνει η θερμοκρασία λειτουργίας των διαφόρων οργάνων που βρίσκονται στον ίδιο χώρο. Το μονωτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε είναι ορυκτοβάμβακας ενισχυμένος με πλέγμα. Για τη θερμική μόνωση των σωληνώσεων χρησιμοποιήθηκε επένδυση Armaflex.

3.8 Το Ηλεκτρολογικό Κύκλωμα.

Το Ηλεκτρολογικό Κύκλωμα, οι κύριες συνιστώσες του οποίου διακρίνονται στα σχ. 3.16 και Στ.5, αποτελεί τον "εγκέφαλο" της όλης εγκατάστασης διότι, αφενός μεν την τροφοδοτεί ενεργειακά, αφετέρου δε εποπτεύει την ασφαλή λειτουργία της. Στις παραγράφους που ακολουθούν θα περιγραφούν οι τέσσερις συνιστώσες που το συγκροτούν, δηλαδή τα ηλεκτρολογικά κυκλώματα:

- Του Δοχείου Βρασμού,
- του Δοχείου Συγκεντρώσεως,
- του Τμήματος Δοκιμών, και
- των Υδραυλικών Κλάδων.

Εξάλλου, στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε, όπου περιγράφονται λεπτομερώς όλες οι συσκευές που χρησιμοποιούνται στο ΘΥΚ, παρέχονται όλα τα στοιχεία για τις επιμέρους

συνιστώσες του ηλεκτρολογικού κυκλώματος.

3.8.1 Ηλεκτρολογικό Κύκλωμα Δοχείου Βρασμού.

Το Ηλεκτρολογικό Κύκλωμα του Δοχείου Βρασμού, περιλαμβάνει την τροφοδοσία των ηλεκτρικών-του αντιστάσεων καθώς και τους αυτοματισμούς οι οποίοι την ελέγχουν.

Οι ηλεκτρικές αντιστάσεις είναι τέσσερις τον αριθμό (δύο των 12 kW και δύο των 6kW). Είναι τοποθετημένες έτσι ώστε να αντιστοιχούν από μία των 12 kW και μία των 6 kW σε κάθε πλάγια φλάντζα του Δοχείου Βρασμού και μάλιστα απέναντι από κάθε αντίσταση των 6 kW να ευρίσκεται μία των 12 kW (διάταξη Χιαστί) (σχ. Στ.4, στοιχεία 32,33,34 & 35). Οι αντιστάσεις τροφοδοτούνται με τριφασική ισχύ. Η τροφοδοσία ελέγχεται από ηλεκτρονόμους (ρελέ) τα πηνία των οποίων τροφοδοτούνται με τάση 24VDC (συνεχής). Τα εν λόγω ρελέ, για λόγους ασφαλείας, είναι εγκατεστημένα σε Ηλεκτρικό Πίνακα (σχ. Στ-4, στοιχείο 64). Ο μετασχηματιστής 220VAC/24VDC έχει τοποθετηθεί μέσα σε ειδικό μεταλλικό κιβώτιο το οποίο περιέχει όλα τα όργανα αυτομάτου ελέγχου του Δοχείου Βρασμού (σχ. Στ.4, στοιχείο 67). Η τροφοδοσία καθενιάς αντιστάσεως ελέγχεται κατ' αρχήν από χειροκίνητο διακόπτη δύο θέσεων (ON/OFF). Όμως ο αυτόματος έλεγχος της τροφοδοσίας των 24VDC έχει ανατεθεί σε τρεις, παράλληλα λειτουργούντες αυτοματισμούς:

- Ειδικός ελεγκτής (Controller) θερμοκρασίας στον οποίο γίνεται έλεγχος της προρρυθμισθείσης θερμοκρασίας λειτουργίας του Δοχείου Βρασμού, με βάση τη θερμοκρασία που μετρά ένα εκ των δύο θερμοστοιχείων τύπου K (Chromel-Alumel) στον πυθμένα του Δοχείου Βρασμού· το σήμα του θερμοστοιχείου αυτού οδηγείται παράλληλα τόσο στον ελεγκτή όσο και σε ψηφιακό βολτόμετρο με μονάδα προσαρμογής θερμοστοιχείων, για παράλληλη μέτρηση. Εάν η θερμοκρασία που μετράται υπερβεί την προρρυθμισθείσα, ο ελεγκτής διακόπτει την τροφοδοσία των αντιστάσεων.
- Ειδικό ηλεκτρικό μανόμετρο επαφών (σχ. Στ-4, στοιχείο 17) το οποίο διακόπτει την τροφοδοσία των αντιστάσεων εάν η πίεση του Δοχείου Βρασμού υπερβεί την προρρυθμισθείσα τιμή των 7.66 bar.
- Ειδικός ηλεκτρικός αισθητήρας στάθμης (Nivotester) ο οποίος με ιχνηλάτες αγωγιμότητας (μπουζί) που διαθέτει (σχ. Στ.4, στοιχείο 16) παρακολουθεί τη στάθμη του υγρού μέσα στο δοχείο. Χρησιμοποιώντας δύο τέτοιους ιχνηλάτες (υψηλής στάθμης, χαμηλής στάθμης) το σύστημα προστατεύει τις ηλεκτρικές

αντιστάσεις από αποκάλυψη. Περισσότερα για τη λειτουργία του υπόψιν συστήματος αναφέρονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε.

Ιδιαίτερη πρόνοια έχει ληφθεί ώστε το πιο πάνω σύστημα ελέγχου των αντιστάσεων να εξασφαλίζει την ασφάλεια του Δοχείου Βρασμού, ακόμη και σε περίπτωση αστοχίας-του (fail-safe).

3.8.2 Ηλεκτρολογικό Κύκλωμα Δοχείου Συγκεντρώσεως.

Το Ηλεκτρολογικό Κύκλωμα του Δοχείου Συγκεντρώσεως (σχ. Στ.4, στοιχείο 69), σκοπό έχει αφενός μεν να εξασφαλίζει τη μη υπερχειλίση του δοχείου αφετέρου δε να ελέγχει τη λειτουργία της αντλίας τροφοδοσίας του Δοχείου Βρασμού.

Το εν λόγω κύκλωμα περιλαμβάνει έναν αυτοματισμό ο οποίος συγκροτείται από ηλεκτρικό διακόπτη τύπου Nivotester όμοιο προς εκείνο του Δοχείου Βρασμού που αναφέρεται στην προηγούμενη παράγραφο. Ο αυτοματισμός αυτός είναι απαραίτητος διότι ελέγχει την ηλεκτρική τροφοδοσία της αντλίας (σχ. Στ.4, στοιχείο 27) και μέσω αυτής τη στάθμη του υγρού του δοχείου. Συγκεκριμένα, όταν η στάθμη υπερβεί τον άνω ιχνηλάτη, η αντλία τροφοδοτείται με ηλεκτρική ισχύ ώστε να εκκενώσει το Δοχείο. Όταν η στάθμη κατέβει κάτω από τον κάτω ιχνηλάτη, η λειτουργία της αντλίας διακόπτεται για να μην αποκαλυφθούν τα υδρόψυκτα δακτυλίδια στεγάνωσής της και καταστραφούν εξαιτίας υπερθέρμανσης.

Η τροφοδοσία της αντλίας ελέγχεται από γενικό διακόπτη, ενώ στο κύκλωμα έχει προβλεφθεί η παράκαμψη του συστήματος ασφαλείας για την κατά βούληση ενεργοποίηση-απενεργοποίηση της αντλίας σε ενδιάμεσες τιμές στάθμης του υγρού στο δοχείο. Σε καμία όμως περίπτωση ο αυτοματισμός δεν μπορεί να εξουδετερωθεί ώστε να οδηγήσει σε μη ασφαλή λειτουργία. Δηλαδή η χειροκίνητη λειτουργία μπορεί να θέσει σε λειτουργία την αντλία χωρίς η στάθμη να έχει προσεγγίσει τον άνω ιχνηλάτη και μπορεί να διακόψει τη λειτουργία πριν η στάθμη πλησιάσει τον κάτω ιχνηλάτη, δεν μπορεί όμως να θέσει σε λειτουργία την αντλία όταν η στάθμη είναι κάτω από τον κάτω ιχνηλάτη ούτε είναι δυνατό να τη διακόψει όταν η στάθμη είναι ψηλότερα από τον άνω ιχνηλάτη.

3.8.3 Ηλεκτρολογικό Κύκλωμα Τμήματος Δοκιμών.

Στο ηλεκτρολογικό κύκλωμα του Τμήματος Δοκιμών διακρίνουμε δύο συνιστώσες με τις οποίες επιτυγχάνεται ο έλεγχος:

α) Της τροφοδοσίας της ράβδου με ηλεκτρική ισχύ υπό σταθερά θερμοκρασία.

Ο αυτοματισμός αυτός έχει ως στόχο την παροχή ηλεκτρικής ισχύος 60VAC στην ηλεκτρική αντίσταση 0.9Ω της ράβδου κατά τέτοιο τρόπο ώστε η θερμοκρασία της, όπως αυτή καταγράφεται από το θερμοστοιχείο TC11 (σχ. 3.9), να παραμένει σταθερή. Αυτό επιτυγχάνεται με:

- Μετασχηματιστή 380/60VAC (σχ. Στ.4, στοιχείο 59) ο οποίος τροφοδοτείται από το δίκτυο.
- Διακόπτη ισχύος Thyristor (σχ. Στ.4, στοιχείο 60) στο δευτερεύον του Μ/Σ μέσω του οποίου τροφοδοτείται η ισχύς υπό τάση 60VAC στη ράβδο. Το Thyristor ενεργοποιείται από ειδικής κατασκευής θερμοστάτη (σχ. Στ.4, στοιχείο 61) ο οποίος παρακολουθεί το πιο πάνω θερμοστοιχείο TC11.

Σχετικά με τον πιο πάνω έλεγχο της τροφοδοσίας της ράβδου έχουμε να κάνουμε τις εξής ακόμη παρατηρήσεις:

- Η τάση τροφοδοσίας της ράβδου επελέγη στα 60VAC για λόγους προστασίας σε περίπτωση αστοχίας του MgO: επισημαίνεται ότι στην περίπτωση αυτή, το περίβλημα της ράβδου και ενδεχομένως το δίκτυο των σωληνώσεων του ΘΥΚ θα ετίθεντο υπό την πιο πάνω τάση τροφοδοσίας.
- Ο Μ/Σ διαθέτει οδηγό πυρήνα για την επιλογή και τυχόν άλλων χαμηλοτέρων λόγων μετασχηματισμού.
- Το πρωτεύον του Μ/Σ ετέθη υπό την τάση των 380VAC, δηλαδή μεταξύ δύο φάσεων, και όχι υπό 220VAC διότι έτσι μόνο ήταν δυνατόν να επιτευχθεί η επιθυμητή τάση δευτερεύοντος 60VAC.
- Για τον έλεγχο του Thyristor επελέγη το θερμοστοιχείο TC11 διότι σε περίπτωση επανάψυξης της ράβδου, είναι το τελευταίο που ψύχεται.
- Τέλος, το πιο πάνω σύστημα ελέγχεται από χειροκίνητο διακόπτη ON/OFF (σχ. Στ.4, στοιχείο 65) και ασφαρίζεται από ιδιαίτερες αυτόνομες ασφάλειες τόσο για την τροφοδοσία των αυτοματισμών όσο και για την τροφοδοσία του πρωτεύοντος του Μ/Σ. Εξυπακούεται ότι όλο το πιο πάνω σύστημα είναι σχεδιασμένο και κατασκευασμένο ώστε να λειτουργεί ασφαλώς σε περίπτωση αστοχίας (fail-safe).

β) Της προστασίας των δύο δακτυλίων στεγάνωσης των κεφαλών.

Αυτή επιτυγχάνεται με τη βοήθεια δύο ιδίου τύπου ειδικής κατασκευής θερμοστατών, στους οποίους έχει γίνει προρρυθμισμό της ανώτερης επιτρεπτής τιμής θερμοκρασίας: οι θερμοστάτες (σχ. Στ.4, στοιχεία 62 & 63) παρακολουθούν

μέσω θερμοστοιχείων τύπου J, τη θερμοκρασία στις θέσεις TC1 και TC12 της ράβδου (σχ. 3.9). Εξυπακούεται ότι σε περίπτωση υπέρβασης της θερμοκρασίας αυτής, διακόπτεται η τροφοδοσία της ισχύος στη ράβδο.

3.8.4 Ηλεκτρολογικό Κύκλωμα Υδραυλικών Κλάδων ΘΥΚ.

Εκτός από τους ηλεκτρικούς ελέγχους που αναφέρθηκαν ήδη, έχουν χρησιμοποιηθεί διακόπτες ON/OFF με ενδεικτικά λειτουργίας για την τροφοδοσία των τεσσάρων σωληνοειδών βαλβίδων του ΘΥΚ (SV1 έως SV4 σχ. 3.16), του Μαγνητικού Ροομέτρου (σχ. 3.16 και σχ. Στ.4, στοιχείο 70) και της αντλίας ακαθάρτων. Τροφοδοσία έχει προβλεφθεί επίσης και για τους τρεις μεταλλάκτες πίεσεως του ΘΥΚ PT1, PT2, PT3 (σχ. 3.16 και σχ. Στ.4, στοιχεία 39,40 & 41), καθώς και για τις θερμαντικές ταινίες των κλάδων προσαγωγής υγρού (σχ. 3.16 και σχ. Στ.4, στοιχείο 6) και ατμού (σχ. 3.16 και σχ. Στ.4, στοιχείο 7) προς το Τμήμα Δοκιμών.

Σε κάθε περίπτωση τα καλώδια τροφοδοσίας των οργάνων του ΘΥΚ οδηγήθηκαν εντός ειδικών σωληνώσεων διαμέσου κιβωτίων διακλαδώσεως.

Θα πρέπει τέλος να αναφερθεί ότι μολονότι όλο το ηλεκτρικό σύστημα του ΘΥΚ έχει σχεδιοκατασκευασθεί ώστε να είναι ασφαλές σε περίπτωση αστοχίας (*fail-safe*), ιδιαίτερα για την περίπτωση απώλειας της ηλεκτρικής ισχύος των αυτοματισμών ελέγχου και ρυθμίσεως, έχει προβλεφθεί δυνατότητα μεταγωγής προς άμεση επανατροφοδοσία από το βενζινοκίνητο ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος 5kVA που διαθέτει το ΕΠΤ-ΕΜΠ. Έτσι, μολονότι σε περίπτωση απώλειας ισχύος θα κλείσουν ακαριαία και αυτόματα όλες οι σωληνοειδείς βαλβίδες, κάτι που εξασφαλίζει την ασφάλεια της εγκαταστάσεως, η εφεδρική παροχή δίδει επιπλέον τη δυνατότητα στο χειριστή να ολοκληρώσει το πείραμά του, να υποβιβάσει την πίεση και να οδηγήσει την εγκατάσταση σε ατμοσφαιρικές συνθήκες.

3.9 Σταθμοί Μετρήσεως και Ρυθμίσεως.

Στην παράγραφο αυτή θα παρουσιάσουμε όλους τους σταθμούς μετρήσεως και ρυθμίσεως του ΘΥΚ. Τα σήματα από τους σταθμούς αυτούς, όπου υπάρχουν εγκατεστημένοι κατάλληλοι μεταλλάκτες, οδηγούνται είτε σε όργανα οπτικών ενδείξεων, είτε στον απευθείας συνδεδεμένο Η/Υ τύπου PC, μέσω καταλλήλων μονάδων προσαρμογής. Σε παραγράφους που ακολουθούν θα γίνεται, κατά περίπτωση, ιδιαίτερη αναφορά στο ρόλο και τη χρησιμότητα των κυριότερων σταθμών μετρήσεως. Όλοι οι σταθμοί μετρήσεως εμφανίζονται τόσο στο σχ. 3.17 όσο και στο σχ. Στ.4 που βρίσκεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ. Στη συνέχεια θα αναφέρομε, μέσα

σε παρένθεση, τον αριθμό ταυτοποίησης καθενός σταθμού στο διάγραμμα του σχ. Στ.4 χωρίς άλλη επισήμανση.

Ετσι λοιπόν στο ΘΥΚ έχουν εγκατασταθεί οι εξής σταθμοί μετρήσεως και ρυθμίσεως:

- 10 Θερμοστοιχεία τύπου K (Chromel-Alumel) βιομηχανικού τύπου τοποθετημένα σε διάφορες θέσεις του ΘΥΚ (42 έως 51).
- 12 Θερμοστοιχεία τύπου J (Iron-Constantan) εντός της ράβδου του Τμήματος Δοκιμών.
- 1 Μαγνητικό Ροόμετρο για τη μέτρηση της παροχής του υγρού προς το Τμήμα Δοκιμών (38).
- 3 Μεταλλάκτες πίεσεως: Ένας στην έξοδο του ατμού από το Δοχείο Βρασμού (39), ένας στην είσοδο του Τμήματος Δοκιμών (40) και ένας στην έξοδο του ατμού από το Τμήμα Δοκιμών (41).
- 2 Μικρομετρικοί ιχνηλάτες αγωγιμότητας για την εκτέλεση πειραμάτων μετρήσεως των χαρακτηριστικών Πιπτόντων Φιλμς Υγρού (52,53).
- 1 Ηλεκτρικό Μανόμετρο Επαφών στην άνω φλάντζα του Δοχείου Βρασμού (17).
- 8 Μανόμετρα τύπου Bourdon σε διάφορες θέσεις του ΘΥΚ (18 έως 25).
- 2 Ροόμετρα πλωτήρα για τη μέτρηση της παροχής του ατμού, ανά ένα στην είσοδο (9) και στη έξοδο (11) του ατμού από το Τμήμα Δοκιμών.
- 6 Ροόμετρα πλωτήρα για τη μέτρηση της παροχής του υγρού, σε διάφορες θέσεις του ΘΥΚ (8 έως 15).
- 26 σφαιρικές βαλβίδες.
- 12 ρυθμιστικές βαλβίδες.

Ένα σύνολο σταθμών μετρήσεως επελέγη για να οδηγηθεί προς συλλογή και επεξεργασία στον Η/Υ. Η επιλογή έγινε, έτσι ώστε να υπάρχει ανά πάσα στιγμή καταγραφή από τον Η/Υ της πλήρους καταστάσεως λειτουργίας του ΘΥΚ, με έμφαση στην πιστή καταγραφή των συνθηκών λειτουργίας του Τμήματος Δοκιμών.

Στον απευθείας συνδεδεμένο Η/Υ τύπου PC οδηγούνται τα σήματα από:

- Το θερμοστοιχείο-K (44): θερμοκρασία ατμού στο Δοχείο Βρασμού/MUX-A.1*.
- Το θερμοστοιχείο-K (43): θερμοκρασία υγρού στο Δοχείο Βρασμού/MUX-A.2.
- Το θερμοστοιχείο-K (47): θερμοκρασία ατμού στην είσοδο στο Τμήμα Δοκιμών/MUX-A.3.
- Το θερμοστοιχείο-K (49): θερμοκρασία ατμού στην έξοδο από το Τμήμα Δοκιμών/MUX-A.4.

* Χρησιμοποιείται ο εξής συμβολισμός:

Προέλευση σήματος/Απόληξη σήματος

Υπενθυμίζουμε (Κεφ. 2) ότι διατίθενται 2 MUX (A & B) των 16 καναλιών ο καθένας, που ταυτοποιούνται από 0 έως 15. Ετσι, ο συμβολισμός MUX-A.1 ταυτοποιεί το υπ' αριθμόν 1 κανάλι του MUX-A.

- Το θερμοστοιχείο-K (46): θερμοκρασία υγρού στην είσοδο στο Τμήμα Δοκιμών/MUX-A.5.
- Το θερμοστοιχείο-K (48): θερμοκρασία υγρού στην έξοδο από το Τμήμα Δοκιμών/MUX-A.6.
- Το θερμοστοιχείο-K (45): θερμοκρασία υγρού στο Δοχείο Συγκεντρώσεως/MUX-A.7.
- Το θερμοστοιχείο-K (50): θερμοκρασία ψύχοντος νερού στην είσοδο του Συμπυκνωτή/MUX-A.8.
- Το θερμοστοιχείο-K (51): θερμοκρασία ψύχοντος νερού στην έξοδο από το Συμπυκνωτή/MUX-A.9.
- Το θερμοστοιχείο-J: TC2 της Ράβδου/MUX-B.2.
- Το θερμοστοιχείο-J: TC3 της Ράβδου/MUX-B.3.
- Το θερμοστοιχείο-J: TC4 της Ράβδου/MUX-B.4.
- Το θερμοστοιχείο-J: TC5 της Ράβδου/MUX-B.5.
- Το θερμοστοιχείο-J: TC6 της Ράβδου/MUX-B.6.
- Το θερμοστοιχείο-J: TC7 της Ράβδου/MUX-B.7.
- Το θερμοστοιχείο-J: TC8 της Ράβδου/MUX-B.8.
- Το θερμοστοιχείο-J: TC9 της Ράβδου/MUX-B.9.
- Το θερμοστοιχείο-J: TC10 της Ράβδου/MUX-B.10.
- Το θερμοστοιχείο-J: TC11 της Ράβδου/MUX-B.11.

Στο σχ.3.18 εμφανίζεται, υπό μορφήν σχηματικού διαγράμματος το κύκλωμα που χρησιμοποιήθηκε για την εκμετάλλευση του σήματος των θερμοστοιχείων. Επισημαίνεται επίσης ότι, με την εξαίρεση των θερμοστοιχείων εισόδου/εξόδου ψύχοντος νερού στον Συμπυκνωτή (50,51), το Ηλεκτρονικό Σημείο Πάγου (ΗΣΠ) που εμφανίζεται στο σχήμα, είναι το ενσωματωμένο στη μονάδα Ενισχυτή-Πολυπλέκτη τύπου PCLD-889. Τα θερμοστοιχεία (50,51) επειδή παρακολουθούν θερμοκρασίες χαμηλότερες από εκείνες του σασί των MUX, χρειάζονται εξωτερικό ηλεκτρονικό σημείο πάγου· έτσι, στις δύο αυτές περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκε εξωτερικό φορητό σημείο πάγου τύπου Omega και κατ' ακολουθίαν οδηγήθηκε στον Ενισχυτή-Πολυπλέκτη το αντισταθμισμένο σήμα της εξόδου του ΗΣΠ. Αναλυτική αναφορά στη συγκρότηση των θερμοηλεκτρικών κυκλωμάτων που χρησιμοποιούνται, γίνεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε.

- Το Μαγνητικό Ροόμετρο (38): Παροχή μάζας της γραμμής Δοχείο Βρασμού - Τμήμα Δοκιμών/ADC-4.
- Το Μεταλλάκτη Πίεσης (39): Πίεση στο Δοχείο Βρασμού/ADC-5.
- Το Μεταλλάκτη Πίεσης (40): Πίεση στην είσοδο του Τμήματος Δοκιμών/ADC-6.
- Το Μεταλλάκτη Πίεσης (41): Πίεση στην έξοδο του Τμήματος Δοκιμών/ADC-7.

3.9.1 Παρακολούθηση της Κατάστασης Δισταθών Μονάδων από Απευθείας Συνδεδεμένο Η/Υ.

Όπως έχει ήδη γίνει αντιληπτό στο ΘΥΚ βρίσκονται εγκατεστημένες αρκετές συσκευές δισταθούς καταστάσεως (ηλεκτρικές βαλβίδες, αντλίες, ηλεκτρικές αντιστάσεις του Δοχείου Βρασμού κ.λ.π.). Έτσι λοιπόν ο χειριστής της

εγκαταστάσεως είναι υποχρεωμένος να παρακολουθεί την κατάσταση (ON/OFF) όλων αυτών των μονάδων· αυτό, υπό κανονικές συνθήκες το κάνει παρατηρώντας τις ενδεικτικές λυχνίες (led) ή την κατάσταση των διακοπών χειροκίνητης λειτουργίας των μονάδων αυτών. Όμως, η ανάγκη για γρήγορους χειρισμούς υποχρεώνει πολλές φορές τον χειριστή του ΘΥΚ να λαμβάνει μια γρήγορη αντίληψη του συνόλου των μονάδων του ΘΥΚ. Αυτό γίνεται εύκολα στην περίπτωση που η απεικόνιση της καταστάσεως των διασταθούς λειτουργίας αυτών συσκευών γίνεται στην οθόνη ενός απευθείας συνδεδεμένου Η/Υ. Στα πλαίσια της παρούσης ΔΔ έγινε μεγάλη προσπάθεια και μετά από αρκετές εναλλακτικές λύσεις, σχεδιάσθηκε και κατασκευάσθηκε το λογικό κύκλωμα των σχ. 3.19. Το κύκλωμα αυτό επαναλήφθηκε 16 φορές, όπως φαίνεται στο σχ.3.20, προκειμένου να διαμορφωθεί η κατάλληλη πληροφορία η οποία, στη συνέχεια, τροφοδοτείται στην ψηφιακή είσοδο (D/I) της μονάδας PCL-718 (§2.2.1.3), προκειμένου να παρακολουθείται η κατάσταση (ON/OFF) των διασταθών μονάδων του ΘΥΚ. Αναλυτικότερα, στο κύκλωμα του σχ.3.19, το οποίο τροφοδοτείται με δυναμικό +5 VDC από το pin 19/CN4 της μονάδας PCL-718 :

- στην περίπτωση που η συσκευή δεν τροφοδοτείται, δηλαδή ο διακόπτης είναι ανοικτός, στην έξοδο Γ το δυναμικό γίνεται +5 VDC, ενώ
- στην περίπτωση που η συσκευή τροφοδοτείται, δηλαδή ο διακόπτης είναι κλειστός, στην έξοδο Γ το δυναμικό γίνεται +0 VDC.

Η έξοδος Γ, η οποία κατά περίπτωση παρέχει:

- ένα σήμα *TTL-HIGH (+5 VDC)* εάν η παρακολουθούμενη συσκευή είναι *OFF*, ή
- ένα σήμα *TTL-LOW (+0 VDC)* εάν η παρακολουθούμενη συσκευή είναι *ON*,

τροφοδοτείται σε ένα από τα pins (1-16) του ακροδέκτη CN4 (§2.2.1 & σχ.2.2) και -κατ'ακολουθίαν- διαμορφώνει την τιμή 1 ή 0 αντίστοιχα, του δυαδικού ψηφίου που αντιστοιχεί στο υπόψιν pin.

Στο σχ. 3.20 φαίνεται η συγκρότηση όλης της συνδεσμολογίας με την οποία μπορεί να ελεγχθεί η κατάσταση μέχρι και 16 διασταθών συσκευών. Η μεθοδολογία αυτή, χρησιμοποιήθηκε στο ΘΥΚ για την παρακολούθηση των πιεζοκάρτων συσκευών διασταθούς καταστάσεως:

- Της Σωληνοειδούς Βαλβίδας του κλάδου ατμού προς το Τμήμα Δοκιμών (29)/bit0 Ψηφιακής εισόδου.
- Της Σωληνοειδούς Βαλβίδας του κλάδου υγρού προς το Τμήμα Δοκιμών (28)/bit1 Ψηφιακής εισόδου.
- Της Σωληνοειδούς Βαλβίδας του κλάδου υγρού από το Τμήμα Δοκιμών (31)/bit2 Ψηφιακής εισόδου.

- Της Σωληνοειδούς Βαλβίδας του κλάδου by-pass του Τμήματος Δοκιμών (30)/bit3 Ψηφιακής εισόδου.
- Την Αντλία τροφοδοσίας του Δοχείου Βρασμού (27)/bit4 Ψηφιακής εισόδου.
- Την Αντίσταση Α του Δοχείου Βρασμού (34)/bit6 Ψηφιακής εισόδου.
- Την Αντίσταση Β του Δοχείου Βρασμού (35)/bit7 Ψηφιακής εισόδου.
- Την Αντίσταση Γ του Δοχείου Βρασμού (33)/bit8 Ψηφιακής εισόδου.
- Την Αντίσταση Δ του Δοχείου Βρασμού (32)/bit9 Ψηφιακής εισόδου.

3.9.2 Παρακολούθηση της Τροφοδοσίας των Ηλεκτρικών Αντιστάσεων της Ράβδου.

Ο έλεγχος της τροφοδοσίας της ηλεκτρικής αντιστάσεως της ράβδου δοκιμών γίνεται από μηχανισμό θερμοστάτη - μονάδας thyristor, όπως αναφέρθηκε πιο πάνω στην §3.8.3. Επειδή ο χρόνος απόκρισης των μονάδων thyristor είναι εξαιρετικά μικρότερος από ό,τι ο χρόνος απόκρισης των μηχανικών ρελέ, δεν μπορεί να εφαρμοσθεί, στην περίπτωση αυτή, στο κύκλωμα του σχήματος 3.19 μηχανικός ρελέ για την παρακολούθηση των μεταβολών της κατάστασης του thyristor (ON/OFF).

Μια κατηγορία μικροκυκλωμάτων στερεάς κατάστασης (solid-state) τα οποία θα μπορούσαν να υποκαταστήσουν τον μηχανικό ηλεκτρονόμο σ' αυτή την περίπτωση, είναι οι **Optical Couplers**. Τα μικροκυκλώματα αυτά έχουν αφενός μεν πολύ μικρούς χρόνους απόκρισης, αφετέρου δε διαθέτουν πλήρη ηλεκτρική μόνωση της πλευράς της εισόδου-των από την πλευρά της εξόδου των, οπότε δεν υπάρχει κίνδυνος βραχυκυκλώματος του κυκλώματος εισόδου με το κύκλωμα εξόδου των. Οι *Optical Couplers* λοιπόν, είναι ηλεκτρονικά μικροκυκλώματα, τα οποία αντιλαμβανόμενα τάση στην είσοδό τους βραχυκυκλώνουν ή ανοικτοκυκλώνουν αντίστοιχα, την έξοδό τους. Προκειμένου να προσαρμοσθεί ο *Optical Coupler* τύπου CNX38* στην έξοδο του Thyristor που τροφοδοτεί το Τμήμα Δοκιμών (60VAC) χρειάστηκε να μελετηθεί, να σχεδιασθεί και να κατασκευασθεί το κύκλωμα του σχ.3.21. Στο εν λόγω κύκλωμα, η τάση των 60VAC στην έξοδο του Thyristor, οδηγείται στον Optical Coupler μέσω συστήματος ημιανόρθωσης/υποβιβασμού

* Τα χαρακτηριστικά του Optical coupler σύμφωνα με το εγχειρίδιο του κατασκευαστή είναι:

- Μέγιστη διαφορά δυναμικού κατά την οποία διατηρείται η ηλεκτρική απομόνωση ελέγχοντος/ελεγχόμενου κυκλώματος $\pm 1.5kV$.
- Μέγιστη τάση ανάστροφης πόλωσης της φωτοδιόδου 3V.
- Μέγιστη τάση ελεγχόμενου κυκλώματος 30V.
- Μέγιστο ρεύμα ορθής πόλωσης φωτοδιόδου:
 - για συνεχή λειτουργία 30 mA.
 - για αιχμή 200 mA.
- Μέγιστη ισχύς λειτουργίας φωτοδιόδου 100mW.
- Μέγιστη ισχύς λειτουργίας transistor 150mW.
- Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας 100°C.

τάσεως, συγκροτούμενο από διόδους και αντιστάσεις, όπως φαίνεται στο σχ. 3.21. Οι ακροδέκτες της εξόδου του Optical coupler, A και B, συνδέονται στα αντίστοιχα σημεία A και B του σχ. 3.19, όπου στην περίπτωση των συσκευών της §3.9.1 συνδεόταν ο διακόπτης του ηλεκτρονόμου της συσκευής. Κατά τα λοιπά, η μεθοδολογία σύνδεσης και ενεργοποίησης της ψηφιακής εισόδου δεν διαφέρει σε τίποτα από εκείνη των συσκευών της προηγούμενης §3.9.1.

3.10 Δοκιμές θέσης σε Λειτουργία.

Όπως ήδη ανεφέρθη στην §3.2.1, περί το τέλος του 1990 ολοκληρώθηκε η πρώτη φάση της κατασκευής του ΘΥΚ και η εγκατάσταση ετέθη σε δοκιμαστική λειτουργία. Κατά τη φάση της δοκιμαστικής λειτουργίας ο γράφων απέκτησε εμπειρία με τη λειτουργία της εγκαταστάσεως η οποία τον οδήγησε σε μια σειρά αναθεωρήσεων και βελτιώσεων της κατασκευής. Το τέλος της φάσης αυτής, κατά την οποία παράλληλα έγιναν αρκετά από τα πειράματα που θα παρουσιαστούν σε επόμενο Κεφάλαιο, οριοθετείται περί τις αρχές του έτους 1993 οπότε η εγκατάσταση απέκτησε την τελική μορφή στην οποία βρίσκεται σήμερα και περιγράφεται στην εργασία αυτή. Στις παραγράφους που ακολουθούν, θα παρουσιαστούν οι κυριότερες από τις διαπιστώσεις εκείνες οι οποίες οδήγησαν στις ανάλογες κατασκευαστικές αναθεωρήσεις.

Οι δοκιμές θέσης σε λειτουργία (*commissioning*) διακρίνονται στις **επιμέρους υδραυλικές**, σε εκείνες δηλαδή οι οποίες εκτελούνταν αμέσως μετά την ολοκλήρωση ενός κλάδου για τη δοκιμή λειτουργίας και στεγανότητός του, στις **υδραυλικές - ηλεκτρικές**, δηλαδή σε εκείνες που εκτελούνταν μετά την ολοκλήρωση των διαφόρων αυτοματισμών και στις **γενικές** δοκιμές ολοκλήρωσης της εγκατάστασης μετά την ολοκλήρωσή της. Οι κυριότερες δοκιμές λειτουργίας που εκτελέστηκαν στο ΘΥΚ, κατά χρονολογική σειρά, είναι οι ακόλουθες:

- Δοκιμές, οι οποίες διεξήχθησαν για τον έλεγχο της στεγανότητας και του αυτομάτου ελέγχου του Δοχείου Βρασμού στα πλαίσια της ΔΕ [15].
- Δοκιμή στεγανότητας υπό υδροστατική πίεση του Τμήματος Δοκιμών και των κλάδων προσαγωγής ατμού στο Τμήμα Δοκιμών, προσαγωγής νερού στο Δοχείο Βρασμού από το δίκτυο υδρεύσεως, χειροκίνητης και αυτόματης εξαέρωσης και ασφαλιστικών. Η δοκιμή αυτή αρχικά απέτυχε λόγω αστοχίας της στεγάνωσης του μαστού συνδέσεως του μεταλλάκτη πίεσης (39). Η στεγάνωση αποκαταστάθηκε και η δοκιμή επαναλήφθηκε. Το προηγούμενο πρόβλημα αποδείχθηκε ότι αντιμετωπίστηκε σωστά, η νέα δοκιμή όμως, αποκάλυψε την ύπαρξη προβλήματος οξειδωσης στο πορώδες υλικό του Τμήματος Δοκιμών στην οποία οφείλετο στραγγαλισμός της ροής του υγρού.
- Οι προσπάθειες καθαρισμού του πορώδους υλικού του Τμήματος Δοκιμών με χρήση διαλυτικών επί τόπου (*in-situ*), αποδείχθηκαν ανεπιτυχείς. Το Τμήμα

Δοκιμών αποσυναρμολογήθηκε και αφαιρέθηκε το πορώδες υλικό και κατασκευάστηκε νέο με καταλληλότερες προδιαγραφές.

- Έγινε οκτάωρη δοκιμή στεγανότητας του ΘΥΚ υπό υδροστατική πίεση 7 bar. Στη συνέχεια, το Δοχείο Βρασμού τέθηκε σε λειτουργία επί τρίωρο και έγινε δοκιμή καλής λειτουργίας του αυτοματισμού ελέγχου στάθμης του Δοχείου Συγκεντρώσεως. Κατά τη δοκιμή αυτή διαπιστώθηκε ότι χρειάζεται ειδικής κατασκευής συναρμογή με Teflon για τη στεγάνωση των ηλεκτρικών αντιστάσεων του Δοχείου Βρασμού.
- Το Δοχείο Βρασμού ρυθμίστηκε να λειτουργήσει μέχρι κορεσμού του νερού σε ατμοσφαιρικές συνθήκες. Η κατάσταση κορεσμού επιτεύχθηκε μετά από 86.5 min θέρμανσης. Η αντλία λειτούργησε χωρίς by-pass, τροφοδοτώντας το Δοχείο Βρασμού με τον προκαθορισμένο όγκο νερού, εντός 12 min. Παρατηρήθηκε η ύπαρξη στα φίλτρα νερού υπερβολικής ποσότητας ακαθαρσιών οι οποίες προέρχονταν αφενός μεν από την οξειδωση του Δοχείου Βρασμού, αφετέρου δε από κατάλοιπα της χύτευσης των δύο Δοχείων. Αποφασίστηκε η τοποθέτηση ειδικού σωλήνα αναρρόφησης στην έξοδο του υγρού από το Δοχείο Βρασμού, ώστε εξασφαλισμένα να αντλείται καθαρό νερό από το δοχείο.
- Κατά τη διάρκεια των δοκιμών αστόχησε, στη φάση της λειτουργίας της αντλίας τροφοδοσίας, η βαλβίδα αντεπιστροφής. Σαν συνέπεια της αστοχίας, ατμός πέρασε από το Δοχείο Βρασμού στο Δοχείο Συγκεντρώσεως με αποτέλεσμα την καταπόνηση της αντλίας και την εξίσωση της πίεσης στα δύο δοχεία και συνεπώς τη διακοπή της κυκλοφορίας στο ΘΥΚ. Η ανάκτηση του ελέγχου έγινε, με τροφοδοσία νερού από το δίκτυο υδρεύσεως στο Δοχείο Βρασμού και με συνακόλουθη ψύξη μέσω φυσικής κυκλοφορίας, του Δοχείου Συγκεντρώσεως.
- Μετά τις επισκευές των προαναφερθεισών βλαβών με βελτιωμένη τεχνική, έγινε εκ νέου δοκιμή του ΘΥΚ υπό υδροστατική πίεση 7 bar και δοκιμή λειτουργίας επί 1 ώρα. Αμφότερες ήσαν επιτυχείς.
- Μετά την εγκατάσταση της ηλεκτρικής τροφοδοσίας και του αυτομάτου ελέγχου της ράβδου του Τμήματος Δοκιμών, έγινε δοκιμή καλής λειτουργίας του Τμήματος Δοκιμών με τροφοδοσία του καναλιού με διαφόρων ποιοτήτων διφασικό μίγμα και με θέρμανση της ράβδου έως τους 350 °C. Στα πλαίσια των δοκιμών παρατηρήθηκαν τα προβλεπόμενα από τη βιβλιογραφία φαινόμενα μεταξύ των οποίων ήταν η διαμόρφωση του Υγρού Μετώπου κατά τη φάση της Επαναψύξεως της ράβδου, το στέγνωμα μετά την επίτευξη Κρίσιμης Θερμικής ροής και Κυματισμοί μεταβλητού πλάτους Πιπτόντων Φιλμς υγρού.
- Αντιμετωπίστηκαν μια σειρά από προβλήματα του Μαγνητικού Ροομέτρου της γραμμής του υγρού από το Δοχείο Βρασμού προς το Τμήμα Δοκιμών. Η επίλυση των προβλημάτων αυτών, σε συνεργασία με τη Γερμανική Κατασκευάστρια Εταιρία, απασχόλησαν για μεγάλο διάστημα τον γράφοντα δοθέντος ότι χρειάστηκε δύο φορές αντικατάσταση του οργάνου και βέβαια -κάθε φορά- ικανός όγκος εργασίας πιστοποίησης της συμπεριφοράς του οργάνου σε μεγάλο εύρος περιοχής πιέσεων, θερμοκρασιών και περοχής νερού. Δεν είναι άσχετη με την εργασία αυτή η δωρεά ενός Μαγνητικού Ροομέτρου από πλευράς κατασκευάστριας εταιρίας προς το ΕΠΤ-ΕΜΠ. Η λύση η οποία τελικά δόθηκε όπως αναλυτικά αναφέρεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε, ήταν η κάμψη της μέχρι τότε οριζόντιας σωληνώσεως του ροομέτρου κατά γωνία 20°. Αυτή η τροποποίηση

οδήγησε αφενός μεν στη συνέχεια της πλήρωσης του μετρητικού σωλήνα του ροομέτρου, αφετέρου δε στην αποστράγγιση του σωλήνα κατά τις περιόδους παρατεταμένης διακοπής της λειτουργίας και την συνακόλουθη αποφυγή επικάθησης αλάτων στην εσωτερική επιφάνεια του μετρητικού σωλήνα· τα άλατα αυτά, φαίνεται ότι εισήγαγαν αξιόλογο συστηματικό σφάλμα αλλά και παράσιτα στις μετρήσεις.

- Μετά την καλωδίωση των σημάτων των μεταλλακτών, εκτελέστηκαν λεπτομερείς έλεγχοι hardware και software των μονάδων αναλογικής και ψηφιακής μετατροπής καθώς και των Ενισχυτών-Πολυπλεκτών. Οι έλεγχοι απέδειξαν ότι το αναπτυχθέν λογισμικό λειτουργεί αξιόπιστα και γρήγορα.
- Στα πλαίσια των δοκιμών, εντάσσονται και τα πειράματα επαναψύξεως ημισταθεράς καταστάσεως (Quasi-Steady State) που διεξήχθησαν στα πλαίσια της ΔΕ [46], σε παροχές 0.5 lpm, 1.5 lpm και 2.5 lpm. Τα αποτελέσματα των εν λόγω πειραμάτων, ανακοινώθηκαν σε Διεθνές Συνέδριο [50] και κρίνονται άκρως ικανοποιητικά και σε καλή συμφωνία με τα αντίστοιχα πειράματα και θεωρητικά πορίσματα της βιβλιογραφίας· το σφάλμα-τους είναι χαμηλότερο από το σφάλμα των περισσότερων έως τώρα αναφερθέντων πειραμάτων. Ας σημειωθεί, ότι οι μετρήσεις της [46], ελήφθησαν με τεχνικές πολύ χαμηλότερης ακρίβειας από τις τεχνικές που αναπτύχθηκαν μεταγενέστερα και χρησιμοποιούνται στα ήδη παρουσιαζόμενα πειράματα του ΘΥΚ. Ο λόγος για τούτο, είναι το γεγονός ότι στη φάση της εκτέλεσης των προαναφερθέντων πειραμάτων δεν είχε αναπτυχθεί πλήρως το λογισμικό (Software) συλλογής αποτελεσμάτων από τον Η/Υ.
- Μετά την ολοκλήρωση του κλάδου by-pass του Τμήματος Δοκιμών, έγινε δοκιμή στεγανότητας του κλάδου υπό υδροστατική πίεση 7 bar. Παρατηρήθηκε ιδιόμορφο πρόβλημα στη λειτουργία της Σωληνοειδούς Βαλβίδος (σχ. Στ.4, στοιχείο 30)· αυτό ήρθη με την στεγανή απομόνωση του κλάδου.
- Η Ράβδος του Τμήματος Δοκιμών δοκιμάσθηκε επιτυχώς στη θερμοκρασία των 620°C.
- Δοκιμάστηκε επιτυχώς η λειτουργία όλων των Μεταλλακτών Πιέσεως και ελέγχθηκαν οι σχετικές-τους ενδείξεις και σε συσχέτιση με τις αντίστοιχες θερμοκρασίες.
- Στα πλαίσια των δοκιμών εντάσσονται και τα Πειράματα Επαναψύξεως Μεταβατικής Καταστάσεως που διεξήχθησαν στα πλαίσια της ΔΕ [47]. Τα πειράματα αυτά, επιβεβαίωσαν την καλή λειτουργία τόσο του υδραυλικού κυκλώματος και των ηλεκτρονικών αυτοματισμών, όσο και τη σωστή λειτουργία του κυκλώματος Συλλογής-Προσαρμογής-Εκμετάλλευσης των σημάτων των Σταθμών Μετρήσεως του ΘΥΚ. Τα εν λόγω πειράματα χρησιμοποιήθηκαν για να ελεγχθεί η σύμπτωση των προβλέψεων του θεωρητικού-Υπολογιστικού Μοντέλου υπολογισμού της ταχύτητας επαναψύξεως αναπτυχθέν στα πλαίσια της εργασίας [51].
- Αντικαταστάθηκε ο υπάρχων Η/Υ τύπου IBM-PC με επεξεργαστή INTEL-80286 και μονόχρωμη οθόνη, με άλλον, του ίδιου τύπου, με επεξεργαστή INTEL-80386 και έγχρωμη οθόνη. Μετά την εγκατάσταση, δοκιμάστηκε το σύστημα εκμεταλλεύσεως σημάτων και αποδείχθηκε η καλή λειτουργία του.
- Εσφαλμένες ενδείξεις του θερμοστοιχείου TC2 της Ράβδου του Τμήματος Δοκιμών οδήγησαν στην εξής λύση: Αφαιρέθηκε το βραχυκύκλωμα LOW-GROUND

στην είσοδο του MUX-B στο κανάλι 2.

- Εμφανίστηκε πρόβλημα στη λειτουργία του αυτοματισμού ελέγχου στάθμης του Δοχείου Συγκεντρώσεως. Συγκεκριμένα, ο ιχνηλάτης της άνω στάθμης έκλεινε κύκλωμα με το νερό του Δοχείου λόγω σχηματισμού καταρράκτη. Το πρόβλημα αντιμετωπίστηκε με διάφορες μεθόδους και αντίστοιχες δοκιμές. Η τελική λύση που δόθηκε και η οποία αποδείχθηκε επιτυχής, περιγράφεται στο *ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε*.

Οι προαναφερθείσες δοκιμές, κατέδειξαν τη σωστή λειτουργία του ΘΥΚ πέρα από κάθε αμφισβήτηση. Ακολούθησαν δοκιμές λειτουργίας για να ελεγχθεί η δυνατότητα επίτευξης κατάλληλων πειραματικών συνθηκών. Αποδείχθηκε επίσης η επιτυχής λειτουργία του Τμήματος Δοκιμών στη φάση δημιουργίας Πιπτόντων Φιλμς. Οι προαναφερθείσες Δοκιμές, πιστοποίησαν ότι το ΘΥΚ λειτουργεί άψογα.

3.11 Παρακολούθηση της Λειτουργίας του ΘΥΚ.

Από την έναρξη της κατασκευής του ΘΥΚ έως σήμερα, τηρείται Ημερολόγιο Προσθηκών, Μετατροπών και Παρουσιαζομένων Βλαβών. Επιπλέον, τηρείται Ημερολόγιο Συστηματικών Ελέγχων του ΘΥΚ. Από την εμπειρία της λειτουργίας της εγκατάστασης προτείνονται για το μέλλον οι πιο κάτω έλεγχοι:

A. Έλεγχοι Υδραυλικού Κυκλώματος :

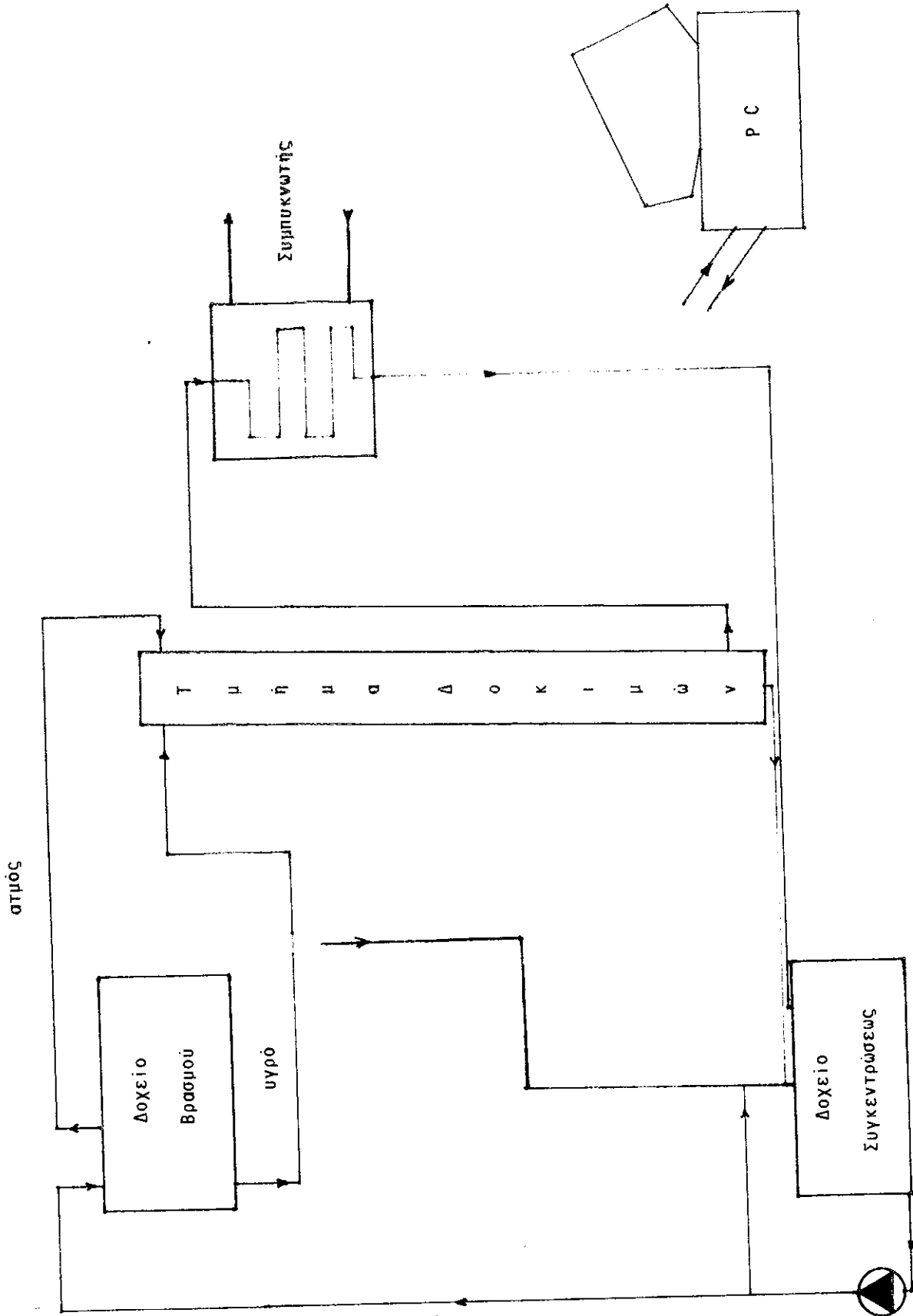
- Έλεγχος στεγανότητας κυκλώματος επί καθημερινής βάσεως.
- Έλεγχος σωστής λειτουργίας σωληνοειδών βαλβίδων και βαλβίδος αντεπιστροφής επί καθημερινής βάσεως.
- Έλεγχος καθαριότητας του φίλτρου της γραμμής εκροής του υγρού από το Δοχείο Βρασμού ανά δίμηνο.
- Έλεγχος σωστής λειτουργίας των ασφαλιστικών του Δοχείου Βρασμού ανά εξάμηνο.
- Έλεγχος στεγανότητας φλαντζών ηλεκτρικών αντιστάσεων Δοχείου Βρασμού ανά εξάμηνο.
- Έλεγχος καθαριότητας φίλτρων αντλίας και κλάδου προσαγωγής του ατμού στο Τμήμα Δοκιμών ανά εξάμηνο.

B. Έλεγχοι Ηλεκτρικού Κυκλώματος - Αυτοματισμών :

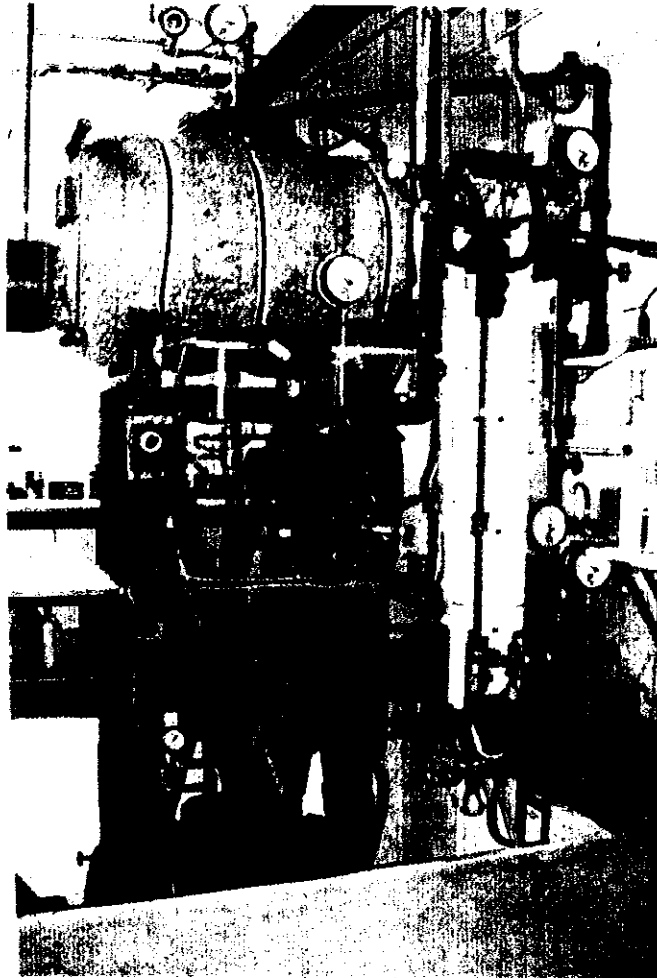
- Έλεγχος καλής λειτουργίας του κυκλώματος τροφοδοσίας των ηλεκτρικών αντιστάσεων του Δοχείου Βρασμού, σε κάθε λειτουργία.
- Έλεγχος καλής λειτουργίας των κυκλωμάτων ελέγχου του ΘΥΚ και του Τμήματος Δοκιμών, ανά εξάμηνο.

Γ. Έλεγχοι κυκλώματος Σταθμών Μετρήσεως και συστήματος Συλλογής - Προσαρμογής και Επεξεργασίας σημάτων του ΘΥΚ :

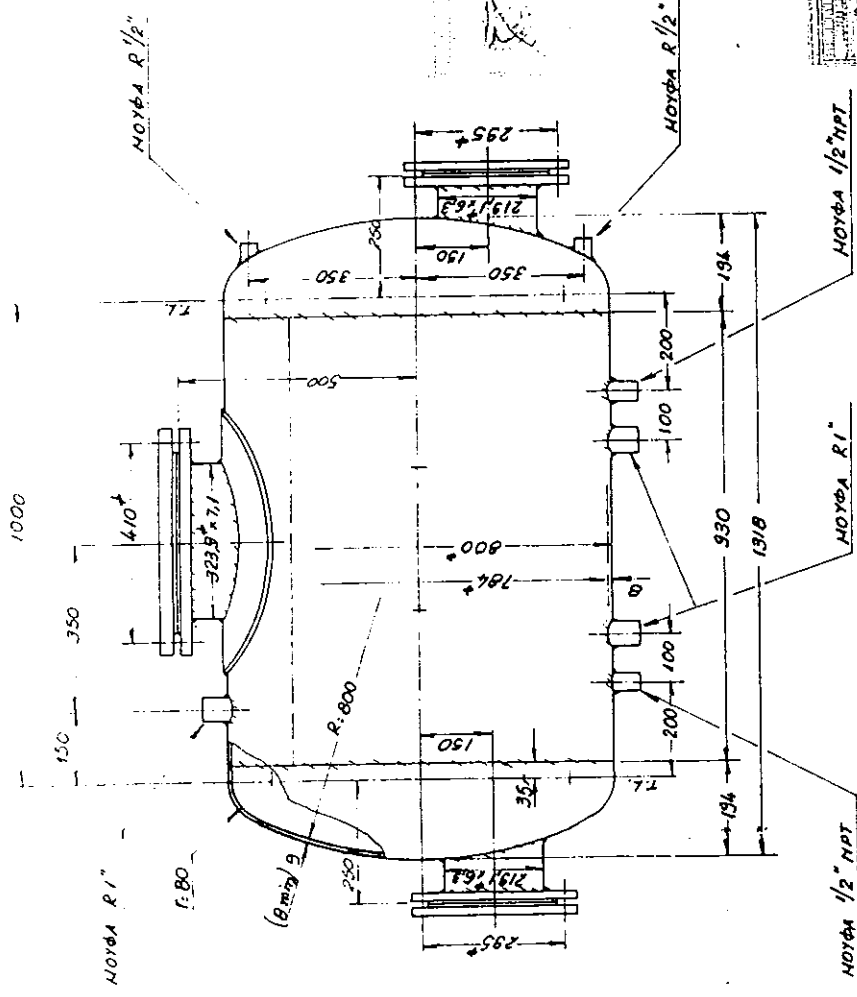
- Έλεγχος Βαθμονόμησης ADC ανά εξάμηνο.
- Έλεγχος Βαθμονόμησης των MUX-A και MUX-B επί μηνιαίας βάσεως.
- Έλεγχος Βαθμονόμησης του Μαγνητικού Ροομέτρου με την μέθοδο που περιγράφεται στο *ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε* [55] ανά εξάμηνο.



Σχήμα 3.1 : Σχηματικό Διάγραμμα του ΘΥΚ



Σχήμα 3.2 : Γενική άποψη του ΘΥΚ



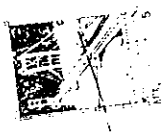
7/187
 13 ΜΑΡΤΙΟΥ 1986
 Ν. ΜΑΡΙΝΟΠΟΥΛΟΣ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
 ΠΡΟΓΡΑΦΙΚΑ ΤΕΧΝΕΙΑ
 ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ
 ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΙΚΟ

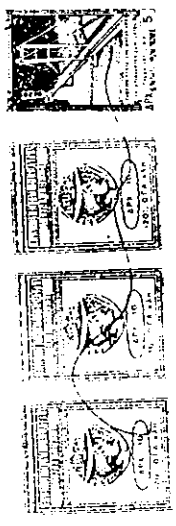
ΕΘΕΡΦΩΣΗ
 Αρ. Αδείας: 44938/15.586
 Ημερομηνία: 21/11/87

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
 ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
 ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

Ντορτζ



ΕΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ 1986
 ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ 10189
 ΠΙΕΣΙΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ 6 ΒΑΡ



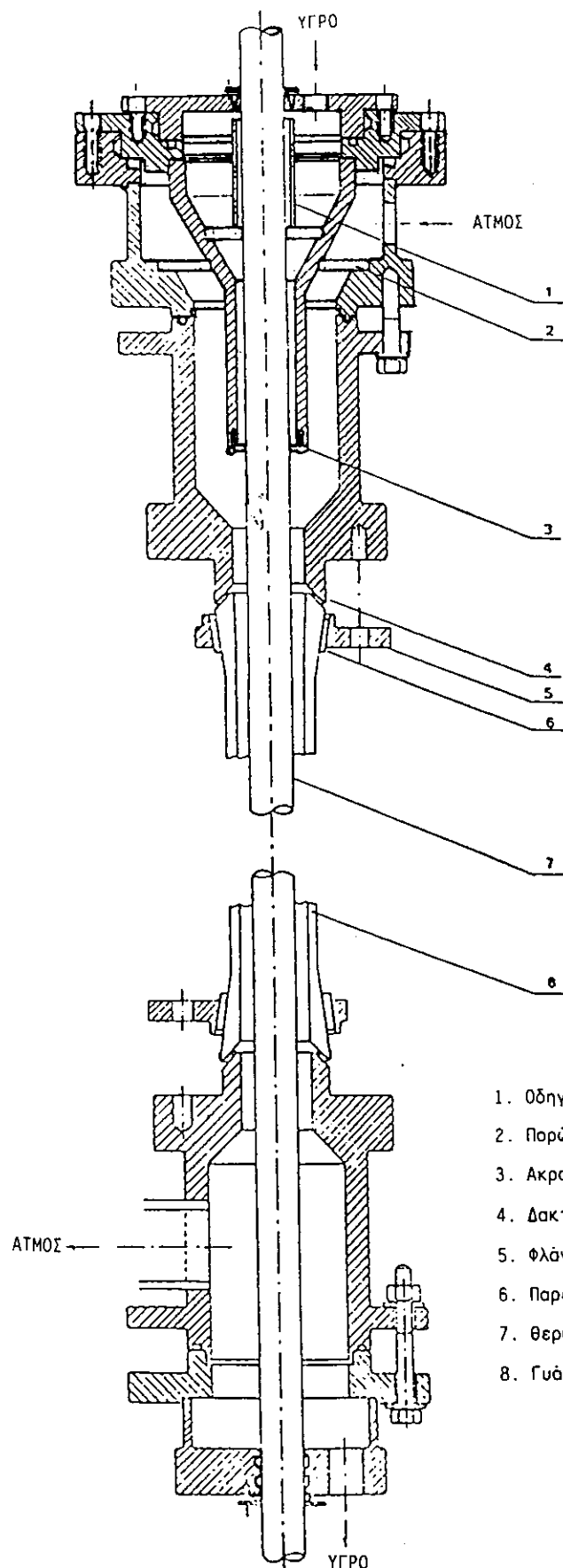
ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΚΑΡΥΔΑΚΗΣ ΔΙΠΛ. ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΠΛΗΡΟΤΗΤΟΣ ΔΕΙΡΠΑΙΕΣ		Κ. ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ
ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΥ ΜΕΤΙΩΡΟΥ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ ΜΕΛΟΣ Τ.Ε.Ε. ΑΓΙΟΝΟΣ ΜΗΤΡΕΩΣ 5123	4-11-86	Α. ΙΑΝΝΑ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ 47 ΕΒΕΣΣΗΚ	4-11-86	Ι. ΤΖΗΜΟΥΛΗΣ
ΤΕΜΑΚΙΑ:	4-11-86	
ΥΛΙΚΟΝ:		
ΚΑΙΝΑΣ		

ΔΟΧΕΙΟΝ ΒΡΑΣΙΜΟΥ ΥΔΑΤΟΣ

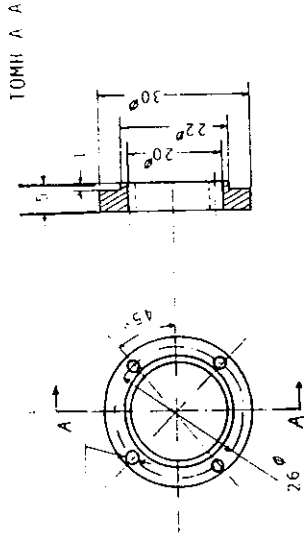
16304/γ

Σχήμα 3.3 : Δοχείο Βρασμού

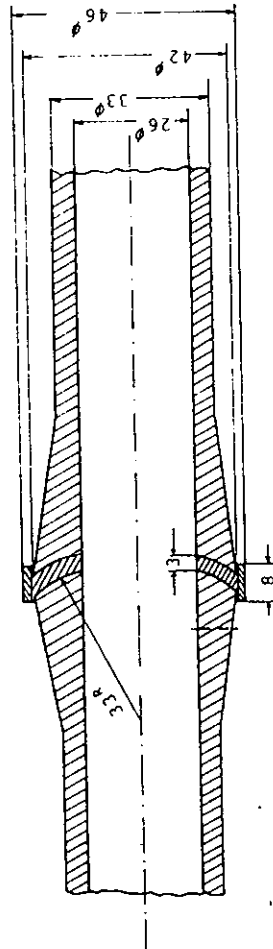
Κεφαλή
Προσαγωγής



Σχήμα 3.4 : Διαμόρφωση του Τμήματος Δοκιμών [2].



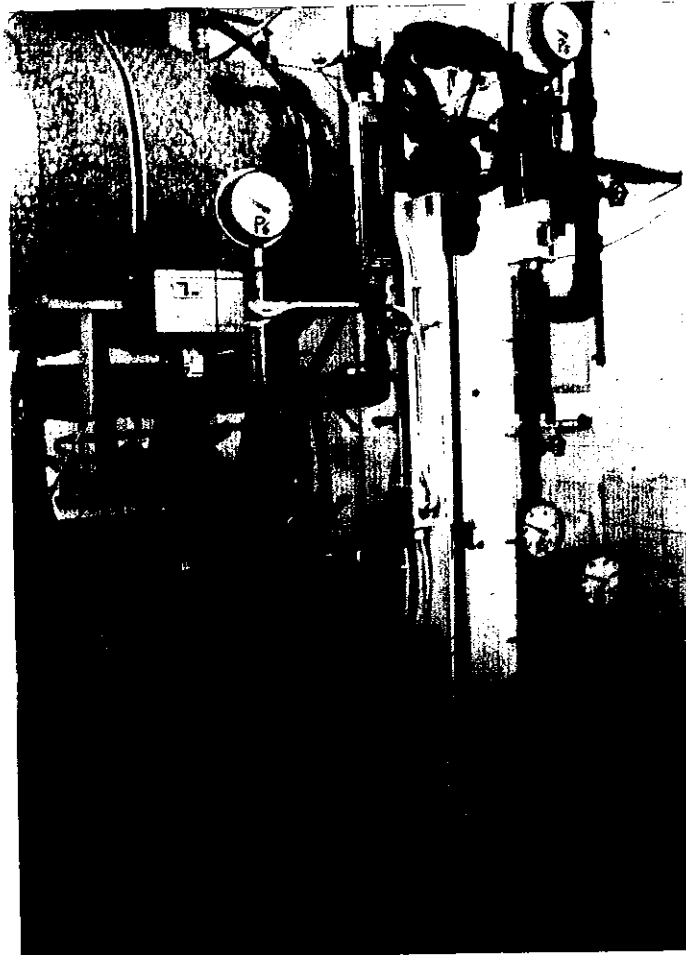
β. Δακτυλίου Σχηματισμού
Πιπτόνων Φιλτρώσεως Νερού



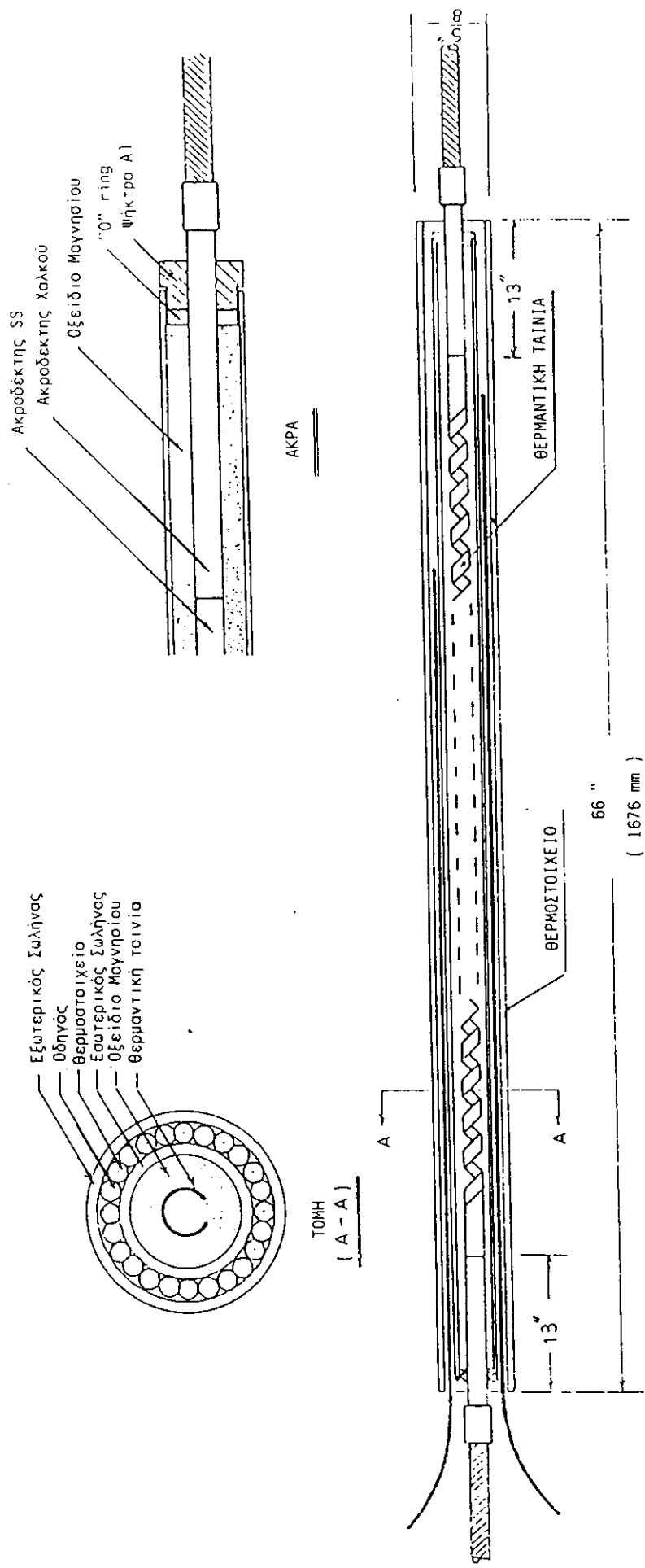
α. Συνάρμηση και Στεγάνωση Γυάλινων
Τμημάτων Καναλιού Δοκιμών

Σχήμα 3.5 : Λεπτομέρειες ΘΥΚ.

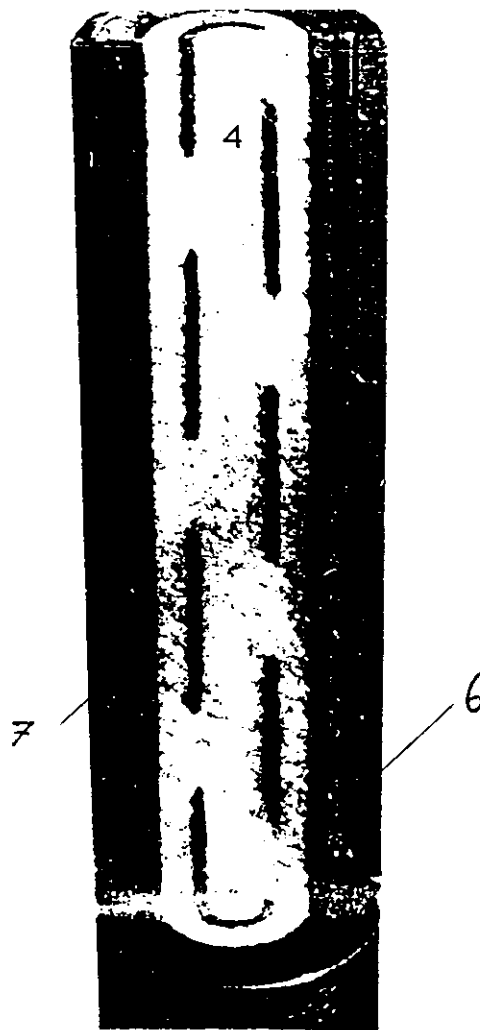
Ε.Μ.Π. Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας	Ευάγγελος Η. Χίτης ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΘΥΚ	40-5-93 ΣΧΗΜΑ 3.5
--	--	----------------------



Σχήμα 3.6 : Το Τμήμα Δοκιμών

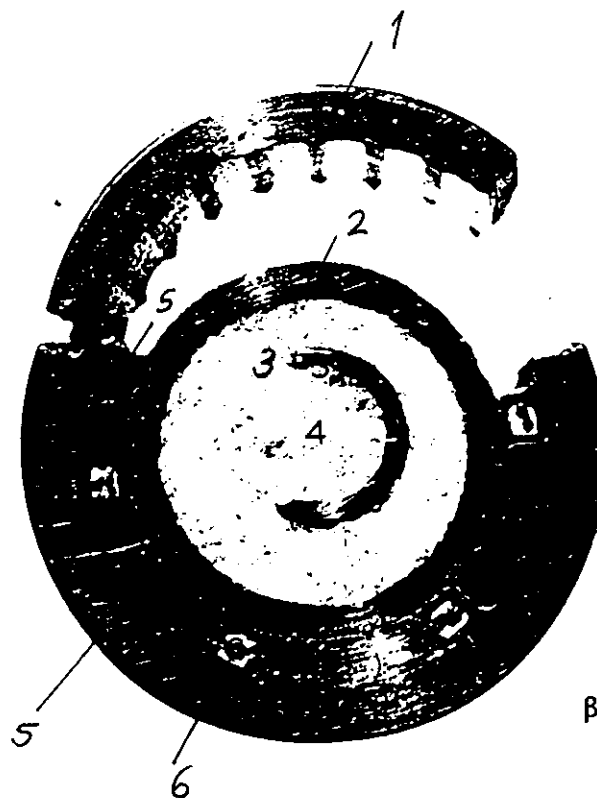


Σχήμα 3.7 : Διαμόρφωση της Ράβδου Δοκιμών [2]



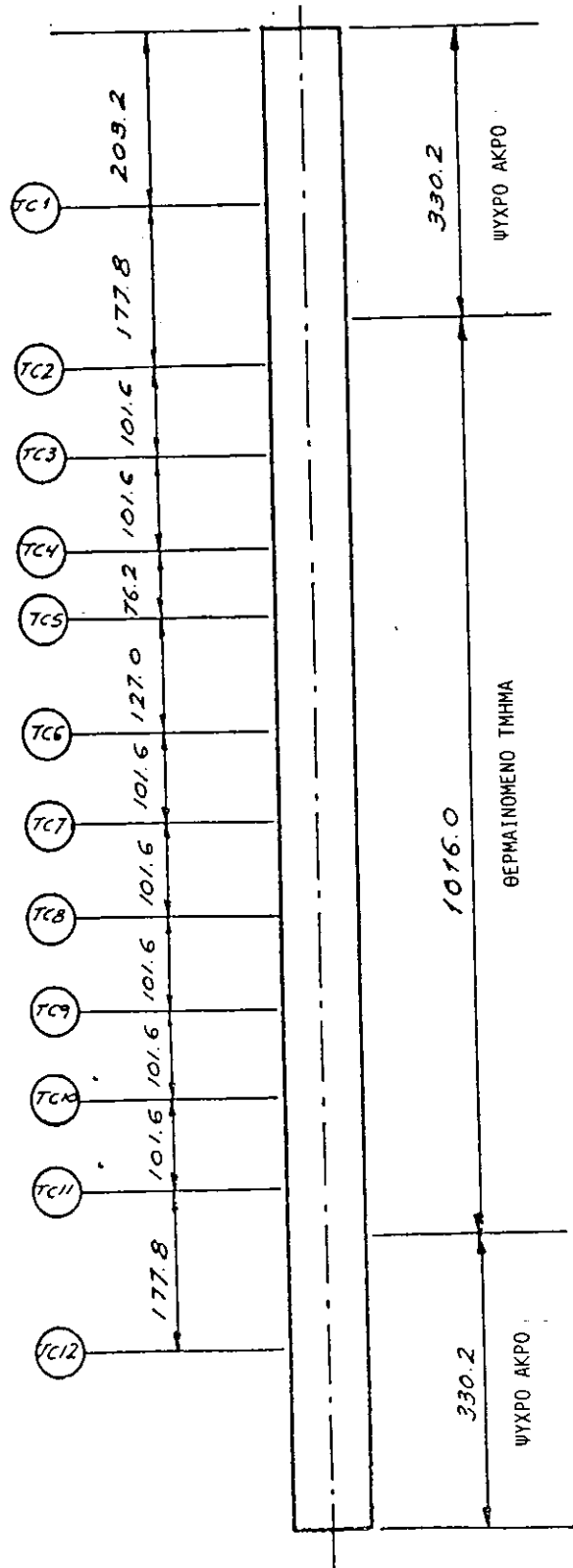
1. Εξωτερικός σωλήνας 316 SS
2. Εσωτερικός σωλήνας 316 SS
3. Ελικοειδής θερμαντική ταινία Ni - Cr
4. Οξειδίο Μαγνησίου
5. Σύρμα από 316 SS (αγωγοί)
6. Θερμοστοιχείο
7. Τοίχωμα 316 SS (πάχους 3.72 mm)

α. Κατακόρυφος τομή

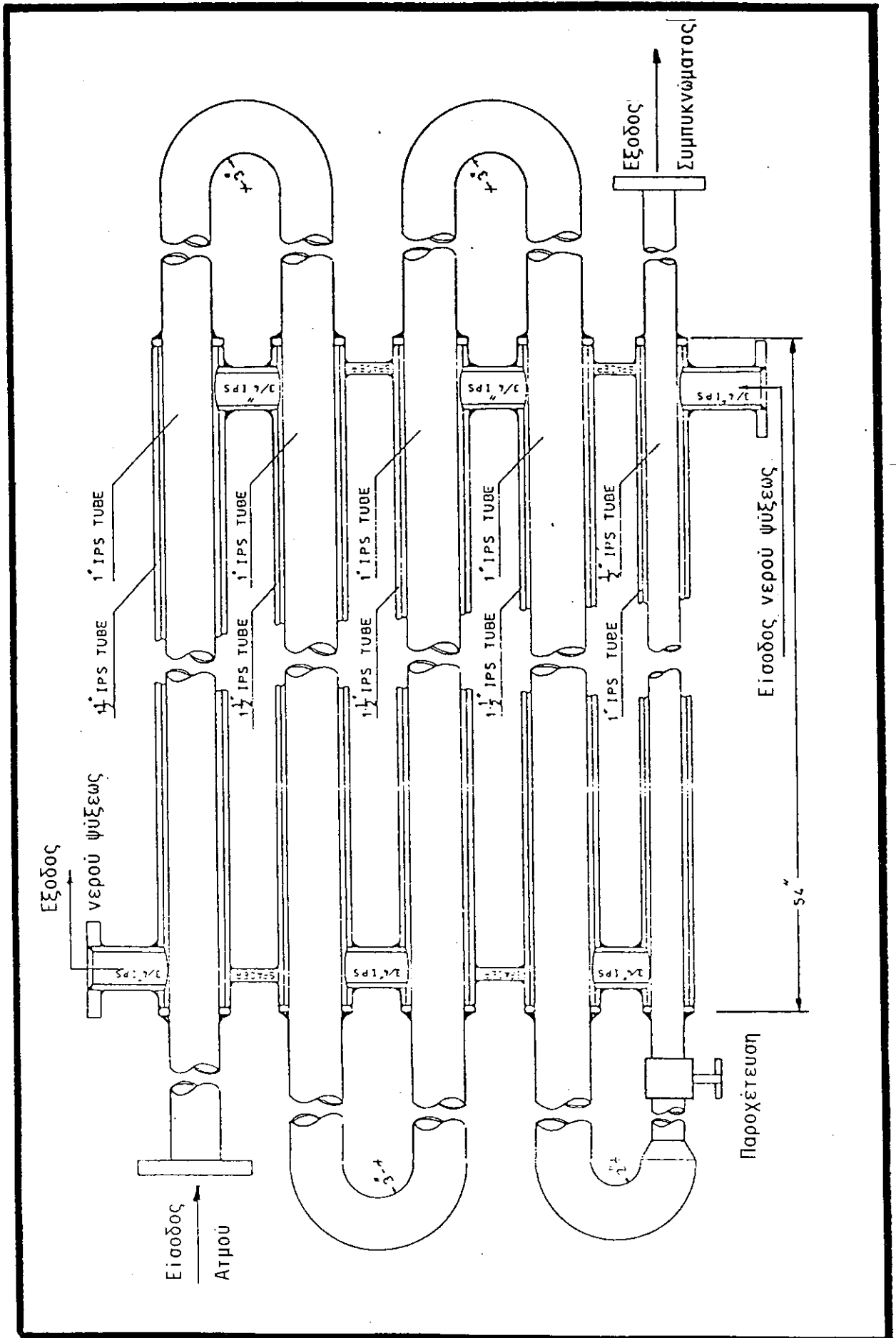


β. Εγκάρσια τομή

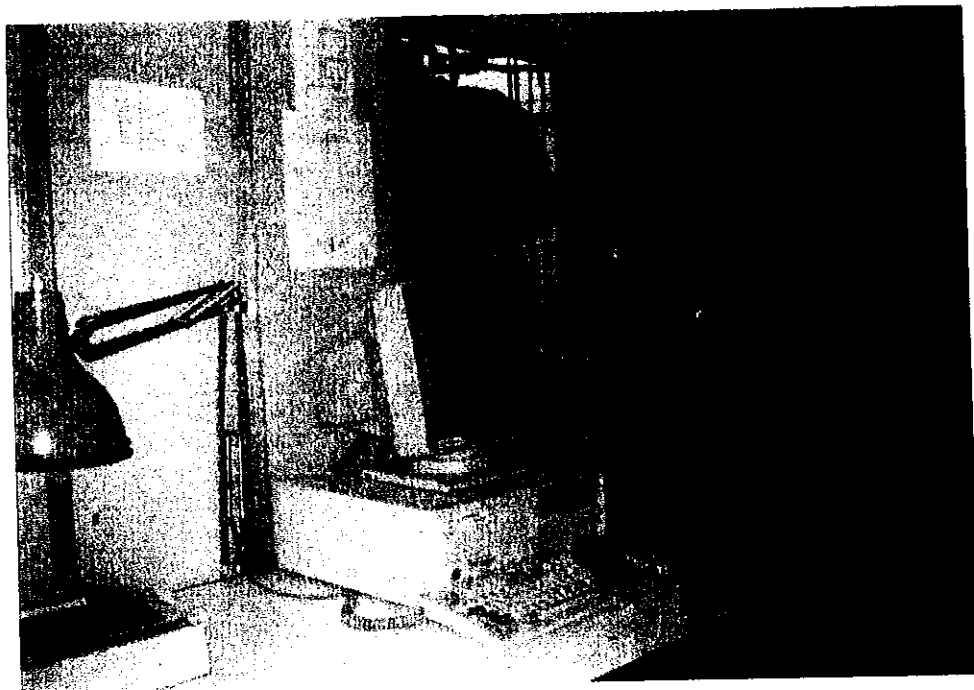
Σχήμα 3.8 : Τομές της Ράβδου Δοκιμών [2]



Σχήμα 3.9 : Θέσεις των θερμοστοιχείων κατά μήκος της ράβδου δοκιμών [2]

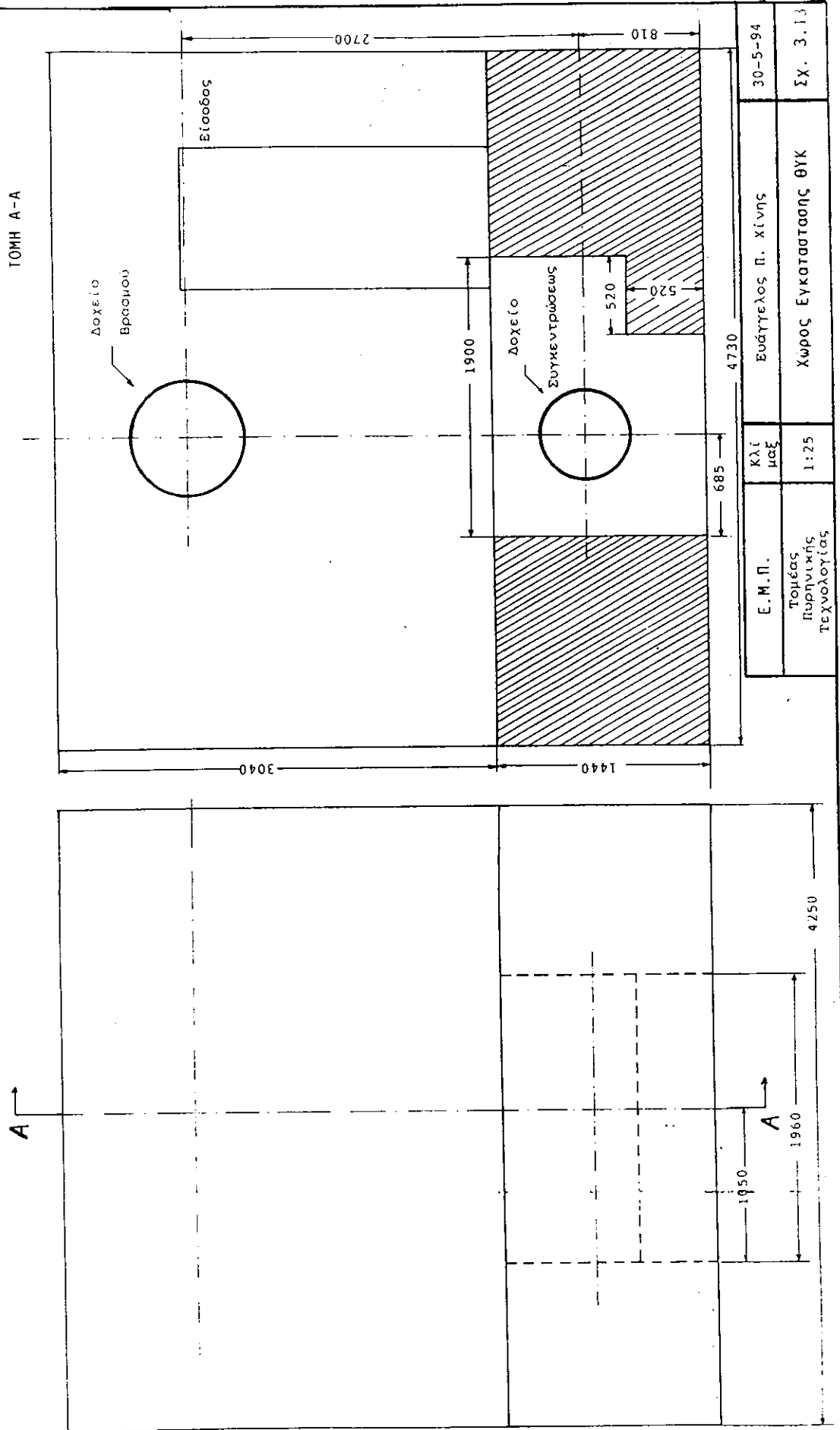


Σχήμα 3.10 : Συγκρότηση Συμπυκνώτου

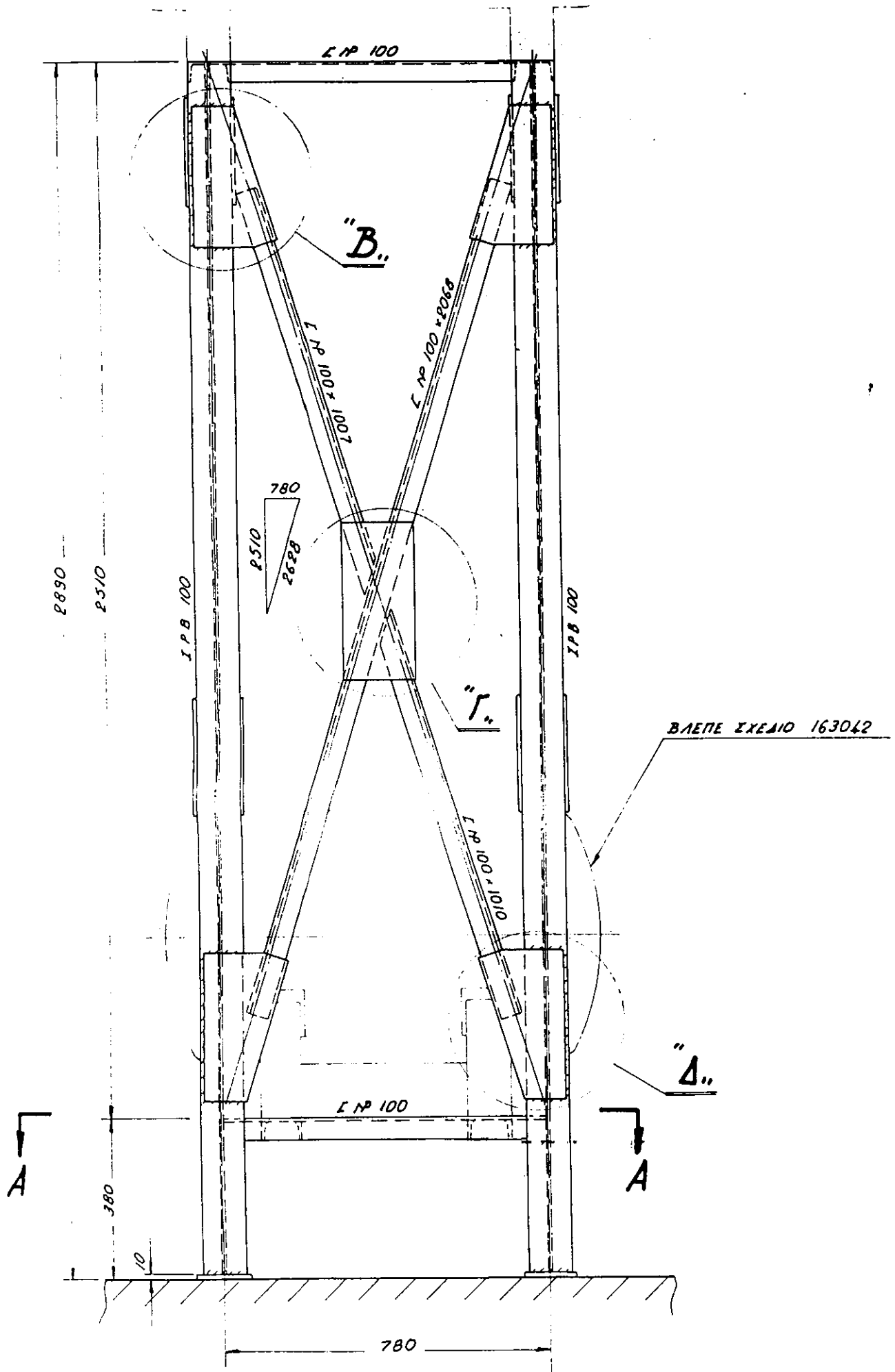


Σχήμα 3.11 : Ο Συμπυκνωτής και ο Η/Υ ΡC.

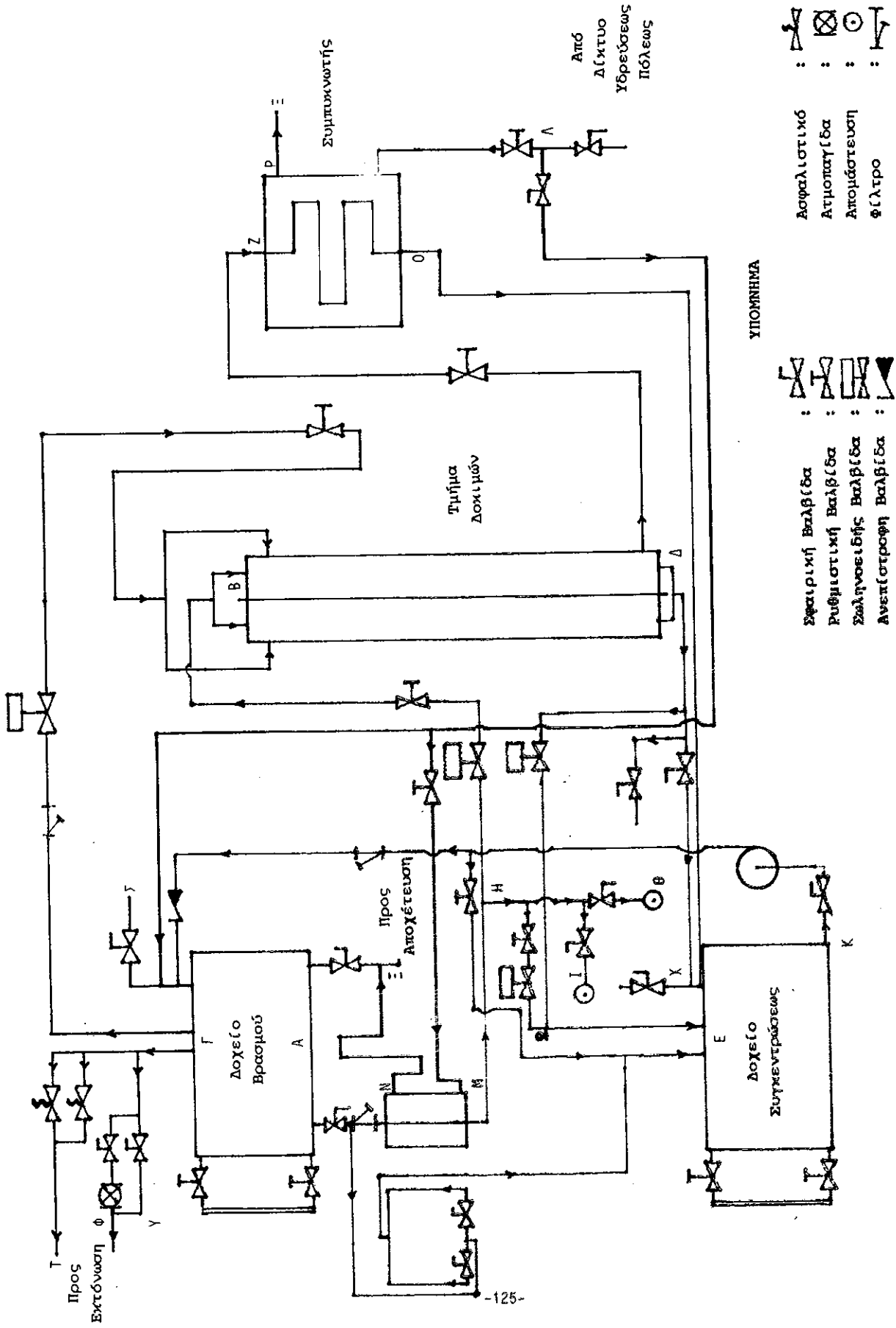
Σχήμα 3.13 : Χώρος Εγκατάστασης ΘΥΚ.



Ε. Μ. Π.	Κλίμαξ	Ευάγγελος Π. Χίνης	30-5-94
Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας	1:25	Χώρος Εγκατάστασης ΘΥΚ	ΣΧ. 3.13



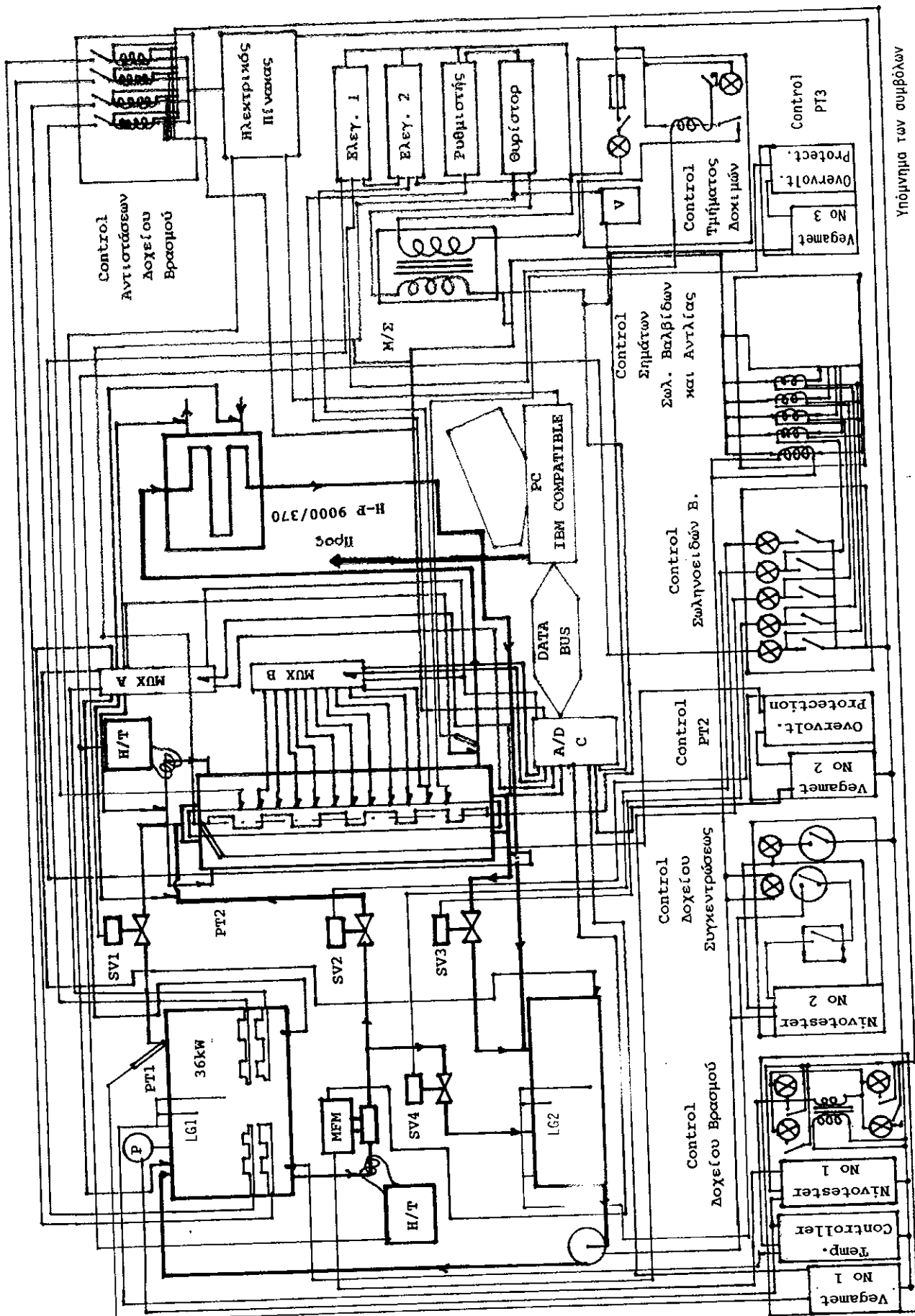
Σχήμα 3.14 : Ικρίωμα



ΥΠΟΜΗΝΗΜΑ

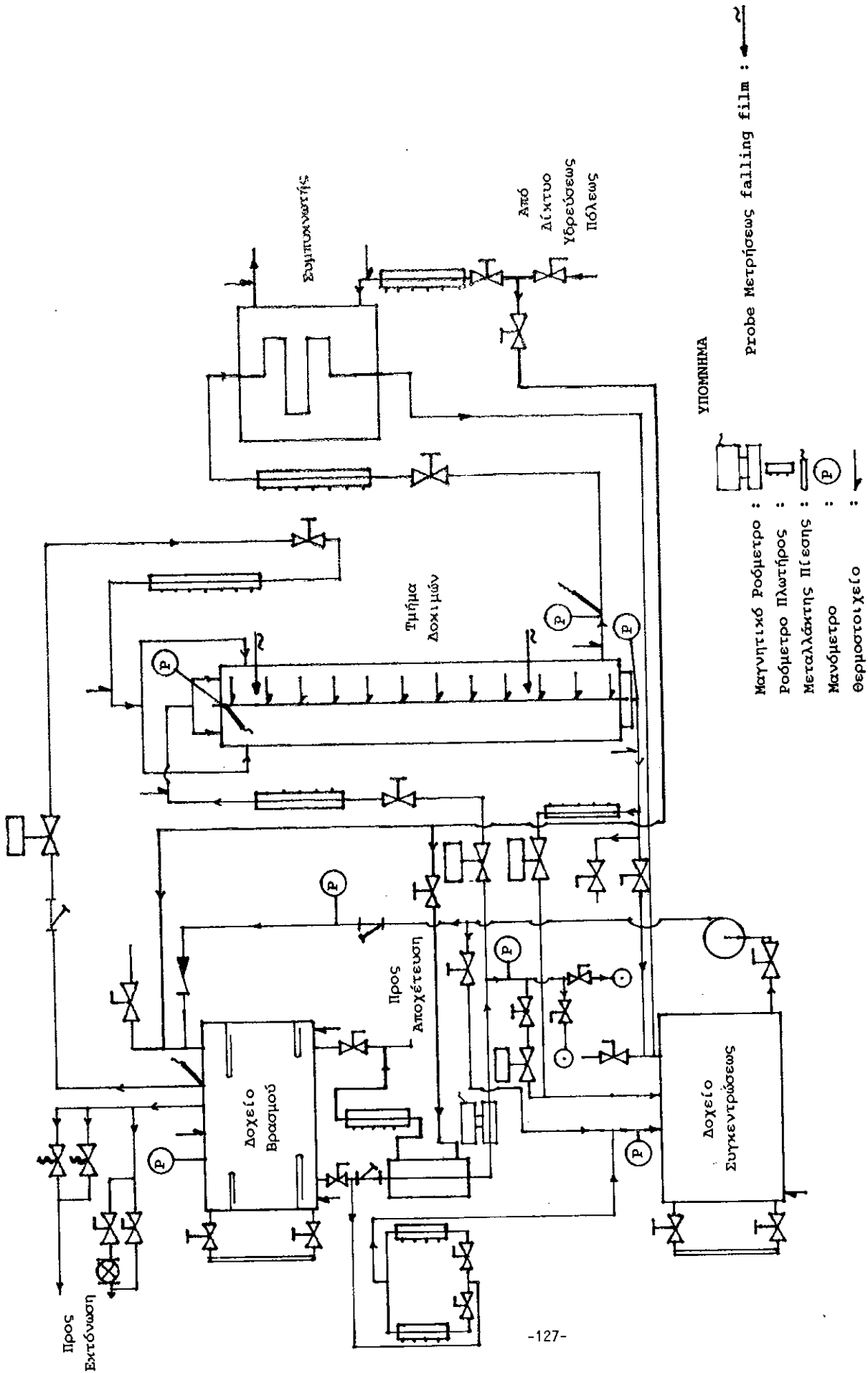
- | | |
|---------------------|--------------|
| Σφαιρική Βαλβίδα | Δοφαιλιστικό |
| Ρυθμιστική Βαλβίδα | Ατμοπαγίδα |
| Σαλινωειδής Βαλβίδα | Απομάστευση |
| Ανεπίστροφη Βαλβίδα | Φίλτρο |

Σχήμα 3.15 : Το Υδραυλικό Κύκλωμα και η Ροή του Ρευστού



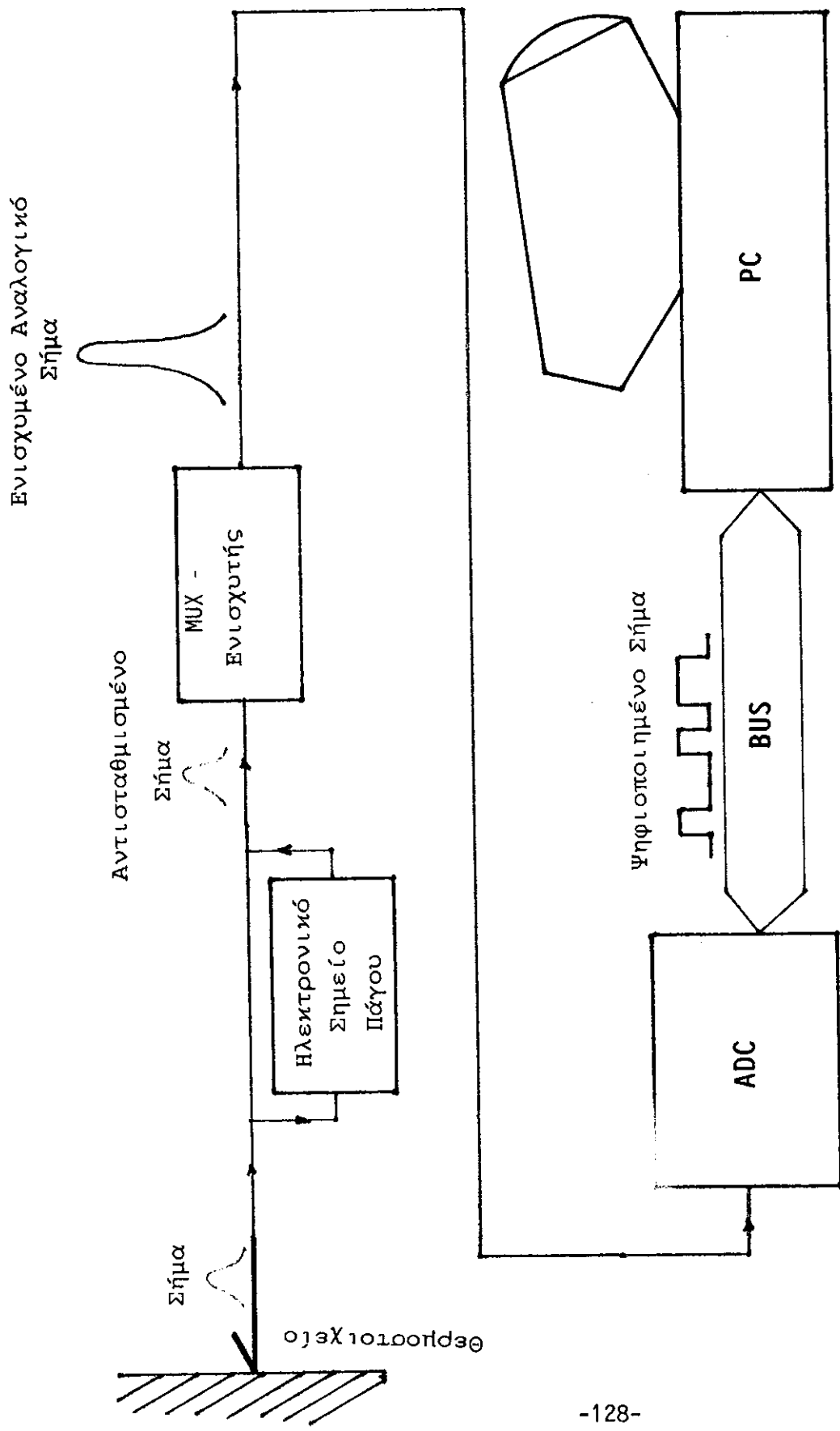
Σχήμα 3.16 : Το Κύκλωμα Ελέγχου και Ροής Πληροφοριών του ΘΥΚ

Υπόμνημα των συμβόλων
παρέχεται στο σχ. ΣΤ-5



Probe Μετρήσεως falling film :

Σχήμα 3.17 : Σταθμοί Μετρήσεως του ΘΥΚ

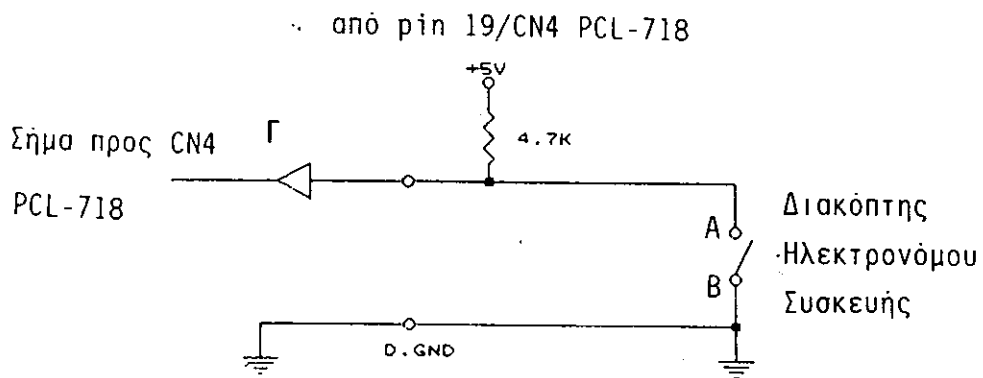


Ενισχυμένο Αναλογικό Σήμα

Αντισταθμισμένο Σήμα

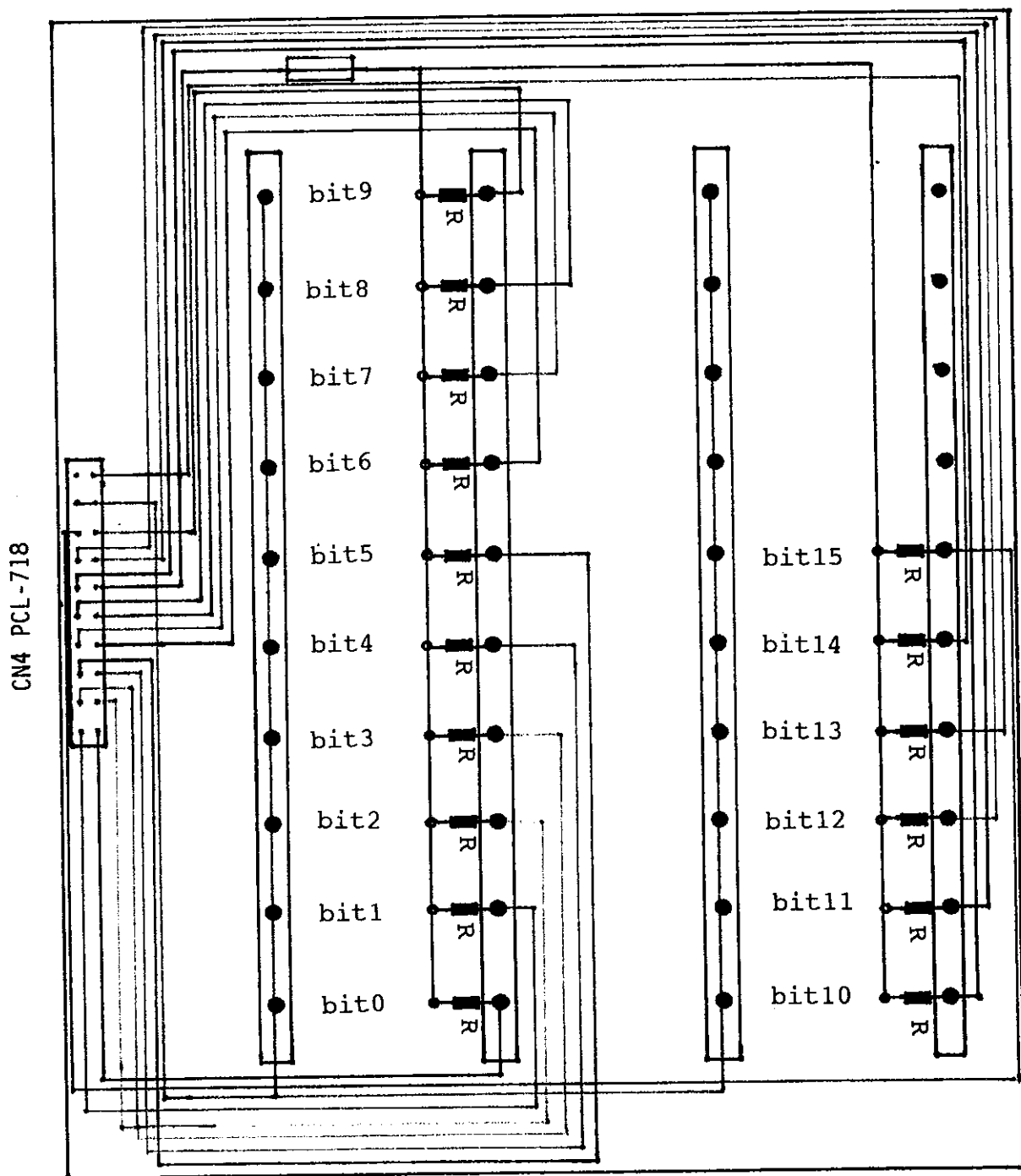
Ψηφιοποιημένο Σήμα

Σχήμα 3.18 : Το Κύκλωμα Μέτρησης της Θερμοκρασίας

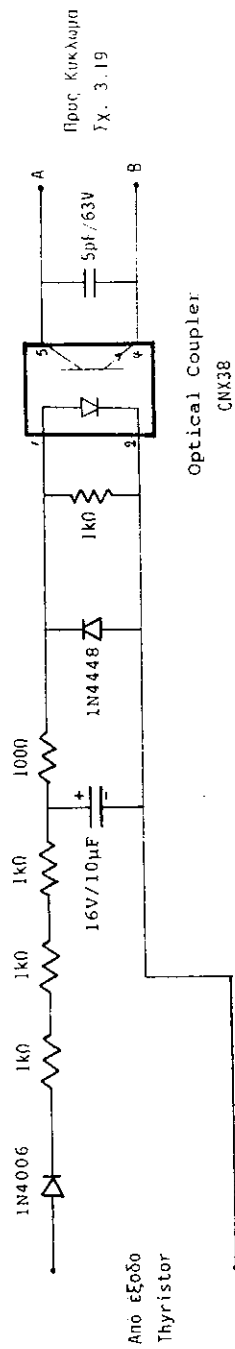


Σχήμα 3.19 : Λογικό κύκλωμα για την παρακολούθηση της δισταθούς καταστάσεως (ON/OFF) συσκευής.

R=4.7 kOhm



Σχήμα 3.20 : Ηλεκτρονικό Κύκλωμα Διαμόρφωσης Ψηφιακής Εισόδου



Σχήμα 3.21 : Ηλεκτρονικό Κύκλωμα Εποπτείας ΤΗΣ Τροφοδοσίας της Ράβδου.

Ε.Μ.Π.	ΚΑΙ μάς	Ευάγγελος Π. Χίτης	30-5-94
Τομέας Πληροφορικής Τεχνολογίας	2:1	Ηλεκτρονικό Κύκλωμα Καταστάσεως Ράβδου	ΣΧ. 3.21

ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΠΙΤΗΡΗΣΗΣ, ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΣΥΛΛΟΓΗΣ
ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΤΟΥ ΘΥΚ : RIG

4.1 Εισαγωγή.

Μετά την ολοκλήρωση της συγκρότησης του ΘΥΚ, προχωρήσαμε, στα πλαίσια της παρούσης ΔΔ, στη σύνταξη καταλλήλου προγράμματος σε γλώσσα FORTRAN με αρκετές υπορουτίνες σε ASSEMBLY, το οποίο ως σκοπό έχει:

- την αυτοματοποιημένη επιτήρηση της λειτουργίας της εγκατάστασης και
- την αυτοματοποιημένη λήψη και καταγραφή μετρήσεων κατά τη φάση της εκτέλεσης των πειραμάτων, εάν αυτό ζητηθεί από τον πειραματιστή.

Το πρόγραμμα αυτό έχει συνταχθεί για Η/Υ τύπου IBM-PC συμβατού, σε δύο διαφορετικές εκδόσεις μία για μονόχρωμη και μία για έγχρωμη οθόνη.

Στην παρούσα εργασία, θα περιγραφεί η συγκρότηση και λειτουργία της εκδόσεως του προγράμματος για τον Η/Υ με έγχρωμη οθόνη. Η έκδοση αυτή, είναι και η πλέον πολύπλοκη των δύο, δεδομένου ότι χειρίζεται ένα επιπλέον επίπεδο πληροφορίας: την έγχρωμη αποτύπωση της κατάστασης του ΘΥΚ στην οθόνη του Η/Υ.

Το "περιβάλλον" το οποίο απαιτείται για να τρέξει το πρόγραμμα, είναι:

- **α. Hardware** : Η/Υ τύπου IBM-PC Συμβατού 80x86 με Μνήμη 640kb RAM, σκληρό δίσκο 20Mb και έγχρωμη οθόνη τύπου SVGA. Στο bus τύπου AT του Η/Υ πρέπει να έχει συνδεθεί η Μονάδα Αναλογικών και Ψηφιακών Μετατροπών τύπου PCL-718 σε αλυσίδα με δύο Ενισχυτές-Πολυπλέκτες του τύπου PCLD-889. Στα κανάλια εισόδου των εν λόγω μονάδων της σειράς PCL, συνδέονται οι 35 σταθμοί μετρήσεως και ελέγχου καταστάσεως του ΘΥΚ που έχουν περιγραφεί στο

προηγούμενο Κεφάλαιο.

- **β. Software** : Λειτουργικό Σύστημα MS-DOS/Version 3.2 και άνω.

Με βάση όσα έχουν ήδη αναφερθεί στα προηγούμενα Κεφάλαια για τη συγκρότηση του ΘΥΚ, συμπεραίνεται, ότι η σύνταξη του προγράμματος αυτού, το οποίο αποτελείται συνολικά από περίπου 7000 γραμμές, κάθε άλλο παρά απλή υπόθεση μπορεί να θεωρηθεί. Σκόπιμο είναι να παρατεθούν ορισμένα από τα χαρακτηριστικά του εν λόγω προγράμματος:

- Εμφανίζει *menu* για την "φιλική" προς τον χρήστη απεικόνιση της κατάστασης της λειτουργίας του ΘΥΚ.
- "Σαρώνει" διαβάζοντας τους 35 σταθμούς μετρήσεως και ελέγχου του ΘΥΚ με τη μεγαλύτερη δυνατή ταχύτητα δειγματοληψίας. Οι λαμβανόμενες μετρήσεις καθώς και η υπ' αυτών σηματοδοτούμενη κατάσταση των κλάδων και των συνιστωσών του ΘΥΚ, εμφανίζονται με τη μορφή του Μιμικού Διαγράμματος της εγκατάστασης τόσο σε μονόχρωμη όσο και σε έγχρωμη οθόνη Η/Υ.
- Τέλος, εάν ζητηθεί από τον χρήστη, γίνεται καταγραφή των μετρήσεων σε ένα αυτόματα δημιουργούμενο αρχείο εξόδου, με ονομασία μοναδική για κάθε ένα πείραμα όπως αναλυτικά θα περιγράψουμε σε επόμενη παράγραφο.

Στο Πρόγραμμα **RIG**, όπως ονομάστηκε τελικά το πρόγραμμα ελέγχου του ΘΥΚ που εκτελεί τις πιο πάνω λειτουργίες, εφαρμόζονται μια σειρά από προγραμματιστικές τεχνικές οι οποίες το καθιστούν εξαιρετικά ευέλικτο και ελκυστικό στη χρήση, καθώς και προσιτό σε τυχόν μεταβολές ή τροποποιήσεις.

Το πρόγραμμα **RIG** έχει συνταχθεί με βάση τις αρχές του Δομημένου Προγραμματισμού· βάση του προγράμματος αποτελούν υπορουτίνες σε γλώσσα **ASSEMBLY**. Στις υπορουτίνες αυτές συμπεριλαμβάνονται υπορουτίνες για τον έλεγχο της οθόνης του Η/Υ, υπορουτίνες για τον έλεγχο της κατάστασης του πληκτρολογίου (π.χ. ελέγχεται εάν έχει πατηθεί ή όχι ένα συγκεκριμένο πλήκτρο κ.λ.π.), υπορουτίνες για την ανάγνωση της ημερομηνίας και ώρας με βάση τις ενδείξεις του ρολογιού του Η/Υ, καθώς και οι υπορουτίνες τις οποίες σε έκταση περιγράψαμε στο Κεφάλαιο 2 της παρούσης, για τον έλεγχο των μονάδων αναλογικών και ψηφιακών μετατροπών που είναι απευθείας συνδεδεμένες στον Η/Υ. Το πρόγραμμα πλαισιώνουν υπορουτίνες σε γλώσσα **FORTRAN** για τον έλεγχο του ΘΥΚ και την ενημέρωση του Μιμικού Διαγράμματος στην οθόνη του Η/Υ.

Για λόγους ευκολίας στο χειρισμό των προγραμμάτων και των υπορουτινών σε γλώσσα προγραμματισμού (*source*), τα χρησιμοποιούμενα αρχεία **ASCII** ενδεχομένως

περιέχουν περισσότερες της μιας υπορουτίνες' οι ρουτίνες που περιέχονται σε κάθε αρχείο, δίδονται στον Πίνακα 4.1. Στη συνέχεια θα αναφερόμαστε σε κάθε ρουτίνα με βάση το όνομά της και όχι με βάση το όνομα του αρχείου στο οποίο περιέχεται. Οι περιγραφές των υπορουτινών που θα γίνουν στη συνέχεια, έχουν ως στόχο να δώσουν στον αναγνώστη τη δυνατότητα να κατανοήσει τις βασικές λειτουργίες που επιτελεί η κάθε υπορουτίνα χωρίς να χρειασθεί να ανατρέξει στο κείμενο του προγράμματος. Εάν κάποιος θέλει να μελετήσει αναλυτικά τι κάνει η κάθε υπορουτίνα, θα υποχρεωθεί να διαβάσει το κείμενο των υπορουτινών που παρέχεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ζ και οπωσδήποτε θα υποβοηθηθεί από τα πολλά σχόλια που υπάρχουν στο κείμενο για την επεξήγηση της λειτουργίας τους.

Ο χρόνος δειγματοληψίας (Sampling Time) ενός πλήρους στιγμιότυπου, το οποίο περιλαμβάνει σάρωση των 35 σταθμών μετρήσεως και ελέγχου του ΘΥΚ, αριθμητικές πράξεις και λογικές αποφάσεις για τη διαπίστωση της κατάστασης των συνιστωσών του ΘΥΚ και ενημέρωση του Μιμικού Διαγράμματος στην οθόνη του Η/Υ, ανέρχεται σε 110 ticks* σε Η/Υ τύπου 80386DX/40MHz. Με κατάλληλες προγραμματιστικές τεχνικές ο υπόψιν χρόνος, στην περίπτωση που απαιτείται και καταγραφή των πειραματικών αποτελεσμάτων σε αρχείο, μειώνεται στα 80 ticks.

Το πρόγραμμα συγκροτείται από ένα βασικό κορμό ρουτινών οι οποίες έχουν ως στόχο, την εμφάνιση και καταγραφή της καταστάσεως του ΘΥΚ. Μια επιπλέον υπορουτίνα, η οποία λειτουργεί ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες, έχει συνταχθεί για την εξυπηρέτηση των εξειδικευμένων λειτουργιών των πειραμάτων της Επανάψυξης, τα οποία αποτελούν το βασικό πειραματικό στόχο αυτής της ΔΔ. Επισημαίνεται ότι αυτή η ρουτίνα εύκολα αποσυναρμολογείται, προκειμένου να συναρμολογηθεί στη θέση-της άλλη κατάλληλη ρουτίνα, για την εξυπηρέτηση άλλου είδους πειραμάτων.

Στη συνέχεια θα περιγράψουμε εκτενώς τη λειτουργία και την μεθοδολογία κλήσης τόσο του κύριου προγράμματος, όσο και των υπορουτινών οι οποίες καλούνται απ' αυτό. Η περιγραφή κάθε ρουτινας θα έχει την ακόλουθη δομή:

- Γλώσσα προγραμματισμού.
- Σύντομη περιγραφή λειτουργίας.
- Παράμετροι Εισόδου και Εξόδου.
- Παράμετροι Σφάλματος, εάν υπάρχουν.

* 1 tick : 1 εκατοστό του δευτερολέπτου.

Το κείμενο (source) των ρουτινών (κύριο πρόγραμμα RIG_MAIN και υπορουτίνες) του προγράμματος RIG παρατίθενται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ζ της παρούσης.

Θα πρέπει να υπενθυμίσουμε ότι το ΘΥΚ έχει κατασκευασθεί για την προσομοίωση και τη μελέτη θερμοϋδραυλικών φαινομένων που συμβαίνουν στα κανάλια ψύξεως υδρόψυκτων Πυρηνικών Αντιδραστήρων Ισχύος. Στα πλαίσια της παρούσης ΔΔ το ενδιαφέρον εστιάσθηκε:

- Στο ατύχημα απώλειας ψυκτικού (Loss-of-Coolant Accident, LOCA) και
- στους φυσικούς μηχανισμούς της επαναψύξεως υπερθερμανθεισών ράβδων πυρηνικού καυσίμου, που παρατηρούνται κατά τη φάση αντιμετώπισης του πιο πάνω ατυχήματος με την ενεργοποίηση ενός Εφεδρικού Συστήματος Εκτακτης Ψύξης (Emergency Core Cooling System, ECCS).

Είναι αναπόφευκτο, στο Κεφάλαιο αυτό που περιγράφει το πρόγραμμα επιτήρησης, ελέγχου και συλλογής μετρήσεων του ΘΥΚ, να γίνουν αναφορές τόσο στο πιο πάνω ατύχημα, όσο και στους φυσικούς μηχανισμούς που παρατηρούνται κατά την προσπάθεια αντιμετώπισης του. Σχετικές αναφορές μπορεί να γίνουν είτε στο [59], είτε στο Κεφάλαιο 5 που ακολουθεί.

4.2 Το Πρόγραμμα RIG.

Οι αρχές του δομημένου προγραμματισμού, με βάση τις οποίες έχει συνταχθεί το πρόγραμμα RIG, επιβάλλουν τη συγκρότηση του προγράμματος σε λογικές ενότητες-ρουτίνες, οι οποίες λειτουργούν ανεξάρτητα ή μια της άλλης, ανταλλάσσοντας μεταξύ-τους πληροφορίες, είτε μέσω παραμέτρων, είτε μέσω εντολών COMMON. Την ευθύνη του συντονισμού της λειτουργίας του προγράμματος, έχει σε κάθε περίπτωση το κύριο πρόγραμμα, το οποίο εν προκειμένω φέρει την ονομασία RIG_MAIN. Η σύνταξη ενός προγράμματος με βάση τις αρχές του δομημένου προγραμματισμού, επιτρέπει εύκολα την αποσυναρμολόγηση μιας ρουτίνας προκειμένου να αντικατασταθεί από άλλη ή την προσθήκη κατά περίπτωση ρουτινών.

Με την ενεργοποίηση του προγράμματος, εμφανίζεται στην οθόνη το βασικό menu ελέγχου του προγράμματος (σχ.4.1). Από το menu αυτό, ο χρήστης μπορεί να κάνει, τις εξής τρεις επιλογές:

- 1 : Display, για την εμφάνιση του Μιμικού Διαγράμματος του προγράμματος.
- 9 : Assist, για την ενεργοποίηση ενός βοηθητικού menu ελέγχου με το οποίο ο χρήστης παρέχει τιμές μερικών παραμέτρων που είναι σχετικές με τη

λειτουργία του προγράμματος, διαφορετικές από εκείνες που εξ ορισμού προβλέπονται από το πρόγραμμα.

- 0 : Exit, για την έξοδο μετά από διακοπή του προγράμματος.

Στις παραγράφους που ακολουθούν θα περιγράψουμε με την συνοπτικότητα που επιτρέπει η φιλικότητα των οθονών, τη δομή και τη λειτουργία των μιμικών διαγραμμάτων και των menu κάθε οθόνης.

4.2.1 Το Μιμικό Διάγραμμα Παρακολούθησης της Κανονικής Λειτουργίας.

Η εμφάνιση του Μιμικού Διαγράμματος παρακολούθησης κανονικής λειτουργίας του ΘΥΚ, ενεργοποιείται με τον κωδικό 1 του βασικού menu ελέγχου, οπότε εμφανίζεται στην οθόνη εικόνα, όπως πχ. αυτή του σχ.4.2. Η πρώτη γραμμή της οθόνης, εμφανίζει την κατάσταση του ΘΥΚ, εν προκειμένω NORMAL OPERATION (Κανονική λειτουργία), την ημερομηνία και την ώρα του συστήματος, καθώς και το χρόνο που έχει παρέλθει από την ενεργοποίηση του προγράμματος. Στην περίπτωση του σχ.4.2, απ' ό,τι φαίνεται στην οθόνη, έχουν παρέλθει 10 πρώτα, 31 δευτέρα και 86 εκατοστά του δευτερολέπτου. Το υπόλοιπο Μιμικό Διάγραμμα, δείχνει τις βασικές συνιστώσες και τη μέσω σωληνώσεων διασύνδεσή των. Συγκεκριμένα, εμφανίζεται:

- Στο άνω αριστερά άκρο το Δοχείο Βρασμού (Heating Tank).
- Στο μέσο περίπου του σχήματος το Τμήμα Δοκιμών (Test Section).
- Στο άκρο δεξιά του σχήματος ο Συμπυκνωτής (Condenser).
- Στο κάτω αριστερά τμήμα το Δοχείο Συγκέντρωσης (Holding Tank).

Εμφανίζονται επίσης το Μαγνητικό Ροόμετρο (MFM) στη γραμμή του υγρού από το Δοχείο Βρασμού προς το Τμήμα Δοκιμών, η Αντλία επιστροφής από το Δοχείο Συγκέντρωσης στο Δοχείο Βρασμού, καθώς και οι τέσσερις σωληνοειδείς βαλβίδες (SV1, SV2, SV3 και SV4) στους τέσσερις βασικούς κλάδους του ΘΥΚ. Υπενθυμίζεται ότι στο προηγούμενο Κεφάλαιο 3, έχει γίνει σαφής αναφορά σε όλες τις πιο πάνω συνιστώσες. Μολονότι οι αριθμητικές τιμές ή τα ειδικά σύμβολα που εμφανίζουν την κατάσταση καθεμιάς συνιστώσας είναι μάλλον αυτοεξηγούμενα, σκόπιμο είναι να γίνει στις επόμενες υποπαραγράφους, μια σύντομη ειδικότερη αναφορά.

4.2.1.1 Απεικόνιση της Κατάστασης του Δοχείου Βρασμού.

Στην περίπτωση αυτή εμφανίζεται:

- Η κατάσταση καθεμιάς των τεσσάρων αντιστάσεων του Δοχείου Βρασμού. Συγκεκριμένα, οι αντιστάσεις των 12kW, απεικονίζονται με μια μεγάλη οριζόντια γραμμή, ενώ οι αντιστάσεις των 6kW με μια μικρότερη οριζόντια γραμμή. Σε κάθε περίπτωση, το χρώμα της γραμμής συμβολίζει την τροφοδοσία (κόκκινο) ή όχι (μαύρο) καθεμιάς αντιστάσεως. Στο σχ.4.2 οι αντιστάσεις δεν τροφοδοτούνται, ενώ στο σχ.4.5 τροφοδοτούνται όλες.
- Η θερμοκρασία του υγρού όπως αυτή καταγράφεται από θερμοστοιχείο στον πυθμένα του Δοχείου Βρασμού. Στο σχ.4.2 η θερμοκρασία αυτή είναι 123.8°C.
- Η θερμοκρασία του ατμού όπως αυτή καταγράφεται από θερμοστοιχείο στην άνω φλάντζα του Δοχείου Βρασμού. Στο σχ.4.2 η θερμοκρασία αυτή είναι 123.4°C.
- Η πίεση του ατμού στο Δοχείο Βρασμού, όπως αυτή καταγράφεται από μεταλλάκτη πίεσης. Στο σχ.4.2 η πίεση αυτή είναι 2.21 bar.

Παράλληλα με την καταγραφή, ενεργοποιούνται σχετικές ρουτίνες για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας κορεσμού που αντιστοιχεί στη μετρούμενη στο δοχείο πίεση· στην περίπτωση του σχ.4.2 η θερμοκρασία κορεσμού είναι 123.5°C.

Με τη θερμοκρασία κορεσμού, συγκρίνονται οι θερμοκρασίες της υγρής και της ατμώδους φάσης και διαπιστώνεται κατ' ακολουθίαν, η κατάσταση (υπόψυκτη-κεκορεσμένη-υπέρθερμη) των φάσεων. Έτσι, κάθε μια από τις δύο θερμοκρασίες των δύο φάσεων, συνοδεύεται δεξιά-της μέσα σε αγγύλες, κατά περίπτωση από τα σύμβολα:

- < που σημαίνει υπόψυκτη κατάσταση,
- = που σημαίνει κεκορεσμένη κατάσταση και
- > που σημαίνει υπέρθερμη κατάσταση.

Εξυπακούεται ότι ο χειριστής πρέπει να προβληματιστεί στην περίπτωση που εμφανισθεί η φυσικά παράδοξη κατάσταση του υπόψυκτου ατμού, ή του υπέρθερμου νερού. Είναι σαφές ότι στις δύο αυτές περιπτώσεις κάποια των καταγραφών, θερμοκρασίας ή πίεσης είναι εσφαλμένη, λόγω προβλήματος.

Είναι λοιπόν φανερό ότι με την πιο πάνω απεικόνιση, ο χρήστης έχει μια άμεση και ολοκληρωμένη εικόνα, τόσο για τη φυσική κατάσταση, όσο και για τα

ενδεχόμενα αστοχιών των μεταλλακτών στο Δοχείο Βρασμού.

4.2.1.2 Απεικόνιση της Κατάστασης του Τμήματος Δοκιμών.

Στην περίπτωση αυτή, όπως παραστατικά φαίνεται και στο σχ.4.2, απεικονίζονται:

- Οι θερμοκρασίες των φάσεων στους δύο κλάδους προσαγωγής (υγρού 117.8 °C και ατμού 120.5 °C) καθώς και στους δύο κλάδους απαγωγής (υγρού 117.3 °C και ατμού 120.5 °C).
- Οι πιέσεις στην είσοδο (1.87 bar) και στην έξοδο (1.87 bar) του Τμήματος οι οποίες μετρώνται με αντίστοιχους μεταλλάκτες πίεσης. Κάτω ακριβώς από την τιμή της πίεσης, εμφανίζεται η τιμή της υπόψυξης του υγρού στην είσοδο που υπολογίζεται εάν αφαιρεθεί από τη θερμοκρασία κορεσμού η οποία αντιστοιχεί στην πίεση εισόδου, η θερμοκρασία προσαγωγής της υγρής φάσης.
- Οι θερμοκρασίες καθενός των 10 θερμοστοιχείων της ράβδου του Τμήματος Δοκιμών, καθώς και η μέση τιμή-τους (§3.4) στην περίπτωση του σχ.4.2 η μέση τιμή είναι 121.6°C, ενώ στην περίπτωση του σχ.4.5 είναι 442.4°C.
- Η κατάσταση στο Τμήμα Δοκιμών και συγκεκριμένα:
 - Η κατάσταση της τροφοδοσίας της ράβδου:
 - τροφοδοτούμενη: κόκκινη (σχ.4.5)
 - μη τροφοδοτούμενη: μαύρη (σχ.4.2 & 4.6)
 - Η κατάσταση ροής της υγρής φάσης*:
 - ροή υγρού: μπλε εσωτερικός δακτύλιος
 - ροή διφασικού μίγματος (σταγονοειδής ροή): μωβ εσωτερικός δακτύλιος
 - απουσία ροής: λευκός εσωτερικός δακτύλιος
 - Η κατάσταση της ροής του ατμού:
 - ροή ατμού: κόκκινος εξωτερικός δακτύλιος
 - απουσία ροής ατμού: λευκός εξωτερικός δακτύλιος

* Η κατάσταση αυτή, δυστυχώς, δεν απεικονίζεται στα γραφήματα των σχ.4.2, 4.5 & 4.6 λόγω αδυναμίας του πακέτου απεικόνισης της οθόνης στον έγχρωμο εκτυπωτή *Deskjet 550C*, που διετίθετο.

Στην περίπτωση του σχήματος 4.2 υπάρχει ροή ατμού.

4.2.1.3 Απεικόνιση της Κατάστασης του Συμπυκνωτή.

Στην περίπτωση αυτή εμφανίζονται οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του νερού ψύξεως του δευτερεύοντος. Εξυπακούεται ότι, οι αντίστοιχες συνθήκες στο πρωτεύον, παρέχονται από τη θερμοκρασία στην έξοδο του Τμήματος Δοκιμών και στην είσοδο του Δοχείου Συγκεντρώσεως. Στην περίπτωση του σχ. 4.2 η θερμοκρασία εισόδου του νερού ψύξεως είναι 25.0°C και η θερμοκρασία εξόδου είναι 75.6°C.

4.2.1.4 Απεικόνιση της Κατάστασης του Δοχείου Συγκεντρώσεως.

Στην περίπτωση αυτή, εμφανίζεται η θερμοκρασία του Συμπυκνώματος στο Δοχείο Συγκεντρώσεως (101.9°C στο σχ. 4.2).

4.2.1.5 Απεικόνιση της Κατάστασης των Κλάδων.

Στην περίπτωση αυτή απεικονίζονται:

- Η κατάσταση καθεμιάς των τεσσάρων σωληνοειδών βαλβίδων (SV1, SV2, SV3 και SV4) με το σύμβολο X εάν η βαλβίδα είναι κλειστή και με **συνεχή γραμμή** εάν η βαλβίδα είναι ανοικτή. Στην περίπτωση του σχ.4.2, οι βαλβίδες SV1, SV2 και SV3 είναι ανοιχτές ενώ η SV4 κλειστή.
- Η παροχή της υγρής φάσης στη γραμμή Δοχείου Βρασμού - Τμήματος Δοκιμών όπως αυτή δίδεται από το Μαγνητικό Ροόμετρο. Στην περίπτωση του σχ.4.2, η παροχή είναι 0.9 lpm.
- Η κατάσταση λειτουργίας της αντλίας, όπου συγκεκριμένα, εάν η αντλία λειτουργεί, η ένδειξη "rump" αναβοσβήνει ενώ, εάν δεν λειτουργεί, παραμένει σταθερή.

Το χρώμα καθενός των κλάδων, παρέχει και την κατάσταση ροής διά του κλάδου. Συγκεκριμένα, εάν το χρώμα είναι μαύρο, ο κλάδος δεν άγει, ενώ εάν ο κλάδος είναι κατά περίπτωση:

- **κόκκινος:** άγει ατμό

- **μωβ:** άγει διφασικό μίγμα
- **μπλε:** άγει υγρό

4.2.2 Το Βοηθητικό Menu Μεταβολής των Τιμών των Παραμέτρων του Προγράμματος.

Με το βοηθητικό menu ελέγχου (σχ.4.3), το οποίο επιλέγεται από το βασικό menu ελέγχου με τον κωδικό **9: Assist**, παρέχονται από το χρήστη τιμές των παραμέτρων, που είναι σχετικές με τη λειτουργία του προγράμματος, άλλες από αυτές που εξ ορισμού (by default) τίθενται από το ίδιο το πρόγραμμα.

Συγκεκριμένα, ο χρήστης μπορεί να δώσει:

- Τον επιθυμητό χρόνο δειγματοληψίας (Δt σε min). Η εξορισμού τιμή είναι ίση με 2 min. Εξυπακούεται ότι εάν ο χρήστης δώσει μικρότερη τιμή από αυτή με την οποία μπορεί να λειτουργήσει το πρόγραμμα (110 ticks στην περίπτωση του Η/Υ 80386DX/40MHz) ο χρόνος δειγματοληψίας ρυθμίζεται από τον ίδιο τον Η/Υ στον ελάχιστο δυνατό.
- Το εάν επιθυμεί την καταγραφή σε αρχείο των φυσικών μεγεθών που παρακολουθούνται στην περίπτωση ενός πειράματος επαναψύξεως. Εάν η απάντηση στην ερώτηση αυτή είναι καταφατική, τότε, εμφανίζεται το menu ελέγχου καταγραφής του πειράματος της επαναψύξεως που παρουσιάζεται στο σχ.4.4.

Στην περίπτωση ενεργοποίησης του menu ελέγχου καταγραφής του πειράματος επαναψύξεως, ζητείται από το χρήστη να δώσει τον Κωδικό του Πειράματος. Ο κωδικός του πειράματος:

ΧΡQQDDSSNNN

είναι ένας δωδεκαψήφιος αλφαριθμητικός κωδικός, ο οποίος εγγράφεται στο αρχείο καταγραφής του πειράματος. Οι χαρακτήρες οι οποίοι συγκροτούν τον κωδικό αυτό, παρέχονται παραστατικά στην οθόνη, μαζί με τις ενδεχόμενες πιθανές τιμές-των, όπου και επεξηγούνται.

Παρά ταύτα, επαναλαμβάνομε και εδώ συνοπτικά, το ρόλο και την επεξήγηση των χαρακτήρων αυτών:

- **Χ** : Πρόκειται για μονοψήφιο αριθμητικό κωδικό, που αποδίδει την πειραματική φάση. Μέχρι στιγμής έχουν χρησιμοποιηθεί οι εξής τέσσερις

τιμές:

- 1 : Θέση σε λειτουργία,
 - 2 : Σπουδή του φαινομένου της επίδρασης της παροχής της ατμώδους φάσης,
 - 3 : Σπουδή του φαινομένου της επίδρασης της υπόψυξης της υγρής φάσης στην είσοδο του Τμήματος Δοκιμών και
 - 4 : Σπουδή του φαινομένου της επίδρασης της πιέσεως στο Τμήμα Δοκιμών.
 - 5 : Σπουδή του φαινομένου της επίδρασης της παροχής υγρής φάσης,
- **P** : Πρόκειται για μονοψήφιο αριθμητικό κωδικό, ο οποίος αποδίδει σε bar την ονομαστική πίεση του πειράματος.
 - **QQQ** : Πρόκειται για τριψήφιο αριθμητικό κωδικό, ο οποίος παρέχει την ονομαστική τιμή της παροχής της υγρής φάσης, σε lpm, υπό τη μορφή Q.Q.Q, δηλαδή με ένα εξυπακουόμενο δεκαδικό.
 - **DD** : Πρόκειται για διψήφιο αριθμητικό κωδικό, ο οποίος παρέχει την ονομαστική τιμή της υπόψυξης της υγρής φάσης στην είσοδο του Τμήματος Δοκιμών, σε K.
 - **SS** : Πρόκειται για διψήφιο αριθμητικό κωδικό, ο οποίος παρέχει την ονομαστική τιμή της παροχής μάζας του ατμού στην είσοδο του Τμήματος Δοκιμών, σε % της βαθμονομημένης κλίμακας του ροομέτρου πλωτήρος που είναι διασυνδεδεμένο στον υπόψιν κλάδο. Η αναλυτική παρουσίαση της βαθμονόμησης του ενλόγω οργάνου, παρατίθεται στο *ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε* της παρούσης.
 - **NNN** : Πρόκειται για τον αύξοντα αριθμό του πειράματος, ο οποίος παρέχεται με ευθύνη του πειραματιστή· μπορεί να είναι αριθμητικός, αλλά μπορεί επίσης να είναι και αλφαβητικός.

Στην περίπτωση της οθόνης του σχ.4.4, ο κωδικός ο οποίος έχει δοθεί, ερμηνεύεται ως εξής:

4 : Μελέτη της επίδρασης της πιέσεως.

1 : Πίεση 1 bar.

010 : Παροχή υγρού 1 lpm.

00 : Ονομαστική τιμή υπόψυξης υγρής φάσης 0 K.

10 : Παροχή μάζας ατμού 10% βαθμονομημένης κλίμακας ροομέτρου (*ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ*

Ε)

005 : Αύξων αριθμός πειράματος 5.

Σε κάθε περίπτωση, από ένα από τα δύο βοηθητικά menu ελέγχου, επιστρέφουμε στο βασικό menu του προγράμματος.

4.2.3 Το Μιμικό Διάγραμμα Παρακολούθησης Πειράματος Επανάψυξης χωρίς Καταγραφή των Αποτελεσμάτων.

Το Μιμικό αυτό Διάγραμμα (σχ.4.5), ενεργοποιείται αμέσως μετά το κλείσιμο της βαλβίδας SV2, ενέργεια η οποία φυσιολογικά προσομοιώνει τη σηματοδότηση ενός ατυχήματος απωλείας ψυκτικού. Το παρόν Μιμικό Διάγραμμα είναι όμοιο με εκείνο της κανονικής λειτουργίας (σχ.4.2). Όμως, στην περίπτωση αυτή, για την αύξηση της συχνότητας δειγματοληψίας στο Τμήμα Δοκιμών, όπου εξελίσσεται το φαινόμενο για 1-5 min, δεν ενημερώνονται επί της οθόνης:

- οι τιμές θερμοκρασίας και πίεσης στο Δοχείο Βρασμού.
- η τιμή της θερμοκρασίας στο Δοχείο Συγκεντρώσεως.
- οι τιμές της θερμοκρασίας στην είσοδο και έξοδο του νερού ψύξεως από το Συμπυκνωτή.

Με το άνοιγμα εκ νέου της βαλβίδας SV2, οπότε προσομοιώνεται η έναρξη της λειτουργίας του συστήματος ECCS, το Μιμικό Διάγραμμα αποκτά τη μορφή του σχ. 4.6. Επισημαίνεται ότι, στην περίπτωση αυτή, το Μιμικό Διάγραμμα εμφανίζει την κίνηση του υγρού μετώπου επί της ράβδου με τη χρήση κατάλληλου χρωματικού κώδικα. Στο σχ. 4.6 το υγρό μέτωπο εντοπίζεται στην περιοχή μεταξύ των θερμοστοιχείων TC-4 και TC-5. Αξιοπρόσεκτη είναι η διαφορά που παρατηρείται στις θερμοκρασίες που δίνουν τα γειτονικά θερμοστοιχεία TC-4 (197.9 °C) και TC-5 (422.0 °C). Η φυσική σημασία αυτής της διαφοράς θα εξηγηθεί με τα όσα θα αναφερθούν σχετικά στο Κεφάλαιο 5. Σε συντομία μπορεί να πει κανείς ότι η διαφορά αυτή έχει άμεση σχέση με τη σχετική θέση κάθε θερμοστοιχείου ως προς το υγρό μέτωπο· δηλαδή στο σχ.4.6 το υγρό μέτωπο έχει ήδη περάσει από το θερμοστοιχείο TC-4 και δεν έχει ακόμη φθάσει στο θερμοστοιχείο TC-5.

Συγκρίνοντας τέλος τα σχ. 4.5 και 4.6 παρατηρούμε μεταβολές στην κατάσταση της ηλεκτρικής τροφοδοσίας τόσο των αντιστάσεων στο Δοχείο Βρασμού όσο και της αντίστασης της ράβδου του τμήματος δοκιμών (§ 4.2.1.1 και 4.2.1.2 αντίστοιχα). Υπογραμμίζεται ότι στην περίπτωση του σχ. 4.5 όπου η SV2 είναι κλειστή το νερό

τροφοδοσίας παροχετεύεται στο Δοχείο Συγκεντρώσεως με τη χρήση του by-pass κλάδου (βαλβίδα SV3 ανοιχτή). Στην περίπτωση του σχ. 4.6 η βαλβίδα SV2 είναι ανοιχτή και η βαλβίδα SV3 κλειστή· το νερό οδηγείται έτσι στο Τμήμα Δοκιμών.

4.2.4 Το Μιμικό Διάγραμμα Παρακολούθησης Πειράματος Επανάψυξης με Καταγραφή των Αποτελεσμάτων.

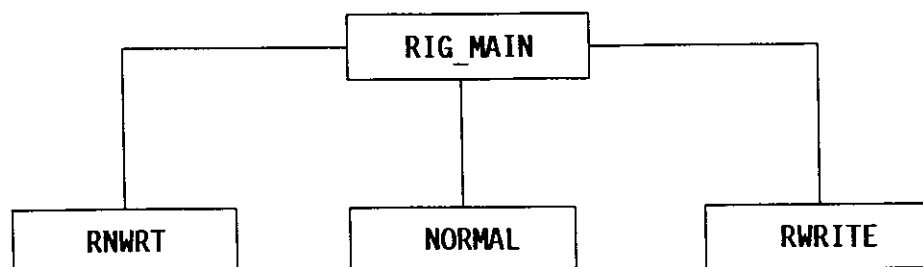
Αυτό το Μιμικό Διάγραμμα εμφανίζεται εάν έχει ζητηθεί προηγουμένως καταγραφή (§4.2.2) και επιπλέον έχει κλείσει η βαλβίδα SV2, είναι δε όμοιο με εκείνο που εμφανίζεται στο σχ. 4.6. Όμως, στην περίπτωση αυτή, για την αύξηση της συχνότητας δειγματοληψίας στο Τμήμα Δοκιμών, όπου εξελίσσεται το φαινόμενο για 1-5 min:

- Παραλείπεται η εμφάνιση των θερμοκρασιών των θερμοστοιχείων TC-2 έως και TC-10 της ράβδου του Τμήματος Δοκιμών.
- Παραλείπεται η εμφάνιση της μέσης τιμής της θερμοκρασίας των 10 θερμοστοιχείων, T_{av} .
- Εμφανίζεται ο χρόνος από την έναρξη του Πειράματος Επαναψύξεως.

Ας σημειωθεί ότι και στην περίπτωση αυτή, όπως και στην περίπτωση της επανάψυξης χωρίς καταγραφή των αποτελεσμάτων (§4.2.3) το Μιμικό Διάγραμμα εμφανίζει την κίνηση του υγρού μετώπου επί της ράβδου.

4.3 Το Κύριο Πρόγραμμα RIG_MAIN.

Η κεντρική ρουτίνα του προγράμματος, είναι το κύριο πρόγραμμα (main-program) το οποίο είναι γραμμένο σε γλώσσα FORTRAN και έχει ονομασθεί RIG_MAIN. Εκτός από τις λιγιστές λειτουργίες-του το πρόγραμμα αυτό καλεί και ελέγχει τρεις υπορουτίνες, όπως παραστατικά φαίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί, οι οποίες αναλαμβάνουν ουσιαστικά το κύριο έργο του προγράμματος RIG.



Στην αρχή του προγράμματος RIG_MAIN, γίνεται η ανάγνωση ορισμένων δεδομένων, τα οποία, για λόγους ευελιξίας, εθεωρήθη σκόπιμο να περιληφθούν στο μοναδικό αρχείο εισόδου του προγράμματος με την ονομασία EXCOB.DAT. Η δομή του αρχείου αυτού δίδεται στην §4.10. Μετά ταύτα ανοίγει το αρχείο εξόδου, το οποίο ελέγχει τον εκτυπωτή του Η/Υ, όπου κατά περίπτωση, κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης του προγράμματος, τυπώνονται κατάλληλα διαγνωστικά μηνύματα. Στη συνέχεια, το πρόγραμμα RIG_MAIN, ελέγχει την κατάσταση της σωληνοειδούς βαλβίδος SV2 του κλάδου τροφοδοσίας υγρού από το Δοχείο Βρασμού στο Τμήμα Δοκιμών, προκειμένου να αποφασίσει ποιά από τις τρεις υπορουτίνες-του θα καλέσει. Συγκεκριμένα:

- Εάν η βαλβίδα SV2 είναι ανοικτή, καλείται η υπορουτίνα NORMAL η οποία παρακολουθεί την κανονική λειτουργία της εγκατάστασης.
- Εάν η βαλβίδα SV2 είναι κλειστή, που σημαίνει σηματοδότηση της προσομοίωσης ατυχήματος απωλείας ψυκτικού (LOCA) στο Τμήμα Δοκιμών, καλείται, ανάλογα με το εάν έχει ζητηθεί ή όχι καταγραφή σε αρχείο των τιμών των φυσικών μεγεθών κατά τη διάρκεια της επαναψύξεως:
 - η υπορουτίνα RWRITE σε περίπτωση καταγραφής ή
 - η υπορουτίνα RNWRT σε περίπτωση που δεν επιθυμείται η καταγραφή.

Η επικοινωνία τόσο των τριών πιο πάνω υπορουτινών (NORMAL, RNWRT και RWRITE) με το πρόγραμμα RIG όσο και των υπορουτινών γενικά μεταξύ τους, γίνεται με τη βοήθεια εντολών COMMON. Τόσον οι εντολές COMMON όσο και οι εντολές δήλωσης των μεταβλητών, είναι κοινές για όλες υπορουτίνες, και για λόγους οργάνωσης περιέχονται σε συγκεκριμένα αρχεία τα οποία συνδέονται με την κάθε υπορουτίνα με τη βοήθεια της εντολής INCLUDE.

4.3.1 Η Υπορουτίνα Επιτήρησης Κανονικής Λειτουργίας: NORMAL.

Γλώσσα προγραμματισμού: FORTRAN

Κλήση της υπορουτινας:

CALL NORMAL(PINTER)

Περιγραφή λειτουργίας:

Στην αρχή της υπορουτινας ενσωματώνεται, με εντολή *include*, το σύνολο των εντολών που βρίσκονται στο αρχείο ACTUAT.FOR, μέσα στο οποίο γίνονται αρχικές

δηλώσεις μεταβλητών και καθορίζονται κοινές περιοχές (COMMON BLOCKS) επικοινωνίας· αρχικές δηλώσεις γίνονται και σε άλλες υπορουτίνες που καλούνται μέσα από το ACTUAT.FOR.

Η υπορουτίνα NORMAL, αμέσως μετά την ενεργοποίησή της, ελέγχει την τιμή ενός λογικού διακόπτη, ώστε να ενημερωθεί εάν έχει προηγηθεί κλήση της υπορουτίνας ελέγχου και καταγραφής πειράματος επαναψύξεως RWRITE. Το τι συμβαίνει εάν διαπιστωθεί αυτό, θα αναφερθεί στην §4.3.3 όπου περιγράφεται η λειτουργία της υπορουτίνας RWRITE.

Στη συνέχεια, η υπορουτίνα καλεί τις υπορουτίνες συλλογής της ψηφιακής πληροφορίας από τις μονάδες αναλογικών και ψηφιακών μετατροπών της σειράς PCLAB για όλους τους σταθμούς μετρήσεως του ΘΥΚ. Οι συλλεγόμενες ψηφιακές πληροφορίες υφίστανται κατάλληλη προσαρμογή και μετατρέπονται σε τιμές των μετρούμενων φυσικών μεγεθών. Για όσες τιμές είναι απαραίτητο, συνεχίζεται η επεξεργασία και υπολογίζονται τα απαιτούμενα παράγωγα μεγέθη (π.χ. υπολογισμός της θερμοκρασίας κορεσμού δοθείσης της πίεσης κ.λ.π).

Μετά τους υπολογισμούς, ακολουθεί η αποτύπωση στην οθόνη του Η/Υ όλων των μετρήσεων και της κατάστασης των κλάδων και στοιχείων του ΘΥΚ, όπως έχει ήδη περιγραφεί στην §4.2.1.

Οι σταθμοί μετρήσεως και ελέγχου του ΘΥΚ οι οποίοι παρακολουθούνται από το πρόγραμμα με αποτέλεσμα την εμφάνιση των τιμών των φυσικών μεγεθών στην οθόνη του Η/Υ, παρουσιάζονται στο σχ.2.11 και αναφέρονται αναλυτικά στην §3.9 της παρούσης.

Θα πρέπει να αναφερθεί στο σημείο αυτό, ότι καθόλη τη διάρκεια της εκτέλεσης της υπορουτίνας, εκτελούνται επαναλαμβανόμενοι έλεγχοι για να διαπιστωθεί:

- Εάν έχει κλείσει η σωληνοειδής βαλβίδα του κλάδου τροφοδοσίας με νερό του Τμήματος Δοκιμών, κάτι που σηματοδοτεί την προσομοίωση ατυχήματος απώλειας ψυκτικού στο Τμήμα Δοκιμών.
- Εάν έχει πατηθεί οποιοδήποτε πλήκτρο του πληκτρολογίου.

Εάν συμβαίνει κάτι από τα παραπάνω, τότε η εκτέλεση της υπορουτίνας διακόπτεται και ο έλεγχος επιστρέφει στο κύριο πρόγραμμα RIG_MAIN προκειμένου να εμφανίσει το βασικό menu ελέγχου, §4.2.

Παράμετρος Εξόδου:

PINTER : Περιέχει τον κωδικό ASCII του πλήκτρου που πατήθηκε οπότεν διακόπηκε

η λειτουργία της υπορουτίνας *NORMAL*, *Integer*.

4.3.2 Η υπορουτίνα Επιτήρησης Εκτέλεσης Πειράματος Επαναψύξεως χωρίς Καταγραφή Αποτελεσμάτων: *RNWRT*.

Γλώσσα προγραμματισμού: FORTRAN

Κλήση της υπορουτίνας:

```
CALL RNWRT(PPP)
```

Περιγραφή λειτουργίας:

Η υπορουτίνα αυτή, αναλαμβάνει την κατασκευή του Μιμικού Διαγράμματος που παρουσιάστηκε στην §4.2.3. Συνεπώς, η υπορουτίνα καλείται αμέσως μόλις διαπιστωθεί από τη *NORMAL* το κλείσιμο της σωληνοειδούς βαλβίδας SV2 το οποίο σηματοδοτεί την προσομοίωση ατυχήματος απώλειας ψυκτικού μέσου στο Τμήμα Δοκιμών, στις περιπτώσεις που δεν έχει προηγουμένως ζητηθεί καταγραφή των μετρήσεων σε αρχείο. Κατά συνέπεια, όλες οι λειτουργίες της υπορουτίνας αυτής, η οποία κατά βάση ομοιάζει προς την υπορουτίνα *NORMAL*, προκύπτουν από όσα ήδη αναφέρθηκαν στην §4.2.3 σχετικά με το Μιμικό Διάγραμμα το οποίο κατασκευάζει η υπορουτίνα αυτή.

Η υπορουτίνα, μετά την ολοκλήρωση της φάσης της επανάψυξης, επιστρέφει τον έλεγχο στο καλούν κύριο πρόγραμμα *RIG_MAIN*, οπότε αντίστοιχα εμφανίζεται το βασικό μενού σχ.4.1. Η επανάψυξη θεωρείται ότι έχει ολοκληρωθεί όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των θερμοστοιχείων TC-11 και TC-3 της ράβδου, είναι μικρότερη από 2% της τιμής της θερμοκρασίας που μετρά το θερμοστοιχείο TC-3 και, επιπροσθέτως, όλες οι θερμοκρασίες που μετρούν τα θερμοστοιχεία της ράβδου είναι χαμηλότερες από την αναμενόμενη θερμοκρασία υγρού μετώπου για την πίεση που μετρά ο μεταλλάκτης στην είσοδο του Τμήματος Δοκιμών.

Παράμετρος Εξόδου:

PPP : Περιέχει τον κωδικό ASCII του πλήκτρου που πατήθηκε όταν διακόπηκε η λειτουργία της υπορουτίνας *RNWRT*, *Integer*.

4.3.3 Η Υπορουτίνα Επιτήρησης Εκτέλεσης Πειράματος Επαναψύξεως με Καταγραφή Αποτελεσμάτων: *RWRITE*.

Γλώσσα προγραμματισμού: FORTRAN

Κλήση της υπορουτίνας:

CALL RWRITE(IPOINT)

Περιγραφή λειτουργίας:

Η υπορουτίνα αυτή, αναλαμβάνει την κατασκευή του Μιμικού Διαγράμματος που παρουσιάστηκε στην §4.2.4. Συνεπώς, η υπορουτίνα καλείται αμέσως μόλις διαπιστωθεί από τη NORMAL το κλείσιμο της σωληνοειδούς βαλβίδος SV2 το οποίο σηματοδοτεί την προσομοίωση ατυχήματος απώλειας ψυκτικού μέσου στο Τμήμα Δοκιμών, στις περιπτώσεις που έχει προηγουμένως ζητηθεί καταγραφή των μετρήσεων σε αρχείο.

Θα πρέπει στο σημείο αυτό να τονισθεί ότι, επειδή γίνεται καταγραφή των πειραματικών αποτελεσμάτων, απαιτείται αυξημένη συχνότητα δειγματοληψίας. Δεν ενδιαφέρει το χρήστη πλέον η παρακολούθηση των μετρήσεων στην οθόνη διότι αφενός μεν αυτές καταγράφονται σε αρχείο, αφετέρου δε υποτίθεται ότι το ΘΥΚ βρίσκεται πλέον σε μόνιμη κατάσταση, κατάλληλη για να εκτελεσθεί το πείραμα.

Εξυπακούεται ότι αμέσως μετά την σηματοδότηση προσομοίωσης του φαινομένου απώλειας ψυκτικού, ο χειριστής θα πρέπει να προσομοιώσει ηλεκτρικά το φαινόμενο της θέρμανσης της ράβδου λόγω ραδιενεργών διασπάσεων (decay-heat). Το πρόγραμμα παρακολουθεί τη φάση αυτή, ελέγχοντας την κατάσταση της σωληνοειδούς βαλβίδος SV2 του κλάδου τροφοδοσίας νερού από το Δοχείο Βρασμού στο Τμήμα Δοκιμών, αντιλαμβανόμενο τη χρονική στιγμή ενεργοποίησης του συστήματος εφεδρικής ψύξης, ως τη χρονική στιγμή θέσεως στη θέση ON της υπόψιν βαλβίδος. Για να αυξηθεί, κατά τη φάση προσομοίωσης του φαινομένου της θέρμανσης λόγω ραδιενεργών διασπάσεων η συχνότητα δειγματοληψίας, παραλείπεται κατά τη φάση αυτή η ενημέρωση* του Μιμικού Διαγράμματος όσον αφορά, κατά περίπτωση, στις τιμές της θερμοκρασίας και της πίεσης στο Δοχείο Βρασμού, στο Δοχείο Συγκεντρώσεως και στο Συμπυκνωτή. Επίσης παραλείπεται η ενημέρωση του Μιμικού Διαγράμματος όσον αφορά στις τιμές των θερμοκρασιών της ράβδου του Τμήματος Δοκιμών, και συνεπώς της μέσης τιμής των, με εξαίρεση τη θέση όπου εμφανίζεται η υψηλότερη θερμοκρασία της ράβδου του Τμήματος Δοκιμών, η οποία είναι εκείνη του θερμοστοιχείου με αριθμό 11 (TC-11, σχ.3.9). Η θερμοκρασία αυτή εμφανίζεται ώστε να έχει ο χρήστης μια αρκετά αντιπροσωπευτική ένδειξη της καταστάσεως της ράβδου κατά τη φάση της θέρμανσης. Εξυπακούεται ότι παράλληλα, ο έλεγχος και η ασφάλεια της ράβδου, αναλαμβάνονται από εξωτερικές μονάδες ρυθμιστών θερμοκρασίας (§3.8.3).

* Εξυπακούεται ότι, παρά ταύτα, οι μετρήσεις λαμβάνονται και καταχωρούνται στο αρχείο.

Όλες οι υπόλοιπες ενδείξεις συνιστώσων του ΘΥΚ που έχουν ήδη αναφερθεί στο Μιμικό Διαγράμμα της §4.2.4, εξακολουθούν και ενημερώνονται, ώστε ο χρήστης να έχει σαφή εικόνα της πειραματικής εγκατάστασης η οποία ενδεχομένως θα τον καθοδηγήσει στην αποφυγή εσφαλμένης καταγραφής. Μια τέτοια ενδεικτική περίπτωση, είναι η αυτόματη ενεργοποίηση της αντλίας η οποία θα είχε σαν συνέπεια την δραστική μεταβολή των θερμοκρασιών και των πιέσεων στο ΘΥΚ. Επισημαίνεται ότι, στην περίπτωση που είναι απαραίτητη η λειτουργία της αντλίας κατά τη διάρκεια των πειραμάτων επαναψύξεως, είναι δυνατόν ο χειριστής να ρυθμίσει την κυκλοφορία με τη βοήθεια της βαλβίδος του by-pass κλάδου της αντλίας ώστε και η αντλία να λειτουργεί συνεχώς, οπότε η κατάσταση του ΘΥΚ παραμένει σταθερή.

Η φάση της προσομοίωσης του φαινομένου της θέρμανσης της ράβδου λόγω ραδιενεργών διασπάσεων, συνεχίζεται μέχρις ότου ο χειριστής της εγκαταστάσεως κρίνει σκόπιμο να τη διακόψει, προφανώς με κριτήριο τη σταθεροποίηση της προρρυθμισθείσης τιμής της θερμοκρασίας της ράβδου, κατάλληλης για το πείραμα που εκτελεί.

Είναι αυτονόητο ότι με την ολοκλήρωση της φάσης αυτής, ο χειριστής έχει την ευθύνη να ενεργοποιήσει αμέσως τη σωληνοειδή βαλβίδα SV2 ώστε να υπάρξει ροή του υγρού προς το Τμήμα Δοκιμών, να προσομοιωθεί δηλαδή το φαινόμενο της επαναψύξεως με το εφεδρικό σύστημα έκτακτης ψύξης.

Με την ενεργοποίηση της φάσης αυτής, η ρουτίνα RWRITE, ενημερώνει την πρώτη γραμμή του Μιμικού Διαγράμματος (§4.2.4) ως προς τη χρονική στιγμή, και συμπληρωματικά εμφανίζει, σύμφωνα με όσα αναφέρονται στην §4.2.4, τη θέση του υγρού μετώπου επί της ράβδου χωρίς να απεικονίζει και τις τιμές της θερμοκρασίας, όπως προαναφέρθη, για λόγους ταχύτητας. Παράλληλα, η ρουτίνα επιτελεί την πλέον σημαντική από τις λειτουργίες της, δηλαδή το άνοιγμα και την ενημέρωση ενός αρχείου εξόδου που περιέχει όλες τις μετρήσεις που χρειάζονται για την πιστή καταγραφή του φαινομένου που παρακολουθείται, με την μέγιστη δυνατή συχνότητα δειγματοληψίας. Τα σχετικά με τη μεθοδολογία ονομασίας και τη δομή του αρχείου εξόδου περιγράφονται στην επόμενη παράγραφο §4.3.3.1.

Όπως και στην περίπτωση της υπορουτίνας RNWRT, και η υπορουτίνα RWRITE θεωρεί ότι έχει ολοκληρωθεί η φάση της επανάψυξης, οπότε διακόπτεται και η διαδικασία καταγραφής, όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των θερμοστοιχείων TC-11 και TC-3 (σχ.3.9) γίνει μικρότερη από 2% της τιμής της θερμοκρασίας που μετρά το θερμοστοιχείο TC-3 και, επιπροσθέτως, όλες οι θερμοκρασίες που μετρούν τα

Θερμοστοιχεία της ράβδου είναι χαμηλότερες από την αναμενόμενη θερμοκρασία υγρού μετώπου για την πίεση που μετρά ο μεταλλάκτης στην είσοδο του Τμήματος Δοκιμών.

Μετά την ολοκλήρωση της φάσης της επανάψυξης, καταγράφονται στο αρχείο εξόδου όλες οι τιμές των μεταλλακτών πίεσης και θερμοκρασίας στους διάφορους σταθμούς του ΘΥΚ, όπως άλλωστε γίνεται και στην αρχή της φάσης της επανάψυξης, και ακολούθως το αρχείο εξόδου κλείνει.

Μετά το κλείσιμο του αρχείου εξόδου, καλείται η υπορουτίνα WARNGS στη λειτουργία της οποίας θ' αναφερθούμε ιδιαίτερα στην §4.7.1. Εκείνο που μπορεί να επισημανθεί από το σημείο αυτό, είναι ότι η βασική λειτουργία της υπορουτίνας συνίσταται στη σύγκριση των πειραματικών συνθηκών στο ΘΥΚ αμέσως πριν και αμέσως μετά τη φάση της επαναψύξεως. Εάν από τη σύγκριση αυτή προκύψει στατιστικά σημαντική μεταβολή των συνθηκών, κάτι που φυσικά είναι ανεπιθύμητο, τότε παρέχεται σχετικό μήνυμα στην οθόνη του Η/Υ ώστε ο χρήστης να προβληματιστεί σχετικά. Το σχετικό μήνυμα εμφανίζεται επί 10 sec στην οθόνη του Η/Υ, ακόμη και εάν ο έλεγχος έχει στο μεταξύ επιστρέψει στο κύριο πρόγραμμα RIG_MAIN και έχει εμφανισθεί η οθόνη κανονικής λειτουργίας (§4.2.1).

Παράμετρος Εξόδου:

IPOINT : Περιέχει τον κωδικό ASCII του πλήκτρου που πατήθηκε όταν διακόπηκε η λειτουργία της υπορουτίνας RNWRT, *Integer*.

4.3.3.1 Το Αρχείο Εξόδου για την Καταγραφή των Μετρήσεων κατά τη Φάση της Επανάψυξης.

Το αρχείο αυτό αποκτά αυτόματα από το πρόγραμμα την κωδική ονομασία:

DDMMHHLL.YY

όπου,

DD : Η ημέρα κατασκευής του αρχείου (1-31).

MM : Ο μήνας κατασκευής του αρχείου (1-12).

HH : Η ώρα κατασκευής του αρχείου (0-23).

LL : Το πρώτο λεπτό της ώρας κατά το οποίο κατασκευάστηκε το αρχείο (0-59)

YY : Το έτος κατασκευής του αρχείου (00-99).

Αμέσως μετά το άνοιγμα του αρχείου, γίνεται καταγραφή της ημερομηνίας και της ώρας ενάρξεως της καταγραφής, καθώς και των χαρακτηριστικών του πειράματος όπως αυτά έχουν δοθεί από τον πειραματιστή στο menu του προγράμματος (1^ο record).

Κατόπιν, καταγράφονται όλες οι μετρήσεις των μεταλλακτών πίεσης καθώς και των θερμοστοιχείων τύπου K του ΘΥΚ, ώστε να υπάρχει μια πλήρης εικόνα της γενικότερης κατάστασης του ΘΥΚ κατά την εκκίνηση της καταγραφής. Έτσι, το 2^ο record περιλαμβάνει τα εξής πεδία:

- Ενδειξη μεταλλάκτη πίεσης στο Δοχείο Βρασμού.
- Ενδειξη μεταλλάκτη πίεσης στην είσοδο του Τμήματος Δοκιμών.
- Ενδειξη μεταλλάκτη πίεσης στην έξοδο του Τμήματος Δοκιμών.
- Ενδειξη θερμοστοιχείου στην άνω φλάντζα του Δοχείου Βρασμού (θερμοκρασία ατμού).
- Ενδειξη θερμοστοιχείου στο κάτω μέρος του Δοχείου Βρασμού (θερμοκρασία υγρού).
- Ενδειξη θερμοστοιχείου στην είσοδο του ατμού στο Τμήμα Δοκιμών.
- Ενδειξη θερμοστοιχείου στην έξοδο του ατμού από το Τμήμα Δοκιμών.
- Ενδειξη θερμοστοιχείου στην είσοδο του υγρού στο Τμήμα Δοκιμών.
- Ενδειξη θερμοστοιχείου στην έξοδο του υγρού από το Τμήμα Δοκιμών.
- Ενδειξη θερμοστοιχείου στο Δοχείο Συγκεντρώσεως.
- Ενδειξη θερμοστοιχείου στην είσοδο του νερού ψύξεως στο Συμπυκνωτή.
- Ενδειξη θερμοστοιχείου στην έξοδο του νερού ψύξεως από το Συμπυκνωτή.

Αμέσως μετά αρχίζουν, συνεχώς επαναλαμβανόμενες, εγγραφές των φυσικών μεγεθών που περιγράφουν την κατάσταση στο Τμήμα Δοκιμών. Οι τιμές των μεγεθών αυτών, με εξαίρεση το χρόνο που έχει παρέλθει από την αρχή της καταγραφής, καταχωρούνται όπως ακριβώς παραλαμβάνονται από τους αναλογοψηφιακούς μετατροπείς, δηλαδή ως ψηφιακές πληροφορίες 0-4095. Αυτό προφανώς γίνεται για λόγους αύξησης της συχνότητας δειγματοληψίας. Εξυπακούεται ότι το πρόγραμμα εκμετάλλευσης του υπόψιν αρχείου, θα πρέπει να κάνει τις κατάλληλες μετατροπές των ψηφιακών πληροφοριών σε τιμές αντίστοιχων φυσικών μεγεθών. Έτσι, το 3^ο record που επαναλαμβάνεται συνεχώς καταγράφον κατά τη διάρκεια του πειράματος

με τη μέγιστη δυνατή συχνότητα δειγματοληψίας, περιλαμβάνει τα εξής πεδία:

- Χρόνος σε sec που έχει παρέλθει από την αρχή της καταγραφής.
- Ψηφιακές πληροφορίες (0-4095) που αντιστοιχούν στα αναλογικά σήματα:
 - του μεταλλάκτη πίεσης στην είσοδο του Τμήματος Δοκιμών,
 - του μεταλλάκτη πίεσης στην έξοδο του Τμήματος Δοκιμών,
 - του μεταλλάκτη παροχής του νερού στην είσοδο του Τμήματος Δοκιμών,
 - της τάσεως αντιστάθμισης της θερμοκρασίας αναφοράς του MUX-A,
 - του θερμοστοιχείου-K στην είσοδο του υγρού στο Τμήμα Δοκιμών,
 - του θερμοστοιχείου-K στην είσοδο του ατμού στο Τμήμα Δοκιμών,
 - της τάσεως αντιστάθμισης της θερμοκρασίας αναφοράς του MUX-B, και
 - των 10 θερμοστοιχείων-J TC-2 της ράβδου του Τμήματος Δοκιμών (TC-2 ως TC-11 σχ.3.9).

Με την ολοκλήρωση της επανάψυξης εγγράφεται ένα τελευταίο, 4^ο record, με τα εξής πεδία:

- Ενδειξη μεταλλάκτη πίεσης στο Δοχείο Βρασμού.
- Ενδειξη μεταλλάκτη πίεσης στην είσοδο του Τμήματος Δοκιμών.
- Ενδειξη μεταλλάκτη πίεσης στην έξοδο του Τμήματος Δοκιμών.
- Ενδειξη θερμοστοιχείου στην άνω φλάντζα του Δοχείου Βρασμού (θερμοκρασία ατμού).
- Ενδειξη θερμοστοιχείου στο κάτω μέρος του Δοχείου Βρασμού (θερμοκρασία υγρού).
- Ενδειξη θερμοστοιχείου στην είσοδο του ατμού στο Τμήμα Δοκιμών.
- Ενδειξη θερμοστοιχείου στην έξοδο του ατμού από το Τμήμα Δοκιμών.
- Ενδειξη θερμοστοιχείου στην είσοδο του υγρού στο Τμήμα Δοκιμών.
- Ενδειξη θερμοστοιχείου στην έξοδο του υγρού από το Τμήμα Δοκιμών.
- Ενδειξη θερμοστοιχείου στο Δοχείο Συγκεντρώσεως.
- Ενδειξη θερμοστοιχείου στην είσοδο του νερού ψύξεως στο Συμπυκνωτή.

- Ενδειξη θερμοστοιχείου στην έξοδο του νερού ψύξεως από το Συμπυκνωτή.

4.4 Οι Υπορουτίνες Αναλογικών και Ψηφιακών μετατροπών.

Οι υπορουτίνες αναλογικών και ψηφιακών μετατροπών αναπτύχθηκαν εκτενώς στο Κεφάλαιο 2. Εδώ επαναλαμβάνονται μόνον τα γενικά χαρακτηριστικά-τους για λόγους πληρότητας της ανάπτυξης.

4.4.1 Η υπορουτίνα αναλογοψηφιακών μετατροπών: TOADC.

Γλώσσα προγραμματισμού: ASSEMBLY

Κλήση της υπορουτίνας:

CALL TOADC(array)

Περιγραφή λειτουργίας: Η εν λόγω υπορουτίνα, χρησιμοποιείται για την εκτέλεση αναλογοψηφιακών μετατροπών από συγκεκριμένο κανάλι της μονάδος PCL-718.

Παράμετροι Εισόδου και Εξόδου:

array πίνακας με δύο στοιχεία τύπου Integer*2

όπου

array(1) : κανάλι του εσωτερικού MUX στο οποίο "πλέκονται" τα κανάλια του εξωτερικού MUX.

array(2) : αποτέλεσμα της μετατροπής (0 - 4095)

Παράμετροι Σφάλματος:

array(2)=-1 : Σφάλμα κατά τη μετατροπή (βλ. §2.6.2.1)

4.4.2 Η Υπορουτίνα Ελέγχου της Αναλογοψηφιακής Μετατροπής από Κανάλι του Ενισχυτή-Πολυπλέκτη: TOMUX.

Γλώσσα προγραμματισμού: ASSEMBLY

Κλήση της υπορουτίνας:

CALL TOMUX(array)

Περιγραφή λειτουργίας: Η εν λόγω υπορουτίνα, χρησιμοποιείται στον έλεγχο της

αναλογοψηφιακής μετατροπής από συγκεκριμένο κανάλι του εξωτερικού πολυπλέκτη της μονάδος PCLD-889.

Παράμετροι Εισόδου και Εξόδου:

array πίνακας με τέσσερα στοιχεία τύπου Integer*2

όπου

array(1) : κανάλι του εξωτερικού MUX από το οποίο ζητείται μετατροπή (0-15)

array(2) : κανάλι του εσωτερικού MUX στο οποίο "πλέκονται" τα κανάλια του εξωτερικού MUX.

array(3) : αποτέλεσμα της μετατροπής (0 - 4095)

array(4) : πλήθος εκτελεσθεισών επαναλήψεων για την ολοκλήρωση της μετατροπής.

Παράμετροι Σφάλματος:

array(3)=-1 : Σφάλμα κατά τη μετατροπή

array(3)=-2: Μη ολοκλήρωση της μετατροπής εντός του προκαθορισθέντος χρόνου.

4.4.3 Η Υπορουτίνα Ελέγχου της Ψηφιακής Εισόδου: DIGIT.

Γλώσσα προγραμματισμού: ASSEMBLY

Κλήση της υπορουτίνας:

CALL DIGIT(*array*)

Περιγραφή λειτουργίας: Η εν λόγω υπορουτίνα, καταχωρεί τις τιμές των δυαδικών ψηφίων (bits) του καναλιού ψηφιακής εισόδου της μονάδος PCL-718. Καθένα από τα bits αυτά, χρησιμοποιείται συνεχώς για την απεικόνιση, της δισταθούς κατάστασης της συσκευής ελέγχου του ΘΥΚ την οποία παρακολουθεί το υπόψιν bit (§2.6.2.3).

Παράμετροι Εισόδου και Εξόδου:

array πίνακας με δέκα στοιχεία τύπου Integer*2

όπου

array(i) : Η δυαδική πληροφορία την οποία μεταφέρει το i-οστό bit της ψηφιακής εισόδου.

4.5 Οι Υπορουτίνες για τον Έλεγχο των Περιφερειακών του PC.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται μια σειρά από υπορουτίνες για τον έλεγχο των περιφερειακών συσκευών του Η/Υ τύπου PC, όπως π.χ. της οθόνης, του πληκτρολογίου, του εσωτερικού ρολογιού κ.λ.π. Από τις υπορουτίνες αυτές, μόνον η DSPSCR έχει συνταχθεί στα πλαίσια της παρούσης ΔΔ, ενώ οι υπόλοιπες συνετάχθησαν στα πλαίσια των ΔΕ [18] και [19], στην επίβλεψη των οποίων συμμετείχε ο γράφων· πάντως, οι υπορουτίνες υπέστησαν περαιτέρω βελτιώσεις στα πλαίσια της παρούσης ΔΔ.

4.5.1 Η Υπορουτίνα Καθαρισμού της Οθόνης του Η/Υ: CLR.

Γλώσσα προγραμματισμού: ASSEMBLY

Κλήση της υπορουτίνας:

CALL CLR

Περιγραφή λειτουργίας: Η εν λόγω υπορουτίνα, καθαρίζει την οθόνη του Η/Υ. Δεν διαθέτει παραμέτρους εισόδου ή εξόδου ούτε και παραμέτρους σφάλματος.

4.5.2 Η Υπορουτίνα Μετακίνησης του Δρομέα και Εμφάνισης Κειμένου στην Οθόνη του Η/Υ: DSPSCR.

Γλώσσα προγραμματισμού: ASSEMBLY

Κλήση της υπορουτίνας:

CALL DSPSCR(string,array)

Περιγραφή λειτουργίας: Με τη ρουτίνα αυτή, μετακινείται ο δρομέας σε προκαθοριζόμενο σημείο επί της οθόνης, όπου στη συνέχεια εμφανίζεται με επιλεγόμενο χρωματισμό το κείμενο των αλφαριθμητικών χαρακτήρων που επιθυμείται. Λεπτομέρειες σχετικές με τη λειτουργία της υπορουτίνας, παρέχονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Η της παρούσης.

Παράμετροι Εισόδου και Εξόδου:

string : Παράμετρος Εισόδου, Character*255 το πολύ. Περιέχει το κείμενο που θέλουμε να εμφανισθεί στην οθόνη του Η/Υ.

array : Πίνακας Εισόδου με τέσσερα στοιχεία, Integer*2 ως ακολούθως:

- array(1)* : Ο αύξων αριθμός της στήλης στην οποία θα τοποθετηθεί ο πρώτος χαρακτήρας του κειμένου.
- array(2)* : Ο αύξων αριθμός της γραμμής στην οποία θα τοποθετηθεί ο πρώτος χαρακτήρας του κειμένου.
- array(3)* : Ο αύξων αριθμός (0-255) του χρωματικού συνδυασμού με βάση τον οποίο θα αποτυπωθεί το κείμενο στην οθόνη του Η/Υ. Η κωδικοποίηση αυτή παρέχεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.
- array(4)* : Το σύνολο των χαρακτήρων από τους οποίους απαρτίζεται το προς εμφάνιση κείμενο.

Στις πιο πάνω αναφορές στη θέση του κειμένου, ως θέση [*array(1)*,*array(2)*] = [0,0] θεωρείται η επάνω και αριστερά γωνία της οθόνης του Η/Υ. Αξίζει να αναφερθεί ότι αρχικά είχε δοκιμασθεί η παρούσα υπορουτίνα με κλήση μέσω μεταβλητών. Η κλήση της υπορουτίνας μέσω πίνακος, μείωσε τον χρόνο δειγματοληψίας του προγράμματος RIG περίπου στο μισό σε σχέση με εκείνον που επιτυγχανόταν με κλήση μέσω μεταβλητών. Αυτό συνέβη διότι κατά τη σχεδίαση, οι τιμές των περισσότερων στοιχείων του πίνακος παραμένουν ίδιες κατά τις διαδοχικές κλήσεις της υπορουτίνας και δεν απαιτείται εκ νέου ενημέρωσή τους.

4.5.3 Η Υπορουτίνα Ανάγνωσης του Πληκτρολογίου: READKB.

Γλώσσα προγραμματισμού: ASSEMBLY

Κλήση της υπορουτίνας:

CALL READKB(number)

Περιγραφή λειτουργίας:

Η υπορουτίνα READKB διαβάζει ένα μοναδικό ακέραιο (0-9).

Παράμετροι Εισόδου και Εξόδου:

number : Παράμετρος Εξόδου, Integer*2. Η παράμετρος αυτή μπορεί να παίρνει τιμές από 0 έως 9.

4.5.4 Η Υπορουτίνα Παρακολούθησης του Πληκτρολογίου: KEYBRD.

Γλώσσα προγραμματισμού: ASSEMBLY

Κλήση της υπορουτίνας:

CALL KEYBRD(number)

Περιγραφή λειτουργίας:

Η υπορουτίνα KEYBRD ελέγχει το πληκτρολόγιο και ανιχνεύει εάν τυχόν έχει πατηθεί κάποιο πλήκτρο μετά την προηγούμενη κλήση-της. Επιστρέφει στο καλούν πρόγραμμα τον κωδικό ASCII του πλήκτρου που πατήθηκε.

Παράμετροι Εισόδου και Εξόδου:

number : Παράμετρος Εξόδου, Integer*2. Η παράμετρος αυτή μπορεί να παίρνει τιμές από 0 έως 255.

4.5.5 Η Υπορουτίνα Μετακίνησης του Δρομέα σε Συγκεκριμένη Θέση επί της Οθόνης του Η/Υ: MVCUR.

Γλώσσα προγραμματισμού: ASSEMBLY

Κλήση της υπορουτίνας:

CALL MVCUR(icolumn,irow)

Περιγραφή λειτουργίας:

Η υπορουτίνα MVCUR μετακινεί το δρομέα σε συγκεκριμένη θέση επί της οθόνης.

Παράμετροι Εισόδου και Εξόδου:

icolumn : Παράμετρος Εισόδου, Integer*2. Η παράμετρος αυτή περιέχει τον αύξοντα αριθμό της νοητής στήλης της οθόνης του Η/Υ, στην οποία είναι επιθυμητό να τοποθετηθεί ο δρομέας.

irow : Παράμετρος Εισόδου, Integer*2. Η παράμετρος αυτή περιέχει τον αύξοντα αριθμό της νοητής γραμμής της οθόνης του Η/Υ, στην οποία είναι επιθυμητό να τοποθετηθεί ο δρομέας.

4.5.6 Η Υπορουτίνα Ανάγνωσης της Ημερομηνίας: IDATE.

Γλώσσα προγραμματισμού: ASSEMBLY

Κλήση της υπορουτίνας:

CALL IDATE(idatd)

Περιγραφή λειτουργίας:

Η υπορουτίνα επιστρέφει τις τιμές της ημέρας, του μήνα και του έτους τη στιγμή που καλείται.

Παράμετροι Εισόδου και Εξόδου:

idatd : Πίνακας Εξόδου με 3 στοιχεία Integer*2.
idatd(1) : Το στοιχείο αυτό περιέχει το έτος (00-99).
idatd(2) : Το στοιχείο αυτό περιέχει τον μήνα (1-12).
idatd(3) : Το στοιχείο αυτό περιέχει την ημέρα (1-31).

4.5.7 Η Υπορουτίνα Ανάγνωσης της Ωρας: ITIME.

Γλώσσα προγραμματισμού: ASSEMBLY

Κλήση της υπορουτίνας:

CALL ITIME(idatt)

Περιγραφή λειτουργίας:

Η υπορουτίνα επιστρέφει τις τιμές της ώρας, των πρώτων λεπτών, των δευτερολέπτων και των ticks τη στιγμή της κλήσης της.

Παράμετροι Εισόδου και Εξόδου:

idatt : Πίνακας Εξόδου με 4 στοιχεία Integer*2.
idatt(1) : Το στοιχείο αυτό περιέχει την ώρα (0-23).
idatt(2) : Το στοιχείο αυτό περιέχει τα πρώτα λεπτά (0-59).
idatt(3) : Το στοιχείο αυτό περιέχει τα δεύτερα λεπτά (0-59).
idatt(3) : Το στοιχείο αυτό περιέχει τα εκατοστά του δευτερολέπτου (ticks) (0-99)

4.6 Οι Υπορουτίνες Επιτήρησης της Κατάστασης του ΘΥΚ και Απεικόνισής της υπό τη Μορφή Μιμικού Διαγράμματος.

Στη συνέχεια περιγράφονται οι υπορουτίνες επιτήρησης της κατάστασης του ΘΥΚ

και εμφάνισής της στην οθόνη του Η/Υ υπό τη μορφή του Μιμικού Διαγράμματος.

Οι υπορουτίνες αυτές επικοινωνούν μεταξύ-τους και με τα καλούντα προγράμματα, με μια ή περισσότερες από τις παραμέτρους που εμφανίζονται στον Πίνακα του ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΟΣ Θ.

Ας σημειωθεί ότι οι εν λόγω σχεδιαστικές υπορουτίνες δεν επιστρέφουν παραμέτρους σφάλματος, δεδομένου ότι τυχόν δυσλειτουργία-τους είναι εμφανής στην αποτύπωση του Μιμικού Διαγράμματος επί της Οθόνης του Η/Υ.

4.6.1 Η Υπορουτίνα Επιλογής του Χρωματικού Υποβάθρου στο οποίο σχεδιάζεται το Μιμικό Διάγραμμα BACKGR.

Γλώσσα προγραμματισμού: FORTRAN

Κλήση της υπορουτίνας:

CALL BACKGR

Περιγραφή λειτουργίας: Με την υπορουτίνα αυτή, επιλέγεται το χρωματικό υπόβαθρο (background color) για την αποτύπωση του Μιμικού Διαγράμματος. Η υπορουτίνα αυτή δεν έχει τυπικές παραμέτρους διότι έχει ρυθμισθεί ώστε η μοναδική παράμετρος που της χρειάζεται (BACKGR) να επικοινωνεί με τις υπόλοιπες υπορουτίνες μέσω της εντολής COMMON. Ο κωδικός του χρώματος του υποστρώματος καθορίζεται σύμφωνα με όσα αναφέρονται στα ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ Η και Ι.

4.6.2 Η Υπορουτίνα Εμφάνισης του Μιμικού Διαγράμματος: DISPL.

Γλώσσα προγραμματισμού: FORTRAN

Κλήση της υπορουτίνας:

CALL DISPL

Περιγραφή λειτουργίας:

Η υπορουτίνα DISPL, κατασκευάζει τη φόρμα του Μιμικού Διαγράμματος.

4.6.3 Η Υπορουτίνα Παρακολούθησης της Κατάστασης των Σωληνοειδών Βαλβίδων και των Εξαρτημένων-τους Συνιστωσών : VALVES.

Γλώσσα προγραμματισμού: FORTRAN

Κλήση της υπορουτίνας:

CALL VALVES(IS1,IS2,IS3,IS4)

Περιγραφή λειτουργίας:

Η υπορουτίνα αυτή παρακολουθεί την κατάσταση, μετά από κλήση της DIGIT, των τεσσάρων σωληνοειδών βαλβίδων (SV1, 2, 3 & 4) προκειμένου :

- να την εμφανίσει στο μιμικό διάγραμμα,
- να εμφανίσει με ανάλογο χρωματικό κώδικα την κατάσταση του τμήματος των σωληνώσεων του δικτύου τις οποίες ελέγχουν,
- να συνεργασθεί με την πιοκάτω περιγραφόμενη ρουτίνα *RIGWAY* ώστε να εμφανισθεί η κατάσταση ροής στο Τμήμα Δοκιμών.

Παράμετροι Εισόδου:

IS1 : Integer.

IS1=0: η σωληνοειδής βαλβίδα SV1 του κλάδου του ατμού προς το Τμήμα Δοκιμών είναι κλειστή.

IS1=1: η βαλβίδα SV1 είναι ανοικτή.

IS2 : Integer.

IS2=0: η σωληνοειδής βαλβίδα SV2 του κλάδου του νερού προς το Τμήμα Δοκιμών είναι κλειστή.

IS2=1: η βαλβίδα SV2 είναι ανοικτή.

IS3 : Integer.

IS3=0: η σωληνοειδής βαλβίδα SV3 του κλάδου απαγωγής του νερού από το Τμήμα Δοκιμών είναι κλειστή.

IS3=1: η βαλβίδα SV3 είναι ανοικτή.

IS4 : Integer.

IS4=0: η σωληνοειδής βαλβίδα SV4 του κλάδου παράκαμψης (by-pass) του Τμήματος Δοκιμών είναι κλειστή.

IS4=1: η βαλβίδα SV4 είναι ανοικτή.

4.6.4 Η Υπορουτίνα Εμφάνισης της Καταστάσεως των Θερμαντικών Αντιστάσεων του Δοχείου Βρασμού: RESIS.

Γλώσσα προγραμματισμού: FORTRAN

Κλήση της υπορουτίνας:

CALL RESIS(IRESA, IRESB, IRESC, IRES D)

Περιγραφή λειτουργίας: Η εν λόγω υπορουτίνα, ελέγχει τη δισταθή κατάσταση (ON/OFF) των αντιστάσεων του Δοχείου Βρασμού και την αποτυπώνει με κατάλληλο χρωματικό κώδικα.

Παράμετροι Εισόδου και Εξόδου:

IRESA : Κατάσταση θερμαντικής αντιστάσεως Α (6 kW): 0 OFF, 1 ON.

IRESB : Κατάσταση θερμαντικής αντιστάσεως Β (12 kW): 0 OFF, 1 ON.

IRESC : Κατάσταση θερμαντικής αντιστάσεως Γ (6 kW): 0 OFF, 1 ON.

IRES D : Κατάσταση θερμαντικής αντιστάσεως Δ (12 kW): 0 OFF, 1 ON.

4.6.5 Η Υπορουτίνα Εμφάνισης της Καταστάσεως της Αντλίας Τροφοδοσίας: PWAY.

Γλώσσα προγραμματισμού: FORTRAN

Κλήση της υπορουτίνας:

CALL PWAY(IT)

Περιγραφή λειτουργίας:

Η υπορουτίνα PWAY εμφανίζει την κατάσταση λειτουργίας της αντλίας.

Παράμετροι Εισόδου και Εξόδου:

IT : Παράμετρος Εισόδου, Integer.

IT=1 : η αντλία είναι ON και ο κλάδος της καταθλίψεως διαρρέεται από νερό το οποίο επιστρέφει από το Δοχείο Συγκεντρώσεως στο Δοχείο Βρασμού.

IT=0 : η αντλία είναι OFF και ο κλάδος της καταθλίψεως δεν διαρρέεται.

4.6.6 Η Υπορουτίνα Εμφάνισης του Κλάδου του Ατμού από την Εξοδο του Δοχείου Βρασμού: SOWAY.

Γλώσσα προγραμματισμού: FORTRAN

Κλήση της υπορουτίνας:

CALL SOWAY(IT)

Περιγραφή λειτουργίας:

Η εν λόγω υπορουτίνα, εμφανίζει την κατάσταση του κλάδου του ατμού από την έξοδο του Δοχείου Βρασμού, έως τη σωληνοειδή βαλβίδα SV1.

Παράμετροι Εισόδου και Εξόδου:

IT : Παράμετρος Εισόδου, Integer.

IT=1: ο κλάδος διαρρέεται από ατμό ο οποίος εξέρχεται από το Δοχείο Βρασμού.

IT=0: ο κλάδος δεν διαρρέεται από ατμό, δηλαδή το νερό στο Δοχείο Βρασμού βρίσκεται σε υπόψυκτη κατάσταση στην αντίστοιχη πίεση.

4.6.7 Η Υπορουτίνα Εμφάνισης του Κλάδου του Ατμού από την Σωληνοειδή Βαλβίδα SV1 έως το Τμήμα Δοκιμών: S1WAY.

Γλώσσα προγραμματισμού: FORTRAN

Κλήση της υπορουτίνας:

CALL S1WAY(IT, ITP)

Περιγραφή λειτουργίας:

Η εν λόγω υπορουτίνα εμφανίζει την κατάσταση του κλάδου του ατμού από τη σωληνοειδή βαλβίδα SV1 έως την είσοδο του Τμήματος Δοκιμών.

Παράμετροι Εισόδου και Εξόδου:

IT : Παράμετρος Εισόδου, Integer.

IT=0, δεν υπάρχει ατμός στο Δοχείο Βρασμού και η Σωληνοειδής Βαλβίδα SV1 είναι κλειστή.

IT=1, υπάρχει ατμός στο Δοχείο Βρασμού και η Σωληνοειδής Βαλβίδα SV1 είναι κλειστή.

IT=2, δεν υπάρχει ατμός στο Δοχείο Βρασμού, και η Σωληνοειδής Βαλβίδα SV1 είναι ανοικτή.

IT=3, υπάρχει ατμός στο Δοχείο Βρασμού, και η Σωληνοειδής Βαλβίδα SV1 είναι ανοικτή.

ITP : Παράμετρος Εισόδου, Integer.

ITP=0 ή 1, υπάρχει ατμός στο Τμήμα Δοκιμών.

ITP=2 ή 3, δεν υπάρχει ατμός στο Τμήμα Δοκιμών.

4.6.8 Η Υπορουτίνα Εμφάνισης του Κλάδου του Νερού από τη Σωληνοειδή Βαλβίδα SV2 ως το Τμήμα Δοκιμών: S2WAY.

Γλώσσα προγραμματισμού: FORTRAN

Κλήση της υπορουτίνας:

CALL S2WAY(IT)

Περιγραφή λειτουργίας:

Η εν λόγω υπορουτίνα εμφανίζει τον κλάδο του νερού εισόδου στο τμήμα δοκιμών μετά τη σωληνοειδή βαλβίδα SV2.

Παράμετροι Εισόδου και Εξόδου:

IT : Παράμετρος Εισόδου, Integer.

IT=1: ο κλάδος διαρρέεται από νερό το οποίο εξέρχεται από το Δοχείο Βρασμού.

IT=0: ο κλάδος δεν διαρρέεται από νερό.

4.6.9 Υπορουτίνες Εμφάνισης της Κατάστασης της Ράβδου καθώς και των Φάσεων του Νερού στο Τμήμα Δοκιμών και στους Κλάδους Απαγωγής.

Οι υπορουτίνες που παρουσιάζονται στην παράγραφο αυτή, καλούνται από την υπορουτίνα RIGWAY ώστε να εμφανισθεί η ροή του ρευστού (νερό, ατμός και διφασικό μίγμα) τόσο στο Τμήμα Δοκιμών όσο και στους κλάδους απαγωγής από αυτό.

Η υπορουτίνα TS, εμφανίζει την κατάσταση της ράβδου του Τμήματος Δοκιμών στην περίπτωση κατά την οποία η ράβδος επαναψύχεται. Η εν λόγω υπορουτίνα, σχεδιάζει τη ράβδο του Τμήματος Δοκιμών με το κατάλληλο κατά περίπτωση υπόβαθρο (background), το οποίο αποτυπώνει την ροή ή όχι υγρού περί την ράβδο, καθώς και τα διάφορα στάδια διφασικής ροής κατά τη φάση του φαινομένου της επαναψύξεως.

Η υπορουτίνα TS46 εμφανίζει την ύπαρξη ή όχι ατμού στο Τμήμα Δοκιμών (αλληλοσυμπληρούμενη με την TS48).

Η υπορουτίνα TS47 εμφανίζει την κατάσταση της ράβδου του Τμήματος Δοκιμών σε όλες τις περιπτώσεις, πλην εκείνης κατά την οποία η ράβδος επαναψύχεται.

Η υπορουτίνα TS48 εμφανίζει την ύπαρξη ή όχι ατμού στο Τμήμα Δοκιμών (αλληλοσυμπληρούμενη με την TS46).

Η υπορουτίνα S6WAY εμφανίζει τον κλάδο απαγωγής του ατμού από το Τμήμα Δοκιμών και επιστροφής του συμπυκνώματος στο Δοχείο Συγκεντρώσεως.

Η υπορουτίνα S32WAY εμφανίζει τον κλάδο απαγωγής του νερού από το Τμήμα Δοκιμών έως τη σωληνοειδή βαλβίδα SV3.

Η υπορουτίνα S31WAY εμφανίζει τον κλάδο απαγωγής του νερού του Τμήματος Δοκιμών, από τη σωληνοειδή βαλβίδα SV3 έως τη διακλάδωση με το νερό του κλάδου παράκαμψης (by-pass).

Η υπορουτίνα S42WAY εμφανίζει τον κλάδο επιστροφής του νερού στο Δοχείο Συγκεντρώσεως (ΩΕ, σχ.3.15).

Η υπορουτίνα S41WAY εμφανίζει τον κλάδο του νερού μετά την σωληνοειδή βαλβίδα SV4 και πριν το σημείο Ω (σχ.3.15).

4.6.9.1 Η Υπορουτίνα Εμφάνισης της Κατάστασης του Τμήματος Δοκιμών: RIGWAY.

Γλώσσα προγραμματισμού: FORTRAN

Κλήση της υπορουτίνας:

```
CALL RIGWAY(IT,IS3,IS4)
```

Παράμετροι Εισόδου και Εξόδου:

IT : Παράμετρος Εισόδου, Integer.

IT=0: το Τμήμα Δοκιμών δεν διαρρέεται ούτε από ατμό, ούτε από νερό.

IT=1: το Τμήμα Δοκιμών διαρρέεται από νερό και μόνον.

IT=2: το Τμήμα Δοκιμών διαρρέεται από ατμό και μόνον.

IT=3: το Τμήμα Δοκιμών διαρρέεται τόσο από ατμό, όσο και από νερό.

IS3 : Παράμετρος Εισόδου, Integer.

IS3=0: η Σωληνοειδής βαλβίδα SV3 στην έξοδο του νερού από το Τμήμα Δοκιμών είναι ανοικτή.

IS3=1: η βαλβίδα SV3 είναι κλειστή.

IS4 : Παράμετρος Εισόδου, Integer.

IS4=0: η Σωληνοειδής βαλβίδα SV4 του κλάδου παράκαμψης (by-pass) του Τμήματος Δοκιμών είναι ανοικτή.

IS4=1: η βαλβίδα SV4 είναι κλειστή.

4.6.9.2 Υπορουτίνα TS.

Γλώσσα προγραμματισμού: FORTRAN

Κλήση της υπορουτίνας:

```
CALL TS(COLORA,COLORB)
```

Παράμετροι Εισόδου και Εξόδου:

COLORA : Παράμετρος Εισόδου, Integer*2. Παρέχει το χρώμα του υποβάθρου.

COLORB : Παράμετρος Εισόδου, Integer*2. Παρέχει το χρώμα της ράβδου.

4.6.9.3 Υπορουτίνα TS46.

Γλώσσα προγραμματισμού: FORTRAN

Κλήση της υπορουτίνας:

```
CALL TS46(COLOR,STRING)
```

Παράμετροι Εισόδου και Εξόδου:

COLORA : Παράμετρος Εισόδου, Integer*2. Ακέραιος αριθμός, ο κωδικός του χρώματος του Καναλιού Δοκιμών.

STRING : Παράμετρος Εισόδου, Character*1. Ο προς εκτύπωση χαρακτήρας ο οποίος αποδίδει την ύπαρξη ή μη ατμού στο Τμήμα Δοκιμών.

4.6.9.4 Υπορουτίνα TS47.

Γλώσσα προγραμματισμού: FORTRAN

Κλήση της υπορουτίνας:

```
CALL TS47(COLOR,STRING)
```

Παράμετροι Εισόδου και Εξόδου:

COLOR : Παράμετρος Εισόδου, Integer*2. Ακέραιος αριθμός, ο κωδικός του χρώματος του υποβάθρου της ράβδου του Τμήματος Δοκιμών.

STRING : Παράμετρος Εισόδου, Character*1. Ο προς εκτύπωση χαρακτήρας ο οποίος αποδίδει την κατάσταση ON/OFF της ράβδου του Τμήματος Δοκιμών.

4.6.9.5 Υπορουτίνα TS48.

Γλώσσα προγραμματισμού: FORTRAN

Κλήση της υπορουτίνας:

CALL TS48(COLOR,STRING)

Παράμετροι Εισόδου και Εξόδου:

COLOR : Παράμετρος Εισόδου, Integer*2. Ακέραιος αριθμός, ο κωδικός του χρώματος του Καναλιού Δοκιμών.

STRING : Παράμετρος Εισόδου, Character*1. Ο προς εκτύπωση χαρακτήρας ο οποίος αποδίδει την ύπαρξη ή μη ατμού στο Τμήμα Δοκιμών.

4.6.9.6 Υπορουτίνα S6WAY.

Γλώσσα προγραμματισμού: FORTRAN

Κλήση της υπορουτίνας:

CALL S6WAY(IT)

Παράμετροι Εισόδου και Εξόδου:

IT : Παράμετρος Εισόδου, Integer.

IT=1: ο κλάδος, μέχρι το συμπυκνωτή, διαρρέεται από ατμό ο οποίος εξέρχεται από το Τμήμα Δοκιμών και, μετά από το Συμπυκνωτή, από συμπύκνωμα.

IT=0: δεν εκρέει ατμός από το Τμήμα Δοκιμών προς τον υπόψιν κλάδο.

4.6.9.7 Υπορουτίνα S32WAY.

Γλώσσα προγραμματισμού: FORTRAN

Κλήση της υπορουτίνας:

CALL S32WAY(IT)

Παράμετροι Εισόδου και Εξόδου:

IT : Παράμετρος Εισόδου, Integer.

IT=0: ο κλάδος δεν διαρρέεται από νερό.

IT=1: ο κλάδος διαρρέεται από διφασικό μίγμα.

IT=2: ο κλάδος διαρρέεται από νερό.

4.6.9.8 Υπορουτίνα S31WAY.

Γλώσσα προγραμματισμού: FORTRAN

Κλήση της υπορουτίνας:

CALL S31WAY(IT)

Παράμετροι Εισόδου και Εξόδου:

IT : Παράμετρος Εισόδου, Integer.

IT=0: ο κλάδος δεν διαρρέεται από νερό.

IT=1: ο κλάδος διαρρέεται από διφασικό μίγμα.

IT=2: ο κλάδος διαρρέεται από νερό.

4.6.10 Η Υπορουτίνα Εμφάνισης της Κατάστασης Προσαγωγής στο Δοχείο Συγκεντρώσεως: S42WAY.

Γλώσσα προγραμματισμού: FORTRAN

Κλήση της υπορουτίνας:

CALL S42WAY(IT)

Περιγραφή λειτουργίας:

Η υπορουτίνα αυτή, εμφανίζει την κατάσταση στη σωλήνωση προσαγωγής στο Δοχείο Συγκεντρώσεως (κλάδος ΩΕ, σχ.3.15).

Παράμετροι Εισόδου και Εξόδου:

IT : Παράμετρος Εισόδου, Integer.

IT=0: ο κλάδος δεν διαρρέεται από νερό.

IT=1: ο κλάδος διαρρέεται από διφασικό μίγμα.

IT=2: ο κλάδος διαρρέεται από νερό.

4.6.11 Η Υπορουτίνα Εμφάνισης του Κλάδου του Νερού μετά την Σωληνοειδή Βαλβίδα SV4: S41WAY.

Γλώσσα προγραμματισμού: FORTRAN

Κλήση της υπορουτίνας:

```
CALL S41WAY(IT)
```

Περιγραφή λειτουργίας:

Η υπορουτίνα αυτή εμφανίζει την κατάσταση στη σωλήνωση προσαγωγής στο δοχείο συγκεντρώσεως, (κλάδος SV4 - Ω του σχ.3.15).

Παράμετροι Εισόδου και Εξόδου:

IT : Παράμετρος Εισόδου, Integer.

IT=0: ο κλάδος δεν διαρρέεται από νερό.

IT=1: ο κλάδος διαρρέεται από νερό.

4.7 Οι Υπορουτίνες Διαγνωστικών Μηνυμάτων.

Με την ολοκλήρωση του πειράματος επαναψύξεως, είναι επιθυμητό να γνωρίζει ο πειραματιστής εάν παρέμειναν σταθερές, κατά τη διάρκεια του πειράματος, οι κύριες φυσικές παράμετροι που επηρεάζουν την εξέλιξη του. Ο επιθυμητός έλεγχος γίνεται με τη βοήθεια της υπορουτίνας WARNGS η οποία καθορίζει τα προς έλεγχο δείγματα και καλεί στη συνέχεια για την εκτέλεση των απαραίτητων διπλευρων στατιστικών τεστ την υπορουτίνα STUDENT. Τα αποτελέσματα των ελέγχων, εμφανίζονται στην οθόνη του Η/Υ, επί 10 δευτερόλεπτα με έντονο πάλλον χρώμα.

4.7.1 Η Υπορουτίνα WARNGS.

Γλώσσα προγραμματισμού: FORTRAN

Κλήση της υπορουτίνας:

```
CALL WARNGS
```

Περιγραφή λειτουργίας:

Η υπορουτίνα WARNGS καλείται αφότου έχει ολοκληρωθεί η κατασκευή του αρχείου εξόδου με τα πειραματικά αποτελέσματα της επαναψύξεως. Η υπορουτίνα διαβάζει τα 50 πρώτα και τα 50 τελευταία στιγμιότυπα της καταγραφής (record 3) και συγκροτεί τα δύο προς έλεγχο δείγματα καθεμιάς από τις εξής τρεις παραμέτρους του πειράματος:

- Της θερμοκρασίας του νερού στην είσοδο του Τμήματος Δοκιμών.
- Της θερμοκρασίας του ατμού στην είσοδο του Τμήματος Δοκιμών.
- Της πίεσης στην είσοδο του Τμήματος Δοκιμών.

Εάν και στους τρεις ελέγχους γίνει δεκτή η μηδενική υπόθεση τότε δεν δικαιολογείται υπόθεση για μεταβολή της αντίστοιχης παραμέτρου, κατά τη διάρκεια της εξέλιξης της φάσης της επανάψυξης. Διαφορετικά, εμφανίζεται στην οθόνη του Η/Υ σχετικό μήνυμα, που υποδηλοί τις αμφιβολίες σχετικά με τη σταθερότητα των πειραματικών συνθηκών στο υπόψιν πείραμα.

4.7.2 Η Υπορουτίνα STUDENT.

Γλώσσα προγραμματισμού: FORTRAN

Κλήση της υπορουτίνας:

CALL STUDENT(IT)

Περιγραφή λειτουργίας:

Η υπορουτίνα STUDENT εφαρμόζει προγραμματιστικά τη μέθοδο η οποία περιγράφεται στο [1, πιν. 3.6.1, σχ.3.4(γ)] για την εξέταση του κατά πόσον οι μέσες τιμές δύο δειγμάτων διαφέρουν ή όχι σημαντικά.

Παράμετροι Εξόδου:

IT : Integer.

IT=0, Οι μέσες τιμές των δύο δειγμάτων διαφέρουν σημαντικά.

IT=1, Οι μέσες τιμές των δύο δειγμάτων δε διαφέρουν σημαντικά.

4.8 Οι Υπορουτίνες Βοηθητικών Υπολογισμών.

Εκτός των υπορουτινών που παρουσιάσθηκαν έως το σημείο αυτό, από το πρόγραμμα *RIG* καλούνται τα υποπρογράμματα μετατροπής της θερμοηλεκτρικής τάσης σε

θερμοκρασία που ακολουθούν, για την εκτέλεση αναγκαίων βοηθητικών υπολογισμών.

4.8.1 Το Υποπρόγραμμα Υπολογισμού της Θερμοκρασίας στην οποία αντιστοιχεί Θερμοηλεκτρική Τάση Θερμοστοιχείου τύπου K : **TEMPK.**

Γλώσσα προγραμματισμού: FORTRAN

Κλήση της υπορουτίνας:

$$T=TEMPK(V)$$

Περιγραφή λειτουργίας: Το εν λόγω υποπρόγραμμα τύπου function όπως και τα υπόλοιπα τρία που ακολουθούν, έχουν διαμορφωθεί στην παρούσα μορφή, στα πλαίσια της ΔΕ [19] στην επίβλεψη της οποίας συμμετείχε ο γράφων. Η *TEMPK*, αποτελεί παραλλαγή της *function zreal2* [53] κατάλληλα προσαρμοσμένης στις ανάγκες του προγράμματος *RIG*. Η *function zreal2* χρησιμοποιεί τη μέθοδο Newton-Raphson για την εύρεση των ριζών μιας εξίσωσης.

Στην προκείμενη περίπτωση, η *function TEMPK* χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας στην οποία αντιστοιχεί η μετρηθείσα τάση θερμοστοιχείου τύπου K. Το προς επίλυση πρόβλημα έχει ως εξής:

- Γνωρίζουμε τη θερμοηλεκτρική τάση θερμοστοιχείου K, V_0 .
- Ζητείται η τιμή T_0 της θερμοκρασίας του θερμοστοιχείου.

Τη σχέση θερμοηλεκτρικής τάσης - θερμοκρασίας για θερμοστοιχεία τύπου K, λαμβάνουμε από την πηγή [57, πιν. 7.3.1] ως πολυώνυμο 8^{ου} βαθμού με εκθετικό όρο (*ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΑ*). Ζητάμε λοιπόν μια ρίζα της εξίσωσης:

$$V_0 - f(T) = 0$$

Στο σημείο αυτό, πρέπει να αναφερθούν τα εξής:

- Ο πίνακας 7.3.1 της [57] δίδει δύο διαφορετικές σχέσεις της μορφής $V=f(T)$, οι οποίες ισχύουν ανάλογα με την τιμή του T. Η σχέση η οποία χρησιμοποιείται στην παρούσα ΔΔ, θεωρεί $0\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 1372\text{ }^{\circ}\text{C}$. Η εν λόγω συνθήκη πληροῦται πάντοτε στην περίπτωση της λειτουργίας του ΘΥΚ.
- Σημείο-κλειδί στη σύγκλιση της χρησιμοποιούμενης μεθόδου αποτελεί η σωστή επιλογή της αρχικής τιμής της ζητούμενης θερμοκρασίας. Διαπιστώθηκε ότι για αρχική τιμή θερμοκρασίας ίσης προς εκείνη η οποία η οποία παρέχεται

εάν η θερμοηλεκτρική σταθερά του θερμοστοιχείου K ληφθεί ίση προς $41\mu\text{V/K}$, η μέθοδος συγκλίνει ταχύτατα.

Παράμετροι Εισόδου και Εξόδου:

V : Παράμετρος εισόδου, REAL. Η θερμοηλεκτρική τάση θερμοστοιχείου τύπου K (μV).

$TEMPK(V)$: REAL. Η θερμοκρασία του θερμοστοιχείου ($^{\circ}\text{C}$).

Παράμετροι Σφάλματος: Στην περίπτωση εσφαλμένου υπολογισμού, η τιμή η οποία επιστρέφει, είναι -1.

4.8.2 Η Function F των Θερμοστοιχείων Τύπου K .

Γλώσσα προγραμματισμού: FORTRAN

Κλήση της υπορουτίνας:

$$V=F(T)$$

Περιγραφή λειτουργίας: Η εν λόγω function χρησιμοποιεί τη σχέση του [57, πιν.7.3.1] (βλέπε και ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΑ) για τον υπολογισμό της θερμοηλεκτρικής τάσεως V για δοθείσα τιμή της θερμοκρασίας T από θερμοστοιχεία τύπου K .

Παράμετροι Εισόδου και Εξόδου:

T : Παράμετρος εισόδου, REAL. Η θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$) της επαφής μετρήσεως όταν η επαφή αναφοράς είναι στους 0°C .

$V=F(T)$: REAL. Το δυναμικό (μV) της επαφής μετρήσεως θερμοστοιχείου τύπου K , όταν η επαφή αναφοράς βρίσκεται στους 0°C .

4.8.3 Το Υποπρόγραμμα Υπολογισμού της Θερμοκρασίας στην οποία αντιστοιχεί Θερμοηλεκτρική Τάση Θερμοστοιχείου τύπου J : $TEMPJ$.

Γλώσσα προγραμματισμού: FORTRAN

Κλήση της υπορουτίνας:

$$T=TEMPJ(V)$$

Περιγραφή λειτουργίας: Το υποπρόγραμμα τύπου *function* $TEMPJ$ είναι αντίστοιχο

του πιο πάνω *TEMPK*, αλλά χρησιμοποιείται για θερμοστοιχεία τύπου J.

Η αρχική τιμή θερμοκρασίας, στην περίπτωση αυτή, λαμβάνεται ίση προς εκείνη η οποία η οποία παρέχεται εάν η θερμοηλεκτρική σταθερά του θερμοστοιχείου J ληφθεί ίση προς 55μV/K. Η χρησιμοποιούμενη σχέση θερμοηλεκτρικής τάσεως - θερμοκρασίας για θερμοστοιχεία τύπου J, λαμβάνεται από την πηγή [57, πιν. 6.3.1] ως πολυώνυμο 7^{ου} βαθμού (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΑ), η οποία ισχύει για $-210\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 760\text{ }^{\circ}\text{C}$.

4.8.4 Η Function FFF των θερμοστοιχείων τύπου J.

Γλώσσα προγραμματισμού: FORTRAN

Κλήση της υπορουτίνας:

$$V=FFF(T)$$

Περιγραφή λειτουργίας: Η εν λόγω function χρησιμοποιεί τη σχέση του [57, πιν.6.3.1] για τον υπολογισμό της θερμοηλεκτρικής τάσης V των θερμοστοιχείων τύπου J. Κατά τα λοιπά η υπορουτίνα λειτουργεί ακριβώς όπως η υπορουτίνα F §4.8.1.

4.8.5 Η Υπορουτίνα Υπολογισμού της θερμοκρασίας Κορεσμού STEM.

Γλώσσα προγραμματισμού: FORTRAN

Κλήση της υπορουτίνας:

$$\text{CALL STEM}(p,ts,error)$$

Περιγραφή λειτουργίας:

Η υπορουτίνα STEM, αποτελεί τμήμα της υπορουτίνας υπολογισμού θερμοφυσικών ιδιοτήτων ελαφρού νερού AA η οποία αναπτύχθηκε στα πλαίσια της ΔΕ [52] και βελτιώθηκε στη ΔΕ [114]. Η χρήση ολόκληρης της AA κρίθηκε περιττή· αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί μόνο το τμήμα εκείνο το οποίο υπολογίζει τη θερμοκρασία κορεσμού για δοθείσα πίεση.

Παράμετροι Εισόδου και Εξόδου:

p : Παράμετρος εισόδου, REAL. Πίεση σε bar για την οποία ζητείται η θερμοκρασία κορεσμού.

ts : Παράμετρος εξόδου, REAL. Θερμοκρασία κορεσμού σε °C για πίεση P.

Παράμετροι Σφάλματος:

error : 0, ο υπολογισμός είναι επιτυχής.

error : 1, ο υπολογισμός είναι λανθασμένος.

4.9 Μετάφραση, Συγκρότηση και Κλήση του Προγράμματος RIG.

Η μετάφραση κάθε μιας υπορουτίνας του προγράμματος RIG γίνεται χωριστά με τη βοήθεια του αρχείου εντολών του DOS **ftn.bat** (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ζ).

Η μετάφραση (compilation) και η συγκρότηση (linking) του προγράμματος RIG, επιτυγχάνονται με τη βοήθεια του αρχείου εντολών **rrig.bat** (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ζ).

Η εκτέλεση του προγράμματος γίνεται με την εντολή : **RIG**.

Για να εκτελεσθεί απρόσκοπτα το πρόγραμμα, πρέπει να είναι συνδεδεμένος και ανοικτός (ON) ο εκτυπωτής. Αυτή είναι απαραίτητη προϋπόθεση για να είναι δυνατό να τυπωθούν τυχόν μηνύματα αστοχίας στην εκτέλεση των υπορουτινών. Διαφορετικά, το πρόγραμμα θα σταματήσει να εκτελείται και θα εμφανίσει μήνυμα λάθους στο άνοιγμα της μονάδος.

4.10 Δεδομένα του Προγράμματος RIG.

Το πρόγραμμα RIG τροφοδοτείται με δεδομένα για τη λειτουργία του, από δύο πηγές:

- Το Block Data DISPLMEN το οποίο περιέχει πληροφορίες οι οποίες δεν χρειάζονται συχνή ενημέρωση και μπορεί να θεωρηθούν ως σταθερές.
- Το αρχείο εισόδου με ονομασία EXCOB.DAT το οποίο περιέχει δεδομένα τα οποία πιθανόν ο πειραματιστής χρειάζεται να αλλάζει ενδεχομένως και επί καθημερινής βάσεως.

Ειδικότερα, μεταξύ των δεδομένων που παίρνουν τιμές στο Block Data DISPLMEN, συγκαταλέγονται:

- Δεδομένα των μεταβλητών τύπου Character οι οποίες συγκροτούν το μιμικό διάγραμμα του ΘΥΚ.
- Οι εξορισμού επιθυμητοί χρόνοι δειγματοληψίας.

- Η ενίσχυση την οποία επιβάλλει κάθε ενισχυτής-πολυπλέκτης επί του σήματος των καναλιών εισόδου αυτού.
- Τα κανάλια του αναλογοψηφιακού μετατροπέα καθώς και των ενισχυτών-πολυπλεκτών του ΘΥΚ.

Εξάλλου, το σύνολο των δεδομένων καθώς και η συγκρότηση του αρχείου EXCOB.DAT, το οποίο πρέπει να προετοιμάζεται με φροντίδα και ευθύνη του χρήστη του προγράμματος, έχει ως εξής:

RECORD 1 : Πληροφορίες χρώματος. Αποδίδονται κωδικοί χρωμάτων στις ακόλουθες μεταβλητές:

TOPLAB, DRAWING, MEASUR, TESTSEC, STCOL, CONDENS, COOLWAT, HTWATER, TSWATER, HDWATER, WARNINGS, BACGR, RONEM, RONW, RONST, ROFFW, ROFFST, RONWST και ROFFWST.

RECORD 2 : Πληροφορίες χρώματος. Αποδίδονται κωδικοί χρωμάτων στις ακόλουθες μεταβλητές:

PUMPCOL, CONOUT, TAVCOL, TIMCOL, PRESCOL, RESIST, RONCW, ROFFCWS, WARNCOL και WARNCACC.

RECORD 3 : Λογική μεταβλητή STIP.

Είναι επιβεβλημένο να μπορεί η συμπεριφορά του προγράμματος να ελέγχεται χωρίς να είναι απαραίτητη η θέρμανση και συμπύεση του ΘΥΚ. Για το λόγο αυτό έχει προστεθεί ένας λογικός διακόπτης (STIP) ο οποίος όταν έχει τιμή 1, η θερμοκρασία του ατμού στο Δοχείο Συγκεντρώσεως παίρνει την τιμή 120 °C, ενώ όταν έχει τιμή 0 η τιμή της εν λόγω θερμοκρασίας ισούται με την πραγματικά μετρούμενη. Η κατά περίπτωση επιθυμητή τιμή αυτού του διακόπτη δίδεται στο παρόν Record.

RECORD 4 : Αποδίδονται τιμές στις ακόλουθες μεταβλητές:

TSIGN: Οριο ηχητικού συναγερμού λόγω υψηλής θερμοκρασίας στην επιφάνεια της ράβδου του Τμήματος Δοκιμών.

FRD: Η διαφορά θερμοκρασίας υγρού μετώπου - κορεσμού με βάση την οποία καθορίζεται η κατάσταση στην επιφάνεια της ράβδου (υγρή-στεγνή).

RECORD 5 : Αποδίδονται τιμές στους συντελεστές βαθμονόμησης των

μεταλλακτών πίεσης και παροχής του ΘΥΚ:

AOPT1,GPT1,AOPT2,GPT2,AOPT3,GPT3,AOMFM,GMFM

RECORDS 6-107: Αποδίδονται τιμές στους χρησιμοποιούμενους από την υπορουτίνα STEM, συντελεστές για τον υπολογισμό της γραμμής κορεσμού του νερού:

PSS(I),TSS(I)

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1

Ρουτίνες που περιέχονται σε αρχεία που συγκροτούν το πρόγραμμα RIG.

Αρχείο	Περιεχόμενες Υπορουτίνες
RIG.FOR	RIG_MAIN
N.FOR	NORMAL
R.FOR	RNWRT
RW.FOR	RWRITE
S1.FOR	DISPL SOWAY S1WAY S2WAY PWAY S41WAY S42WAY S31WAY S32WAY S6WAY VALVES RESIS BACKGR
S2.FOR	DISPLMEN
S3.FOR	RIGWAY TS TS47 TS46 TS48
S4.FOR	WARNGS
S5.FOR	TEMPK F TEMPJ FFF
S6.FOR	STUDENT
STEM.FOR	STEM

Αρχείο	Περιεχόμενες Υπορουτίνες
TOADC.ASM	TOADC
TOMUX.ASM	TOMUX
DIGIT.ASM	DIGIT
CLR.ASM	CLR
DAT.ASM	IDATE ITIME
SCREENZ.ASM	DSPSCR READKB KEYBRD MVCUR

Αρχείο	Περιεχόμενο
FORM.FOR	INCLUDED
DISPLST.FOR	INCLUDED
INMENU.FOR	INCLUDED
SUBACT2.FOR	INCLUDED
TS1.FOR	INCLUDED
ACTUAT.FOR	INCLUDED

19- 7-1994

DRY OUT RIG

Give menu selection :

1: Display

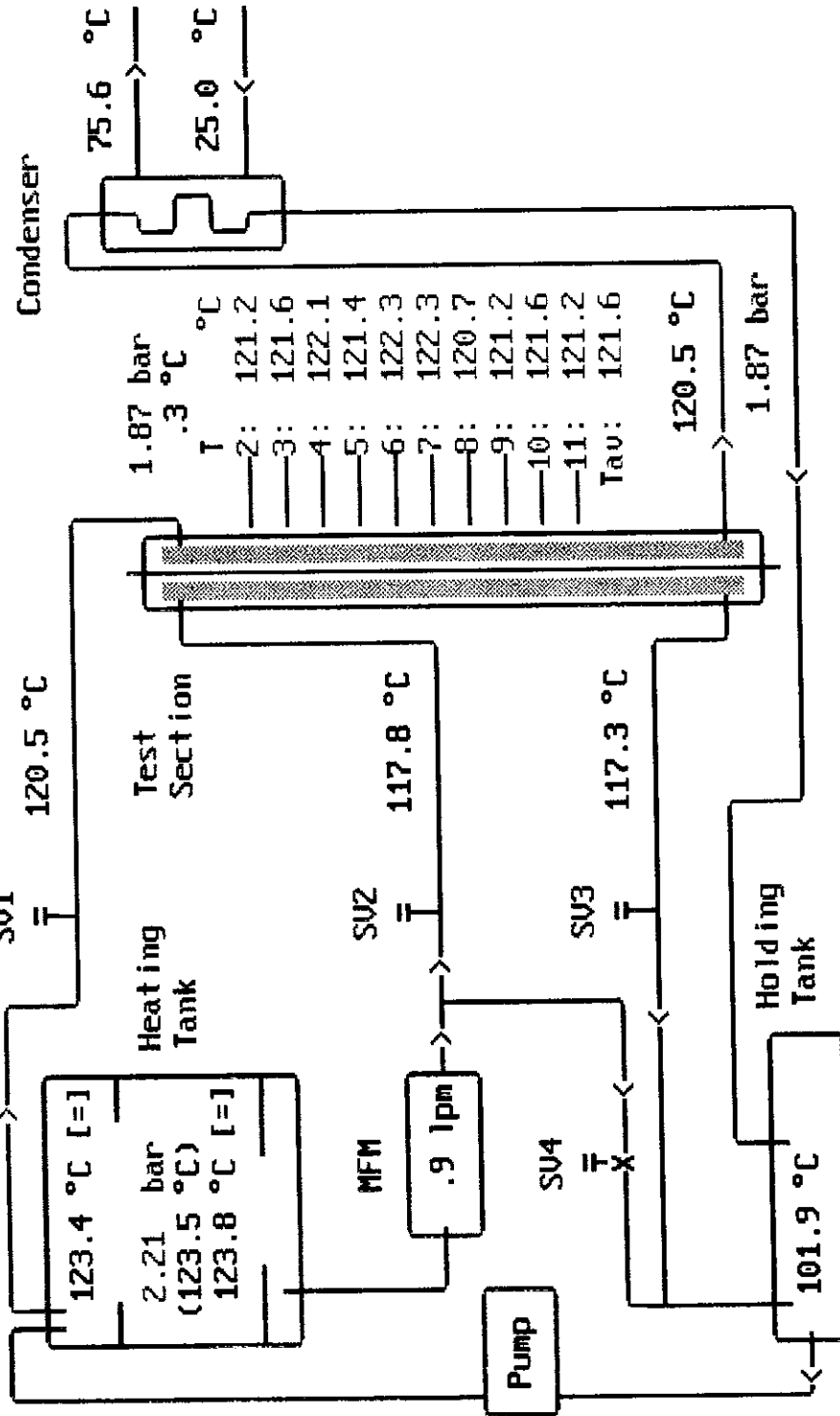
9: Assist

0: Exit

Press ANY KEY to terminate the Process
and RETURN to MAIN MENU

Σχήμα 4.1 : Βασικό Menu του Προγράμματος RIG.

Condition of RIG: NORMAL OPERATION 28- 7-1994 19: 4:29.55 00:10:31:86



Σχήμα 4.2 : Το Μιμικό Διάγραμμα του Η/Υ.

Δώστε το Δt σε (min) - Πατήστε [CR] για τρέχουσα τιμή ($\Delta t = 2$ min) :.5
Καταγραφή πειράματος Rewetting (Y/N) :n
Πατήστε [CR] για menu :

**Σχήμα 4.3 : Βοηθητικό Menu χωρίς καταγραφή
στοιχείων του πειράματος.**

Στοιχεία Πειράματος (XPQQDDSSNNN) : 410100010005

Stage (X)

Stage 1: Commissioning

Stage 2: Study of Steam Flowrate effect

Stage 3: Study of Subcooling effect

Stage 4: Study of Pressure effect

Stage 5: Study of Liquid Flowrate effect

Abs. Pressure (P) , 1-2-3-4-5-6-7 bar

Παροχή Υγρού (QQQ) , QQQ=Flowrate QQ.Q in lt/min

Subcooling at inlet (DD) , DD=Subcooling in °C

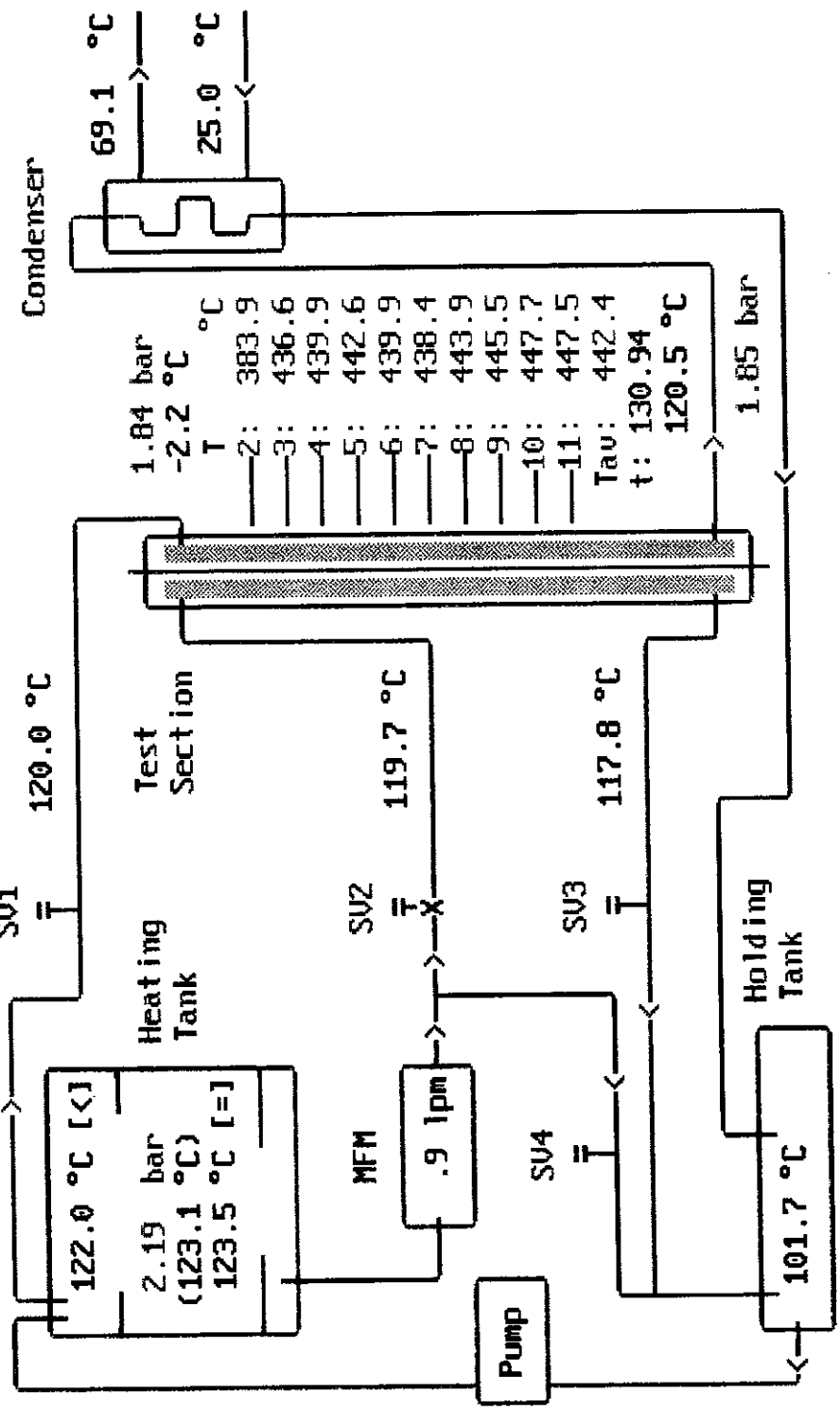
Steam Flowrate (SS) , SS=Flowrate (%)

Run Number (NNN)

Πατήστε [CR] για menu :

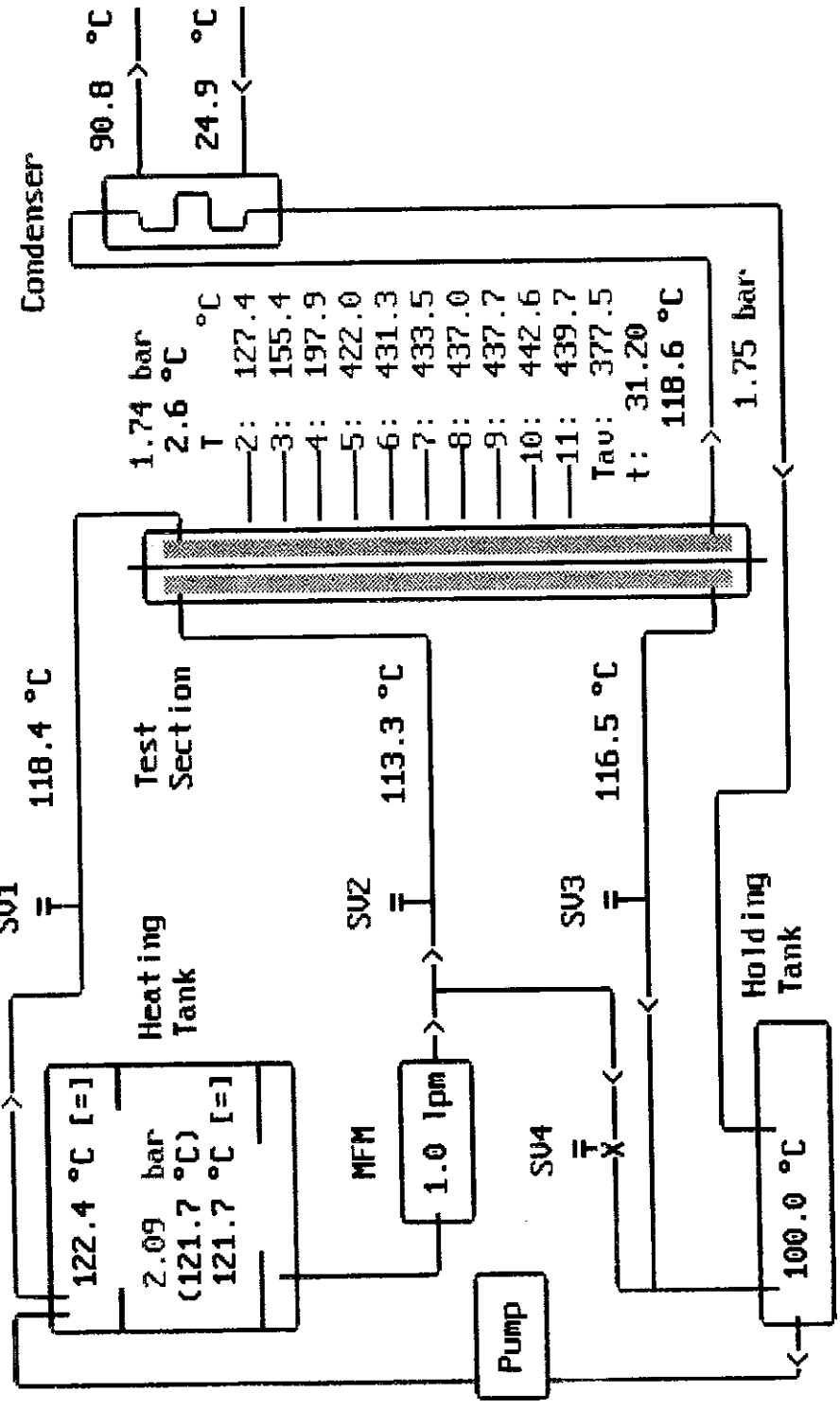
**Σχήμα 4.4 : Menu Ελέγχου καταγραφής
πειράματος Επαναψύξεως.**

Condition of RIG: REWETTING 28- 7-1994 19:19:54.93 00:25:57:30



Σχήμα 4.5 : Το Μικρό Διάγραμμα Πειράματος Επαναψυξης Χωρίς καταγραφή (Φάση LOCA).

Condition of RIG: REWETTING 28- 7-1994 19:58:48. 6 00:18:16:26



Σχήμα 4.6 : Το Μικρό Διάγραμμα Πειράματος Επανάψυξης χωρίς καταγραφή (Φάση Rewetting).

ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΕΠΑΝΑΨΥΞΗΣ ΥΠΕΡΘΕΡΜΑΝΘΕΙΣΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

5.1 Εισαγωγή.

Όπως αναλυτικά παρουσιάστηκε σε προηγούμενα κεφάλαια, στα πλαίσια του γνωστικού αντικειμένου της παρούσης ΔΔ: "*Μετρήσεις Τεχνικών Μεγεθών: Αυτοματοποιημένες Μετρήσεις από Η/Υ*", ολοκληρώθηκε η μελέτη, η σχεδιοκατασκευή και η θέση σε λειτουργία του θερμοϋδραυλικού Κυκλώματος (ΘΥΚ) του ΕΠΤ-ΕΜΠ.

Στα προηγούμενα Κεφάλαια, κατεβλήθη προσπάθεια να καταδειχθεί στον αναγνώστη ότι η εν λόγω εγκατάσταση είναι ευέλικτη, πολλαπλών δυνατοτήτων, επαρκώς αυτοματοποιημένη, παρέχει δε τη δυνατότητα πειραματικής προσομοίωσης και μελέτης των θερμοϋδραυλικών φαινομένων, τα οποία εμφανίζονται κατά τη διαδικασία της απαγωγής θερμότητας από τον πυρήνα του υδρόψυκτου αντιδραστήρα, τόσο υπό συνθήκες κανονικής λειτουργίας όσο και σε περίπτωση ψύξης έκτακτης ανάγκης. Μερικά από τα πειράματα που είναι δυνατό να διεξαχθούν στο ΘΥΚ, παρουσιάστηκαν στην §3.2.2.

Θεωρήθηκε σκόπιμο, η παρούσα ΔΔ να ολοκληρωθεί με την εκτέλεση ενός από τα πιο πάνω πειράματα. Επελέγη για το σκοπό αυτό, το πείραμα της επαναψύξεως τόσον υπό ατμοσφαιρικές συνθήκες, όσο και υπό πίεση ατμού 2 έως 7 bar. Η επιλογή αυτή, υπαγορεύτηκε από δύο λόγους:

- Πρόκειται για ένα έντονα μεταβατικό φαινόμενο στο οποίο εμφανίζονται, όπως έχει ήδη σε προηγούμενο Κεφάλαιο αναφερθεί, όλες οι φάσεις ροής ενός ρευστού: από την υπόψυκτη μονοφασική ροή της υγρής φάσης μέχρι την υπέρθερμη μονοφασική ροή της ατμώδους φάσης.

- Το ΘΥΚ παρέχει τη δυνατότητα μελέτης του φαινομένου, στο ίδιο Τμήμα Δοκιμών, τόσο σε ατμοσφαιρικές συνθήκες όσο και υπό πίεση ατμού. Αντίστοιχη ενιαία διερεύνησης της επίδρασης της πίεσης δεν ανευρίσκεται στη βιβλιογραφία.

Ετσι, με τα πειράματα αυτά, αφενός μεν θα αναδειχθούν τα χαρακτηριστικά της εγκατάστασης, αφετέρου δε θα καλυφθεί ένα κενό στην πειραματική βιβλιογραφία του φαινομένου της επαναψύξεως. Επισημαίνεται ότι, όπως λεπτομερώς αναφέρεται στην εργασία [50], η πιο πάνω πειραματική περιοχή (1 - 7 bar) είναι η πλέον πιθανή περιοχή λειτουργίας του Εφεδρικού Συστήματος Ψύξεως του Πυρηνικού Αντιδραστήρα Ισχύος (ΠΑΙ) μετά από ενδεχόμενη εκδήλωση Ατυχήματος Απώλειας Ψυκτικού.

Ενας ακόμη σημαντικός λόγος για τον οποίο επελέγησαν να εκτελεσθούν τα συγκεκριμένα πειράματα ήταν ότι, αντίστοιχα πειράματα είχαν διεξαχθεί με το ίδιο Τμήμα Δοκιμών στα πλαίσια της εργασίας [2] για ψυκτικό υγρό Freon-113. Ήταν για το λόγο αυτό μια καλή ευκαιρία να ελεγχθούν οι νόμοι της φυσικής ομοιότητας μεταξύ των δύο ρευστών, με σταθερή γεωμετρία.

5.2 Το Ατύχημα Απώλειας Ψυκτικού και το Σύστημα Εκτακτης Ψύξεως.

Όπως αναφέρεται και στο τεύχος των σημειώσεων "Απαγωγή θερμότητας από τον Πυρήνα Πυρηνικών Αντιδραστήρων" [108], όλοι οι τύποι υδρόψυκτων ΠΑΙ διαθέτουν ψυκτικά κυκλώματα τα οποία λειτουργούν σε πιέσεις από 70 bar (ΠΑΙ τύπου BWR) έως 150 bar (ΠΑΙ τύπου PWR). Οποιαδήποτε τυχόν αστοχία που μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της παροχής του ψυκτικού στον αντιδραστήρα, είναι δυνατό να οδηγήσει κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις σε σοβαρές συνέπειες για ολόκληρο τον Πυρηνοληκτρικό Σταθμό. Η πιο πάνω αστοχία, η οποία μπορεί να είναι από ένα απλό συμβάν ως ένα μεγάλο ατύχημα, όπως π.χ. στην περίπτωση της πλήρους αποκοπής του κυριότερου σωλήνα προσαγωγής ή απαγωγής ψυκτικού του πυρήνα του Αντιδραστήρα, χαρακτηρίζεται εν γένει ως "Ατύχημα Απώλειας Ψυκτικού" (*LOCA, Loss-of-Coolant-Accident*). Εφόσον εκδηλωθεί ένα ατύχημα LOCA απαιτείται η άμεση ενεργοποίηση ενός Εφεδρικού Συστήματος Εκτακτης Ψύξεως (*ECCS, Emergency Core Cooling System*) για την ψύξη του πυρήνα του Αντιδραστήρα. Επισημαίνεται ότι ενδεχόμενη ανεπάρκεια ή αστοχία του ECCS μπορεί να οδηγήσει σε τήξη τμήματος ή ολοκλήρου του πυρήνα. Στόχος λοιπόν του ECCS είναι η επανάψυξη (*rewetting*) των υπερθερμανθεισών ράβδων του πυρηνικού καυσίμου, ώστε να

αποφευχθούν οι δυσάρεστες συνέπειες του ατυχήματος LOCA.

Το ατύχημα LOCA έχει ενδεχομένως ως συνέπεια την μερική ή πλήρη αποκάλυψη των ράβδων του πυρηνικού καυσίμου από το νερό ψύξεως. Μετά την εκδήλωσή του βυθίζονται ακαριαία οι ράβδοι ελέγχου του αντιδραστήρα ώστε να περιοριστούν οι πυρηνικές αντιδράσεις παραγωγής θερμότητας από το πυρηνικό καύσιμο. Εξυπακούεται ότι, αξιόλογη παραγωγή θερμότητας στο πυρηνικό καύσιμο παρατηρείται ακόμη και μερικές μέρες μετά τη βύθιση των ράβδων ελέγχου λόγω ραδιενεργών διασπάσεων (decay heat).

Το κυριότερο φυσικό μέγεθος που πρέπει να ελεγχθεί μετά από ένα ατύχημα απώλειας ψυκτικού, είναι η θερμοκρασία των στοιχείων του πυρηνικού καυσίμου [108]. Θα πρέπει, στο σημείο αυτό, να επισημάνουμε ότι τα στοιχεία του πυρηνικού καυσίμου έχουν τη μορφή κοίλης μεταλλικής ράβδου, στο εσωτερικό της οποίας υπάρχει το πυρηνικό καύσιμο (UO_2). Το UO_2 τήκεται στους $2840\text{ }^\circ\text{C}$, ενώ το υλικό του περιβλήματος ανοξειδωτός χάλυβας ή zircaloy, τήκεται στους 1400 και $1800\text{ }^\circ\text{C}$ αντίστοιχα. Βεβαίως, το περίβλημα παρουσιάζει ρωγμές και αστοχεί επιτρέποντας τη διαρροή ραδιενεργών στοιχείων στο περιβάλλον των ράβδων, ήδη από πολύ χαμηλότερη θερμοκρασία. Για το λόγο αυτό, οι διεθνείς κανονισμοί απαγορεύουν την άνοδο της θερμοκρασίας στο περίβλημα πάνω από $1204\text{ }^\circ\text{C}$ ($2200\text{ }^\circ\text{F}$).

Για τον έλεγχο της θερμοκρασίας του περιβλήματος των ράβδων του πυρηνικού καυσίμου, ώστε η θερμοκρασία-τους να μην υπερβεί το πιο πάνω όριο, επιβάλλεται να λειτουργήσει έγκαιρα το ECCS με στόχο:

- Να αποκαταστήσει την επαφή του υγρού πάνω στις υπερθερμανθείσες επιφάνειες των ράβδων, υπό την προϋπόθεση ότι αυτό είναι εφικτό -πράγμα που όπως γνωρίζουμε από τη βιβλιογραφία δε συμβαίνει σε όλες τις περιπτώσεις- και
- να καταφέρει να προωθήσει το στρώμα του υγρού, εάν και εφόσον αυτό εγκατασταθεί στην επιφάνεια της ράβδου, προς τις θερμότερες περιοχές-της πριν η θερμοκρασία του περιβλήματος υπερβεί τα όρια διαρροής του.

Η φυσική διεργασία μέσω της οποίας επιτυγχάνεται η προώθηση του υγρού στρώματος ονομάζεται **επανόψυξη** (rewetting) και θα παρουσιασθεί στην επόμενη παράγραφο.

Επιβάλλεται να αναφερθεί, στο σημείο αυτό, ότι τα συστήματα ECCS διακρίνονται σε δύο κατηγορίες :

- **συστήματα ψεκασμού** εκ των άνω (*top spray cooling*) και

- **συστήματα πλημμυρίσματος** εκ των κάτω (*bottom flooding*).

Επίσης, διακρίνονται σε συστήματα:

- **ενεργητικά**, τα οποία απαιτούν τροφοδοσία ισχύος σε ορισμένες από τις συνιστώσες-τους για να λειτουργήσουν και
- **παθητικά** τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν χωρίς τροφοδοσία ισχύος, με προώθηση του νερού ψύξεως μόνον με τη βαρύτητα.

5.3 Το Φαινόμενο της Επανάψυξης.

Μετά την εκδήλωση ενός LOCA και την ακαριαία άνοδο των θερμοκρασιών στο περιβλήμα των στοιχείων του Π.Κ. εξαιτίας της θερμότητας των ραδιενεργών διασπάσεων (*decay heat*) υποτίθεται ότι γίνεται, αυτόματα ή χειροκίνητα, η ενεργοποίηση του ECCS. Όπως παραστατικά φαίνεται και στο σχήμα 5.1, όπου παρουσιάζεται η θερμοκρασία ενός σημείου του περιβλήματος της ράβδου του πυρηνικού καυσίμου συναρτήσει του χρόνου, παρατηρείται, με την ενεργοποίηση του ECCS, κάμψη του ρυθμού αύξησης της θερμοκρασίας της ράβδου και στη συνέχεια ένα μέγιστο της θερμοκρασίας (σημείο καμψής). Μετά το σημείο καμψής, η θερμοκρασία μειώνεται, αργά στην αρχή, ταχύτατα όμως από κάποια χρονική στιγμή και μετά. Τη χρονική αυτή στιγμή, που ονομάζεται **χρόνος επαναψύξεως** (*quench time*), το στρώμα του υγρού με τη μορφή φιλμ, έχει φθάσει ακριβώς στο σημείο που παρακολουθούμε. Η περιοχή του υγρού, η οποία διαχωρίζει το επαναψυχθέν υγρό τμήμα από το προς επανάψυξη στεγνό τμήμα της ράβδου, ονομάζεται **υγρό μέτωπο** (*wet front*). Το υγρό μέτωπο, για αρκετά χρόνια, εθεωρείτο ότι προωθείται προς το στεγνό τμήμα της ράβδου με σταθερή ταχύτητα. Η εργασία [2] όμως, καθώς και άλλες οι οποίες ακολούθησαν, τεκμηρίωσαν πειραματικά και θεωρητικά ότι η ταχύτητα προώθησης του υγρού μετώπου είναι επιταχυνόμενη. Ενδεικτική περιοχή της ταχύτητας επαναψύξεως για επιτυχή επανάψυξη με νερό είναι 2 έως 100 mm/s για τυπική ράβδο πυρηνικού καυσίμου.

Το υγρό μέτωπο, διαχωρίζει τη ράβδο σε τρεις περιοχές από πλευράς φυσικών μηχανισμών μετάδοσης της θερμότητας (σχ. 5.2):

1. Την **υγρή περιοχή** (*wet region*): Είναι η περιοχή της ράβδου όπου το υγρό φιλμ έχει εγκατασταθεί πλήρως. Η θερμοκρασία του περιβλήματος έχει εξισωθεί περίπου με τη θερμοκρασία του υγρού και στα σημεία όπου είναι υψηλότερη γίνεται μονοφασική μετάδοση θερμότητας με συναγωγή από την επιφάνεια του περιβλήματος προς το υγρό.

2. Την **ξηρή περιοχή** (*dry region*): Είναι η γυμνή περιοχή της ράβδου όπου οι θερμοκρασίες του περιβλήματος παραμένουν αρκετά υψηλές, ίσως λίγο χαμηλότερες από ό,τι στην αρχή της επαναψύξεως, κάτι που -εάν συμβαίνει- οφείλεται σε μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία ή/και συναγωγή προς το περιρρέον διφασικό μίγμα ατμού-φουσαλίδων νερού (πρόδρομη ψύξη).
3. Την **περιοχή του υγρού μετώπου** (*wet front region*): Είναι η περιοχή μεταξύ των δύο προηγούμενων, μικρή μεν σε έκταση (περίπου 1-3 cm), αλλά εξαιρετικά σημαντική από πλευράς μηχανισμού προώθησης του φιλμ επί της επιφανείας. Η συνήθως παρατηρούμενη μορφή του υγρού μετώπου φαίνεται στις φωτογραφίες του σχ. 5.3 οι οποίες ελήφθησαν κατά τα παρόντα πειράματα επαναψύξεως. Ο κύριος μηχανισμός μετάδοσης θερμότητας στην περιοχή του υγρού μετώπου είναι ο έντονος μεταβατικός βρασμός (*transition boiling*) και δευτερευόντως ο εστιακός βρασμός (*nucleate boiling*). Το φαινόμενο της βίαιας σταγονοποίησης καθώς και της εκτόξευσης των σταγόνων υγρού από το υγρό μέτωπο προς το περιρρέον στρώμα ατμού, ονομάστηκε από τον Shires [25], που πρώτος το παρατήρησε, **sputtering**.

Η προώθηση του υγρού μετώπου επί της ράβδου οφείλεται στη μετάδοση θερμότητας αξονικά δια της ράβδου από την ξηρή περιοχή στην περιοχή του υγρού μετώπου όπου γίνεται θερμική αποφόρτιση στο ρευστό, εξαιτίας των πολύ υψηλών συντελεστών μετάδοσης θερμότητας που συνεπάγονται ο μεταβατικός και ο εστιακός βρασμός.

Έχει πειραματικά διαπιστωθεί ότι, για να είναι εφικτή η εγκατάσταση του υγρού μετώπου σε ένα σημείο της ράβδου, πρέπει η θερμοκρασία-του να έχει κατέβει κάτω από "κατάλληλη" θερμοκρασία, πειραματικά καθοριζόμενη, η οποία ονομάζεται **θερμοκρασία υγρού μετώπου**. Οι ερευνητές συμφωνούν, ότι η εν λόγω θερμοκρασία είναι λίγο χαμηλότερη από εκείνη που όρισε το 1756 ο Leidenfrost ως τη θερμοκρασία επιφάνειας για την απόκτηση σφαιροειδούς μορφής μιας προσπίπτουσας σταγόνας νερού. Η θερμοκρασία υγρού μετώπου εκτιμάται πειραματικά από 80 έως 130 °C πάνω από τη θερμοκρασία κορεσμού στην αντίστοιχη πίεση. Όπως ήδη προαναφέρθηκε, πέραν του κυρίου μηχανισμού προώθησης του επαναψύχοντος φιλμ, στο υγρό μέτωπο, δευτερευόντως συμβάλλει και ο μηχανισμός της πρόδρομης ψύξης στην ξηρή περιοχή.

Οι τιμές του συντελεστού μεταδόσεως θερμότητας από το μεταλλικό περίβλημα προς το περιρρέον τη ράβδο ρευστό παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές. Αντιπροσωπευτικές τιμές που εμφανίζονται στη βιβλιογραφία έχουν ως εξής:

- υγρή περιοχή της τάξεως του $10^4 \text{ W/m}^2\text{K}$,
- περιοχή του υγρού μετώπου της τάξεως του $10^5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και
- ξηρή περιοχή της τάξεως του $10 - 10^2 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Η ταχύτητα προώθησης του υγρού μετώπου επί της ράβδου, δηλαδή η **ταχύτητα επαναψύξεως** επηρεάζεται κυρίως από τους εξής παράγοντες:

- Την αρχική θερμοκρασία της ράβδου,
- την πίεση του συστήματος,
- την παροχή του υγρού στην είσοδο του καναλιού,
- την υπόψυξη του υγρού στην είσοδο του καναλιού και
- την παροχή του ατμού.

Άλλοι δευτερεύοντες παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα επαναψύξεως, είναι:

- οι θερμοφυσικές ιδιότητες του υλικού του περιβλήματος και
- η ποιότητα της επιφάνειας της ράβδου.

Κλείνοντας την εισαγωγική αυτή παρουσίαση του φαινομένου της επαναψύξεως ας σημειώσουμε ότι ο μελετητής ενός υδρόψυκτου ΠΑΙ, κατά τη μελέτη και σχεδίασή του, χρειάζεται να γνωρίζει:

1. Ποιά είναι η δυσμενέστερη κατάσταση επαναψύξεως που ενδεχομένως θα αντιμετωπίσει το ECCS του σταθμού.
2. Ποιά ποσότητα νερού απαιτείται να διατίθεται στους ταμειυτήρες του σταθμού, ώστε η επανάψυξη να είναι επιτυχής ακόμη και στη δυσμενέστερη περίπτωση που θα αναληφθεί από ένα παθητικό σύστημα. Ειδικότερα, ο κατασκευαστής είναι επιθυμητό να γνωρίζει:
 - Ποιός είναι ο απαιτούμενος χρόνος επαναψύξεως συναρτήσει της αρχικής θερμοκρασίας της ράβδου και της πίεσης του συστήματος και
 - εάν, κάτω από ποιές συνθήκες πίεσεως και σε ποιό βαθμό εξαρτάται ο χρόνος επαναψύξεως από την παροχή του επαναψύχοντος ρευστού.

Επικουρικά, επιθυμητό είναι να γνωρίζει εάν η υπόψυξη του νερού του ECCS έχει κάποια επίδραση και ποιά, στον απαιτούμενο χρόνο επαναψύξεως. Αυτό διότι είναι επιθυμητή η ανακυκλοφορία του κορεσμένου νερού του αστοχήσαντος αντιδραστήρα

για επανάψυξη. Επίσης, πρέπει να γνωρίζει ποιά είναι η επίδραση του υλικού της ράβδου στην εξέλιξη του φαινομένου, αν και υπάρχουν άλλοι κυριότεροι λόγοι που υπαγορεύουν την επιλογή-του από ό,τι η συμπεριφορά-του κατά την επανάψυξη (θερμομηχανική αντοχή κ.λ.π.).

Από όσα προαναφέρθηκαν, φαίνεται ότι κατά τη σχεδίαση ενός συστήματος επαναψύξεως χρειάζεται η γνώση της συμπεριφοράς της εξηρημένης μεταβλητής του προβλήματος, δηλαδή της ταχύτητας επαναψύξεως, συναρτήσει των παραμέτρων του συστήματος. Για το σκοπό αυτό έχει αναφερθεί στη βιβλιογραφία ένα μεγάλο πλήθος εργασιών, μέσα από τις οποίες προσεγγίζεται το πρόβλημα:

- είτε θεωρητικά, διατυπώνοντας και λύνοντας τις εξισώσεις της θερμικής αγωγιμότητας στο περίβλημα της ράβδου του πυρηνικού καυσίμου, με κατάλληλες οριακές συνθήκες μεταξύ των οποίων και εκείνη που εκφράζει τη μετάδοση της θερμότητας στην επιφάνεια της ράβδου, στις τρεις περιοχές της,
- είτε πειραματικά, με στόχο την πρόβλεψη των θερμοκρασιών του υγρού μετώπου και της ταχύτητας επαναψύξεως κάτω από διάφορες συνθήκες του συστήματος.

Όλες οι θεωρητικές εργασίες για την επίλυση του μη χρονικά σταθερού - τριζωνικού αυτού προβλήματος με κινούμενο όριο, το υγρό μέτωπο, χρειάστηκαν την πειραματική συμβολή για την παροχή κατάλληλων τιμών που χρειάζονταν οι κατά περίπτωση εισαγόμενες οριακές-τους συνθήκες. Μεταξύ αυτών πάντοτε συγκαταλέγονται:

- Η θερμοκρασία του υγρού μετώπου και
- ο συντελεστής μεταδόσεως θερμότητας στο υγρό μέτωπο.

Εξάλλου, αρκετοί ερευνητές συνδυάζοντας θεωρητικά μοντέλα και πειραματικά αποτελέσματα διατύπωσαν ημιεμπειρικές συσχετίσεις για την πρόβλεψη της ταχύτητας επανάψυξης κάτω από ποικιλία συνθηκών του συστήματος.

Στην πρόσφατη εργασία [95] γίνεται λεπτομερής βιβλιογραφική ανασκόπηση και παρουσίαση όλων των θεωρητικών εργασιών, ενώ στις εργασίες [38], [59], [97] και [2] γίνεται αντίστοιχη λεπτομερής παρουσίαση όλων των πειραματικών εργασιών. Έτσι θεωρήθηκε άσκοπο στην παρούσα ΔΔ να επαναληφθεί η ίδια βιβλιογραφική ανασκόπηση, δοθέντος ότι από τις τελευταίες προηγούμενες ανασκοπήσεις δεν έχουν αναφερθεί περαιτέρω νεότερες εργασίες. Έτσι, στην επόμενη παράγραφο, θα γίνει μόνο αναφορά των κυριοτέρων θεωρητικών μοντέλων καθώς και μια πολύ σύντομη ανασκόπηση των εργασιών με πειραματική συμβολή

άμεσα σχετιζόμενη με το αντικείμενο της παρούσης πειραματικής διερεύνησης.

5.4 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.

Στις παραγράφους που ακολουθούν θα αναφέρομε τα κυριότερα θεωρητικά μοντέλα καθώς και τις πειραματικές εργασίες που οδήγησαν σε ημιεμπειρικές συσχετίσεις, τις οποίες θα συγκρίνομε στην τελευταία παράγραφο του παρόντος Κεφαλαίου με τα αποτελέσματα της παρούσης ΔΔ.

5.4.1 Αναλυτικά Μοντέλα Επαναψύξεως.

Όλες οι προσπάθειες που έγιναν για τη θεωρητική διερεύνηση του φαινομένου της επαναψύξεως, είχαν ως αφετηρία τη διατύπωση της χρονικά εξαρτώμενης εξίσωσης της θερμικής αγωγιμότητας, διατυπωμένης σε σύστημα κυλινδρικών συντεταγμένων για ένα στοιχειώδη όγκο του περιβλήματος (τοιχώματος, $wall^*$) της επαναψυχόμενης ράβδου ως εξής [2] :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a_w \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} r \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] + \frac{q_w}{\rho_w c_w} \quad (5.1)$$

όπου:

z : Η συντεταγμένη κατά τον άξονα της ράβδου,

r : η συντεταγμένη κατά την ακτίνα της ράβδου,

t : η μεταβλητή του χρόνου,

T : η θερμοκρασία του περιβλήματος της ράβδου,

q_w : η πυκνότης ισχύος (W/m^3) του στοιχειώδους όγκου στο περίβλημα της ράβδου,

a_w : ο συντελεστής θερμοκρασιακής αγωγιμότητας του περιβλήματος της ράβδου,

ρ_w : η πυκνότητα του περιβλήματος της ράβδου και

c_w : η ειδική θερμότητα του περιβλήματος της ράβδου.

Οι διάφοροι ερευνητές, παραδεχόμενοι τις πειραματικές μαρτυρίες περί ισοταχούς

* Με το δείκτη w θα αναφερόμαστε στη συνέχεια στις θερμοφυσικές ιδιότητες και τα λοιπά φυσικά μεγέθη που αφορούν στο περίβλημα της ράβδου.

κινήσεως του υγρού μετώπου κατά μήκος της επαναψυχόμενης ράβδου, κατέληξαν σε απαλοιοφή της μεταβλητής του χρόνου, στην πιο πάνω εξίσωση και εισαγωγή αντ' αυτής της σταθεράς ταχύτητας προώθησης του υγρού film επί της ράβδου. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, εδόθησαν κλειστές λύσεις στην πιο πάνω εξίσωση με την επιπλέον παραδοχή ότι η ράβδος αποφορτίζεται θερμικά με σταθερό ρυθμό προς το περιρρέον αυτή ρευστό (υγρό, διφασικό μίγμα ή ατμό) σύμφωνα με την εξίσωση - οριακή συνθήκη:

$$k_w \left[\frac{\partial T}{\partial r} \right] \Big|_{r=R} = h (T - T_f) \Big|_{r=R} \quad (5.2)$$

όπου:

R : Η ακτίνα της επαναψυχόμενης ράβδου,

h : ο συντελεστής μεταδόσεως θερμότητας από τη ράβδο στο περιρρέον ρευστό, και

T_f : η θερμοκρασία του επαναψύχοντος ρευστού.

Οι κλειστές αυτές λύσεις εκπροσωπούνται επαρκώς από δύο αναλυτικά μοντέλα που λειτουργούν ανάλογα με την έκταση του θερμοκρασιακού πεδίου κατά την ακτινική διεύθυνση, μέσα στο λεπτό τοίχωμα της ράβδου. Έτσι, διακρίνουμε:

- Το **μονοδιάστατο** μοντέλο του Yamanouchi [24]:

$$u^{-1} = \frac{1}{a_w} \left[\frac{k_w \delta_w}{h} \right]^{\frac{3}{2}} \frac{T_w - T_0}{T_0 - T_s} \quad (5.3)$$

όπου T_0 η θερμοκρασία στο υγρό μέτωπο,

το οποίο ισχύει για αριθμούς $Bi = (h\delta_w/k_w) < 1$.

- Το **διδιάστατο** μοντέλο του Blair [92] η ασυμπτωτική λύση του οποίου οδηγεί στην:

$$u^{-1} = \frac{\rho_w c_w}{2h} \frac{T_w - T_0}{T_0 - T_s} \quad (5.4)$$

που ισχύει για $Bi \gg 1$.

Εξυπακούεται ότι έχουν δοθεί αναλυτικές λύσεις υπό μορφή σειρών συναρτήσεων του αριθμού Bi . Ο Coney [26] παρουσίασε υπό γραφική μορφή τις πιο πάνω λύσεις συναρτήσεων του αριθμού Bi , όπως φαίνεται στο σχ. 5.4, όπου :

η αδιάστατη ταχύτητα επαναψύξεως :

$$u^* = \frac{\rho_w c_w u \delta_w}{k_w}$$

και η αδιάστατη θερμοκρασία της ράβδου :

$$\theta_0 = \frac{T_0 - T_s}{T_w - T_s}$$

5.4.2 Πειραματικές Εργασίες.

Οι πρώτες οπτικές πειραματικές παρατηρήσεις, άρχισαν το 1964 με την εργασία των Shires et al [25]. Στην εργασία αυτή αναφέρονται οι πρώτες παρατηρήσεις σχετικά με τον τρόπο εγκατάστασης του υγρού φιλμ επί της ράβδου και την προώθηση του υγρού μετώπου κατά μήκος της. Ο ρυθμός προώθησης του υγρού μετώπου θεωρήθηκε με καλή προσέγγιση σταθερός. Εκτοτε εξελίχθηκε μια σειρά πειραμάτων τόσο υπό ατμοσφαιρικές συνθήκες όσο και υπό πίεση ατμού. Όλα τα πειράματα εκτελέστηκαν σε προσομοιωτές ενώ μόνο μια σειρά πειραμάτων διεξήχθησαν υπό πραγματικές συνθήκες ατυχήματος στις ΗΠΑ*.

Όλοι οι ερευνητές δέχονται ότι κύριος παράγων ο οποίος επηρεάζει την ταχύτητα επαναψύξεως είναι η αρχική, πριν την έναρξη της επαναψύξεως, θερμοκρασία της ράβδου. Άλλη ουσιώδης παράμετρος είναι η πίεση του συστήματος. Οι υπόλοιπες παράμετροι που αναφέρθηκαν στην §5.3 θεωρούνται δευτερεύουσες.

Στα πειράματα που αναφέρονται στη βιβλιογραφία έχουν γίνει επεξεργασίες για τη διατύπωση συσχετίσεων με την παραδοχή της ισοταχούς κίνησης του υγρού μετώπου (*quasi-steady state*), με εξαίρεση τα πειράματα της εργασίας [51] στην οποία η ταχύτητα προώθησης του υγρού μετώπου εθεωρήθη μη σταθερή. Στην πιο πάνω εργασία έχει αποδειχθεί, πειραματικά και θεωρητικά, ότι η παραδοχή της ισοταχούς κίνησης του υγρού μετώπου δικαιολογείται μόνον στην περίπτωση που δεν παρατηρείται πρόδρομη ψύξη. Η επεξεργασία των πειραμάτων της παρούσης ΔΔ έχει γίνει με την παραδοχή της ισοταχούς κίνησης (*quasi-steady state*) του υγρού μετώπου, πλην όμως, η μέθοδος συλλογής η οποία ακολουθήθηκε επιτρέπει περαιτέρω επεξεργασία-των και χωρίς την παραδοχή αυτή.

* Πειράματα FLECHT: Full Length Experimental Critical Heat Transfer, αναφέρονται στις εργασίες [55], [112] και [113].

Στις περισσότερες των περιπτώσεων, με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα έχουν αναπτυχθεί εμπειρικές ή ημιεμπειρικές εξισώσεις οι οποίες περιγράφουν τη σχέση της αντίστροφης ταχύτητας επαναψύξεως συναρτήσει της αρχικής θερμοκρασίας του περιβλήματος, με τη συμμετοχή και παραγόντων οι οποίοι περιγράφουν την επίδραση των λοιπών φυσικών μεγεθών στην εξέλιξη του φαινομένου. Οι σχέσεις αυτές έχουν τη μορφή [2, §2.7.2]:

$$u^{-1} = f(T, \rho_w, c_w, k_w, \delta_w, D, w_1, P, \Delta T_{SUB}) \quad (5.5)$$

όπου:

u^{-1} : η αντίστροφη ταχύτητα επαναψύξεως,

T : η αρχική θερμοκρασία της ράβδου,

ρ_w : η πυκνότητα του περιβλήματος της ράβδου,

c_w : η ειδική θερμότητα του περιβλήματος της ράβδου,

k_w : ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του περιβλήματος,

δ_w : το πάχος του περιβλήματος,

D : η εξωτερική διάμετρος της ράβδου,

w_1 : η παροχή μάζας του υγρού,

P : η πίεση του συστήματος και

ΔT_{SUB} : η υπόψυξη του υγρού στην είσοδο του καναλιού.

Οι συνθήκες που απαντώνται κατά κύριο λόγο σ' αυτά τα πειράματα, είναι:

1. **Τύπος θερμαινόμενης επιφάνειας:** Ράβδος, Δέσμη ράβδων, στοιχεία καυσίμου, εσωτερική επιφάνεια καναλιού.
2. **Υλικό περιβλήματος:** Ανοξειδωτος Χάλυβας, Inconel, Zircalloy, Χαλκός.
3. **Περιβάλλον:** Ατμόσφαιρα ή περιβάλλον ατμού σε πιέσεις έως 68 bar.
4. **Ψυκτικό:** Νερό σε κατάσταση κορεσμού ή σε υπόψυκτη κατάσταση (0-90 K), Freon-113, Υγρό Αζωτο.
5. **Αρχική θερμοκρασία Περιβλήματος:** 150-700 °C.

5.4.2.1 Πειράματα σε Ατμοσφαιρικές Συνθήκες.

Όπως προαναφέρθηκε, τα πρώτα πειράματα επαναψύξεως με ψεκασμό εκ των άνω εκτελέστηκαν από τους Shires et al το 1964 [25], τόσο με απλές ράβδους, όσο και με δέσμες ράβδων. Παρατηρήθηκε ότι για θερμοκρασίες τοιχώματος μεγαλύτερες των 138 °C, το φιλμ του νερού αποικοδομείται σε σταγονίδια νερού τα οποία εκτοξεύονταν ολόγυρα· το φαινόμενο αυτό ονομάστηκε **sputtering**. Η ταχύτητα κίνησης του υγρού μετώπου θεωρήθηκε με καλή προσέγγιση σταθερή και διατυπώθηκε γραμμική συσχέτιση της αντίστροφης ταχύτητας επαναψύξεως με την αρχική θερμοκρασία του τοιχώματος της ράβδου (σχ. 5.5). Η ίδια σειρά πειραμάτων έδειξε ότι η θερμοκρασία υγρού μετώπου είναι ανεξάρτητη τόσο από το πάχος του φιλμ όσο και από την παροχή του νερού στην είσοδο. Παρολαυτά, τα πειράματα έδωσαν ενδείξεις για εξάρτηση της ταχύτητας επαναψύξεως από την παροχή του υγρού στην είσοδο.

Ο Yamanouchi το 1968 [24, 63], μελέτησε την επανάψυξη τόσο απλής θερμαινόμενης ράβδου, όσο και δέσμης 36 ράβδων με περιβλήμα από ανοξείδωτο ατσάλι. Τα αποτελέσματα επιβεβαίωσαν τη γραμμική σχέση μεταξύ αντίστροφης ταχύτητας επαναψύξεως και αρχικής θερμοκρασίας περιβλήματος και έδωσαν ενδείξεις εξάρτησης της αντίστροφης ταχύτητας επαναψύξεως από την παροχή του υγρού στην είσοδο, για παροχές μικρότερες από $9 \cdot 10^{-3}$ kg/s.

Παρόμοια πειράματα εξετέλεσαν και οι Yoshioka et al το 1970 [104] στην Ιαπωνία. Επαναβεβαιώθηκε η γραμμική σχέση της αντίστροφης ταχύτητας επαναψύξεως από την αρχική θερμοκρασία του τοιχώματος. Αναφέρθηκε επίσης εξάρτηση της αντίστροφης ταχύτητας επαναψύξεως από την παροχή του υγρού στην είσοδο, για τιμές της παροχής μικρότερες από 10^{-2} kg/s.

Επίδραση από την παροχή, διαπίστωσαν και οι Duffey et al στις εργασίες τους [68] και [64]. Τα πειράματά τους έγιναν για διάφορες παροχές και για διάφορα είδη περιβλήματος. Δοκιμάστηκαν απλές ράβδοι από ανοξείδωτο ατσάλι και χαλκό γεμάτες με MgO για να προσομοιώνεται ικανοποιητικά η συμπεριφορά του UO_2 . Και στις εργασίες αυτές παρατηρείται η εξάρτηση της αντίστροφης ταχύτητας επαναψύξεως από την αρχική θερμοκρασία της ράβδου, καθώς επίσης επίδραση της παροχής του υγρού στην ταχύτητα επαναψύξεως (σχ. 5.6). Παρατηρείται επίσης, για πρώτη φορά από τους ερευνητές εξάρτηση της θερμοκρασίας υγρού μετώπου από την παροχή του υγρού.

Οι Piggott et al το 1973 [90] διεξήγαγαν πειράματα τόσο ψεκασμού εκ των άνω όσο και πλημμυρίσματος εκ των κάτω, για τη μελέτη της επίδρασης της υπόψυξης

στην ταχύτητα επαναψύξεως. Τα πειράματα διεξήχθησαν με τη χρήση μιας ράβδου από Inconel γεμάτης από MgO. Παρατηρήθηκε αύξηση της ταχύτητας επαναψύξεως καθώς αυξανόταν η υπόψυξη. Τα πειράματα έδειξαν σαφή εξάρτηση της ταχύτητας επαναψύξεως από την τραχύτητα της επιφάνειας του περιβλήματος. Συγκεκριμένα, μεταβολή της τραχύτητας οδήγησε σε μεταβολή της ταχύτητας επαναψύξεως έως ένα παράγοντα 5. Στα εν λόγω πειράματα δεν διαπιστώθηκε εξάρτηση από το υλικό του περιβλήματος.

Οι Piggott et al το 1976 [42] μελέτησαν τον χρόνο ο οποίος παρέχεται από τη στιγμή έναρξης του ψεκασμού μέχρι την αρχική εγκατάσταση του υγρού φιλμ πάνω στη ράβδο. Για τα πειράματά τους χρησιμοποίησαν μια ράβδο με περίβλημα από Inconel η οποία θερμαινόταν ηλεκτρικά. Όταν η θερμοκρασία του τοιχώματος ήταν η κατάλληλη για το πείραμα, εκτοξευόταν νερό επάνω στην επιφάνεια και με τη βοήθεια ενός χρονομέτρου κατεμετράτο ο χρόνος ο οποίος παρήχθετο μέχρι την εγκατάσταση του υγρού επάνω στη ράβδο. Ο χρόνος αυτός *καθυστερήσης* όπως ονομάστηκε από τους ερευνητές, βρέθηκε να έχει εξάρτηση από την αρχική θερμοκρασία της ράβδου, την υπόψυξη, τη θερμική αγωγιμότητα της ράβδου και την ταχύτητα ψεκασμού του υγρού επί της ράβδου.

5.4.2.2 Πειράματα σε Περιβάλλον Ατμού.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως (§5.4), οι πειραματικές συνθήκες σε περιβάλλον ατμού, προσεγγίζουν καλύτερα την κατάσταση στο εσωτερικό του αντιδραστήρα μετά τη λειτουργία του ECCS. Στη βιβλιογραφία αναφέρονται αρκετά πειράματα υπό πίεση, αλλά όπως θα δούμε στη συνέχεια, η περιοχή πιέσεων 2-7 bar στην οποία είναι πολύ πιθανό να βρεθεί ο αντιδραστήρας μετά από ατύχημα δεν έχει διερευνηθεί επαρκώς πειραματικά.

Οι Bennett et al [30], το 1966 διεξήγαγαν μια σειρά πειραμάτων με ψεκασμό εκ των άνω στην εξωτερική επιφάνεια μιας κοίλης ράβδου από ανοξείδωτο χάλυβα η οποία θερμαινόταν ηλεκτρικά. Τα πειράματα διεξήχθησαν στην περιοχή 6.89 έως 68.9 bar. Η πίεση εδημιουργείτο με την τροφοδοσία ατμού σε χαμηλές παροχές στο κανάλι. Τα πειραματικά αποτελέσματα (σχ. 5.7), επιβεβαίωσαν για μια ακόμη φορά τη γραμμική σχέση μεταξύ της αντίστροφης ταχύτητας επαναψύξεως και της αρχικής θερμοκρασίας του περιβλήματος της ράβδου. Παρατηρήθηκε επίσης αύξηση της ταχύτητας επαναψύξεως με την αύξηση της πίεσης.

Οι Elliott et al το 1970 [29] διεξήγαγαν τα πειράματά τους σε περιοχή πιέσεων ατμού 3.43 έως 52.8 bar. Το νερό επανέψυχε την εσωτερική επιφάνεια μιας κοίλης

ράβδου με εξωτερική διάμετρο 15.9 mm και πάχος 1.27 mm. Η θέρμανση της ράβδου γινόταν από την εξωτερική επιφάνεια και το σκεπτικό πίσω από αυτό ήταν ότι η εξέλιξη του φαινομένου επιβάλλει να θεωρηθεί κίνηση του νερού μέσα σε κανάλι και όχι γύρω από μεμονωμένη ράβδο, εφόσον στον αντιδραστήρα οι ράβδοι σχηματίζουν θερμαινόμενα νοητά κανάλια αυτού του είδους. Χρησιμοποιήθηκαν δύο τμήματα δοκιμών, ένα από ανοξείδωτο ατσάλι και ένα από Inconel. Για μια ακόμη φορά, τα αποτελέσματα (σχ. 5.8 και 5.9) επιβεβαίωσαν τη γραμμική συσχέτιση της αντίστροφης ταχύτητας επαναψύξεως από την αρχική θερμοκρασία του περιβλήματος. Τα πειράματα έδειξαν, επίσης, αύξηση της ταχύτητας επαναψύξεως με την άνοδο της πίεσης και μη εξάρτηση από την παροχή του υγρού.

Οι Elliott et al το 1971 [61] διεξήγαγαν νέα πειράματα με τμήμα δοκιμών από zircalloy γεωμετρικά όμοιο με τα προηγούμενα στις ίδιες περιοχές πιέσεων για παραμετρική μελέτη της επίδρασης του υλικού του περιβλήματος στην ταχύτητα του υγρού μετώπου. Σε συμφωνία με άλλες θεωρητικές και πειραματικές διαπιστώσεις, το τμήμα δοκιμών από zircalloy φάνηκε (σχ. 5.10 και 5.11) να επαναψύχεται έως και δύο φορές ταχύτερα από τα δύο προηγούμενως χρησιμοποιηθέντα τμήματα δοκιμών. Επίσης, οξείδωση που εμφανίστηκε στο Τμήμα Δοκιμών μετά τη διεξαγωγή πειραμάτων σε υψηλές θερμοκρασίες (800 - 850 °C), οδήγησε σε αύξηση της ταχύτητας επαναψύξεως κατά ένα παράγοντα 3.

5.4.3 Συσχετίσεις.

Η έλλειψη αυτοδύναμων αναλυτικών μοντέλων οδήγησε τους ερευνητές στην διατύπωση εμπειρικών και ημιεμπειρικών σχέσεων της αντίστροφης ταχύτητας επαναψύξεως με την αρχική θερμοκρασία του περιβλήματος της ράβδου. Η πλέον συνήθης μέθοδος που ακολουθήθηκε ήταν η γραμμική προσαρμογή των ζευγών (u_i^{-1}, Tw_i) , κάτι που δικαιολογείται από τις πειραματικές γραφικές απεικονίσεις. Σπανίως όμως βλέπουμε στη βιβλιογραφία τις υπόψιν αναδρομές και συσχετίσεις να συνοδεύουν δείκτες της στατιστικής-των αξιοπιστίας. Στη συνέχεια θα παρατεθούν οι κυριότερες συσχετίσεις που αναφέρονται στη βιβλιογραφία. Τα μεγέθη τα οποία συναντώνται στις συσχετίσεις αυτές, εκφράζονται σε μονάδες του Διεθνούς Συστήματος Μονάδων (S.I.). Τα μεγέθη και οι μονάδες μετρήσεώς τους στις συσχετίσεις οι οποίες παρουσιάζονται στη συνέχεια αυτής της παραγράφου, είναι τα εξής:

u^{-1} : Η αντίστροφη ταχύτητα επαναψύξεως (s/m).

u^* : Η αδιάστατη ταχύτητα επαναψύξεως $(\rho_w c_w u \delta_w / k_w)$.

- T_w : Η αρχική θερμοκρασία του περιβλήματος ($^{\circ}\text{C}$).
- T_s : Η θερμοκρασία κορεσμού του ψυκτικού στην αντίστοιχη πίεση ($^{\circ}\text{C}$).
- T_1 : Η θερμοκρασία του ψυκτικού στην είσοδο ($^{\circ}\text{C}$).
- T_0 : Η θερμοκρασία υγρού μέτωπου ($^{\circ}\text{C}$).
- T^* : Η αδιάστατη θερμοκρασία της ράβδου $(T_0 - T_s) / (T_w - T_0)$.
- ΔT_{sub} : Η υπόψυξη στο υγρό μέτωπο (K).
- h : Ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας από το περίβλημα στο ρευστό ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$).
- W_1 : Η παροχή μάζας του υγρού (kg/s).
- P : Η πίεση στο κανάλι δοκιμών (bar).
- D : Η εξωτερική διάμετρος του περιβλήματος της ράβδου (m).
- ρ_w : Η πυκνότητα του περιβλήματος (kg/m^3).
- c_w : Η ειδική θερμότητα του περιβλήματος (J/kgK).
- Bi : Ο αριθμός Biot του περιβλήματος ($h\delta_w/k_w$).
- δ_w : Το πάχος του περιβλήματος (m).
- k_w : Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του περιβλήματος (W/mK).

Οι Elliott et al [61] εφαρμόζοντας γραμμική προσαρμογή στα ατμοσφαιρικά πειραματικά αποτελέσματα των Shires et al [25] εκτίμησαν την αναδρομή:

$$u^{-1} = 0.344 (T_w - T_s) - 13.8 \quad (5.6)$$

Ο Yamanouchi [24] προσαρμοσε τα ατμοσφαιρικά πειραματικά-του αποτελέσματα, προκειμένου να συσχετίσει το συντελεστή μεταδόσεως θερμότητας στο υγρό μέτωπο, με την ταχύτητα παροχής του ρευστού, στη σχέση:

$$h = 9.77 \cdot 10^6 W_1^{0.5} \quad (5.7)$$

όπου:

h : ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας για ατμοσφαιρικά πειράματα και

W_1 : η παροχή μάζας του υγρού στην είσοδο του καναλιού.

Στη συνέχεια, συνιστά για τον υπολογισμό της ταχύτητας επαναψύξεως από τη

θερμοκρασία, τη χρησιμοποίηση του αναλυτικού-του μονοδιάστατου μοντέλου, που ανεφέρθη στην §5.4.1 (σχέση 5.3).

Οι Elliott et al [61] προσαρμόσαν τα πειραματικά-τους αποτελέσματα, υπό πίεση ατμού 3.43-52.8 bar, στις ακόλουθες αναδρομές:

1. *Inconel και Stainless-Steel*:

$$u^{-1} = 0.58 P^{-0.29} (T_w - T_0) \quad (5.8)$$

2. *Zircalloy*:

$$u^{-1} = 0.2 P^{-0.18} (T_w - T_0) \quad (5.9)$$

3. *Stainless-Steel*:

$$u^{-1} = 0.47 P^{-0.24} (T_w - T_0) \quad (5.10)$$

Οι Duffey et al [41] το 1973 μελέτησαν όλα τα εκτελεσθέντα, σύμφωνα με την έως τότε διεθνή βιβλιογραφία, πειράματα τα οποία είχαν εκτελεστεί τόσο με τη μέθοδο του ψεκασμού εκ των άνω, όσο και με τη μέθοδο του πλημμυρίσματος εκ των κάτω σε ατμοσφαιρική πίεση. Διέτυψαν δύο συσχετίσεις ανάλογα με την έκταση του θερμοκρασιακού πεδίου, κατά την ακτίνα, εντός του περιβλήματος της ράβδου:

Μονοδιάστατη Μετάδοση Θερμότητας ($Bi < 1$):

$$u^* = 9.5 T^* \left[\frac{\delta_w}{k_w} \right]^{\frac{1}{2}} \left[\frac{W_1}{\pi D} \right]^{0.5} \cdot 10^2 \quad (5.11)$$

Διοδιάστατη Μετάδοση Θερμότητας ($Bi \gg 1$):

$$u^* = 6 T^* \left[\frac{\delta_w}{k_w} \right] \left[\frac{W_1}{\pi D} \right] \cdot 10^5 \quad (5.12)$$

Οι Piggott et al το 1973 [90], επεξεργάστηκαν αποτελέσματα από ατμοσφαιρικά πειράματα καθώς και πειράματα σε πίεση ατμού και με μέθοδο παρόμοια με εκείνη των Duffey et al [41] παρήγαγαν δύο αντίστοιχες συσχετίσεις:

Μονοδιάστατη Μετάδοση Θερμότητας ($Bi < 1$):

$$u^{-1} = \frac{5.06 \rho_w c_w \delta_w^{\frac{1}{2}} (\pi D)^{\frac{1}{2}} (T_w - T_s)}{(k_w W_1)^{\frac{1}{2}} (T_s - T_1)^{\frac{1}{2}}} 10^{-5} \quad (5.13)$$

Διοδιάστατη Μετάδοση Θερμότητας ($Bi \gg 1$):

$$u^{-1} = 8.9 \cdot \frac{\pi D}{W_1} \rho_w c_w \frac{T_w - T_s}{T_s - T_1} \cdot 10^{-5} \quad (5.14)$$

Ο Thompson το 1975 [88] επεξεργάστηκε τα πειραματικά αποτελέσματα των Bennett et al [30], Elliott et al [29] και Elliott et al [61] και παράγαγε την ακόλουθη συσχέτιση:

$$u^{-1} = \frac{\rho_w c_w (T_w - T_0)}{1.34 \cdot 10^7} \quad (5.15)$$

η οποία προφανώς ισχύει για περιβάλλον πίεσης ατμού από 3.43 έως 69 bar.

Ο Thompson συνέστησε να λαμβάνεται ως θερμοκρασία υγρού μετώπου εκείνη που αντιστοιχεί σε τιμή της αντίστροφης ταχύτητας επαναψύξεως ίσης με 3.61 s/m την οποία έχει προτείνει ο Bennett [30]. Για πιέσεις κάτω από 3.4 bar, πρότεινε την ακόλουθη συσχέτιση:

$$u^{-1} = \frac{\rho_w c_w [T_w - (600 + \Delta T_{sub})]}{2.14 \cdot 10^6} \quad (5.16)$$

Μια συσχέτιση την οποία παρουσιάζουν οι Yu et al [38], λαμβάνει υπ' όψιν την επίδραση της πίεσης, της υπόψυξης και της παροχής του υγρού στην είσοδο του καναλιού. Η συσχέτιση αυτή, που έχει συντελεστή μέσης τετραγωνικής απόκλισης (rms) 25% και ισχύει για περιοχή πιέσεων 1-69 bar, αρχική θερμοκρασία της ράβδου 200-750 °C, υπόψυξη 0-90K και ταχύτητα μάζας του υγρού στην είσοδο του καναλιού 0.06-1.00 kg/ms, είναι η εξής:

$$\sqrt{h(T_0 - T_s)} = 4.25 \cdot 10^4 (1 + 0.036 \Delta T_{sub} G_p) \cdot (1 + 1.216 \log_{10} P)^{\frac{1}{2}} G_p^{0.0765/P} \quad (5.17)$$

όπου:

$G_p = (W_1/\pi D)$ η ταχύτητα μάζας ανά μονάδα περιμέτρου (kg/ms).

5.5 Η Οργάνωση και Εκτέλεση των Πειραμάτων Επαναψύξεως στα πλαίσια της παρούσης ΔΔ.

Η εκτέλεση ενός πειράματος επαναψύξεως είναι μια σύνθετη εργασία η οποία συνίσταται από τα εξής γενικά βήματα:

- Εξασφάλιση των απαιτούμενων πειραματικών συνθηκών στην εγκατάσταση και σταθεροποίηση της λειτουργίας-της για ικανό χρονικό διάστημα. Ενδεικτικά

αναφέρεται ότι για την εκτέλεση ενός πειράματος, δηλαδή την απόκτηση ενός μόνο πειραματικού σημείου (u_i^{-1}, T_{w_i}) απαιτείται χρόνος της τάξεως των 20 min.

- Προσομοίωση του φαινομένου της απώλειας ψυκτικού (LOCA) και αγωγή της ράβδου στην επιθυμητή θερμοκρασία για την έναρξη της επαναψύξεως.
- Ενεργοποίηση του συστήματος έκτακτης ψύξης με ψεκασμό εκ των άνω.
- Παρακολούθηση στην οθόνη του Η/Υ της εξέλιξης του φαινομένου και της σήμανσης ολοκληρώσεώς του από τον Η/Υ.
- Χειρισμός-επεξεργασία του παραχθέντος αρχείου με τα πειραματικά αποτελέσματα του πειράματος.

θα περιγράψουμε στις επόμενες παραγράφους αναλυτικά, όλα τα βήματα των χειρισμών τόσο του μηχανικού μέρους της εγκατάστασης, όσο και του πάσης φύσεως λογισμικού για τον έλεγχο του ΘΥΚ και την κατασκευή των αρχείων με τα πειραματικά αποτελέσματα που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια της παρούσης ΔΔ.

Εξυπακούεται ότι, η κατάληξη στη μεθοδολογία αυτή, έγινε μετά από την εμπειρία που αποκτήθηκε από την επί διετία χρησιμοποίηση της εγκαταστάσεως η οποία και επέβαλε σημαντικές βελτιωτικές τροποποιήσεις, που είχαν σαν στόχο τόσο την αξιοπιστία των εκτελούμενων πειραμάτων όσο και την αυτοματοποίηση της εγκατάστασης στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό.

5.5.1 Οι πειραματικές συνθήκες.

Η πρώτη φάση της σχεδίασης μιας πειραματικής διαδικασίας, συνίσταται στον καθορισμό των πειραματικών συνθηκών. Στην περίπτωση του παρόντος πειράματος επαναψύξεως, οι πειραματικές συνθήκες έχουν ως εξής:

- Πίεση (απόλυτη): Ατμοσφαιρικές συνθήκες (1 bar) και περιβάλλον ατμού (2-7 bar).
- Παροχή υγρής φάσης νερού στην είσοδο του Τμήματος Δοκιμών: 1 lpm.
- Υπόψυξη υγρής φάσης νερού στην είσοδο του Τμήματος Δοκιμών: 0 K (κεκορεσμένο).

- Παροχή του ατμού* στην είσοδο του Τμήματος Δοκιμών: 0.03 kg/s
- Αρχική θερμοκρασία εξωτερικής επιφάνειας της ράβδου αμέσως πριν την έναρξη της επαναψύξεως: 200 - 550 °C.

Σε σχέση με τις πιο πάνω πειραματικές συνθήκες, έχουμε να κάνουμε τα εξής σχόλια:

1. **Πίεση:** Καλύπτει όλη την περιοχή λειτουργίας της εγκατάστασης. Επιπλέον, η ευελιξία της εγκατάστασης επιτρέπει το άνοιγμα του Τμήματος Δοκιμών στην ατμόσφαιρα και κατ' ακολουθίαν την εκτέλεση πειραμάτων υπό ατμοσφαιρικές συνθήκες.
2. **Παροχή υγρής φάσης:** Επελέγη μια αντιπροσωπευτική τιμή σε σχέση με τα διαθέσιμα στη βιβλιογραφία δεδομένα (0.5 - 2 lpm, [29], [30], [61]). Εξυπακούεται ότι στο μέλλον θα πρέπει να εκτελεστούν πειράματα με παράμετρο την παροχή υγρής φάσης στην περιοχή 0.5 έως 15 lpm που επιτρέπει η εγκατάσταση.
3. **Υπόψυξη υγρής φάσης:** Επελέγη κεκορεσμένη κατάσταση (υπόψυξη 0 K) διότι αυτή ήταν η συνθήκη όλων των λοιπών πειραμάτων υπό πίεση ατμού. Βεβαίως, στα πειράματα ατμοσφαιρικών συνθηκών, έχουν δοκιμασθεί υποψύξεις έως και 80 K. Όμως, όπως παρατηρείται στην εργασία [2], σημασία έχει η υπόψυξη στο υγρό μέτωπο και όχι στο Τμήμα Δοκιμών. Εν πάσει περιπτώσει, θα πρέπει στο μέλλον να εκτελεστούν πειράματα με παράμετρο την υπόψυξη της υγρής φάσης στην είσοδο, στην περιοχή:
 - 0-80 K σε ατμοσφαιρικές συνθήκες και
 - 0-40 K σε συνθήκες πίεσης ατμού
 που επιτρέπει η εγκατάσταση.
4. **Παροχή ατμού στην είσοδο του Τμήματος Δοκιμών:** Πειράματα με παράμετρο το υπόψιν μέγεθος δεν αναφέρονται στη βιβλιογραφία με εξαίρεση το πείραμα της [2] το οποίο όμως χρησιμοποιεί ως ψυκτικό μέσο το Freon-113. Ας επισημάνουμε επιπλέον ότι, σε κανένα από τα πειράματα που αναφέρονται στη βιβλιογραφία δεν αναφέρεται τιμή αυτής της παραμέτρου. Η πιο πάνω τιμή των 0.03 kg/s επελέγη διότι ήταν η ελάχιστη δυνατή που εξασφάλιζε σταθερές συνθήκες πίεσης σε όλη τη διερευνηθείσα περιοχή. Εξυπακούεται ότι στο

* Με εξαίρεση τα πειράματα σε πίεση 1 bar για τα οποία δεν υπήρχε παροχή ατμού στην είσοδο του Τμήματος Δοκιμών.

μέλλον θα πρέπει να εκτελεσθούν παραμετρικά πειράματα με παροχή ατμού από 0.03 έως 0.3 kg/s που φαίνεται ότι είναι εφικτό στην παρούσα πειραματική εγκατάσταση.

5. Αρχική θερμοκρασία της ράβδου: Επελέγη το ανώτατο όριο των 550 °C με γνώμονα:

- Την ασφαλή λειτουργία της ράβδου. Επισημαίνεται ότι σε θερμοκρασία υψηλότερη των 1200 °C, τα ενσωματωμένα θερμοστοιχεία τύπου J τήκονται ενώ το άνω όριο ασφαλούς λειτουργίας-των καθορίζεται στους 700 °C. Εξάλλου το σημείο τήξεως του Ανοξειδωτού Χάλυβα είναι 1400 °C, αλλά ήδη σύμφωνα με την υπάρχουσα εμπειρία, από τους 800 °C και άνω, αρχίζουν οι ρωγμές του περιβλήματος.
- Τις εμφανιζόμενες στη βιβλιογραφία τιμές από παρόμοια πειράματα με ράβδους ανοξειδωτού χάλυβα οι οποίες φθάνουν έως 650 °C.

Θα ήταν δυνατό στο μέλλον να επεκταθούν τα πειράματα και μέχρι τους 650°C με ενδεχόμενη όμως, ανεπανόρθωτη βλάβη, όπως κύρτωση ή ρηγμάτωση, της ράβδου.

Ως προς το κατώτατο όριο, αυτό αυτοκαθορίζεται, όπως αναλυτικά θα περιγραφεί σε επόμενη παράγραφο, από το μελετώμενο φαινόμενο στη θερμοκρασία των 100K περίπου άνω της θερμοκρασίας κορεσμού στην αντίστοιχη πίεση.

5.5.2 Μεθοδολογία του Πειράματος.

Θα παρουσιάσουμε τώρα τη μεθοδολογία η οποία αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσης ΔΔ για την οργάνωση και εκτέλεση των πειραμάτων επαναψύξεως. Επισημαίνεται ότι η μεθοδολογία αυτή οδηγεί σε αυτοματοποιημένη παραγωγή αρχείων Η/Υ με τα πρωτογενή πειραματικά αποτελέσματα, με τη χρησιμοποίηση των οποίων μπορεί να ακολουθήσει είτε επεξεργασία με βάση την παραδοχή της ισοταχούς κίνησης του υγρού μετώπου, είτε μεταβατική επεξεργασία για τη διερεύνηση του είδους της κινήσεως του υγρού μετώπου και την εξαγωγή των εξ αυτής συναφών συμπερασμάτων. Επαναλαμβάνεται, ότι η πιο κάτω περιγραφόμενη διαδικασία εκτέλεσης ενός πειράματος επαναψύξεως στο ΘΥΚ είναι επαρκέστατα αυτοματοποιημένη:

1. Κατασκευάζεται στο σκληρό δίσκο του Η/Υ ελέγχου του ΘΥΚ ένα νέο

directory, μέσα στο οποίο καταχωρούνται όλα τα αρχεία με πειραματικά αποτελέσματα που παράγονται από το πρόγραμμα ελέγχου του ΘΥΚ *RIG* (Κεφ. 4), τα οποία ο χρήστης επιθυμεί να συγκροτήσουν ένα πειραματικό υπόσύνολο, του οποίου γίνεται επεξεργασία στη συνέχεια σύμφωνα με όσα αναφέρονται πιο κάτω στην §5.7.

2. Τίθεται σε λειτουργία στον Η/Υ τύπου PC, το πρόγραμμα ελέγχου του ΘΥΚ: *RIG* (Κεφ. 4).
3. Ρυθμίζονται οι διατάξεις θερμοκρασίας και πίεσης του Δοχείου Βρασμού του ΘΥΚ στην πίεση/θερμοκρασία κορεσμού που απαιτεί το πείραμα. Επισημαίνεται βέβαια, ότι ως πίεση αναφοράς ενός πειράματος θεωρείται εκείνη που μετράται στο Τμήμα Δοκιμών και όχι εκείνη του Δοχείου Βρασμού. Βέβαια, με την εμπειρία που αποκτά ο χειριστής στην εγκατάσταση, είναι εύκολο να εκτιμήσει με ποιά πίεση στο Δοχείο Βρασμού εξασφαλίζει την επιθυμητή πίεση στο Τμήμα Δοκιμών.
4. Μετά την επίτευξη της απαιτούμενης πίεσης στο Δοχείο Βρασμού και κατ' ακολουθίαν στο Τμήμα Δοκιμών, διατηρείται η εγκατάσταση σε λειτουργία για αρκετή ώρα, για να διαπιστωθεί η σταθερότητα, χρονικά, των πειραματικών συνθηκών. Επιθυμητό για την επίτευξη αυτής της κατάστασης, είναι η κατά το δυνατόν σταθερότητα στη λειτουργία τόσο των ηλεκτρικών αντιστάσεων στο Δοχείο Βρασμού, όσο και στην αντλία κυκλοφορίας του συμπυκνώματος από το Δοχείο Συγκεντρώσεως στο Δοχείο Βρασμού. Ως προς την πρώτη προϋπόθεση, συνιστάται μετά την επίτευξη σταθεροποίησης, η χειροκίνητη αποσύζευξη των δύο αντιστάσεων των 12 kW του Δοχείου Βρασμού και η συντήρηση του συστήματος μόνο με τις δύο αντιστάσεις των 6 kW, κάτι που είναι εφικτό. Ως προς τη λειτουργία της αντλίας κυκλοφορίας του συμπυκνώματος, ο πειραματιστής έχει δύο εναλλακτικές επιλογές:
 - Να ρυθμίσει την κυκλοφορία μέσω του κλάδου by-pass της αντλίας ώστε η αντλία να λειτουργεί συνεχώς όσο διαρκεί το πείραμά του.
 - Να εξασφαλίσει με κατάλληλους χειρισμούς τις στάθμες στα Δοχεία Βρασμού και Συγκεντρώσεως, στην αρχή του πειράματός του, ώστε να εξασφαλίσει ότι δεν θα χρειασθεί να τεθεί σε λειτουργία η αντλία κατά τη διάρκειά του. Οι χωρητικότητες των δύο δοχείων επιτρέπουν τη συνθήκη αυτή, επί χρονικό διάστημα μισής περίπου ώρας που είναι υπεραρκετό για την εκτέλεση ενός πειράματος επαναψύξεως.
5. Μετά την εξασφάλιση της σταθερότητας των επιθυμητών πειραματικών

συνθηκών, μπορεί να αρχίσει η πειραματική διαδικασία προσομοίωσης των φαινομένων του ατυχήματος της απώλειας ψυκτικού, καθώς και της διεργασίας της επαναψύξεως. Εάν ο χειριστής επιθυμεί την καταγραφή των αποτελεσμάτων του πειράματος σε αρχείο, τότε οφείλει να επανέλθει στο βασικό μενού ελέγχου του προγράμματος (§4.2) και με την επιλογή *9-Assist* να ζητήσει την επιλογή της καταγραφής του πειράματος, παρέχοντας ταυτόχρονα τον κωδικό αριθμό* της πειραματικής διαδικασίας προσομοίωσης που θα ακολουθήσει (§4.2.2).

Μετά ταύτα, δίδεται από το βασικό μενού του προγράμματος RIG η επιλογή *1-display* για την εμφάνιση του Μιμικού Διαγράμματος της κατάστασης της κανονικής λειτουργίας.

6. Αρχίζουν πλέον οι απαραίτητοι χειρισμοί για την προσομοίωση του ατυχήματος απώλειας ψυκτικού. Συγκεκριμένα:
 - 6.1 Ρυθμίζεται με τη βοήθεια της ρυθμιστικής βαλβίδας του κλάδου AHB (σχ. 3.15) η επιθυμητή παροχή του υγρού προς το Τμήμα Δοκιμών.
 - 6.2 Ρυθμίζεται η επιθυμητή θερμοκρασία της επιφάνειας της ράβδου κατά την έναρξη της επαναψύξεως με τη βοήθεια του αντίστοιχου ρυθμιστή (σχ. Στ-4, 61).
 - 6.3 Κλείνει η σωληνοειδής βαλβίδα SV2 (σχ. 3.15) που παρέχει νερό στο Τμήμα Δοκιμών και ανοίγει η παρακαμπτήριος SV4 ώστε να προσομοιωθεί το LOCA. Εξυπακούεται ότι παράλληλα ρυθμίζεται, με τη βοήθεια της ρυθμιστικής βαλβίδας του κλάδου ΗΩ (σχ. 3.15), η παροχή του υγρού στην παρακαμπτήριο στην ίδια τιμή με εκείνη προς το Τμήμα Δοκιμών.
 - 6.4 Τροφοδοτείται με ισχύ η ράβδος για να προσομοιωθεί η έκλυση ενέργειας λόγω ραδιενεργών διασπάσεων.
 - 6.5 Όταν το thyristor ελέγχου της τροφοδοσίας της ράβδου διακόψει την τροφοδοσία, πράγμα που σημαίνει ότι η θερμοκρασία έχει ανέλθει στο προρρυθμισθέν όριο, διακόπτεται και χειροκίνητα η τροφοδοσία ισχύος

* Στην περίπτωση των πειραμάτων της παρούσης ΔΔ, ο εν λόγω κωδικός είχε τη μορφή:

4P0100010XXX

όπου,

P : 1 - 7 (bar) και

XXX: Αύξων αριθμός του πειράματος (καθοριζόμενος με ευθύνη του χρήστη)

της ράβδου και ταυτόχρονα αρχίζουν χειρισμοί για την προσομοίωση της διεργασίας της επαναψύξεως. Αυτό γίνεται πολύ απλά, ανοίγοντας την σωληνοειδή βαλβίδα SV2 που παρέχει νερό για την επανάψυξη στο Τμήμα Δοκιμών και κλείνοντας τη σωληνοειδή βαλβίδα SV4 του κλάδου παράκαμψης. Η κατάσταση της βαλβίδας SV2 παρακολουθείται από τον Η/Υ· το άνοιγμά-της σηματοδοτεί την έναρξη της καταγραφής των απαραίτητων φυσικών μεγεθών κατά την επανάψυξη σε αρχείο όπως αναφέρεται στην §4.3.3.1. Υπενθυμίζεται ότι η συχνότητα καταγραφής του φαινομένου της επαναψύξεως καθορίζεται αυτόματα από τον Η/Υ στη μέγιστη δυνατή τιμή.

- 6.6 Από το σημείο αυτό, ο χειριστής παρακολουθεί την εξέλιξη του φαινομένου στο Μιμικό Διάγραμμα της οθόνης του Η/Υ. Το πέρας της διεργασίας ανιχνεύει ο Η/Υ σύμφωνα με όσα αναφέρονται στην §4.3.3, παρέχοντας στην οθόνη σχετικό μήνυμα. Εξυπακούεται ότι μετά ταύτα, ο χειριστής μπορεί να προχωρήσει σε επόμενο πείραμα.

Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων μιας πειραματικής προσομοίωσης της διεργασίας της επαναψύξεως γίνεται όπως αναπτύσσεται στην παράγραφο που ακολουθεί.

5.5.3 Επεξεργασία Αποτελεσμάτων μιας Πειραματικής Προσομοίωσης Επαναψύξεως.

Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων μιας πειραματικής προσομοίωσης (*experimental run*) της διεργασίας της επαναψύξεως σχεδιάστηκε να γίνεται στον Η/Υ HP-9000/370 κάτω από το Λ/Σ Unix του ΕΠΤ-ΕΜΠ. Το σύστημα αυτό παρέχει πολύ περισσότερες ευκολίες, τόσο από πλευράς περιβάλλοντος επεξεργασίας όσο και από πλευράς πακέτων στατιστικής ανάλυσης και γραφικών κατασκευών που διαθέτει, από ό,τι ο Η/Υ τύπου PC όπου έγιναν τα πειράματα. Κατά συνέπεια, σε πρώτη φάση, χρειάζεται να γίνει μεταφορά των αρχείων των πειραματικών δεδομένων που βρίσκονται σε ένα directory του Η/Υ τύπου PC και συνιστούν από λογικής πλευράς ένα πειραματικό υποσύνολο, σε κατάλληλο directory στον Η/Υ HP-9000/370. Η μεταφορά αυτή γίνεται με τη χρησιμοποίηση λογισμικού που έχει αναπτυχθεί στο ΕΠΤ-ΕΜΠ και παρουσιάζεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΒ.

Υπενθυμίζεται ότι κάθε αρχείο καταγραφής των αποτελεσμάτων μιας πειραματικής προσομοίωσης επαναψύξεως περιέχει:

- Δύο στιγμιότυπα της κατάστασης του ΘΥΚ, ένα στην αρχή της καταγραφής του

φαινομένου της επαναψύξεως και ένα στο τέλος.

- Ενδιάμεσα, και με τη μεγαλύτερη δυνατή συχνότητα δειγματοληψίας* καταγράφονται:
 - Η χρονική στιγμή δειγματοληψίας,
 - οι τιμές της θερμοκρασίας στους 10 σταθμούς μετρήσεως (TC-2 έως TC-11, σχ. 3.9),
 - η πίεση στο Τμήμα Δοκιμών,
 - η παροχή του ψυκτικού,
 - η θερμοκρασία του υγρού στην είσοδο του Τμήματος Δοκιμών και
 - η θερμοκρασία του ατμού στην είσοδο του Τμήματος Δοκιμών.

Με την επεξεργασία των πληροφοριών που περιέχει το αρχείο αυτό:

- Αναπαράγεται η θερμοκρασιακή ιστορία καθενός των 10 θερμοστοιχείων της ράβδου του Τμήματος Δοκιμών.
- Προσδιορίζεται λογιστικά, με μέθοδο που αναπτύχθηκε στην παρούσα ΔΔ, η χρονική στιγμή κατά την οποία το υγρό μετώπο φθάνει σε κάθε θερμοστοιχείο.
- Υπολογίζεται η αρχική θερμοκρασία της ράβδου, αμέσως πριν την έναρξη της επαναψύξεως καθώς και ο συνολικός χρόνος επαναψύξεως ολόκληρης της ράβδου.

Όπως δηλαδή προκύπτει από τα παραπάνω, με την καταγραφή που γίνεται ο πειραματιστής είναι σε θέση να επεξεργαστεί τα αποτελέσματα της πειραματικής προσομοίωσης του φαινομένου της διεργασίας της επαναψύξεως, είτε με την παραδοχή της σταθεράς ταχύτητας κίνησης του υγρού μετώπου, είτε και χωρίς αυτήν, κάτι που επιτρέπει τη διερεύνηση του είδους της κίνησης του υγρού μετώπου.

Η προαναφερθείσα επεξεργασία επιτυγχάνεται με τη βοήθεια του προγράμματος **TRANSIENT** το οποίο συντάχθηκε στα πλαίσια της παρούσης ΔΔ. Το εν λόγω πρόγραμμα, στις ρουτίνες του οποίου θα αναφερθούμε σε επόμενη παράγραφο :

- Εμφανίζει φιλικό menu για την επικοινωνία-του με τον χρήστη.

* Όπως πειραματικά έχει διαπιστωθεί, ο χρόνος δειγματοληψίας δεν υπερβαίνει στην περίπτωση του παρόντος συστήματος τα 100 ticks δηλαδή η συχνότητα είναι ίση προς 1 Hz για σάρωση όλων των σταθμών μετρήσεων.

- Καλεί υπορουτίνα σε γλώσσα FORTRAN για να μετατρέψει σε μονάδες μετρούμενου φυσικού μεγέθους τις ψηφιακές πληροφορίες (0-4095) από τους διάφορους μεταλλάκτες που περιέχει το αρχείο δεδομένων (§4.3.3.1).
- Καλεί υπορουτίνα για τον προσδιορισμό της χρονικής στιγμής άφιξης του υγρού μετώπου στη θέση καθενός των θερμοστοιχείων της ράβδου, μετά από ανάλυση της θερμοκρασιακής ιστορίας του, με τη βοήθεια κατάλληλης μαθηματικής-υπολογιστικής μεθόδου που περιγράφεται στην επόμενη §5.5.3.2.
- Καλεί σχεδιαστικές υπορουτίνες οι οποίες χρησιμοποιούν τις σχεδιαστικές υπορουτίνες της βιβλιοθήκης **Starbase** που διαθέτει το HP-UX του HP-9000/370 του ΕΠΤ-ΕΜΠ, για την απεικόνιση στην οθόνη του Η/Υ και την επιλεκτική από τον χρήστη εκτύπωση των διαγραμμάτων:
 - Της θερμοκρασίας καθενός των θερμοστοιχείων TC-3 έως και TC-11 της ράβδου, συναρτήσει του χρόνου που έχει παρέλθει από την έναρξη της διεργασίας της επαναψύξεως (σχ. 5.12, 5.13, 5.14),
 - Του χρόνου άφιξης του υγρού μετώπου στις θέσεις των θερμοστοιχείων της ράβδου (σχ. 5.15) και
 - Της θερμοκρασίας στις θέσεις των θερμοστοιχείων TC-3 έως και TC-11 για δεδομένη χρονική στιγμή (σχ. 5.16).

Τα προαναφερθέντα τρία είδη γραφημάτων, με τις πληροφορίες που παρέχουν επιτρέπουν την εξαγωγή συμπερασμάτων:

- ως προς το είδος της κίνησης του υγρού μετώπου και
- ως προς την δράση του μηχανισμού της πρόδρομης ψύξης.

Βέβαια, από το σύνολο των αριθμητικών πληροφοριών που έχουν αποθηκευθεί στο αρχείο με τα αποτελέσματα μιας πειραματικής προσομοίωσης επαναψύξεως που αποτελεί αποκλειστική πηγή πληροφοριών για τα πιο πάνω διαγράμματα, μπορεί να γίνουν και οι πάσης φύσεως υπολογισμοί για την ανάλυση του πειράματος, είτε με βάση την παραδοχή της ισοταχούς κινήσεως του υγρού μετώπου, είτε και χωρίς αυτή, προκειμένου δηλαδή, στην τελευταία αυτή περίπτωση, να διατυπωθεί η εξίσωση κίνησης του υγρού μετώπου ή και να παρασχεθούν απαραίτητες τιμές για τις οριακές συνθήκες μεταβατικών μοντέλων που μελετούν την κίνηση αυτή ([51], [47]).

Στις παραγράφους που ακολουθούν, θα παρουσιάσουμε:

- τις βασικές ρουτίνες από τις οποίες συγκροτείται το πρόγραμμα *TRANSIENT* το οποίο παράγει τα πιο πάνω τρία γραφήματα,
- την προγραμματιστική τεχνική με την οποία υπολογίζεται η χρονική διάρκεια διέλευσης του μήκους 1-3 cm, κατά τη βιβλιογραφία, υγρού μετώπου από κάθε ένα από τα 9 θερμοστοιχεία της ράβδου και
- τη μεθοδολογία ανάλυσης μιας πειραματικής προσομοίωσης με βάση την αρχή της ισοταχούς κίνησης του υγρού μετώπου.

Κλειδί για την εκμετάλλευση του πιο πάνω αρχείου, είτε με την παραδοχή της ισοταχούς κίνησης του υγρού μετώπου είτε χωρίς αυτήν, είναι η προαναφερθείσα νεοεισαγόμενη στην παρούσα ΔΔ μεθοδολογία υπολογισμού της χρονικής διάρκειας της διέλευσης του υγρού μετώπου από ένα σταθμό μέτρησης της θερμοκρασίας. Επισημαίνεται, και στο σημείο αυτό θα επανέλθουμε σε επόμενη παράγραφο, ότι στις μέχρι τώρα εργασίες που εμφανίζονται στη βιβλιογραφία, η εκτίμηση της **χρονικής στιγμής** διέλευσης του υγρού μετώπου από ένα σταθμό μέτρησης θερμοκρασίας, γινόταν μάλλον με εμπειρικό τρόπο. Αποτελεί συμβολή της παρούσης εργασίας η εισαγωγή της έννοιας *χρονική διάρκεια* αντί *χρονική στιγμή*, που είναι πλέον κοντά στην πραγματικότητα, όσο και ο καθορισμός-της με υπολογιστικό αλγόριθμο και όχι εμπειρικά.

5.5.3.1 Ρουτίνες επεξεργασίας των αποτελεσμάτων μιας πειραματικής προσομοίωσης.

Στην παράγραφο αυτή, θα παρουσιαστούν συνοπτικά, οι ρουτίνες επεξεργασίας μιας πειραματικής προσομοίωσης. Το κείμενο (source) των ενλόγω ρουτινών, σε γλώσσα FORTRAN, παρουσιάζεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΓ του τεύχους των παραρτημάτων της παρούσης ΔΔ. Στο ίδιο Παράρτημα, παρουσιάζεται και το αρχείο με τις macro-εντολές (*script file*) το οποίο ελέγχει τη μετάφραση (*compilation*) του κυρίως προγράμματος *TRANSIENT* και των υπορουτινών-του καθώς και τη διασύνδεσή τους ώστε να σχηματιστεί το εκτελέσιμο πρόγραμμα. Οι ρουτίνες αυτές είναι οι εξής:

- **transient**: Το κυρίως πρόγραμμα. Εμφανίζει φιλικό menu και ζητά τα χαρακτηριστικά του αρχείου με τις πληροφορίες της προσομοίωσης, καθώς επίσης και πληροφορίες για τον τύπο και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του γραφήματος που είναι επιθυμητό να παραχθεί.
- **ins**: Υπορουτίνα η οποία αναλαμβάνει να διαβάσει τις ψηφιακές πληροφορίες

(0-4095) του αρχείου εισόδου και να τις μετατρέψει σε κατάλληλες μονάδες του αντίστοιχου μετρούμενου μεγέθους.

- **tempj**: Υπορουτίνα η οποία μετατρέπει την θερμοηλεκτρική τάση σε θερμοκρασία για θερμοστοιχεία τύπου J με την προϋπόθεση ότι έχει γίνει ήδη αντιστάθμιση της τάσης αναφοράς των αγωγών του θερμοστοιχείου.
- **trans**: Υπορουτίνα η οποία συντονίζει κλήσεις λοιπών υπορουτινών για τη συγκρότηση του γραφήματος.
- **make_graphic**: Υπορουτίνα βοηθητική της προηγούμενης, η οποία καλεί τις κατάλληλες υπορουτίνες για τη χάραξη του γραφήματος.
- **cl**: Υπορουτίνα καθαρισμού της οθόνης.
- **max_min**: Υπορουτίνα προσδιορισμού των ορίων των μεταβλητών του γραφήματος.
- **xy_max**: Υπορουτίνα υπολογισμού του μεγαλύτερου ενός πίνακα αριθμών.
- **xy_min**: Υπορουτίνα υπολογισμού του μικρότερου ενός πίνακα αριθμών.
- **wet_front**: Υπορουτίνα υπολογισμού της χρονικής διάρκειας της διέλευσης του υγρού μετώπου από ένα θερμοστοιχείο.
- **ini**: Υπορουτίνα αρχικοποίησης του σχεδιαστικού Utility της Starbase.
- **Print_Axis**: Υπορουτίνα κατασκευής του σχεδιαστικού πλαισίου και των αξόνων.
- **tics_lin**: Υπορουτίνα σχεδίασης ενός άξονα.
- **main_x_title**: Υπορουτίνα εμφάνισης του τίτλου του άξονος-Χ.
- **main_y_title**: Υπορουτίνα εμφάνισης του τίτλου του άξονος-Υ.
- **diagram_title**: Υπορουτίνα εμφάνισης του κύριου τίτλου του διαγράμματος.
- **ch_typ**: Υπορουτίνα επιλογής τύπου γραμμής σχεδίασης (συμπαγής, διακεκομμένη, κ.λ.π.).
- **colrr**: Υπορουτίνα επιλογής χρώματος σχεδίασης.
- **point**: Υπορουτίνα εμφάνισης ενός σημείου (μόνον περίγραμμα).
- **marks**: Υπορουτίνα εμφάνισης ενός σημείου (συμπαγούς).
- **markers**: Υπορουτίνα εμφάνισης ενός πλήθους σημείων με κλήσεις είτε της

point είτε της marks κατ' επιλογήν.

- **Labels:** Υπορουτίνα εμφάνισης λεζάντας ή και λοιπών επεξηγηματικών σχολίων.
- **final:** Υπορουτίνα πέρας της σχεδιαστικής διαδικασίας και κατασκευής αρχείου το οποίο περιέχει το γράφημα, εάν ζητηθεί από το χρήστη.

5.5.3.2 Αλγόριθμος Υπολογισμού του Χρόνου Διέλευσης του Υγρού Μετώπου από ένα Σταθμό Μέτρησης της Θερμοκρασίας.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η ανάλυση των πειραματικών αποτελεσμάτων ενός πειράματος προσομοίωσης της διεργασίας της επαναψύξεως απαιτεί τον προσδιορισμό της χρονικής διάρκειας διέλευσης του υγρού μετώπου, από τους σταθμούς μέτρησης της θερμοκρασίας, δηλαδή τα θερμοστοιχεία που είναι ενσωματωμένα στο περίβλημα της ράβδου. Στις προηγούμενες σχετικές εργασίες ([2], [30], [29], [61], [28], κ.λ.π.) οι ερευνητές έκαναν εμπειρική εκτίμηση της χρονικής στιγμής διέλευσης του υγρού μετώπου από τους σταθμούς θερμοκρασίας είτε με οπτικές παρατηρήσεις, είτε χρησιμοποιώντας σαν κριτήριο το γόνυ που παρουσιάζει το διάγραμμα της χρονικής ιστορίας της θερμοκρασίας, λίγο πριν το υγρό μέτωπο φθάσει στον αντίστοιχο σταθμό μέτρησης όπως π.χ. φαίνεται στο διάγραμμα του σχ. 5.17 που προέρχεται από την εργασία [2]. Η φυσική σημασία του γόνατος αυτού, το οποίο πρακτικά σηματοδοτεί την άφιξη του υγρού μετώπου στη θέση της ράβδου ή στον σταθμό μετρήσεως θερμοκρασίας που εξετάζεται, έχει εκτενώς ερμηνευθεί σε αρκετές πειραματικές και θεωρητικές εργασίες· ενδεικτικά αναφέρονται οι εργασίες [2], [69], [24], [64], [26], [33], [84], [81] και [97] στις οποίες ο αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει για περαιτέρω πληροφόρηση.

Η μεθοδολογία αυτή της εμπειρικής εκτίμησης της χρονικής στιγμής της διέλευσης του υγρού μετώπου από ένα θερμοστοιχείο δεν φαίνεται να είναι ακριβής, πέραν του γεγονότος ότι δεν είναι επαναλήψιμη και επαφίεται, κάθε φορά, στην οπτική εκτίμηση του κάθε ερευνητή. Και δεν είναι ακριβής, στο βαθμό που οι ίδιοι οι ερευνητές εκτιμούν ότι το υγρό μέτωπο έχει μια έκταση της τάξεως των 10 - 30 mm ([25], [2]). Έτσι λοιπόν, εφόσον το υγρό μέτωπο έχει πεπερασμένες διαστάσεις, δεν πρέπει να αναφερόμαστε σε χρονική στιγμή διέλευσης του από ένα σταθμό μέτρησης της θερμοκρασίας, αλλά σε χρονική διάρκεια. Ο προσδιορισμός της χρονικής αυτής διάρκειας στηρίζεται ουσιαστικά στην παρατήρηση ότι, κατά τη χρονική διάρκεια διέλευσης του υγρού μετώπου από ένα σταθμό μέτρησης της θερμοκρασίας, η καμπύλη της θερμοκρασίας συναρτήσει του χρόνου, εμφανίζει

σημείο καμψής. Η οπτική αυτή παρατήρηση που δεν στηρίζεται μόνο στα διαγράμματα της παρούσης εργασίας, αλλά συστηματικά τεκμηριώνεται και από τα αντίστοιχα διαγράμματα όλων των προγενέστερων σχετικών εργασιών, έχει λεπτομερώς ερμηνευθεί φυσικά από αρκετούς ερευνητές οι οποίοι έχουν προσεγγίσει θεωρητικά το πρόβλημα της επαναψύξεως ([62], [51], [74]). Μάλιστα, αναφέρεται ότι το σημείο καμψής αυτό, και κατ' ακολουθίαν η ισότητα των τιμών των χωρικών κατά τον άξονα της ράβδου παραγώγων της θερμοκρασίας πριν από αυτό (ξηρή περιοχή) και μετά από αυτό (υγρή περιοχή) ουσιαστικά εκφράζει την αρχή της διατήρησης της αξονικά με αγωγιμότητα μεταφερόμενης θερμικής ισχύος από την ξηρή περιοχή προς την υγρή περιοχή σύμφωνα με όσα διεξοδικά παρουσιάζονται και αποδεικνύονται στην εργασία [64]. Στην εργασία αυτή, αποδεικνύεται, μεταξύ άλλων, ότι μεταξύ της χρονικής παραγώγου της θερμοκρασίας της ράβδου και της χωρικής κατά τον άξονα της ράβδου παραγώγου-της, ισχύει η σχέση:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -u \frac{\partial T}{\partial z} \quad (5.18)$$

όπου:

u : η ταχύτητα κίνησης του υγρού μετώπου,

T : η θερμοκρασία του περιβλήματος και

z : η απόσταση από την είσοδο του καναλιού.

Η πιο πάνω σχέση τεκμηριώνει θεωρητικά όλα όσα πιο πάνω προαναφέρθηκαν και δικαιολογεί την ύπαρξη του προαναφερθέντος σημείου καμψής. Ας επισημάνουμε επιπροσθέτως ότι η θερμική αυτή αποφόρτιση της ξηρής περιοχής, αποτελεί τον κύριο μηχανισμό της προώθησης του υγρού μετώπου στη ράβδο. Βεβαίως, δευτερεύοντα μηχανισμό προώθησης και κατ' ακολουθίαν συμβολή στη διευκόλυνση της προώθησης του υγρού μετώπου προς την ξηρή περιοχή, έχει και η πρόδρομη ψύξη όπως διεξοδικά έχει παρουσιασθεί στις εργασίες [33] και [51].

Μια αρκετά διεξοδική μελέτη του θερμοκρασιακού χρονικού ιστορικού σε ένα σημείο της επαναψυχόμενης ράβδου, έχει πρόσφατα γίνει στην εργασία του Carbaajo [97]. Στην εργασία αυτή, έχουν ποιοτικά επισημανθεί και οι διάφορες περιοχές μετάδοσης θερμότητας στο θερμοκρασιακό χρονικό της επαναψυχόμενης ράβδου, όπως φαίνεται και στο σχ. 5.18.

Τα εξελιγμένα, αυτοματοποιημένα και γρήγορα συστήματα δειγματοληψίας που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια της παρούσης ΔΔ, επέτρεψαν, για πρώτη φορά απ' ό,τι φαίνεται στη βιβλιογραφία, τον εντοπισμό των κυριοτέρων, από πλευράς εξέλιξης

της διεργασίας της επαναψύξεως περιοχών στο πιο πάνω χρονικό διάγραμμα της θερμοκρασίας της επαναψυχόμενης ράβδου. Αυτό, διότι κατέστη εφικτός ο πειραματικός υπολογισμός όχι μόνον της πρώτης αλλά και της δευτέρας παραγώγου της θερμοκρασίας ως προς το χρόνο: οι υπολογισμοί αυτοί επέτρεψαν τον εντοπισμό ορισμένων από τα σημεία που ενδεικτικά είχαν τοποθετηθεί στο θερμοκρασιακό χρονικό ιστορικό που παρουσιάζει ο Carbaajo [97], στο σχ. 5.18. Οι υπολογισμοί αυτοί, καθώς και τα προϊόντα γραφήματα παρουσιάζονται, για την περίπτωση της προσομοίωσης της διεργασίας επαναψύξεως του σχ. 5.12, στα σχ. 5.19, 5.20 και 5.21. Ειδικότερα για τη θέση του θερμοκρασιακού σταθμού TC-5 έχουν χαραχθεί:

- Στο σχ. 5.19 η πρώτη χρονική παράγωγος της θερμοκρασίας,
- στο σχ. 5.20 η δεύτερη χρονική παράγωγος της θερμοκρασίας και
- στο σχ. 5.21 το θερμοκρασιακό χρονικό ιστορικό καθώς και οι πιο πάνω παράγωγοι, στο στενό χρονικό διάστημα περί τη διέλευση του υγρού μετώπου από το σταθμό TC-5. Στο ίδιο σχήμα επισημαίνονται, όπως έχουν εντοπισθεί από το πρόγραμμα H/Y:
 - η στιγμή μετάβασης στο μεταβατικό βρασμό (*transition boiling*),
 - η στιγμή μετάβασης στον εστιακό βρασμό (*nucleate boiling*) και
 - η στιγμή μετάβασης από τον εστιακό βρασμό στην περιοχή μονοφασικής μετάδοσης θερμότητας στην υγρή φάση.

Οι δύο πρώτες από τις πιο πάνω τρεις χρονικές στιγμές οριοθετούν, όπως θα καταφανεί στη συνέχεια, τη χρονική διάρκεια διέλευσης του υγρού μετώπου από το εξεταζόμενο σημείο, όπου ο θερμοκρασιακός σταθμός TC-5.

Μολονότι στην εργασία του Carbaajo [97] δεν αναφέρεται ρητά, εξυπακούεται ότι οι πιο πάνω περιοχές χαρακτηρισμού του μηχανισμού μεταδόσεως θερμότητας στο θερμοκρασιακό ιστορικό της επαναψυχόμενης ράβδου, υπαγορεύονται από τη γνωστή εξίσωση περιγραφής του μηχανισμού της επαναψύξεως και στις τρεις περιοχές (ξηρή - υγρό μέτωπο - υγρή) της επαναψυχόμενης ράβδου [51]:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{1}{a_w} \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{h (T - T_s)}{\delta_w k_w} \quad (5.19)$$

όπου:

T : η θερμοκρασία του περιβλήματος της ράβδου,

T_s : η θερμοκρασία κορεσμού του ρευστού,

z : η απόσταση από την είσοδο του καναλιού,

a_w : η θερμοκρασιακή αγωγιμότητα του περιβλήματος της ράβδου,

δ_w : το ισοδύναμο πάχος του περιβλήματος της ράβδου,

k_w : ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του περιβλήματος και

h : ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας.

Από τη σχέση (5.19) και με δεδομένο ότι τα γεωμετρικά και φυσικά χαρακτηριστικά της επαναψυχόμενης ράβδου παραμένουν τα ίδια και ανεξάρτητα της θερμοκρασίας σε όλο το μήκος της, σαφώς προκύπτει ότι η όποια μεταβολή στο χρονικό ιστορικό, οφείλεται κυρίως σε μεταβολή του συντελεστού μετάδοσης θερμότητας h . Υπενθυμίζουμε ότι ο συντελεστής αυτός λαμβάνει:

- τις προβλεπόμενες από την εξίσωση των Dittus και Boelter τιμές στην υγρή περιοχή (convective heat transfer) όπου υπάρχει μονοφασική ροή της υγρής φάσης,
- εξαιρετικά χαμηλές τιμές στην ξηρή περιοχή όπου υπάρχει πρακτικά μονοφασική ροή ατμού με ενδεχομένως σταγονίδια υγρής φάσης (πρόδρομη ψύξη, precursory cooling, post dry-out περιοχή) και
- εξαιρετικά υψηλές τιμές στην περιοχή του υγρού μετώπου όπου εμφανίζονται πρακτικά όλα τα στάδια της διφασικής ροής όπως μεταβατικός βρασμός (Transition Boiling), εστιακός βρασμός (Nucleate Boiling) κ.λ.π.

Παρατηρώντας τα σχ. 5.18 και 5.21 και λαμβάνοντας υπόψιν ότι τα όποια σημεία καμπής στα διαγράμματα οφείλονται σε μεταπτώσεις του μηχανισμού μετάδοσης θερμότητας, διαπιστώνουμε ότι το πρώτο ακρότατο (ελάχιστο) της δεύτερης παραγώγου της θερμοκρασίας οριοθετεί το σημείο εμφάνισης μεταβατικού βρασμού, ενώ το δεύτερο ακρότατο (μέγιστο) οριοθετεί το σημείο μετάβασης σε πλήρως ανεπτυγμένο εστιακό βρασμό. Η τρίτη παράγωγος της θερμοκρασίας, εάν εσχεδιάζετο, θα μας έδινε και το σημείο μετάβασης από τον εστιακό βρασμό, στη μονοφασική ροή της υγρής φάσης· η καμπύλη αυτή δεν σχεδιάστηκε για λόγους απλότητας του σχήματος, εμφανίζεται όμως στο σχήμα 5.21 το προκύπτον όριο. Είναι τόσο από φυσικής όσο και από μαθηματικής πλευράς πλήρως δικαιολογημένο να θεωρήσουμε ότι η διέλευση του υγρού μετώπου από το εξεταζόμενο σημείο στη ράβδο, εν προκειμένω από το σταθμό μετρήσεως θερμοκρασίας TC-5, διαρκεί όσο χρονικό διάστημα εξελίσσεται το φαινόμενο του μεταβατικού βρασμού στην περιοχή

του υπόψιν σταθμού μετρήσεων· δηλαδή, από το πρώτο ακρότατο (ελάχιστο) έως το δεύτερο ακρότατο (μέγιστο) της δεύτερης παραγώγου της θερμοκρασίας. Σκόπιμο είναι να επαναλάβομε εν προκειμένω, μεταφράζοντας επί λέξη ό,τι αναφέρεται στην εργασία [2] για το χαρακτηρισμό της περιοχής του υγρού μετώπου:

Εντονος μεταβατικός εστιακός βρασμός χαρακτηρίζει την περιοχή του υγρού μετώπου (sputtering region) το μήκος της οποίας είναι τυπικά αρκετά μικρό, αναφερόμενο στη βιβλιογραφία της τάξεως των 10 παχών του τοιχώματος [41] ή 1 έως 30 mm [59]. Ο μηχανισμός μετάδοσης θερμότητας στην περιοχή αυτή, παίζει τον κυρίαρχο ρόλο στο μηχανισμό ψύξεως της ράβδου και οι τοπικοί και εξαιρετικά υψηλοί ρυθμοί απαγωγής είναι αποτέλεσμα του μηχανισμού του μεταβατικού βρασμού, ο οποίος χαρακτηρίζει και το οξύτατο γόνυ της χρονικής θερμοβαθμίδας στο υγρό μέτωπο.

Τα προγράμματα grad1, grad2 και gradx τα οποία παράγουν τα γραφήματα 5.19 έως και 5.21 παρουσιάζονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΔ.

Με τη βοήθεια του διαγράμματος 5.21, μπορεί πλέον εύκολα να υπολογιστεί το μήκος του υγρού μετώπου εάν εκτιμηθεί από την παράγωγο της καμπύλης του σχ. 5.15, η ταχύτητα επαναψύξεως στο υπόψιν σημείο. Ας αναφέρομε ενδεικτικά, ότι στην περίπτωση της πειραματικής προσομοίωσης των σχ. 5.15 και 5.21, η τοπική ταχύτητα επαναψύξεως στο σημείο του TC-5 είναι 3.6 mm/s, η χρονική διάρκεια του υγρού μετώπου είναι 3.8 s κατά συνέπεια, το μήκος του υγρού μετώπου προκύπτει 13.8 mm που είναι σε συμφωνία, τόσο με τα πιο πάνω αναφερόμενα στη βιβλιογραφία όσο και με τις οπτικές παρατηρήσεις που έχουν γίνει και παρουσιάζονται στις φωτογραφίες του σχ. 5.3.

5.5.3.3 Επεξεργασία με την Παραδοχή της Ισοταχούς Κίνησης του Υγρού Μετώπου.

Στην περίπτωση υιοθέτησης της παραδοχής της ισοταχούς κινήσεως του υγρού μετώπου, κάτι που έχει γίνει σε όλες τις προηγούμενες πειραματικές εργασίες με εξαίρεση τη [2], η επεξεργασία καλείται να δώσει το χρόνο επαναψύξεως, μεταξύ δύο προκαθορισμένων σταθμών μετρήσεως επί της ράβδου. Μετά ταύτα, η ταχύτητα επαναψύξεως ή το αντίστροφο-της υπολογίζεται από τον χρόνο επαναψύξεως και τη γνωστή απόσταση μεταξύ των δύο θερμοστοιχείων, η δε αρχική θερμοκρασία της ράβδου, υπολογίζεται ως η μέση θερμοκρασία της ράβδου, προκύπτουσα από μετρήσεις σε κατά το δυνατόν περισσότερες θέσεις δειγματοληψίας, λίγο πριν από τη στιγμή επαναψύξεως του πρώτου σταθμού μετρήσεως της θερμοκρασίας. Στην περίπτωση της παρούσης εργασίας, η επεξεργασία των πειραματικών αποτελεσμάτων

μιας πειραματικής προσομοίωσης που καταγράφηκε στο αρχείο εξόδου που αναφέρθηκε ήδη στην προηγούμενη §5.5.3 γίνεται ως εξής:

1. Καθορίζονται ως θερμοκρασιακοί σταθμοί χρονόμετρησης, οι σταθμοί TC-3 και TC-11 (σχ. 3.9). Υπενθυμίζεται ότι η μεταξύ-τους απόσταση είναι 812.8 mm.
2. Η χρονική στιγμή επαναψύξεως σε κάθε ένα από τα πιο πάνω δύο θερμοστοιχεία, υπολογίζεται ως το μέσον του χρονικού διαστήματος διέλευσης του υγρού μετώπου από το αντίστοιχο θερμοστοιχείο. Υπενθυμίζεται, ότι το χρονικό αυτό διάστημα υπολογίζεται σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στην προηγούμενη §5.5.3.2 και προγραμματιστικά, ο υπολογισμός είναι εντεταγμένος στην υπορουτίνα `wet_front` που αναφέρθηκε στην προηγούμενη §5.5.3.1.
3. Η αρχική θερμοκρασία της ράβδου, υπολογίζεται ως η μέση τιμή των θερμοστοιχείων TC-4 έως και TC-11 τη χρονική στιγμή που το υγρό μέτωπο φθάνει στο θερμοστοιχείο TC-3.

Η πιο πάνω διαδικασία είναι εντεταγμένη στο πρόγραμμα FORTRAN **prog1** το οποίο εκτελεί και άλλες γενικότερες λειτουργίες που θα περιγράψουμε πιο κάτω στην §5.7.1.

5.6 Γενικά Συμπεράσματα από την Επεξεργασία των Πειραμάτων Επαναψύξεως.

Στα πλαίσια της παρούσης ΔΔ διεξήχθησαν περίπου 200 πειραματικές προσομοιώσεις του φαινομένου της επαναψύξεως. Τριάντα περίπου από αυτές τις προσομοιώσεις έγιναν σε ατμοσφαιρικές συνθήκες, ενώ οι υπόλοιπες σε περιβάλλον ατμού σε πιέσεις από 2 έως 7 bar. Η πρώτη επεξεργασία των πειραματικών αυτών προσομοιώσεων, οδήγησε σε μια σειρά από διαγράμματα, όπως εκείνα που εμφανίζονται στα σχ. 5.12, 5.13 και 5.14* με τη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε διεξοδικά στις προηγούμενες παραγράφους. Επισημαίνεται ότι το διάγραμμα 5.12 έχει προκύψει από προσομοίωση σε ατμοσφαιρικές συνθήκες, ενώ το διάγραμμα 5.14, έχει προκύψει από πειραματική προσομοίωση σε περιβάλλον ατμού και πίεση 7 bar. Όπως αμέσως προκύπτει από σύγκριση των διαγραμμάτων 5.12 και 5.14, τα υπόψιν διαγράμματα μπορούν να θεωρηθούν τυπικά και αντιπροσωπευτικά όλων των

* Τα διαγράμματα των σχ. 5.13 και 5.14 αφορούν εις το ίδιο πείραμα. Η κλίμακα του χρόνου στο σχ. 5.13 είναι όμοια με εκείνη του σχ. 5.12 για λόγους σύγκρισης των δυο πειραμάτων, που έχουν γίνει σε ακραίες συνθήκες από πλευράς πίεσεως.

διεξαχθεισών πειραματικών προσομοιώσεων της διεργασίας της επαναψύξεως. Πέραν των σχολίων που θα γίνουν στη συνέχεια, τα πιο πάνω διαγράμματα, μπορεί να συγκριθούν με αντίστοιχα διαγράμματα που αναφέρονται στη βιβλιογραφία, μερικά των οποίων ενδεικτικά και αντιπροσωπευτικά παρουσιάζονται στα σχ. 5.22 έως και 5.25.

Μια γενική παρατήρηση που επιβάλλεται να γίνει στο σημείο αυτό, αναφέρεται στις μετρητικές μεθοδολογίες των παρόντων και των αναφερομένων στη βιβλιογραφία πειραμάτων. Συγκεκριμένα, σε όλα τα αναφερόμενα στη βιβλιογραφία πειράματα με εξαίρεση εκείνα της [2], οι μετρήσεις θερμοκρασίας έχουν γίνει είτε με οπτική είτε με καταγραφή σε καταγραφικό χαρτιού. Στην εργασία [2] η οποία έχει δημοσιευθεί και ως εργασία [110] και [111], έχει χρησιμοποιηθεί αυτόματο καταγραφικό με χρήση αναλογοψηφιακού μετατροπέα αλλά όμως Off-line. Δηλαδή, κατεγράφοντο οι θερμοκρασίες αυτοματοποιημένα σε μαγνητοταινία η ανάγνωση της οποίας και η παραγωγή των γραφημάτων (σχ. 5.17) γινόταν μεταγενέστερα από τον Η/Υ.

Από το σύνολο των προαναφερθέντων διαγραμμάτων μπορεί να εξαχθούν τα εξής πρώτα συμπεράσματα, διότι σε επόμενη παράγραφο θα εξαχθούν και άλλα, σχετικά με τις πειραματικές προσομοιώσεις της διεργασίας της επαναψύξεως στα πλαίσια της παρούσης ΔΔ:

1. Τα καταγραφόμενα χρονικά διαγράμματα της θερμοκρασίας της ράβδου (σχ. 5.12 και 5.13) παρουσιάζουν την κλασσική μορφολογία των αντίστοιχων διαγραμμάτων που αναφέρονται στη βιβλιογραφία. Χαρακτηριστικά, παρατηρείται η επίδραση του φαινομένου της πρόδρομης ψύξης η οποία είναι πιο έντονη για τα θερμοστοιχεία που είναι πλέον απομακρυσμένα από το σημείο ψεκασμού, το έντονο γόνυ τη χρονική στιγμή άφιξης του υγρού μετώπου στη θέση κάθε θερμοστοιχείου, καθώς και η θερμοκρασιακή ισορροπία της ράβδου μετά την επανόψυξη στη θερμοκρασία κορεσμού του υγρού στην αντίστοιχη πίεση.
2. Οι ιδιομορφίες των πιο πάνω χρονικών διαγραμμάτων της μεταβολής της θερμοκρασίας, κατά τη χρονική διάρκεια της διέλευσης του υγρού μετώπου από τα θερμοστοιχεία, έχουν αναλυτικά σχολιαστεί στην προηγούμενη §5.5.3.2 και έχουν καταδείξει τέσσερις τουλάχιστον περιοχές όπου αναπτύσσονται μηχανισμοί μετάδοσης της θερμότητας, από την περιοχή της μονοφασικής συναγωγής υγρής φάσης, στην περιοχή εστιακού βρασμού, έντονου μεταβατικού βρασμού και μέχρι την περιοχή της μονοφασικής συναγωγής και ακτινοβολίας στον περιρρέοντα τη ράβδο ατμό, δηλαδή την περιοχή της

πρόδρομης ψύξης (post-dryout). Παρατηρούμε στο σημείο αυτό, ότι, μολονότι σχολαστικά αναζητήσαμε, δεν κατέστη εφικτό να βρούμε στη βιβλιογραφία αντίστοιχα πειραματικά προσδιοριζόμενες χρονοϊστορίες της θερμοκρασίας του περιβλήματος της επαναψυχόμενης ράβδου. Στο σχ. 5.15, παρουσιάζεται ένα επίσης τυπικό και αντιπροσωπευτικό διάγραμμα του χρόνου επαναψύξεως των 9 σταθμών μέτρησης της θερμοκρασίας επί της ράβδου. Με απλή εποπτεία στο διάγραμμα αυτό καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η ταχύτητα επαναψύξεως, ή το αντίστροφό-της, δεν παραμένει σταθερή καθόλο το μήκος της ράβδου αλλά μεταβάλλεται. Είναι μάλιστα προφανές ότι η κίνηση του υγρού μετώπου, είναι επιταχυνόμενη. Το συμπέρασμα αυτό είναι σε συνέπεια με τα αναφερόμενα στις εργασίες [2, σχ.5.26] και [51] και αποδίδεται, όπως διεξοδικά στις εργασίες αυτές αναφέρεται και αποδεικνύεται, στην πρόδρομο ψύξη η οποία άλλωστε ήταν εμφανέστατη στα διαγράμματα της παρούσης $\Delta\Delta$ όπως π.χ. των σχ.5.12 και 5.14.

Ας προστεθεί ότι, εάν δεν υπήρχε η επίδραση της πρόδρομης ψύξης, τα κεκαμμένα ευθύγραμμα τμήματα του χρονοδιαγράμματος της θερμοκρασίας προ της επαναψύξεως στο σχ. 5.12, θα ήταν οριζόντια, παράλληλα προς στο άξονα των τετμημένων. Είναι ασφαλώς θέμα προς περαιτέρω επεξεργασία η διερεύνηση τόσο του είδους κίνησης του υγρού μετώπου, όσο και των φυσικών παραμέτρων από τις οποίες εξαρτάται. Το σύνολο των μέχρι σήμερα συλλεγείσων πειραματικών προσομοιώσεων της διεργασίας της επαναψύξεως σε ατμοσφαιρικές συνθήκες και σε πίεση έως τα 7 bar προσφέρεται για την λεπτομερή αυτή επεξεργασία.

3. Από το σχ. 5.16 όπου παρουσιάζεται το θερμοκρασιακό profile κατά το μήκος της ράβδου επιτρέπεται η διαπίστωση της φυσικής συνθήκης, η οποία αποτελεί και οριακή συνθήκη όλων των έως σήμερα εμφανισθέντων λογιστικών μοντέλων πρόβλεψης της κίνησης του υγρού μετώπου, ότι δηλαδή η μεταβολή της θερμοκρασίας αμέσως πριν και αμέσως μετά το υγρό μέτωπο είναι συνεχής.
4. Από τη σύγκριση των διαγραμμάτων του σχ. 5.12 (ατμοσφαιρικές συνθήκες) και 5.13 (περιβάλλον ατμού 7 bar) που αποτελούν δύο ακραίες περιπτώσεις διερεύνησης του φαινομένου της επαναψύξεως στο ΘΥΚ, προκύπτει η αναλογία των φυσικών μηχανισμών και στις δύο περιπτώσεις, καθώς και η έντονη επίδραση στην αύξηση του ρυθμού της πρόδρομης ψύξης στην περίπτωση της ροής ατμού. Αυτό προκύπτει τόσο από την εντονότερη κλίση των ευθυγράμμων τμημάτων προ της επαναψύξεως όλων των θερμοστοιχείων της ράβδου, όσο και

από την απομάκρυνση των ευθυγράμμων αυτών τμημάτων μεταξύ τους.

5. Το διάγραμμα του σχ. 5.14 (υδρατμός, 7 bar), προσφέρεται για σύγκριση με το διάγραμμα 5.17 (Freon-113, 1.7 bar). Ας θυμίσουμε ότι αμφότερες οι πειραματικές προσομοιώσεις έχουν γίνει στο ίδιο Τμήμα Δοκιμών. Επισημαίνεται ότι η πίεση προσομοίωσης του πειράματος Freon-113 στα 1.7 bar είναι περίπου 15 bar υδρατμού. Τα δύο αυτά διαγράμματα επελέγησαν γιατί ήταν τα πλέον εγγύς από πλευράς προσομοίωσης της πίεσης μεταξύ των δύο ρευστών. Η τιμή της αδιάστατης αρχικής θερμοκρασίας των δύο πειραμάτων, η οποία αποτελεί παράγοντα φυσικής προσομοίωσης των δύο διεργασιών ορίζεται ως:

$$\theta_0 = \frac{T_0 - T_s}{T_w - T_s} \quad (5.20)$$

όπου:

T_0 : η θερμοκρασία του υγρού μετώπου (278 °C για το νερό/7 bar και 97.5 °C για το Freon-113/1.7 bar)

T_s : η θερμοκρασία κορεσμού (165 °C για το νερό/7 bar και 64.0 °C για το Freon-113/1.7 bar)

T_w : η αρχική θερμοκρασία της ράβδου (550 °C στην επανάψυξη με νερό και 175 °C στην επανάψυξη με Freon-113).

Προκύπτει ότι:

$$\theta_{0,w} = 0.294 \quad \text{και} \quad \theta_{0,F} = 0.297$$

δηλαδή πρακτικά ίσες τιμές της αδιάστατης αρχικής θερμοκρασίας.

Οι χρόνοι επαναψύξεως μεταξύ των θερμοστοιχείων TC-3 και TC-10 είναι 164s για το νερό και 202s για το Freon-113, δηλαδή το νερό επαναψύχει κατά περίπου 1.25 φορές ταχύτερα από ό,τι το Freon-113. Ας σημειωθεί ότι σύμφωνα με την τεχνική προσομοίωσης της εργασίας [111] κάτω από τις συνθήκες αυτές ανεμένετο ταχύτερη κατά 1.4 φορές επανάψυξη του νερού. Δηλαδή έχουμε απόκλιση δύο τυχόντων μεμονωμένων πειραμάτων μόλις κατά 11% του αναμενόμενου από τη βιβλιογραφία.

5.7 Επεξεργασία ενός Πειραματικού Υποσυνόλου με την Παραδοχή της Ισοταχούς Κίνησης του Υγρού Μετώπου.

Με την έννοια πειραματικό υποσύνολο (*experimental set*) αναφερόμεθα σε μια ομάδα από πειράματα προσομοιώσεως της διεργασίας της επαναψύξεως (*experimental runs*) τα οποία έχουν συλλεγεί κάτω από τις ίδιες πειραματικές συνθήκες. Από κάθε ένα αρχείο των πειραματικών αποτελεσμάτων των πειραμάτων προσομοίωσης που συνιστούν ένα πειραματικό υποσύνολο αντιλούμε, στην περίπτωση που προτιθέμεθα να αναλύσουμε τα πειράματα της επαναψύξεως με την παραδοχή της ισοταχούς κινήσεως του υγρού μετώπου, τα ζεύγη αντίστροφης ταχύτητας επαναψύξεως - αρχικής θερμοκρασίας της ράβδου, (u_i^{-1}, T_{w_i}) σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως στην §5.5.3.3. Όπως ήδη αναφέρθηκε στην §5.4, όπου έγινε η βιβλιογραφική ανασκόπηση, μια από τις βασικές σχέσεις η οποία διερευνάται σε ένα πείραμα επαναψύξεως, είναι η σχέση:

$$u^{-1} = f(T_w) \quad (5.21)$$

η οποία, σε όλα τα μέχρι σήμερα πειράματα που αναφέρονται στη βιβλιογραφία, έχει προκύψει ότι λαμβάνει τη γραμμική-εμπειρική μορφή, η οποία συμφωνεί με το μοντέλο του Yamagouchi [24] :

$$u^{-1} = a_0 + a_1 T \quad (5.22)$$

ή ισοδύναμα,

$$u^{-1} = a_1 (T_w - T_0) \quad (5.23)$$

όπου:

a_1 : ο συντελεστής επαναψύξεως και

T_0 : η θερμοκρασία υγρού μετώπου $(-a_0/a_1)$.

Επισημαίνεται ότι, από φυσικής πλευράς, οι πιο πάνω σχέσεις διατυπώνονται παραμετρικά, συναρτήσει δηλαδή των τιμών αναφοράς των λοιπών παραμέτρων οι οποίες επηρεάζουν το φαινόμενο της επαναψύξεως. Ας υπενθυμίσουμε ότι από αυτές τις παραμέτρους, εκείνες οι οποίες είναι εύκολο να μεταβληθούν ελεγχόμενα σε ένα πείραμα επαναψύξεως είναι:

- η πίεση στο Τμήμα Δοκιμών,
- η παροχή του υγρού στην είσοδο του Τμήματος Δοκιμών,
- η υπόψυξη του υγρού στην είσοδο του Τμήματος Δοκιμών και

- η παροχή του ατμού στην είσοδο του Τμήματος Δοκιμών.

Στο πείραμα το οποίο διεξήχθη στα πλαίσια της παρούσης ΔΔ έγιναν μετρήσεις σε διάφορα επίπεδα του παράγοντα "πίεση" ενώ οι τιμές των υπολοίπων παραγόντων κρατήθηκαν σταθερές ως εξής:

- Η παροχή του υγρού στην είσοδο του καναλιού: 1 lpm.
- Η υπόψυξη του υγρού στην είσοδο: 0 K.
- Η παροχή του ατμού: 0.03 kg/s

Ομως, η μέθοδος η οποία αναπτύχθηκε και δοκιμάστηκε επιτυχώς στα πλαίσια της παρούσης ΔΔ για επεξεργασία ενός πειραματικού υποσυνόλου με παραδοχή την ισοταχή κίνηση του υγρού μετώπου, είναι γενικευμένη και έχει προβλεφθεί ώστε να λειτουργεί για οποιονδήποτε από τους πιο πάνω παράγοντες. Συνοπτικά, από τις πιο πάνω επεξεργασίες προκύπτουν:

- Η γραφική απεικόνιση των σημείων (u_i^{-1}, Tw_i) , όπου Tw_i η μέση τιμή των θερμοκρασιών των θερμοστοιχείων TC-4 έως και TC-11, τη χρονική στιγμή που το υγρό μέτωπο διέρχεται από το θερμοστοιχείο 3 και u_i η μέση ταχύτητα του υγρού μετώπου μεταξύ των θερμοστοιχείων 3 και 11 (§ 5.5.3.3.).
- Η εκτίμηση της γραμμικής συσχέτισης (σχέση 5.22) και η γραφική-της απεικόνιση με παράλληλη πλήρη στατιστική ανάλυση και μελέτη διασποράς του σφάλματος σύμφωνα με όσα αναφέρονται στο [1, Κεφ.6].
- Η εκτίμηση της θερμοκρασίας υγρού μετώπου T_0 καθώς και το σφάλμα της· η T_0 υπολογίζεται με δύο τρόπους :
 - ως τομή της ευθείας αναδρομής με την $u^{-1}=10$ s/m, και
 - ως τομή της ευθείας αναδρομής με την $u^{-1}=0$ s/m.
- Υπενθυμίζεται ότι στη βιβλιογραφία, για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας υγρού μετώπου κατά τη σχέση (5.12), έχουν χρησιμοποιηθεί οι εξής τιμές αντίστροφης ταχύτητας αναφοράς:
 - για το νερό 0 s/m ([30]), 1 s/m ([41]), 2.86 s/m ([94]), 3.28 s/m ([30],[60]), 10 s/m ([59]) και
 - για το Freon-113 20 s/m ([2]).
- Οι ελλείψεις εμπιστοσύνης σε επίπεδα σημαντικότητας $\alpha=0.01$ και $\alpha=0.05$ της πιο πάνω γραμμικής αναδρομής. Υπενθυμίζεται ότι, η επιφάνεια η οποία

καλύπτεται από μια έλλειψη εμπιστοσύνης μιας γραμμικής αναδρομής, είναι, στο δοθέν επίπεδο σημαντικότητας, ο γεωμετρικός τύπος των σημείων-γραμμικών αναδρομών οι οποίες δεν διαφέρουν από την εκτιμηθείσα η οποία απεικονίζεται εις το κέντρο της ελλείψεως. Εκτενής ανάλυση σχετικά με τις δυνατότητες που παρέχουν οι απεικονίσεις των ελλείψεων εμπιστοσύνης στο πείραμα της επαναψύξεως έχει γίνει στην εργασία [50].

Προγραμματιστικά, η πιο πάνω επεξεργασία εξελίσσεται ως εξής:

1. Υποτίθεται ότι όλα τα αρχεία τα οποία συγκροτούν το πειραματικό υποσύνολο, έχουν μεταφερθεί από το PC στο Unix και ευρίσκονται σε ένα κατάλληλο directory το οποίο δημιουργείται σύμφωνα με τη φιλοσοφία η οποία αναφέρεται στην επόμενη §5.7.1.
2. Ένα Unix μακρο-πρόγραμμα (*prog1*) έχει την ευθύνη της αναζήτησης των αρχείων καταγραφής των αποτελεσμάτων των πειραματικών προσομοιώσεων της επαναψύξεως και της κατ' ακολουθίαν κλήσης του προγράμματος FORTRAN *prog1*.
3. Το πρόγραμμα FORTRAN *prog1* αναλαμβάνει την ευθύνη της επεξεργασίας καθενός των αρχείων καταγραφής των πειραματικών αποτελεσμάτων. Με βάση την παραδοχή της ισοταχούς κινήσεως του υγρού μετώπου, καταχωρεί τα ζεύγη των πειραματικών σημείων (u_i^{-1}, Tw_i) σε ένα αρχείο άμεσης προσπέλασης με την ονομασία *RESULTS*. Επιπλέον το *prog1* κάνει την πλήρη στατιστική επεξεργασία όλων των πειραματικών αποτελεσμάτων του αρχείου *RESULTS*.
4. Ένα πρόγραμμα FORTRAN με ονομασία *prog2*, εμφανίζει ή και τυπώνει το περιεχόμενο του αρχείου *RESULTS* στην περίπτωση που ο χρήστης θέλει να έχει μια άμεση εποπτεία των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας του υποσυνόλου, με βάση την παραδοχή της ισοταχούς κίνησης του υγρού μετώπου.
5. Τέλος, ένα πρόγραμμα FORTRAN (*quasi_st*) το οποίο κάνει εκτενείς κλήσεις των βιβλιοθηκών γραφικών *Starbase* του Unix, διαβάζει το αρχείο *RESULTS* και στη συνέχεια, αναλαμβάνει το έργο όλων των γραφικών απεικονίσεων οι οποίες προαναφέρθηκαν.

Στις παραγράφους που ακολουθούν, θα δώσουμε περισσότερα στοιχεία για τα πιο πάνω προγράμματα, τα κείμενα των οποίων δίδονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΕ. Ο σχολιασμός όλων των γραφημάτων και των αποτελεσμάτων από την επεξεργασία αυτή και η εξαγωγή των συναφών συμπερασμάτων, γίνεται στην §5.8 που ακολουθεί.

5.7.1 Δομή Αρχαιοθέτησης και Προγράμματα Στατιστικής Επεξεργασίας των Αρχείων με τις Πειραματικές Προσομοιώσεις.

Αναφέραμε προηγουμένως στην §5.5.3 σχετικά με τη μεταφορά ενός αρχείου με πειραματικά αποτελέσματα προσομοιώσεων του φαινομένου της επαναψύξεως (*experimental runs*) από το PC, όπου συλλέχθηκαν, στον HP-9000/370 όπου γίνεται η επεξεργασία τους. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, για την υποδοχή και κατάταξη των αρχείων των πειραματικών αποτελεσμάτων στον HP-9000/370, έχει δημιουργηθεί ειδική δένδροειδής δομή από subdirectories κάτω από το directory **data** ως εξής:

Υπάρχουν 7 directories με τον κωδικό:

Pnn

όπου:

P : Κωδικός που αναφέρεται στην εξεταζόμενη παράμετρο της πίεσης (Pressure) και

nn : Διψήφιος ακέραιος που αναφέρεται στο επίπεδο του παράγοντα:

01=1 bar

02=2 bar κ.λ.π.

Μέσα σε κάθε directory πίεσης, υπάρχουν 16 directories με τον κωδικό:

wnn

όπου:

w : Κωδικός που αναφέρεται στην παράμετρο της παροχής του υγρού (liquid flowrate) και

nn : Διψήφιος ακέραιος που αναφέρεται στο επίπεδο της παροχής:

01=1 lpm

02=2 lpm κ.λ.π.

Μέσα σε κάθε directory παροχής υγρού, υπάρχουν τρία directories με τον κωδικό:

dhnnn

όπου:

dh : Κωδικός που αναφέρεται στην παράμετρο της υπόψυξης του υγρού στην είσοδο και

nnh : Τριψήφιος ακέραιος που αναφέρεται στο επίπεδο της υποψύξεως:

000=0 K

010=10 K

110=-10 K

Τέλος, μέσα σε κάθε directory υπόψυξης, υπάρχει ένα -προς το παρόν- directory με τον κωδικό:

snn

όπου:

s : Κωδικός που αναφέρεται στην παράμετρο της παροχής του ατμού στην είσοδο και

nn : Διψήφιος ακέραιος που αναφέρεται στο επίπεδο της παροχής του ατμού σε % της βαθμονομημένης κλίμακος του αντίστοιχου ροομέτρου πλωτήρος (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ). Ενδεικτικά αναφέρεται η τιμή 100% = 0.3 kg/s.

Εξυπακούεται ότι τελικά, τα αρχεία με τα αποτελέσματα των πειραματικών προσομοιώσεων αποτίθενται στα directories snn κατά περίπτωση. Ως παράδειγμα, το αρχείο **13041052.94** (πίεση 1 bar, παροχή υγρού 1 lpm, υπόψυξη 0 K, παροχή ατμού 10%) αποθηκεύεται στο directory:

data/p01/w01/dh000/s10

Κάθε ένα αρχείο με τα αποτελέσματα μιας πειραματικής προσομοίωσης αποθηκεύεται στο χαμηλότερο directory της δενδροειδούς δομής, δηλ. ένα από τα directories snn ανάλογα με τις πειραματικές συνθήκες κατά τις οποίες διεξήχθη το πείραμα.

Από την ανωτέρω περιγραφή γίνεται κατανοητό ότι για να γίνει επεξεργασία ενός συνόλου πειραματικών αποτελεσμάτων των οποίων τα αρχεία πιθανόν ευρίσκονται σε διαφορετικά directories, απαιτείται η ύπαρξη μιας τεχνικής αναζήτησης. Για το λόγο αυτό έχουν συνταχθεί τα προγράμματα που θα περιγραφούν στη συνέχεια.

Το πρόγραμμα *pr1* που έχει την ευθύνη όλου του συντονισμού, είναι ένα Macro-πρόγραμμα Unix (script), ενώ τα υπόλοιπα είναι προγράμματα γραμμένα σε γλώσσα FORTRAN. Ο χρήστης έχει την ευθύνη της κλήσεως του προγράμματος *pr1*, το οποίο:

- Σαρώνει όλα τα subdirectories του directory *data* κατασκευάζοντας σε κάθε ένα από αυτά ένα αρχείο με την ονομασία *lista* και περιεχόμενο, κατάλογο με τα ονόματα όλων των αρχείων αποτελεσμάτων που βρίσκονται στο υπόψιν subdirectory.
- Αμέσως μετά την κατασκευή του κάθε αρχείου *lista*, το μάκρο-πρόγραμμα *pr1*, καλεί το FORTRAN πρόγραμμα *prog1*, το οποίο συμβουλευεται από το αρχείο *lista* τα ονόματα των αρχείων αποτελεσμάτων που βρίσκονται στο υπόψιν subdirectory και προσαρτά στο unformatted αρχείο άμεσης προσπέλασης **data/RESULTS** δύο records:
 - Το πρώτο record περιέχει όλες τις τιμές των καταγραφέντων φυσικών μεγεθών που συγκροτούν τις πειραματικές συνθήκες υπό τις οποίες διεξήχθη το αντίστοιχο πείραμα, καθώς και τα αποτελέσματα των γραμμικών προσαρμογών των ζευγών των πειραματικών σημείων (u_i^{-1}, Tw_i) , που παρήχθησαν από την πιοκάτω αναφερόμενη ρουτίνα *lstf* και τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα για το πρόγραμμα γραφικής επεξεργασίας *quasi_st* που περιγράφεται πιοκάτω.
 - Το δεύτερο record περιέχει τα ζεύγη (u_i^{-1}, Tw_i) τα οποία κατασκευάζονται σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στην §5.7.

Πέραν της ενημέρωσης του αρχείου *data/RESULTS* τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης, με εξαίρεση μόνον όσα στοιχεία αφορούν τη σχεδίαση των ελλείψεων εμπιστοσύνης, καταχωρούνται σε αρχεία ASCII με ονομασία:

outprn,

όπου:

n : Η πίεση στην οποία αντιστοιχούν τα περιεχόμενα αποτελέσματα.

προκειμένου να τα μελετήσει ο χρήστης σε φιλική γι' αυτόν απεικόνιση. Μια εκτύπωση του αρχείου αυτού για την περίπτωση:

- Πίεση 1 bar,
- Παροχή υγρού 1 lpm
- Υπόψυξη στην είσοδο 0 K και
- Παροχή ατμού 10%,

δίδεται στον Πίνακα 5.1. Είναι περιττό να σχολιαστεί οτιδήποτε στον πίνακα αυτόν διότι υπάρχουν επεξηγηματικοί τίτλοι.

Ας αναφερθεί ότι το πρόγραμμα *drog1* συγκροτείται, από τις πιο κάτω υπορουτίνες:

- **ins1**: Υπορουτίνα η οποία εκτελεί τις μετατροπές των ψηφιακών πληροφοριών σε τιμές του αντίστοιχου φυσικού μεγέθους.
- **tempj**: Υπορουτίνα η οποία μετατρέπει την θερμοηλεκτρική τάση σε θερμοκρασία για θερμοστοιχεία τύπου J με την προϋπόθεση ότι έχει γίνει ήδη αντιστάθμιση της τάσης αναφοράς των αγωγών του θερμοστοιχείου.
- **wet_front**: Υπορουτίνα υπολογισμού της χρονικής διάρκειας της διέλευσης του υγρού μετώπου από ένα θερμοστοιχείο.
- **1stf**: Υπορουτίνα η οποία εκτελεί γραμμική προσαρμογή των ζευγών (u_i^{-1}, Tw_i) και υπολογίζει τις τιμές όλων των στατιστικών δεικτών που χαρακτηρίζουν την ποιότητα της προσαρμογής. Η εν λόγω υπορουτίνα αποτελεί προσαρμοσμένη στις παρούσες ανάγκες μορφή του του προγράμματος *1stfit* [1].

Πέραν του προγράμματος *drog1*, έχει κατασκευασθεί και το πρόγραμμα *drog2* το οποίο αποτελείται από μια υπορουτίνα με την ονομασία *ins2*. Το πρόγραμμα διαβάζει το αρχείο *RESULTS* και ανάλογα εμφανίζει ή τυπώνει το περιεχόμενό-του σε μορφή φιλική για το χρήστη προκειμένου να τον διευκολύνει να προβεί σε ενδεχόμενα επιθυμητές επαληθεύσεις.

5.7.2 Πρόγραμμα για την Απλή ή την Παραμετρική Γραφική Επεξεργασία Πειραματικών Υποσυνόλων.

Στην παράγραφο αυτή θα παρουσιάσουμε το πρόγραμμα *quasi_st* με το οποίο γίνεται η πιο κάτω περιγραφόμενη γραφική επεξεργασία είτε ενός πειραματικού υποσυνόλου είτε περισσότερων πειραματικών υποσυνόλων, τα οποία ο χρήστης έχει ήδη επεξεργαστεί από στατιστικής πλευράς με το πρόγραμμα *dr1(drog1)* και έχει ήδη καταχωρήσει τα αποτελέσματά-τους στο αρχείο *data/RESULTS*. Επισημαίνουμε από το σημείο αυτό, ότι ο χρήστης μπορεί να επεξεργαστεί τα αποτελέσματα είτε ενός μόνο πειραματικού υποσυνόλου, οπότε πρόκειται για απλή επεξεργασία, είτε ενός επιλεγμένου πλήθους υποσυνόλων οπότε πρόκειται για παραμετρική γραφική επεξεργασία με βάση την παράμετρο κάθε φορά που τον ενδιαφέρει. Στα πειράματα που εκτελέστηκαν στα πλαίσια της παρούσης ΔΔ η παραμετρική επεξεργασία έγινε ως προς την πίεση και κατά συνέπεια τα αντίστοιχα παραμετρικά γραφήματα θα κατασκευασθούν για διάφορα επίπεδα του παράγοντα πίεση. Τις πιο πάνω επιλογές-του ο χρήστης μπορεί να κάνει με τη βοήθεια ενός πολύ φιλικού menu το οποίο διαθέτει το πρόγραμμα. Ας δούμε τώρα, ενδεικτικά, τα γραφήματα τα οποία

παράγει το πρόγραμμα *quasi_st*:

- Στο γράφημα του σχ. 5.27, παρουσιάζονται τα ζεύγη των πειραματικών σημείων ($u_i^{-1}, T_{w,i}$) καθώς και η γραμμική αναδρομή-τους όπως προκύπτει από την προσαρμογή των πειραματικών σημείων που βρίσκονται στην περιοχή της επαναψύξεως, η οποία όπως φαίνεται στο προκείμενο σχήμα έχει καθορισθεί από το χρήστη άνω του ορίου των 10 s/m. Ο χρήστης δηλαδή, έχει την ευχέρεια να ορίσει το όριο της ταχύτητας άνω της οποίας η κίνηση του film καθορίζεται από υδροδυναμικούς μηχανισμούς (*ελεύθερα πύπτον film, free falling film*), και, συνεπώς, κάτω της οποίας κυριαρχούν τα θερμοεπιφανειακά φαινόμενα, οπότε έχουμε την περίπτωση της διεργασίας της επαναψύξεως. Στην κορυφή του γραφήματος αναφέρονται οι πειραματικές συνθήκες, δηλαδή τα επίπεδα των παραγόντων του υπόψιν υποσυνόλου πειραματικών προσομοιώσεων, καθώς και οι εκτιμήσεις (*predictions*) της θερμοκρασίας του υγρού μετώπου, όπως υπολογίζεται τόσο από την τιμή της αναδρομής:

$$\text{για } u^{-1} = 0 \quad : T_0(0)=238 \text{ }^\circ\text{C} \quad (5.24)$$

όσο και από την τιμή της αναδρομής:

$$\text{για } u^{-1} = 10 \text{ s/m} : T_0(10)=251 \text{ }^\circ\text{C} \quad (5.25)$$

Στα γραφήματα των σχ. 5.28 έως και 5.33 παρουσιάζονται οι αντίστοιχες με την πιο πάνω γραφικές απεικονίσεις για επίπεδα του παράγοντα "πίεση" από 2 έως και 7 bar αντίστοιχα.

- Στο σχ. 5.34 παρουσιάζεται η παραμετρική χάραξη των επτά πειραματικών υποσυνόλων που διεξήχθησαν για τη μελέτη της επίδρασης του παράγοντα "πίεση". Βλέπομε στην κορυφή του σχήματος αυτού ότι, δίπλα στην ένδειξη *πίεση* (Pressure) υπάρχει η ένδειξη *Parameter*, ενώ στο δεξί περιθώριο του σχήματος, υπάρχουν με τον κατάλληλο χρωματικό κώδικα, τα επίπεδα του παράγοντα "πίεση". Είναι φανερό ότι στο σχήμα αυτό, αφαιρέθησαν τα πειραματικά σημεία για λόγους βελτίωσης της εποπτείας. Τα αντίστοιχα συγκεντρωτικά αποτελέσματα της σχετικής στατιστικής επεξεργασίας παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.2. Από ό,τι φαίνεται στον πίνακα, οι εκτιμήσεις των παραμέτρων της αναδρομής επαναψύξεως συνοδεύονται από μικρά σφάλματα, ενώ μικρές είναι και οι τιμές της μέσης τετραγωνικής απόκλισης της αναδρομής (*rms*). Δυστυχώς, στα αναφερόμενα στη βιβλιογραφία αντίστοιχα πειράματα δεν υπάρχουν δείκτες στατιστικής αξιοπιστίας, ώστε να μπορεί να γίνουν οι σχετικές συγκρίσεις, εκτός της περιπτώσεως της εργασίας [2] η

οποία όμως αναφέρεται σε άλλο ψυκτικό μέσον (Freon-113).

- Στο σχ. 5.35 παρουσιάζονται οι ελλείψεις εμπιστοσύνης που αναφέρονται στο παραμετρικό υποσύνολο για πίεση $P=1$ bar. Από ό,τι φαίνεται, η διασπορά της εκτιμήσεως των α_0 και α_1 είναι αρκετά μικρή
- Στα σχ. 5.36 και 5.37 έχουν χαραχθεί οι ελλείψεις εμπιστοσύνης των παραμετρικών ευθειών αναδρομής του σχ. 5.34 σε επίπεδα σημαντικότητας $\alpha=0.05$ και $\alpha=0.01$ αντίστοιχα. Ας επαναλάβουμε ότι η λογική της κατασκευής και της ερμηνείας των ελλείψεων εμπιστοσύνης γίνεται διεξοδικά στην εργασία [50].

Το πρόγραμμα *quasi_st* συγκροτείται από την ομώνυμη ρουτίνα του κυρίως προγράμματος και τις υπορουτίνες-του που έχουν ως εξής:

- **quasi_st**: Το κυρίως πρόγραμμα. Εμφανίζει φιλικό menu και ζητά πληροφορίες για τον τύπο και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του γραφήματος που είναι επιθυμητό να χαραχθεί.
- **steady**: Υπορουτίνα η οποία συντονίζει την κλήση των λοιπών υπορουτινών για συγκρότηση του γραφήματος.
- **single**: Υπορουτίνα βοηθητική της προηγούμενης, η οποία καλεί τις κατάλληλες υπορουτίνες για τη χάραξη μιας μόνο ευθείας με τα σημεία της, καθώς και τις ελλείψεις εμπιστοσύνης σε επίπεδα σημαντικότητας $\alpha=0.01$ και $\alpha=0.05$.
- **paramplot**: Υπορουτίνα βοηθητική της *steady*, η οποία καλεί τις κατάλληλες υπορουτίνες για την παραμετρική χάραξη των ευθειών και των ελλείψεων εμπιστοσύνης.
- **cl**: Υπορουτίνα καθαρισμού της οθόνης.
- **max_min**: Υπορουτίνα προσδιορισμού των ορίων του γραφήματος.
- **xy_max**: Υπορουτίνα υπολογισμού του μεγαλύτερου ενός πίνακα αριθμών.
- **xy_min**: Υπορουτίνα υπολογισμού του μικρότερου ενός πίνακα αριθμών.
- **ini**: Υπορουτίνα αρχικοποίησης του σχεδιαστικού Utility της Starbase.
- **Print_Axis**: Υπορουτίνα κατασκευής του σχεδιαστικού πλαισίου και των αξόνων.
- **tics_lin**: Υπορουτίνα σχεδίασης ενός άξονα.

- **main_x_title**: Υπορουτίνα εμφάνισης του τίτλου του άξονα-Χ.
- **main_y_title**: Υπορουτίνα εμφάνισης του τίτλου του άξονα-Υ.
- **diagram_title**: Υπορουτίνα εμφάνισης του κύριου τίτλου του διαγράμματος.
- **ch_typ**: Υπορουτίνα επιλογής τύπου γραμμής (συμπαγής, διακεκομμένη, κ.λ.π.).
- **marks**: Υπορουτίνα εμφάνισης ενός σημείου (συμπαγούς).
- **labels**: Υπορουτίνα εμφάνισης επεξηγηματικών σχολίων.
- **final**: Υπορουτίνα πέρατος της σχεδιαστικής διαδικασίας και κατασκευής αρχείου το οποίο περιέχει το γράφημα, εάν έτσι έχει επιλεγεί από τον χρήστη.
- **color**: Υπορουτίνα επιλογής χρώματος σχεδίασης.
- **elcomp**: Υπορουτίνα υπολογισμού συντεταγμένων των ελλείψεων εμπιστοσύνης.
- **elplot**: Υπορουτίνα αποτύπωσης των ελλείψεων εμπιστοσύνης.
- **fdistr**: Υπορουτίνα υπολογισμού της παραμέτρου F_p της κατανομής F .
- **param**: Υπορουτίνα εμφάνισης σχολίων.
- **lin**: Υπορουτίνα χάραξης μιας γραμμής.

θα πρέπει, στο σημείο αυτό, να τονισθεί ότι η επιλογή κατάλληλου χρωματικού κώδικα όπου απαιτήθηκε, έγινε με τη βοήθεια του προγράμματος **palet**, το κείμενο του οποίου παρατίθεται στο *ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΣΤ*.

5.8 Συμπεράσματα από την Πειραματική Μελέτη της Επαναψύξεως σε Ατμοσφαιρικές Συνθήκες και υπό Πίεση Ατμού 2 έως 7 bar.

Θα παρουσιάσουμε στην παράγραφο αυτή, τα συμπεράσματα από την πειραματική μελέτη της διεργασίας της επαναψύξεως, που έγινε στα πλαίσια της παρούσης ΔΔ. Ας υπενθυμίσουμε ότι η υπόψιν πειραματική μελέτη έγινε τόσο σε ατμοσφαιρικές συνθήκες, όσο και σε περιβάλλον ατμού σε πίεση 2 έως 7 bar χρησιμοποιώντας και στις δύο περιπτώσεις το ίδιο Τμήμα Δοκιμών. Ας επαναλάβουμε τέλος, ότι παρόμοιο πείραμα για τη διερεύνηση του φαινομένου, τόσο σε ατμοσφαιρικές συνθήκες όσο και σε περιβάλλον ατμού υπό πίεση, χρησιμοποιώντας το ίδιο Τμήμα Δοκιμών,

μολονότι σχολαστικά αναζητήθηκε δεν ανευρέθη στη βιβλιογραφία.

Από τα σχήματα 5.27 έως 5.33 όπου απεικονίζονται όλα τα πειραματικά σημεία τόσο σε ατμοσφαιρικές συνθήκες (σχ. 5.27) όσο και σε περιβάλλον ατμού σε πιέσεις από 2 έως 7 bar, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

1. Κατά τη διεργασία της επαναψύξεως όπως μελετήθηκε στο παρόν πείραμα, δικαιολογείται γραμμική εξάρτηση μεταξύ της αντίστροφης ταχύτητας επαναψύξεως (u^{-1}) και της αρχικής θερμοκρασίας της ράβδου (T_w) πάνω από μια οριακή τιμή της αντίστροφης ταχύτητας επαναψύξεως η οποία φαίνεται να κυμαίνεται μεταξύ 10 s/m και 20 s/m. Κάτω της οριακής αυτής τιμής, η πτώση του film φαίνεται να υπακούει τους γνωστούς νόμους της υδροδυναμικής για τα ελεύθερα πιπτοντα films ενώ άνω της τιμής αυτής, φαίνεται ότι υπακούει πλήρως εις τους θερμοεπιφανειακούς μηχανισμούς που συνεπάγεται το φαινόμενο του sputtering. Υπάρχουν οι ενδείξεις ότι η οριακή αντίστροφη ταχύτητα είναι υψηλότερη (περίπου 20 s/m) για τα πειράματα στην ελεύθερη ατμόσφαιρα ενώ χαμηλότερη (10 s/m) για τα πειράματα υπό πίεση ατμού. Το θέμα του λεπτομερειακού προσδιορισμού του πιο πάνω ορίου φαίνεται ότι χρειάζεται συστηματική πειραματική διερεύνηση.
2. Η προηγούμενη γραμμική εξάρτηση του αντιστρόφου της ταχύτητας επαναψύξεως από τη θερμοκρασία του τοιχώματος, συμφωνεί πλήρως τόσο με ό,τι προβλέπεται από το μοντέλο του Yamagouchi [24] όσο και με όλα τα προηγηθέντα πειράματα:
 - Για νερό σε ατμοσφαιρικές συνθήκες (σχ. 5.5, 5.6 & 5.7)
 - Για νερό σε περιβάλλον υδρατμού (σχ. 5.7, 5.8, 5.9, 5.10, 5.11)
 - Για λοιπά υγρά προσομοίωσης όπως το Freon-113 (σχ. 5.38)

Από εποπτική σύγκριση μεταξύ των πιο πάνω αναφερομένων στη βιβλιογραφία γραφημάτων και των γραφημάτων της παρούσης εργασίας, προκύπτει ότι μολονότι τα μεγέθη δείγματος της παρούσης εργασίας είναι μεγαλύτερα, εμφανίζεται αρκετά μικρότερη διασπορά των σημείων με εξαίρεση ίσως τα γραφήματα της εργασίας [2] όπου μάλλον φαίνεται ότι υπάρχουν μικρότερες διασπορές, αλλά βέβαια αφορούν σε ένα άλλο υγρό το οποίο συμπεριφέρεται διαφορετικά, δηλαδή ψύχει αρκετά βραδύτερα απ' ό,τι το νερό, οπότε δικαιολογούνται οι μικρότερες διασπορές. Ας σημειωθεί ότι σε κανένα από τα προηγούμενα πειράματα, με εξαίρεση το [2], δεν αναφέρονται ρητά οι τιμές RMS των προσαρμογών που έχουν γίνει ώστε να μπορεί να γίνει και

αριθμητική σύγκριση.

Απ' ό,τι φαίνεται από τις δύο επεξεργασίες στο 1 bar (πίνακας 5.2) στην περίπτωση του ορίου αντίστροφης ταχύτητας επαναψύξεως 20 s/m η τιμή RMS είναι πολύ υψηλότερη εξαιτίας των τριών-τεσσάρων πρώτων πειραματικών σημείων τα οποία έχουν τιμές αντίστροφης ταχύτητας επαναψύξεως κάτω των 20 s/m. Απεναντίας, σε όλες τις άλλες πιέσεις, η προσαρμογή με όριο τα 10 ή 20 s/m δεν έδωσε αποτελέσματα που να διαφέρουν σημαντικά από στατιστικής πλευράς. Αυτό οδηγεί στην πρώτη ιδιαιτερότητα η οποία διαπιστώνεται ότι υπάρχει μεταξύ της επαναψύξεως σε ατμοσφαιρικές συνθήκες και σε συνθήκες περιβάλλοντος ατμού: το όριο μετάπτωσης από την υδροδυναμικά ελεγχόμενη διεργασία (*ελεύθερο film, free falling film*) στην θερμοεπιφανειακά ελεγχόμενη (*φαινόμενο sputtering*) φαίνεται ότι συμβαίνει σε χαμηλότερες ταχύτητες στην περίπτωση της ατμοσφαιρικής διεργασίας από ό,τι στην περίπτωση της διεργασίας σε περιβάλλον ατμού. Όπως ήδη επισημάναμε, το φαινόμενο αυτό χρειάζεται συστηματική διερεύνηση και η παρούσα πειραματική εγκατάσταση προσφέρεται για το σκοπό αυτό. Στον πίνακα 5.2 παρουσιάζουμε τις θερμοκρασίες του υγρού μετώπου στις διάφορες πιέσεις, αποδεχόμενοι, για τον υπολογισμό αυτό, τη βιβλιογραφική παραδοχή για την τομή της ευθείας αναδρομής με τον άξονα των τετμημένων. Δηλαδή η θερμοκρασία υγρού μετώπου υπολογίζεται από τη σχέση:

$$T_0 = - \frac{a_0}{a_1} \quad (5.26)$$

όπου a_0 και a_1 οι παράμετροι της γραμμικής αναδρομής της επαναψύξεως, (σχέση 5.22).

Κατ' ακολουθίαν το σχετικό σφάλμα-της (C_T) υπολογίζεται από τα σχετικά σφάλματα των a_0 και a_1 ως [1]:

$$C_T^2 = C_{a_0}^2 + C_{a_1}^2 \quad (5.27)$$

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών αυτών παρουσιάζονται στον ίδιο πίνακα 5.2. Στο σχ. 5.39 έχουν χαραχθεί οι τιμές της διαφοράς της θερμοκρασίας υγρού μετώπου-θερμοκρασίας κορεσμού συναρτήσει της πίεσης. Προσπάθειες που έγιναν για προσαρμογή σε διάφορες συναρτήσεις υπήρξαν ανεπιτυχείς. Αρα, από τα παρόντα πειράματα, όπως άλλωστε έχει προκύψει από όλα τα αναφερόμενα στη βιβλιογραφία, δεν συνάγεται κάποια νομοτελειακή εξάρτηση μεταξύ θερμοκρασίας υγρού μετώπου και πίεσης επαναψύξεως. Κατά συνέπειαν η διαφορά: *θερμοκρασία υγρού μετώπου - θερμοκρασία κορεσμού* από τα υπόψιν πειράματα μπορεί να υπολογιστεί ως η μέση τιμή των επτά πειραματικών υποσυνόλων, παρέχουσα ως

αποτέλεσμα :

$$\bar{T}_0 = 110 \pm 22 \text{ }^\circ\text{C} \quad (\text{περιοχή: } 72\text{-}139 \text{ }^\circ\text{C}) \quad (5.28)$$

Η πιο πάνω τιμή, μπορεί να συγκριθεί με τις αναφερόμενες στη βιβλιογραφία:

Bennett et al [30]	Steam	81-102 °C
Elliott et al [61]	Steam	100 °C
Yu et al [38]	Steam/Atmospheric	80 °C
Piggott et al [90]	Steam/Atmospheric	100 °C
Duffey et al [64]	Atmospheric	50-175 °C

Από την επεξεργασία των επτά πειραματικών υποσυνόλων σε ατμοσφαιρικές συνθήκες (1 bar) και σε περιβάλλον ατμού (2 έως 7 bar) προέκυψαν οι ευθείες αναδρομής της επαναψύξεως οι οποίες παρουσιάζονται στο σχ. 5.34. Τα στατιστικά αποτελέσματα των επτά αυτών αναδρομών παρέχονται στον πίνακα 5.2. Η στατιστική αυτή επεξεργασία έχει γίνει με βάση το όριο αντίστροφης ταχύτητας επαναψύξεως των 10 s/m με εξαίρεση την περίπτωση του ατμοσφαιρικού πειράματος οπότε έχουν γίνει δύο επεξεργασίες των 10 και 20 s/m γι' αυτό άλλωστε η πίεση της μιάς ατμόσφαιρας $P=1$ bar εμφανίζεται δύο φορές στον πιο πάνω πίνακα. Από την εποπτεία στο σχ. 5.34 και στα σχ. 5.36 και 5.37 όπου έχουν χαραχθεί οι ελλείψεις εμπιστοσύνης των επτά αναδρομών, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

1. Είναι φανερό ότι η πίεση επαναψύξεως είναι παράμετρος που επιδρά στην ταχύτητα επαναψύξεως και μάλιστα, τόσο εντονότερα, όσο μειώνεται η πίεση.
2. Υπάρχει, όπως άλλωστε φαίνεται, στα σχ. 5.36 και 5.37, μια μεγάλη διαφορά στο βαθμό επίδρασης της πίεσης μεταξύ των ατμοσφαιρικών πειραμάτων (1 bar) και των πειραμάτων σε περιβάλλον υδρατμού (2 - 7 bar).
3. Η χαλάρωση στην επίδραση της πίεσης που παρατηρείται στις υψηλότερες πιέσεις, αφήνει μικρές ίσως υπόνοιες για έλλειψη στατιστικά δικαιολογημένης επίδρασης όταν η πίεση μεταβάλλεται κατά 1 bar, π.χ. είναι εμφανείς μερικές μικρές επικαλύψεις που υπάρχουν στις ελλείψεις εμπιστοσύνης των 3 έως 7 bar. Δυστυχώς, τα ευρήματα αυτά δε μπορεί να συγκριθούν με αντίστοιχα της βιβλιογραφίας, διότι σε προηγούμενες βιβλιογραφικές αναφορές δεν έχει υπάρξει τέτοιου είδους λεπτομερής στατιστική ανάλυση και σύγκριση.
4. Από τα δεδομένα του πίνακα 5.2 απεικονίζεται στο σχ. 5.40 η μεταβολή του

συντελεστή επαναψύξης a_1 συναρτήσει της πίεσης, τόσο για το πείραμα σε ατμοσφαιρικές συνθήκες όσο και για τα πειράματα σε περιβάλλον ατμού. Υπενθυμίζεται ότι ο πιο πάνω συντελεστής επαναψύξεως είναι ο συντελεστής της γραμμικής αναδρομής-εμπειρικής συσχέτισεως επαναψύξεως:

$$u^{-1} = a_0 + a_1 T_w = a_1 (T_w - T_0) \quad (5.29)$$

Από την εμφάνιση των πειραματικών σημείων σε περιβάλλον ατμού φαίνεται ότι δικαιολογείται η αναζήτηση αναδρομής σε δυναμικό μοντέλο της μορφής:

$$y = ax^b \quad (5.30)$$

όπου:

$y_i = a_{1i}$, ($i=2,7$ bar) οι τιμές των συντελεστών επαναψύξεως και

$x_i = P_i$ οι αντίστοιχες πιέσεις.

Η αναδρομή αυτή έγινε με το πρόγραμμα αριθμητικής επίλυσης του μη γραμμικού συστήματος των κανονικών εξισώσεων *REGRES(FITFILE)* της εργασίας [2], τα αναλυτικά δε αποτελέσματά-της παρουσιάζονται στον πίνακα 5.3. Από την ικανοποιητική τιμή του συντελεστή συσχέτισεως (*correlation coef.* = 0.84) καθώς και από τη χαμηλή τιμή του συντελεστή RMS (7.7%), διαπιστώνομε ότι, δικαιολογείται αναδρομή, στις περιπτώσεις επαναψύξεως σε περιβάλλον ατμού, της μορφής:

$$y = 0.4 P^{-0.22} \quad (5.31)$$

Έγινε επίσης μια προσπάθεια να συμπεριληφθεί στην προσαρμογή και το σημείο του ατμοσφαιρικού πειράματος, πλην όμως απέτυχε διότι δεν βρέθηκε κανένα μοντέλο στο οποίο να μπορούν να προσαρμόζονται τα επτά αυτά πειραματικά σημεία. Κατά συνέπεια, έχουμε τη δεύτερη ισχυρή ένδειξη, ότι οι φυσικοί μηχανισμοί της επαναψύξεως σε ατμοσφαιρικό περιβάλλον, για κάποιο λόγο διαφέρουν από τους φυσικούς μηχανισμούς σε περιβάλλον ατμού, κάτι που είχε έντονα προβληματίσει τους ερευνητές της εργασίας [50]. Ας σημειωθεί ότι οι ερευνητές αυτοί, είχαν μεν ενδείξεις αλλά δεν είχαν αποτελέσματα από πείραμα ατμοσφαιρικό και σε περιβάλλον ατμού στο ίδιο Τμήμα Δοκιμών, ώστε να μπορούν τεκμηριωμένα να στηρίξουν τους προβληματισμούς-τους αυτούς. Η πιο πάνω αναδρομή, (σχέση 5.26) επιτρέπει την επαναδιατύπωση της αναδρομής της επαναψύξεως (σχέση 5.23) ως εξής:

$$u^{-1} = a_1 (T_w - T_0) = A(P) (T_w - T_0) \quad (5.32)$$

όπου:

$$A(P) = 0.4 P^{-0.22}$$

Δηλαδή τελικά:

$$u^{-1} = 0.4 P^{-0.22} (T_w - T_0) \quad (5.33)$$

Αντίστοιχες πειραματικές συσχετίσεις σε περιβάλλον ατμού έχουν εκτιμηθεί στην εργασία [61] (σχέσεις 5.8, 5.9 και 5.10 της παρούσης).

Από τη σύγκριση προκύπτει ότι οι συσχετίσεις των πειραμάτων της παρούσης ΔΔ, στην περιοχή πιέσεων 2 έως 7 bar, συμπίπτουν πρακτικά απολύτως με εκείνες των Elliott και Rose [29], [61] που έγιναν πριν από 21 χρόνια σε πιέσεις 3.43 έως 52.8 bar. Κατά συνέπεια, δικαιολογείται πλέον η επέκταση της συσχέτισης των Elliott και Rose (σχέση 5.10) μέχρι τα 2 bar.

5. Μια προσπάθεια επιπλέον σύγκρισης των πειραμάτων της παρούσης εργασίας, σε ατμοσφαιρικές συνθήκες και σε περιβάλλον ατμού, με εκείνες που ανευρίσκονται στη Βιβλιογραφία παρουσιάζεται στην επόμενη παράγραφο.

Από όλα όσα αναφέρθηκαν, προκύπτει ότι στη θερμοϋδραυλική εγκατάσταση, η σχεδίαση και η κατασκευή της οποίας ολοκληρώθηκε στα πλαίσια της παρούσης ΔΔ, διεξήχθη ένα επιτυχές πείραμα επαναψύξεως τόσο σε ατμοσφαιρικές συνθήκες, όσο και σε περιβάλλον ατμού 2 έως 7 bar. Ο συνδυασμός αυτός, των ατμοσφαιρικών συνθηκών και των συνθηκών πίεσης ατμού στην ίδια πειραματική εγκατάσταση, εμφανίζεται όπως ήδη έχει αναφερθεί για πρώτη φορά στη βιβλιογραφία και επιβεβαίωσε προϋπάρχοντες προβληματισμούς, σχετικά με τη διαφοροποίηση των εμφανιζομένων μηχανισμών στα δύο αυτά περιβάλλοντα. Τέλος, με το παρόν πείραμα, επεκτείνεται μια προϋπάρχουσα στη βιβλιογραφία συσχέτιση, σε χαμηλότερες πιέσεις μέχρι τα 2 bar.

5.9 Συσχέτιση και Διατύπωση Αναδρομής Προσομοίωσης της Διεργασίας της Επαναψύξεως.

Από όλα όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως στο Κεφάλαιο αυτό και ιδιαίτερα στην §5.4, όπου έγινε η βιβλιογραφική ανασκόπηση, προκύπτει ότι στη βιβλιογραφία υπάρχει διαθέσιμος ένας όγκος πειραματικών αποτελεσμάτων της διεργασίας της επαναψύξεως. Από πλευράς φυσικών συνθηκών, τα πειράματα αυτά μπορεί να διακριθούν στις εξής κατηγορίες:

1. Πειράματα σε Ατμοσφαιρικές Συνθήκες.
2. Πειράματα σε Περιβάλλον Ατμού.

Είναι σαφές από όσα προαναφέρθηκαν στην προηγούμενη §5.8 ότι υπάρχουν εμφανείς ειδοποιησιές διαφορές μεταξύ των δύο πιο πάνω συνθηκών. Τα πειράματα επαναψύξεως μπορεί επίσης να διακριθούν:

- Από πλευράς υλικού της επαναψυχόμενης ράβδου (ανοξειδωτος χάλυβας, Inconel, zircalloy): δηλαδή, από πλευράς υλικών που έχουν πράγματι χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή ράβδων πυρηνικού καυσίμου.
- Από πλευράς επαναψύχοντος ρευστού που κατ' αποκλειστικότητα χρησιμοποιείται στην πράξη για τη διεργασία της επαναψύξεως, για λόγους προσομοίωσης έχουν χρησιμοποιηθεί και άλλα ρευστά (Freon-113, Υγρό Αζωτο κ.λ.π.), σύμφωνα με την πρακτική που έχει ακολουθηθεί και σε άλλους τομείς της πειραματικής διφασικής ροής που ενδιαφέρει τους Πυρηνικούς Αντιδραστήρες.

Στην παράγραφο αυτή, θα προσπαθήσουμε να παρουσιάσουμε συνολικά τα κυριότερα από τα πειράματα που είναι διαθέσιμα στη βιβλιογραφία με σκοπό:

- αφενός μεν να τα συγκρίνομε μεταξύ τους,
- αφετέρου δε, να διερευνήσουμε εάν η αναδρομή προσομοίωσης των πειραμάτων επαναψύξεως νερού/Freon-113 - 316SS/Inconel/Zircalloy του Σιμοπουλος[111] μπορεί να επεκταθεί ώστε να συμπεριλάβει και τα παρόντα πειράματα.

Στην προσπάθεια αυτή, συγκεντρώσαμε κατ' αρχήν στον πίνακα 5.4 τα διαθέσιμα στοιχεία για τους συντελεστές (a_0, a_1) της κλασσικής πειραματικής-εμπειρικής συσχέτισης επαναψύξεως:

$$u^{-1} = a_0 + a_1 T_w = a_1 (T_w - T_0) \quad (5.34)$$

Σύμφωνα με τα στοιχεία αυτά, έχουν χαραχθεί:

1. Στο σχ. 5.41 οι γραμμικές-εμπειρικές συσχετίσεις σε ατμοσφαιρικό περιβάλλον.

Στο ίδιο σχήμα 5.41 έχουν χαραχθεί τα δεδομένα (u_i^{-1}, T_{w_i}) από την παρούσα εργασία για λόγους σύγκρισης. Είναι απαραίτητο, πριν σχολιάσουμε τα αποτελέσματα αυτά, να εξηγήσουμε τη μεθοδολογία με την οποία έχουν προκύψει οι συσχετίσεις αυτές. Συγκεκριμένα:

- Η ημιεμπειρική εξίσωση των Duffey et al [41] προκύπτει από τη σχέση 5.12 για τα θερμοφυσικά στοιχεία της ράβδου της παρούσης ΔΔ.
- Η ημιεμπειρική εξίσωση του Yamanouchi [24] προκύπτει από το αναλυτικό-του μονοδιάστατο μοντέλο (σχέση 5.3) σε συνδυασμό με την εμπειρική-του συσχέτιση (σχέση 5.7).
- Οι ημιεμπειρικές συσχετίσεις των Yu/Yamanouchi, Yu/Coney και Yu/Blair έχουν προκύψει από τα αναλυτικά μοντέλα των ερευνητών Yamanouchi (σχέση 5.3), Coney (σχήμα 5.4) και Blair (σχέση 5.4) υπό την προϋπόθεση χρησιμοποίησης των τιμών των θερμοφυσικών ιδιοτήτων της ράβδου του παρόντος πειράματος και για το συντελεστή μετάδοσης θερμότητας της εμπειρικής εξισώσεως του Yu (σχέση 5.17).
- Εξυπακούεται ότι τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας είναι εκείνα που αναφέρονται στον πίνακα 5.2 για $P=1$ bar.

2. Στο σχ.5.42 οι γραμμικές-εμπειρικές συσχετίσεις σε ατμοσφαιρικό περιβάλλον στο επίπεδο (α_0, α_1).

Είναι φανερό από το διάγραμμα αυτό, ότι η συσχέτιση, υπό ατμοσφαιρικές συνθήκες, του παρόντος πειράματος επαναψύξης, εκφράζει-κατά το μάλλον ή ήττον-τη συνισταμένη των μέχρι σήμερα εμφανισθεισών στη βιβλιογραφία αντίστοιχων συσχετίσεων.

3. Στο σχ. 5.43 οι γραμμικές-εμπειρικές συσχετίσεις σε πίεση υδρατμού στο επίπεδο (α_0, α_1).

Στο σχήμα αυτό, παρουσιάζονται όλα τα διαθέσιμα δεδομένα της διεθνούς βιβλιογραφίας, που αφορούν σε ράβδο από ανοξείδωτο χάλυβα, καθώς και τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας. Πλάι σε κάθε πειραματικό σημείο δίδεται και η τιμή της πίεσης σε bar. Από το διάγραμμα αυτό προκύπτει, παρά την αποπροσανατολιστική διασπορά εξαιτίας των επιλεγείσων κλιμάκων, η καλή σύμπτωση όλων των συσχετίσεων, συμπεριλαμβανομένων και εκείνων της παρούσης εργασίας, στις αντίστοιχες πιέσεις. Ας επισημάνομε π.χ. ότι παρά την ασθενή επίδραση της πίεσης στην τιμή του συντελεστή επαναψύξεως α_1 , οι τιμές των συντελεστών της παρούσης εργασίας συμπίπτουν πρακτικά, εάν συνεκτιμηθούν και τα σφάλματα που τις συνοδεύουν, με εκείνες των τριών άλλων πειραμάτων. Παράλληλα, θα πρέπει να συνεκτιμηθεί το γεγονός ότι τα παρόντα πειράματα έγιναν σε χαμηλότερες πιέσεις, από ό,τι τα προηγούμενα, όπου αντιμετωπίζονται μεγαλύτερες δυσκολίες για τη σταθεροποίηση της πειραματικής εγκατάστασης από

ό,τι σε υψηλότερες πιέσεις.

Από το διαγράμμα αυτό προκύπτει ότι απαιτείται λεπτομερής πειραματική διερεύνηση της περιοχής 1-2 bar, κάτι που είναι πρόσφορο να γίνει στο σχεδιασθέν και κατασκευασθέν ΘΥΚ.

4. Στο σχ. 5.44 συγκεντρώνονται όλες οι συσχετίσεις επαναψύξεως, με νερό, σε ατμοσφαιρικές συνθήκες και υπό πίεση.

Από το σχήμα αυτό, όπου πλέον συνοψίζονται όλες οι εργασίες, προκύπτει:

- Η καλή σύμπτωση όλων των συσχετίσεων που αφορούν σε πειράματα υδρατμού,
- Η μεγάλη διασπορά την οποία εμφανίζουν οι συσχετίσεις ατμοσφαιρικών συνθηκών οι οποίες, σε ορισμένες περιπτώσεις, εμφανίζουν την επανάψυξη υπό ατμοσφαιρικές συνθήκες να πλεονεκτεί της επαναψύξεως υπό πίεση υδρατμού 70 bar. Και από το διάγραμμα αυτό προκύπτει ότι απαιτείται λεπτομερής πειραματική διερεύνηση της περιοχής 1-2 bar.

Το 1981 ο Σιμοπουλος [110] παρουσίασε μια τεχνική προσομοίωσης της διεργασίας επαναψύξεως Νερού/Freon-113 υπό πίεση ατμού για ράβδους από ανοξείδωτο χάλυβα, Inconel και Zircalloy, στηριζόμενος, αφενός μεν σε φυσικά μοντέλα που περιγράφουν τους εμπλεκόμενους μηχανισμούς βρασμού και διφασικής ροής, αφετέρου δε στις εκ των πειραματικών συσχετίσεων του Πίνακα 5.4 που αφορούν σε πειράματα υπό πίεσιν ατμού. Σύμφωνα με την τεχνική αυτή, η φυσική αδιάστατη εξίσωση επαναψύξεως διατυπώνεται ως:

$$\Psi_{rew} = C_4 \cdot \left[\frac{\rho_v}{\rho_l} \right]^{C_2} \left[\frac{1}{T^*} \right] \quad (5.35)$$

όπου:

Ψ_{rew} : ο αδιάστατος αριθμός επαναψύξεως που εισήγαγε ο Σιμοπουλος:

$$\Psi_{rew} = \frac{v^* H_{fg} \rho_v}{\rho_w c_w (T_0 - T_s)} Pr_1^{-0.3} \quad (5.36)$$

όπου:

v^* : η αδιάστατη αντίστροφη ταχύτητα επαναψύξεως, που εισήχθη από το Σιμοπουλος ως :

$$v^* = u^{-1} \left[\frac{\sigma g}{\rho_l} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.37)$$

H_{fg} : η θερμότητα ατμοποίησης (J/kg)

ρ_v : η πυκνότητα της ^{ατμώδους} υγρής φάσης (kg/m³)

ρ_l : η πυκνότητα της ^{υγρής} ατμώδους φάσης (kg/m³)

Pr_l : ο αριθμός Prandtl της υγρής φάσης (cm/k).

και

T^* : η αδιάστατη θερμοκρασία της ράβδου όπως ήδη έχει οριστεί ως:

$$T^* = \frac{T_0 - T_s}{T_w - T_0} \quad (5.38)$$

Προσαρμόζοντας τα διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα του πίνακα 5.4 στην πιο πάνω αδιάστατη εξίσωση, ο Σίμοπουλος εκτίμησε τις παραμέτρους-της ως:

$$C_4 = 1.9 \pm 0.17 \text{ και}$$

$$C_2 = 0.55 \pm 0.02$$

με μέση τιμή της μέσης τετραγωνικής απόκλισης (*rms*) 9% και συντελεστή πολλαπλής συσχέτισης 0.98.

Στην εργασία [110] επισημαίνεται ότι η προσαρμογή έγινε με την αριθμητική επίλυση του συστήματος των κανονικών εξισώσεων και όχι με γραμμικοποίηση, η οποία, όπως επισημαίνεται, θα εισήγαγε πολύ μεγάλη αβεβαιότητα και συστηματικό σφάλμα στην εκτίμηση των παραμέτρων. Στον Πίνακα 5.5 παρουσιάζονται οι τιμές του αδιάστατου αριθμού επαναψύξεως Ψ_{rew} που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία [110] καθώς και αυτές που υπολογίστηκαν για τα πειράματα της παρούσης ΔΔ. Για τον τελευταίο υπολογισμό, χρησιμοποιήθηκε, κατάλληλα ελαφρώς τροποποιηθείς, ο κώδικας υπολογισμού των θερμοφυσικών ιδιοτήτων του νερού που ανεπτύχθη στο ΕΠΤ-ΕΜΠ [52, 114]. Τονίζεται ότι στον πίνακα 5.5 έχει σημειωθεί και η συσχέτιση από το πείραμα σε ατμοσφαιρικές συνθήκες (1 bar) που έχει προκύψει από την παρούσα ΔΔ.

Στο σχ. 5.45 έχει χαραχθεί η αναδρομή της εργασίας [110], όπως εδόθη μόλις πιο πάνω καθώς και τα πειραματικά σημεία (1-7 bar) που έχουν προκύψει σύμφωνα με την τεχνική προσομοίωσης (Σίμοπουλος [110]) από την παρούσα εργασία. Η φαινομενικά ικανοποιητική σύμπτωση συσχέτισης και πειραματικών σημείων του

πιοπάνω διαγράμματος, υπαγόρευσε την απεικόνιση όλων των διαθεσίμων πειραματικών συσχετίσεων του πίνακα 5.5 στο σχ. 5.46 καθώς και της συσχέτισης (5.35) στην οποία προσαρμόστηκαν όλες οι πιοπάνω πειραματικές συσχετίσεις σε πίεση ατμού, δηλαδή εξαιρώντας την ατμοσφαιρική συσχέτιση της παρούσης εργασίας, οι παράμετροι της οποίας εκτιμήθηκαν ως εξής:

$$C_4 = 2.1 \pm 0.18 \text{ και}$$

$$C_2 = 0.59 \pm 0.02$$

με τιμή της μέσης τετραγωνικής απόκλισης 13% και συντελεστή πολλαπλής συσχέτισης 0.99.

Για την προσαρμογή χρησιμοποιήθηκε ακριβώς η ίδια προγραμματιστική τεχνική με την εργασία [110], δηλαδή η επίλυση με αριθμητική μέθοδο του συστήματος των κανονικών εξισώσεων και όχι με γραμμικοποίηση· τα λεπτομερή αποτελέσματά της βρίσκονται στον πίνακα 5.6.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των συσχετίσεων που προέκυψαν από την παρούσα εργασία με εκείνα της εργασίας [110] διαπιστώνουμε ότι:

- Οι δύο συσχετίσεις προσομοίωσης της διεργασίας επαναψύξεως, που είναι διατυπωμένες και ισχύουν για 2 διαφορετικά ρευστά (νερό, Freon-113) και 3 διαφορετικά υλικά επαναψυχόμενης ράβδου (316SS, Inconel, Zircalloy) δεν φαίνεται να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους.
- Η επέκταση της συσχέτισεως της εργασίας [110] με χρήση αποτελεσμάτων της παρούσης ΔΔ βελτίωσε την τιμή του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης χωρίς να επιφέρει σημαντικές μεταβολές τόσο στη διασπορά των παραμέτρων της αναδρομής, όσο και στην τιμή της μέσης τετραγωνικής απόκλισης. Ας αναφερθεί για λόγους σύγκρισης ότι η ημιεμπειρική συσχέτιση του Yu έχει, όπως αναφέρθηκε ήδη στην §5.4.3 τιμή RMS ίση με 25%. Ας συνεκτιμηθεί, προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα ως προς τις δύο συσχετίσεις ότι η παρούσα ισχύει για ποικιλία ρευστών, πιέσεων και υλικών ράβδου.

Ενα επιπλέον, κατ' αρχήν, συμπέρασμα που θα μπορούσε να εξαχθεί από το γράφημα του σχ. 5.46, όπου παρουσιάζονται όλα τα πειραματικά σημεία με βάση τα οποία προσαρμόστηκε η παρούσα συσχέτιση, είναι ότι το εμφανιζόμενο στο ίδιο γράφημα σημείο της ατμοσφαιρικής συσχέτισης των παρόντων πειραμάτων, φαίνεται να μην απέχει της εκτιμηθείσας συσχέτισεως προσομοίωσης. Βεβαίως, το υπόψιν σημείο δεν χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της συσχέτισεως. Πιστεύεται ότι στο μέλλον θα πρέπει να διερευνηθεί εάν η ατμοσφαιρική συσχέτιση συστηματικά

συμπεριφέρεται κατά τον ίδιο τρόπο. Εξυπακούεται ότι στην περίπτωση αυτή, θα εδικαιολογείτο η ενδεχόμενη συμμετοχή-της στην εκτίμηση της αναδρομής προσομοίωσης επαναψύξεως.

Τα **τελικά συμπεράσματα** από όσα αναφέρονται στην παρούσα παράγραφο είναι ότι:

- Τα παρόντα πειράματα υπό πίεση νερού είναι πλήρως συμβατά με προηγούμενα πειράματα, τα οποία σύμφωνα με τη βιβλιογραφία διεξήχθησαν σε υψηλότερες πιέσεις, και επεκτείνουν την περιοχή ισχύος των αναφερομένων στη βιβλιογραφία συσχετίσεων σε περιβάλλον ατμού σε χαμηλές πιέσεις έως 2 bar.
- Το παρόν πείραμα υπό ατμοσφαιρικές συνθήκες βρίσκεται στη συνισταμένη των σχετικών συσχετίσεων οι οποίες -με μεγάλη διασπορά- εμφανίζονται στη βιβλιογραφία.
- Τα παρόντα πειράματα υπό πίεση ατμού μπορεί να χρησιμοποιηθούν στην τεχνική προσομοίωσης επαναψύξεως που αναφέρεται στη βιβλιογραφία επεκτείνοντας την περιοχή ισχύος της αναδρομής προσομοίωσης έως τουλάχιστον τα 2 bar.

Πίνακας 5.1

Εκτύπωση από την Εκτέλεση του Προγράμματος prog1 με τα Αποτελέσματα της Ανάλυσης των Πειραματικών Προσομοιώσεων για Πίεση 1 bar, Παροχή Υγρού 1 lpm, Παροχή ατμού 10% και Υπόψυξη 0 K.

*** R E S U L T S ***

1. Estimation of the parameters of the regression

-.2004491E+03 .8178264E+00

2. Experimental and estimated values of the dependent variable

	X(I)	Y(I)-exper.	YE(I)-estim.	Deviation %
1	.2709496E+03	.2344980E+02	.2114069E+02	10.923
2	.2807817E+03	.2933071E+02	.2918163E+02	.511
3	.2876190E+03	.3372293E+02	.3477337E+02	-3.021
4	.2990184E+03	.4682578E+02	.4409608E+02	6.190
5	.2935957E+03	.3635580E+02	.3966126E+02	-8.334
6	.3023836E+03	.4216289E+02	.4684821E+02	-10.001
7	.3174285E+03	.5553642E+02	.5915237E+02	-6.113
8	.3252070E+03	.5845226E+02	.6551381E+02	-10.779
9	.3348846E+03	.8981300E+02	.7342842E+02	22.314
10	.3467388E+03	.7953986E+02	.8312311E+02	-4.311
11	.3584578E+03	.9426673E+02	.9270721E+02	1.682
12	.3679634E+03	.1083292E+03	.1004811E+03	7.811
13	.3764682E+03	.1195497E+03	.1074366E+03	11.275
14	.3863321E+03	.1123770E+03	.1155035E+03	-2.707
15	.3910845E+03	.1160310E+03	.1193901E+03	-2.814
16	.3972450E+03	.1223179E+03	.1244284E+03	-1.696
17	.4123477E+03	.1511688E+03	.1367798E+03	10.520
18	.4238402E+03	.1446112E+03	.1461787E+03	-1.072
19	.4224179E+03	.1423844E+03	.1450154E+03	-1.814
20	.4379171E+03	.1671875E+03	.1576911E+03	6.022
21	.4467314E+03	.1613681E+03	.1648997E+03	-2.142
22	.4553307E+03	.1690822E+03	.1719324E+03	-1.658

Συνεχίζεται

23	.4646246E+03	.1858391E+03	.1795332E+03	3.512
24	.4705497E+03	.1970472E+03	.1843789E+03	6.871
25	.4756199E+03	.1852977E+03	.1885255E+03	-1.712
26	.4869555E+03	.2085384E+03	.1977960E+03	5.431
27	.4964646E+03	.2007013E+03	.2055728E+03	-2.370
28	.5004437E+03	.2033342E+03	.2088270E+03	-2.630
29	.5087290E+03	.2110359E+03	.2156029E+03	-2.118
30	.5144086E+03	.2121801E+03	.2202478E+03	-3.663
31	.5230784E+03	.2184055E+03	.2273382E+03	-3.929
32	.3105024E+03	.4805610E+02	.5348803E+02	-10.155
33	.3202589E+03	.5663139E+02	.6146713E+02	-7.867
34	.3231703E+03	.5858760E+02	.6384813E+02	-8.239
35	.3271023E+03	.6547736E+02	.6706383E+02	-2.366
36	.3108214E+03	.5155019E+02	.5374887E+02	-4.091
37	.3407802E+03	.7575050E+02	.7825002E+02	-3.194
38	.3450308E+03	.7636565E+02	.8172621E+02	-6.559
39	.3509459E+03	.8670029E+02	.8656373E+02	.158
40	.3553163E+03	.9811761E+02	.9013798E+02	8.853

3. Variance (about regression) : .1686789E+04

4. Residuals mean square - RMS : 7.069 %

5. Variance - Standard Deviation of the regression :
.4438919E+02 .6662522E+01

6. Variance-Covariance matrix of the parameters
.3064231E+02 -.7691004E-01
-.7691004E-01 .2002925E-03

7. Standard errors of the paramaters
.5535550E+01 .1415247E-01
2.76 1.73 (%)

8. Multiple Correlation Coefficient - R : .9944

Συνεχίζεται

9. Means of variables Y, X(1), X(2),

.1135870E+03 .3839886E+03

10. Standard deviations of variables Y, X(1), X(2),

.6200005E+02 .7538329E+02

11. Correlation matrix

1.00000 .99436

.99436 .99999

Twet_front(20) =	269.6	Twet_front(0) =	245.1
	8.8		8.0
	3.3		3.3 (%)

Πίνακας 5.2

Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας της γραμμικής αναδρομής
 $u^{-1} = \alpha_0 + \alpha_1 T_w$ των παραμέτρων του πειράματος
 επαναψύξεως για πιέσεις 1-7 bar.

P (bar)	α_0 (s/m)	se(α_0) %	a_1 (s/mK)	se(α_1) [†] %	r	rms %	T ₀ (°C)	se(T ₀) %	T ₀ -T _s (K)
1.0	-188.0	3.01	0.788	1.89	0.993	41.9	238.4	3.6	138.8
*1.0	-200.4	2.76	0.818	1.73	0.994	7.0	245.1	3.3	145.5
2.0	-80.9	7.77	0.355	4.38	0.973	13.5	228.0	8.9	107.8
3.0	-78.2	5.87	0.314	3.48	0.985	19.7	248.8	6.8	115.3
4.0	-57.3	7.14	0.266	3.68	0.982	16.7	215.5	8.0	71.9
5.0	-64.8	9.44	0.264	5.55	0.961	25.5	245.4	11.0	93.6
6.0	-84.2	8.07	0.295	5.13	0.955	40.2	285.1	9.6	126.3
7.0	-74.1	5.63	0.266	3.68	0.985	12.4	278.7	6.7	113.7

* Η επεξεργασία έγινε για τα σημεία με $u^{-1} > 20$ s/m.

† se : standard error.

Πίνακας 5.3 -

Αποτελέσματα του προγράμματος Regres της προσαρμογής
σε Δυναμικό Μοντέλο των συντελεστών επανάφυξης
συναρτήσεϊ της πίεσης.

N = 6 LDEF= 1 M = 2 LST = 3 INTR= 1 KW = 2 MD = 3
MX = 1 N1 = 1 N2 = 6 NR = 0 KR = 0 MZ = 0 Gamma =1.0

	Y-exper	INPUT DATA Weight	X(1), etc.
1	.3550000E+00	.1000000E+01	.2000000E+01
2	.3140000E+00	.1000000E+01	.3000000E+01
3	.2660000E+00	.1000000E+01	.4000000E+01
4	.2640000E+00	.1000000E+01	.5000000E+01
5	.2950000E+00	.1000000E+01	.6000000E+01
6	.2660000E+00	.1000000E+01	.7000000E+01

POWER FIT Y=P(1)*X**P(2)

INTERMEDIATE RESULTS					
NO		VARIANCE	1. PARAMETER	2. PARAMETER	ETC...
0.	Si	.336459488E+00	.7000000E+00	-.2000000E+00	
1.	Nt	.201128679E-02	.4002910E+00	-.2124096E+00	
2.	Nt	.191194785E-02	.4006290E+00	-.2226190E+00	
3.	Nt	.191191828E-02	.4008441E+00	-.2230894E+00	
4.	Nt	.191192178E-02	.4008526E+00	-.2231052E+00	

DETERM= .3261201D+00
WEIGHTED VAR.= .4779795E-03 STAND.DEV.PER POINT= .2186274E-01

FINAL RESULTS					
	OPTIMAL		ERROR	% ERROR	CONTROL
1. PARAM.	.4008441E+00	+-	.3891848D-01	9.7091	1.0558 .9194
2. PARAM.	-.2230894E+00	+-	.6898099D-01	-30.9208	.9788 .9705

CORRELATION COEF. .8424715

OUTPUT DATA				
	Y-exper	Y-fitted	% Diff.	X(1), etc.
1	.3550000E+00	.3434147E+00	-3.37	.2000000E+01
2	.3140000E+00	.3137147E+00	-.09	.3000000E+01
3	.2660000E+00	.2942133E+00	9.59	.4000000E+01
4	.2640000E+00	.2799256E+00	5.69	.5000000E+01
5	.2950000E+00	.2687684E+00	-9.76	.6000000E+01
6	.2660000E+00	.2596827E+00	-2.43	.7000000E+01

RMS ERROR= 7.696 %

Πίνακας 5.4

Διαθέσιμες γραμμικές συσχετίσεις επαναψύξεως νερού

$$u^{-1} = \alpha_0 + \alpha_1 T_w$$

για ράβδο Ανοξειδωτού Χάλυβα.

Ερευνητές	Ref.	Περιβάλλον	Πίεση (bar)	α_0 (s/m)	α_1 (s/mK)	
Bennett	[30]	Ατμός	6.9	-66.3	0.271	
			13.8	-73.2	0.264	
			20.7	-77.4	0.252	
			34.5	-81.9	0.239	
			68.9	-79.1	0.212	
Elliott-1	[29]	Ατμός	3.43	-83.2	0.406	
			7.87	-70.1	0.319	
			21.7	-70.9	0.238	
			52.8	-61.5	0.184	
Elliott-2	[29]	Ατμός	3.43	-83.4	0.350	
			7.87	-77.1	0.286	
			21.7	-71.2	0.225	
			52.8	-66.5	0.181	
Yu/Yamanoushi	[38],[24]	Ατμοσφ.	1.0	-270.3	1.287	
Yu/Coney	[38],[26]	Ατμοσφ.	1.0	-377.0	1.334	
Yu/Blair	[38],[92]	Ατμοσφ.	1.0	-83.5	0.397	
Yamanouchi	[63]	Ατμοσφ.	1.0	-93.1	0.440	
Duffey	[64]	Ατμοσφ.	1.0	-36.6	0.168	
Παρούσα ΔΔ		Ατμοσφ.	1.0	-188.0	0.788	
			Ατμός	2.0	-80.9	0.355
			3.0	-78.2	0.314	
			4.0	-57.3	0.266	
			5.0	-64.8	0.264	
			6.0	-84.2	0.295	
			7.0	-74.1	0.266	

Πίνακας 5.5

Δεδομένα για την προσαρμογή στη συνάρτηση προσομοίωσης
 Σιμπούλος [110].

Υγρό	Πίεση (bar)	ρ_l/ρ_v	α_l (s/mK)	Υλικό Περιβλ.	$\rho_w c_w$ (MJ/m ³ K)	$\Psi_{rew} T^*$	Ερευνητές
Νερό	6.9	249.6	0.271	S-Steel	3.98	0.075	Bennett et al[30]
Νερό	13.8	124.3	0.264	S-Steel	3.98	0.135	
Νερό	20.7	81.8	0.252	S-Steel	3.98	0.181	
Νερό	34.5	46.9	0.239	S-Steel	3.98	0.260	
Νερό	68.9	20.6	0.212	S-Steel	3.98	0.369	
Νερό	3.43	495.4	0.406	S-Steel	3.98	0.059	Elliott et al[29]
Νερό	7.87	219.0	0.319	S-Steel	3.98	0.099	
Νερό	21.7	77.6	0.238	S-Steel	3.98	0.179	
Νερό	52.8	28.7	0.184	S-Steel	3.98	0.271	Elliott et al[61]
Νερό	3.43	495.4	0.160	Zircal.	1.95	0.046	
Νερό	7.87	219.0	0.138	Zircal.	1.95	0.086	
Νερό	21.7	77.6	0.115	Zircal.	1.95	0.173	
Νερό	52.8	28.7	0.098	Zircal.	1.95	0.288	Simopoulos [110]
Freon-113	1.70	122.1	5.812	S-Steel	3.98	0.145	
Freon-113	2.39	86.6	5.251	S-Steel	3.98	0.165	
Freon-113	3.08	66.1	4.874	S-Steel	3.98	0.189	
Freon-113	3.77	52.1	4.585	S-Steel	3.98	0.211	
Freon-113	4.46	44.7	4.322	S-Steel	3.98	0.245	
Freon-113	5.15	38.6	4.264	S-Steel	3.98	0.246	
Νερό	1.0	1623.3	0.788	S-Steel	3.98	0.035	Παρούσα ΔΔ
Νερό	2.0	834.7	0.355	S-Steel	3.98	0.031	
Νερό	3.0	564.1	0.314	S-Steel	3.98	0.040	
Νερό	4.0	426.5	0.266	S-Steel	3.98	0.045	
Νερό	5.0	342.8	0.264	S-Steel	3.98	0.055	
Νερό	6.0	286.6	0.295	S-Steel	3.98	0.072	
Νερό	7.0	246.1	0.266	S-Steel	3.98	0.075	

Πίνακας 5.6

Αποτελέσματα του προγράμματος Regres της προσαρμογής των δεδομένων του Πίνακα 5.5 σε δυναμικό μοντέλο.

N = 25 LDEF= 1 M = 2 LST = 3 INTR= 1 KW = 2 MD = 3
 MX = 1 N1 = 1 N2 = 25 NR = 0 KR = 0 MZ = 0 Gamma =1.0

INPUT DATA			
	Y-exper	Weight	X(1), etc.
1	.1446600E+00	.1000000E+01	.8187000E-02
2	.1646200E+00	.1000000E+01	.1155000E-01
3	.1889070E+00	.1000000E+01	.1512000E-01
4	.2110000E+00	.1000000E+01	.1919000E-01
5	.2244860E+00	.1000000E+01	.2235000E-01
6	.2454200E+00	.1000000E+01	.2593000E-01
7	.5878590E-01	.1000000E+01	.2019000E-02
8	.9960000E-01	.1000000E+01	.4565000E-02
9	.1786710E+00	.1000000E+01	.1288000E-01
10	.2707900E+00	.1000000E+01	.3481000E-01
11	.4633370E-01	.1000000E+01	.2019000E-02
12	.8600000E-01	.1000000E+01	.4565000E-02
13	.1726650E+00	.1000000E+01	.1288000E-01
14	.2884500E+00	.1000000E+01	.3481000E-01
15	.7512500E-01	.1000000E+01	.4007000E-02
16	.1353000E+00	.1000000E+01	.8046000E-02
17	.1815170E+00	.1000000E+01	.1222000E-01
18	.2596820E+00	.1000000E+01	.2131000E-01
19	.3689170E+00	.1000000E+01	.4845000E-01
20	.3080000E-01	.1000000E+01	.1198000E-02
21	.4020000E-01	.1000000E+01	.1772700E-02
22	.4460000E-01	.1000000E+01	.2344700E-02
23	.5450000E-01	.1000000E+01	.2917200E-02

Συνεχίζεται

24	.7200000E-01	.1000000E+01	.3489200E-02
25	.7470000E-01	.1000000E+01	.4063400E-02

POWER FIT $Y=P(1)*X**P(2)$

INTERMEDIATE RESULTS

NO	VARIANCE	1.PARAMETER	2.PARAMETER	ETC...
0. Si	.785724223E-01	.2000000E+01	.5000000E+00	
1. Nt	.548385317E-02	.2051461E+01	.5660159E+00	
2. Nt	.447599078E-02	.2137379E+01	.5852364E+00	
3. Nt	.447593350E-02	.2136015E+01	.5850148E+00	
4. Nt	.447593490E-02	.2136114E+01	.5850269E+00	

DETERM= .6696270D-01

WEIGHTED VAR.= .1946058E-03 STAND.DEV.PER POINT= .1395012E-01

FINAL RESULTS

	OPTIMAL	ERROR	% ERROR	CONTROL
1.PARAM.	.2136015E+01 +-	.1832110D+00	8.5772	1.2017 .9967
2.PARAM.	.5850148E+00 +-	.2189151D-01	3.7420	1.1195 1.0667

CORRELATION COEF. .9890713

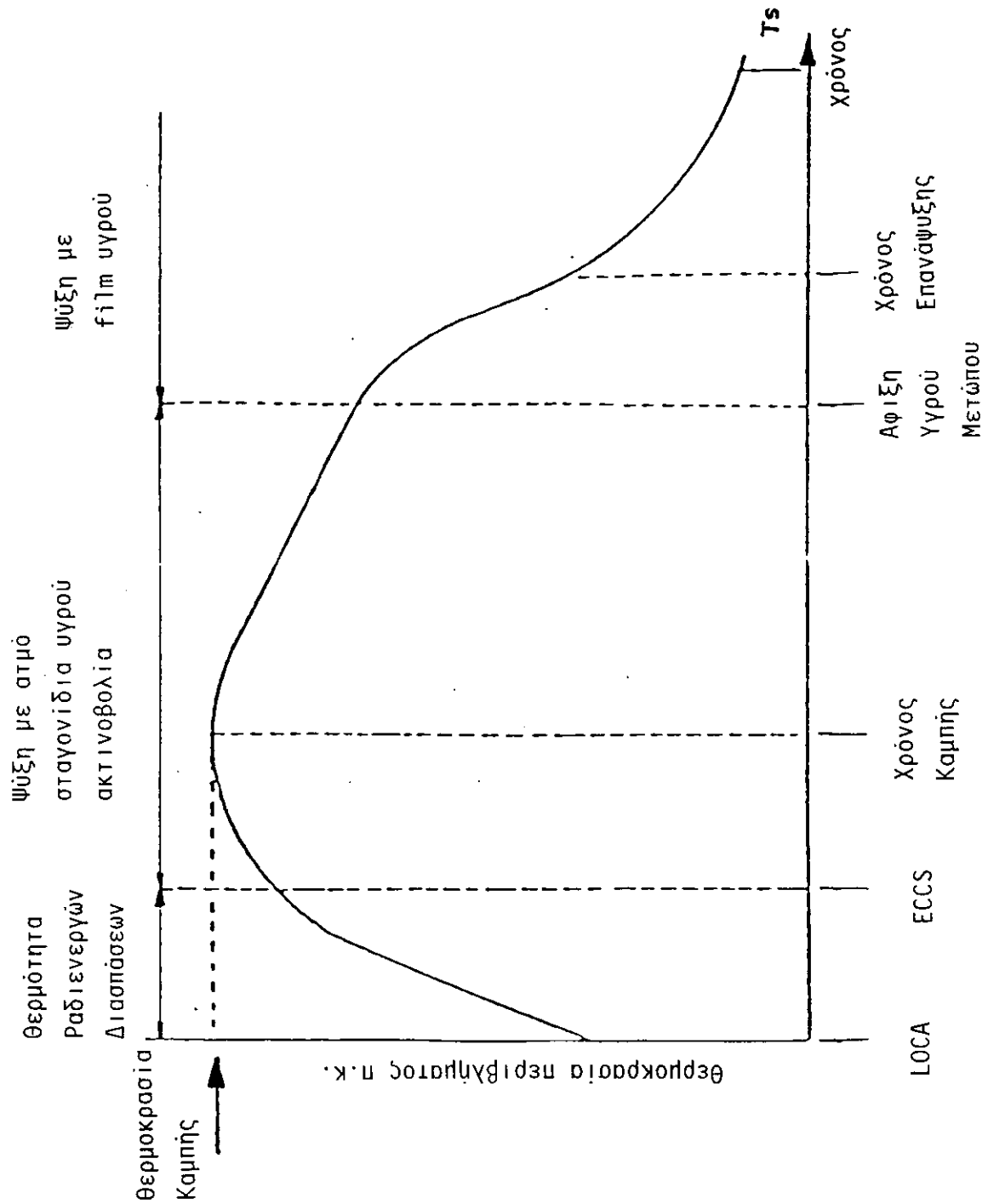
OUTPUT DATA

	Y-exper	Y-fitted	% Diff.	X(1), etc.
1	.1446600E+00	.1284551E+00	-12.62	.8187000E-02
2	.1646200E+00	.1571036E+00	-4.78	.1155000E-01
3	.1889070E+00	.1839141E+00	-2.71	.1512000E-01
4	.2110000E+00	.2114354E+00	.21	.1919000E-01
5	.2244860E+00	.2311570E+00	2.89	.2235000E-01
6	.2454200E+00	.2521478E+00	2.67	.2593000E-01
7	.5878590E-01	.5663293E-01	-3.80	.2019000E-02

Συνεχίζεται

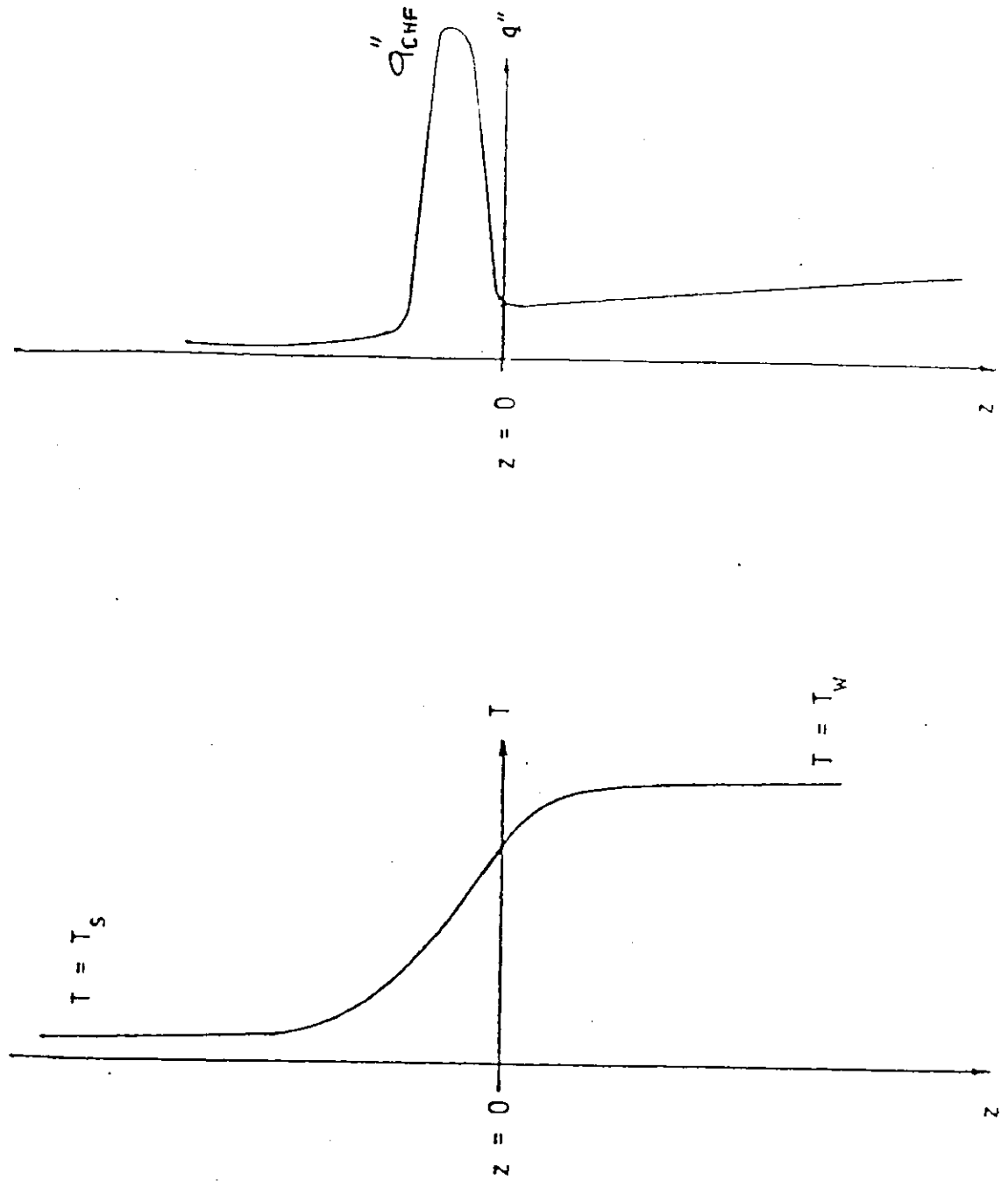
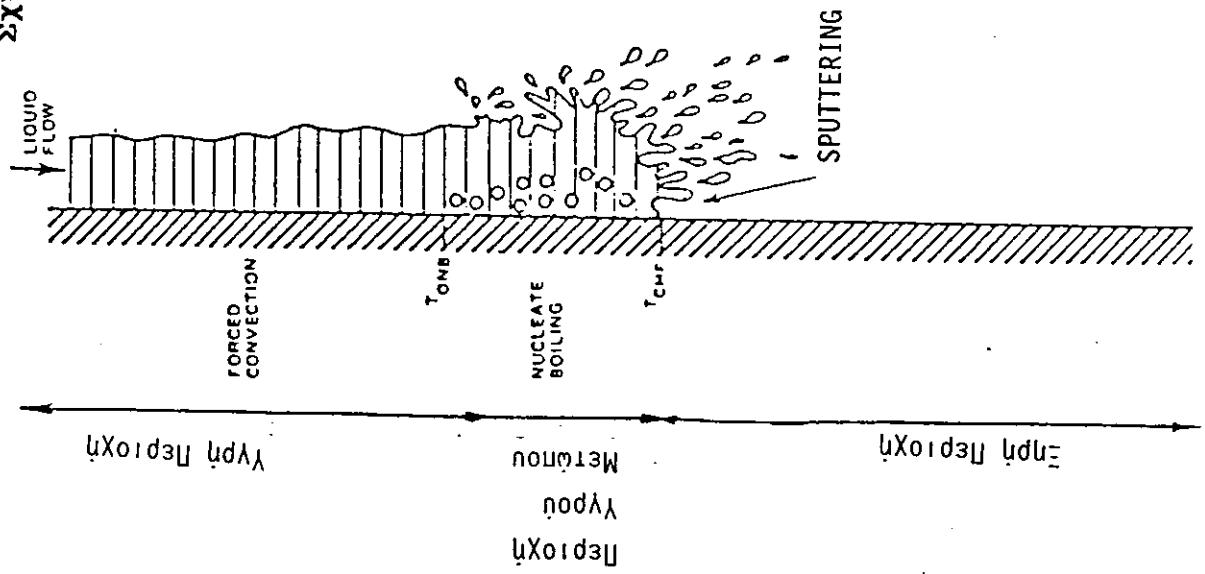
8	.9960000E-01	.9127302E-01	-9.12	.4565000E-02
9	.1786710E+00	.1674469E+00	-6.70	.1288000E-01
10	.2707900E+00	.2995570E+00	9.60	.3481000E-01
11	.4633370E-01	.5663293E-01	18.19	.2019000E-02
12	.8600000E-01	.9127302E-01	5.78	.4565000E-02
13	.1726650E+00	.1674469E+00	-3.12	.1288000E-01
14	.2884500E+00	.2995570E+00	3.71	.3481000E-01
15	.7512500E-01	.8457033E-01	11.17	.4007000E-02
16	.1353000E+00	.1271562E+00	-6.40	.8046000E-02
17	.1815170E+00	.1623725E+00	-11.79	.1222000E-01
18	.2596820E+00	.2248023E+00	-15.52	.2131000E-01
19	.3689170E+00	.3634809E+00	-1.50	.4845000E-01
20	.3080000E-01	.4173094E-01	26.19	.1198000E-02
21	.4020000E-01	.5248257E-01	23.40	.1772700E-02
22	.4460000E-01	.6181108E-01	27.84	.2344700E-02
23	.5450000E-01	.7023796E-01	22.41	.2917200E-02
24	.7200000E-01	.7799423E-01	7.69	.3489200E-02
25	.7470000E-01	.8526469E-01	12.39	.4063400E-02

RMS ERROR= 13.350 %



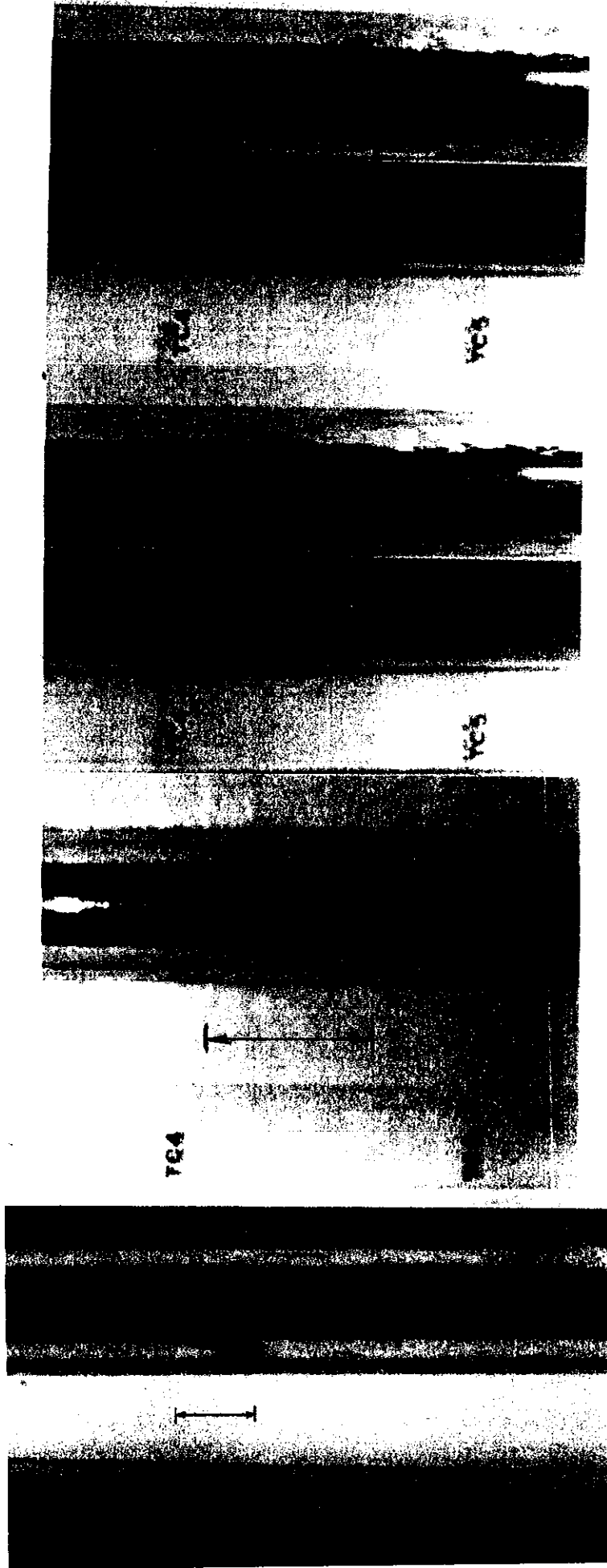
Σχήμα 5.1 : Μεταβολή της θερμοκρασίας ενός σημείου του π.κ. μετά την εμφάνιση LOCA και κατά τη φάση της επαναψύξεως [108].

Σχήμα 5.2 : Η επαναφυγόμενη ράβδος π.κ. [46].



Θερμοκρασιακό
Profile

Profile
Θερμικής Ροής



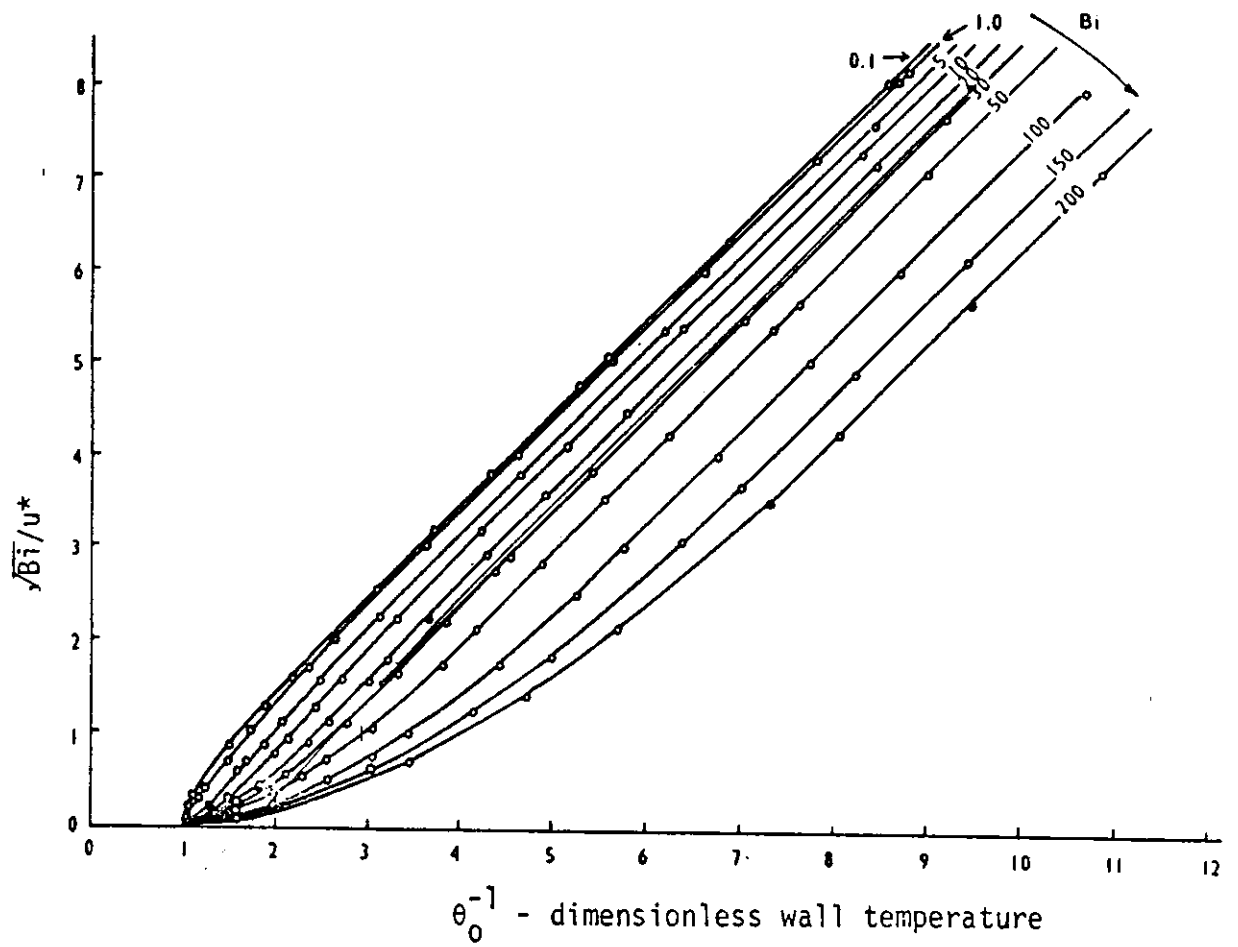
ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Υγρή Περιοχή

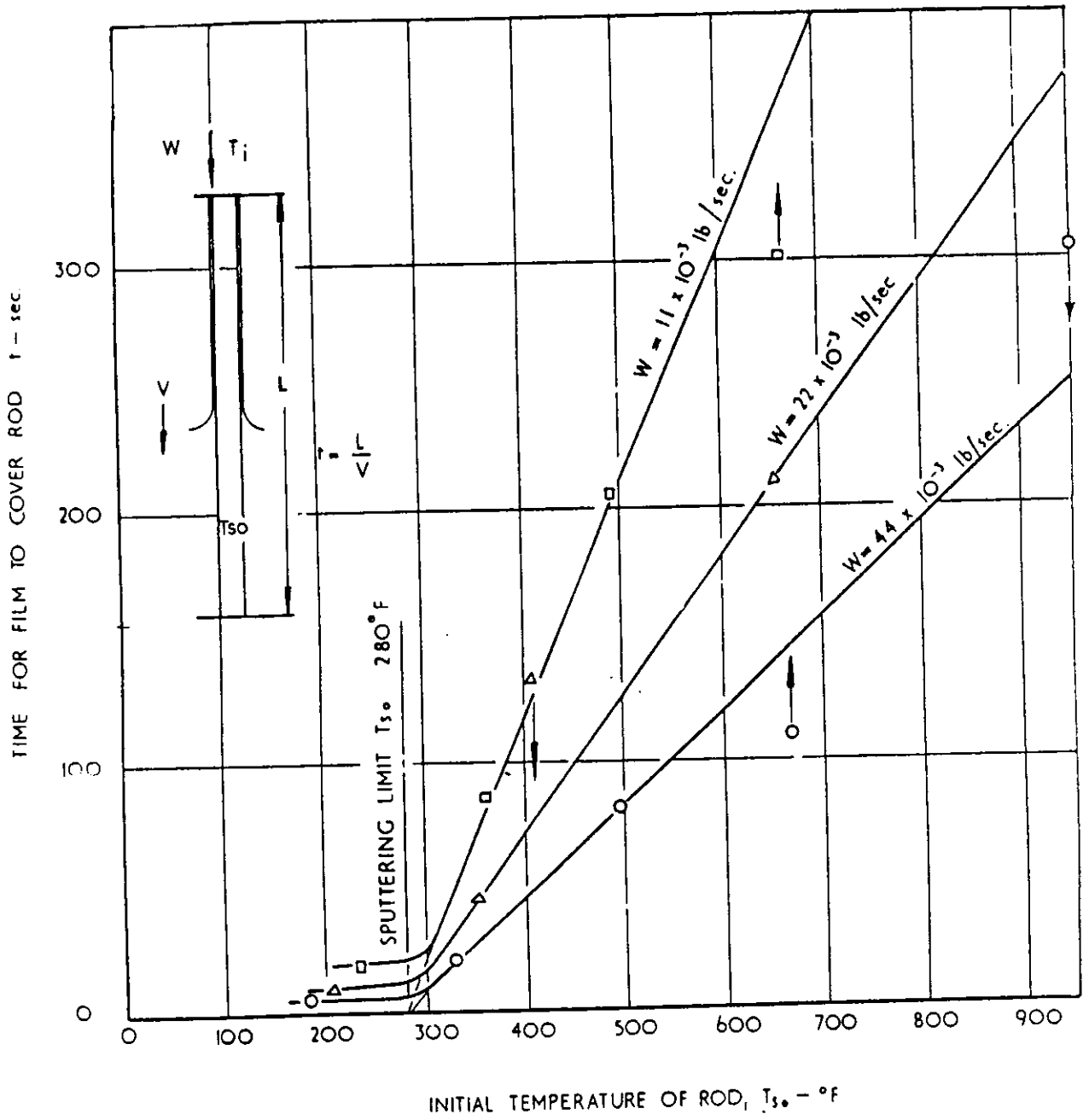
Υγρό Μέτωπο

Ξηρή Περιοχή

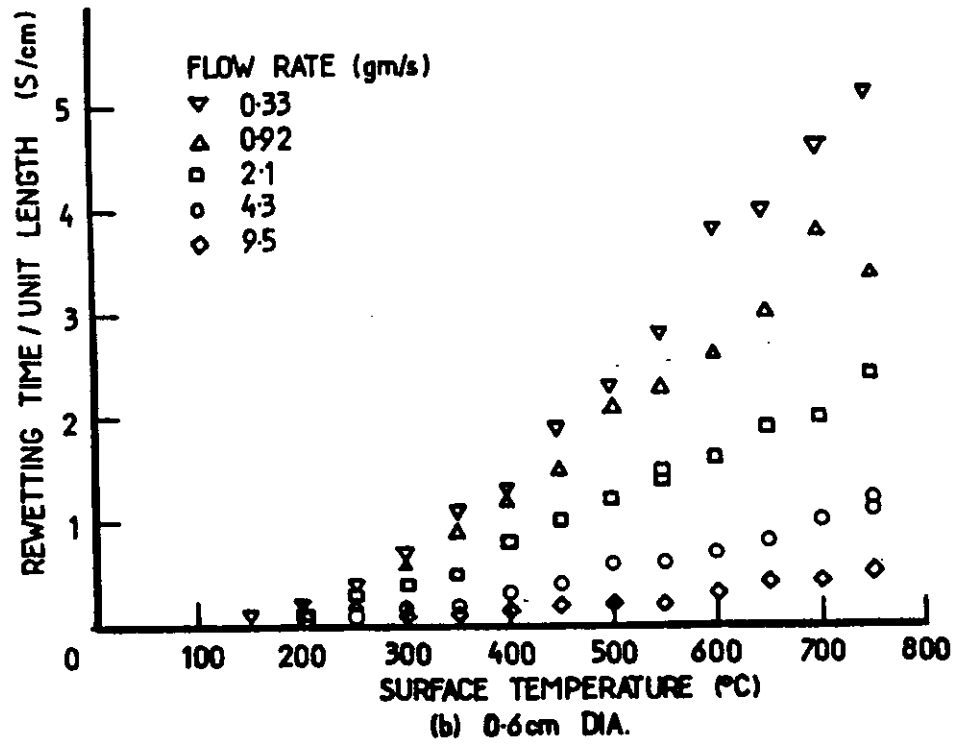
Σχήμα 5.3 : Το υγρό μέτωπο όπως φωτογραφήθηκε στα παρόντα πειράματα επαναφύξεως.



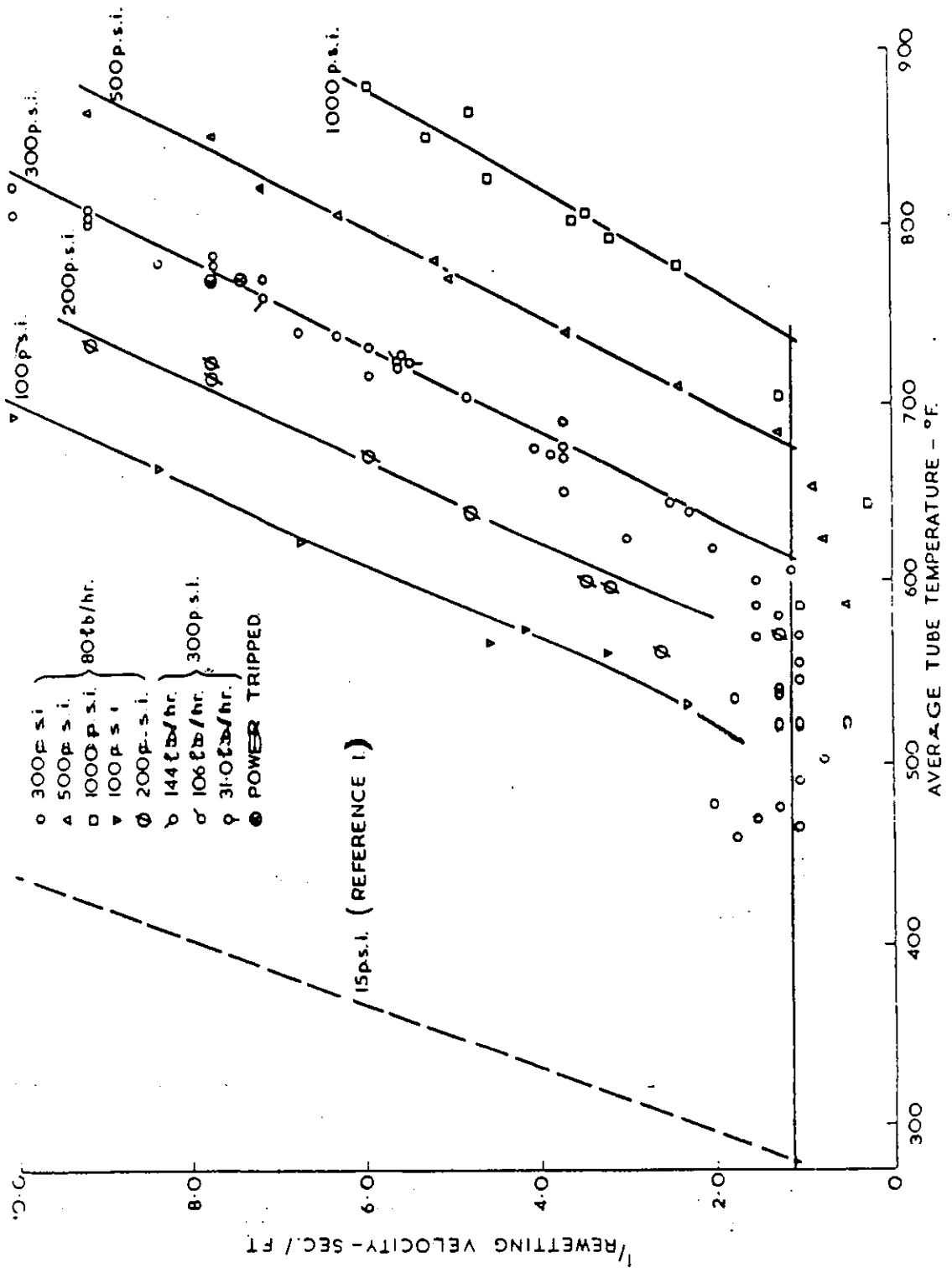
Σχήμα 5.4 : Αποτελέσματα από το Μοντέλο του Coney [26].



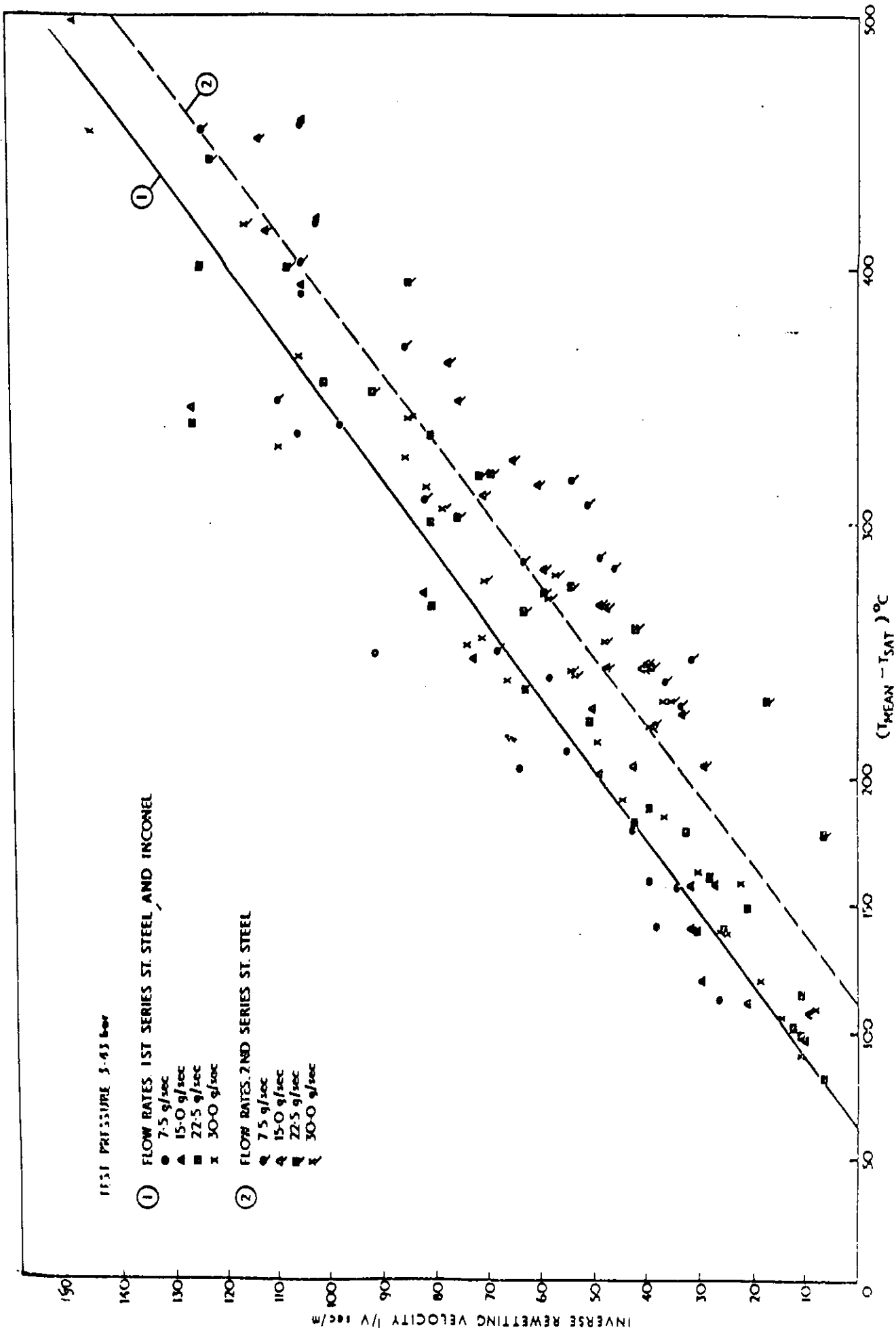
Σχήμα 5.5 : Χρόνος επανάψυξης συναρτήσει της μέσης θερμοκρασίας μιας ράβδου. Ατμοσφαιρικό πείραμα [25].



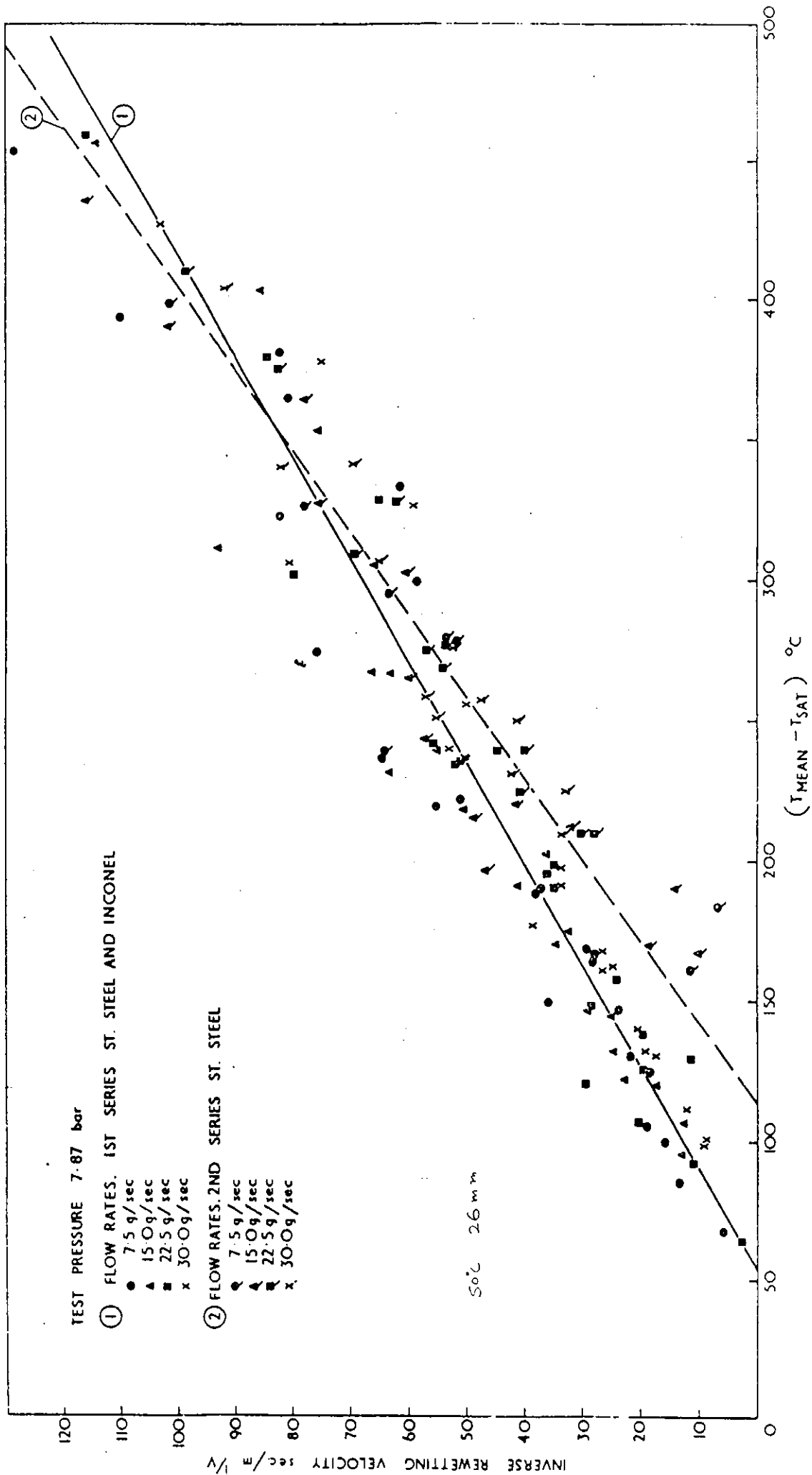
Σχήμα 5.6 : Αντίστροφη ταχύτητα επανάψυξης συναρτήσσει της μέσης θερμοκρασίας μιας ράβδου. Ατμοσφαιρικό πείραμα [68].



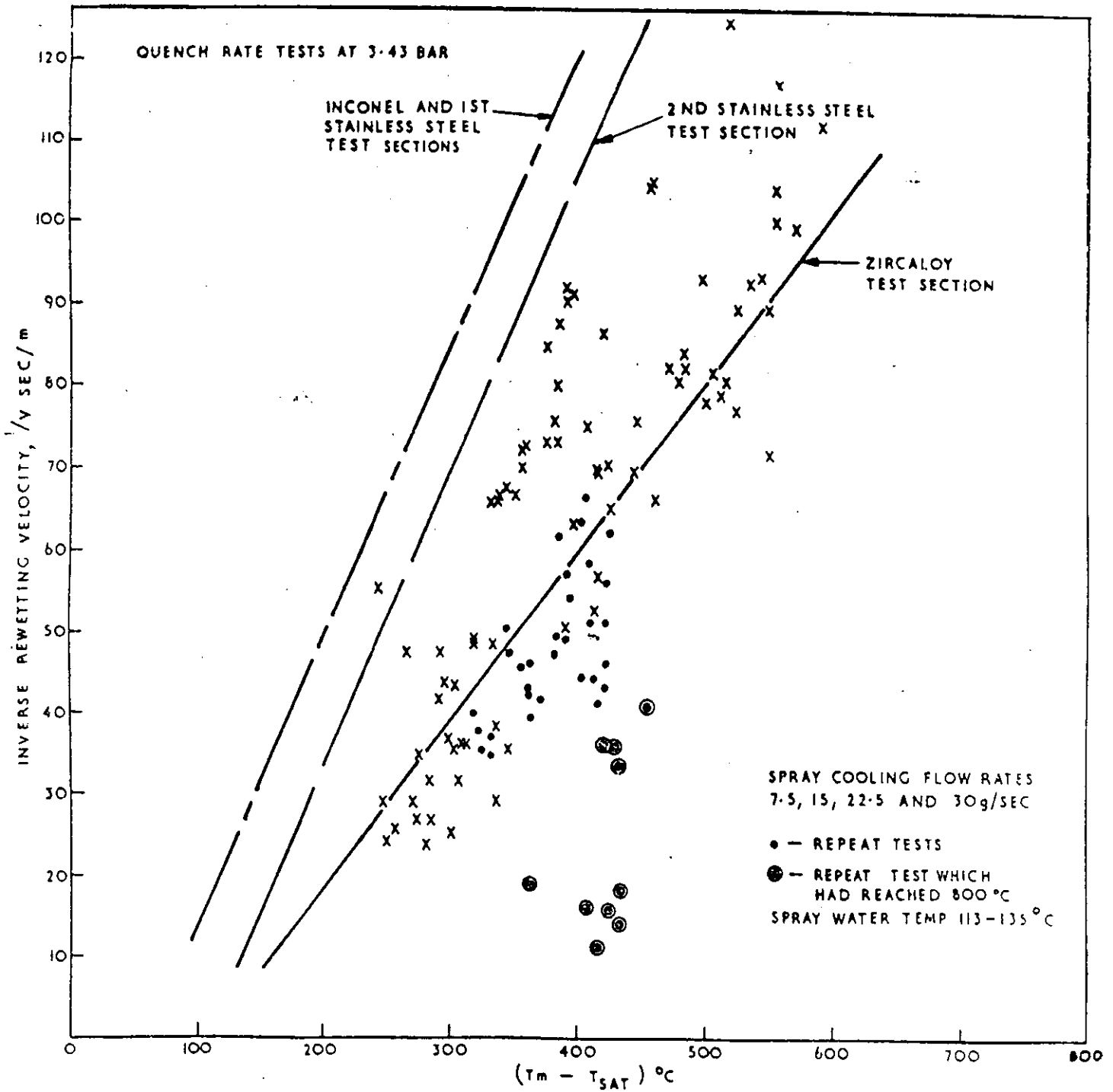
Σχήμα 5.7 : Αντίστροφη ταχύτητα επανάψυξης συναρτήσει της μέσης θερμοκρασίας της ράβδου [30].



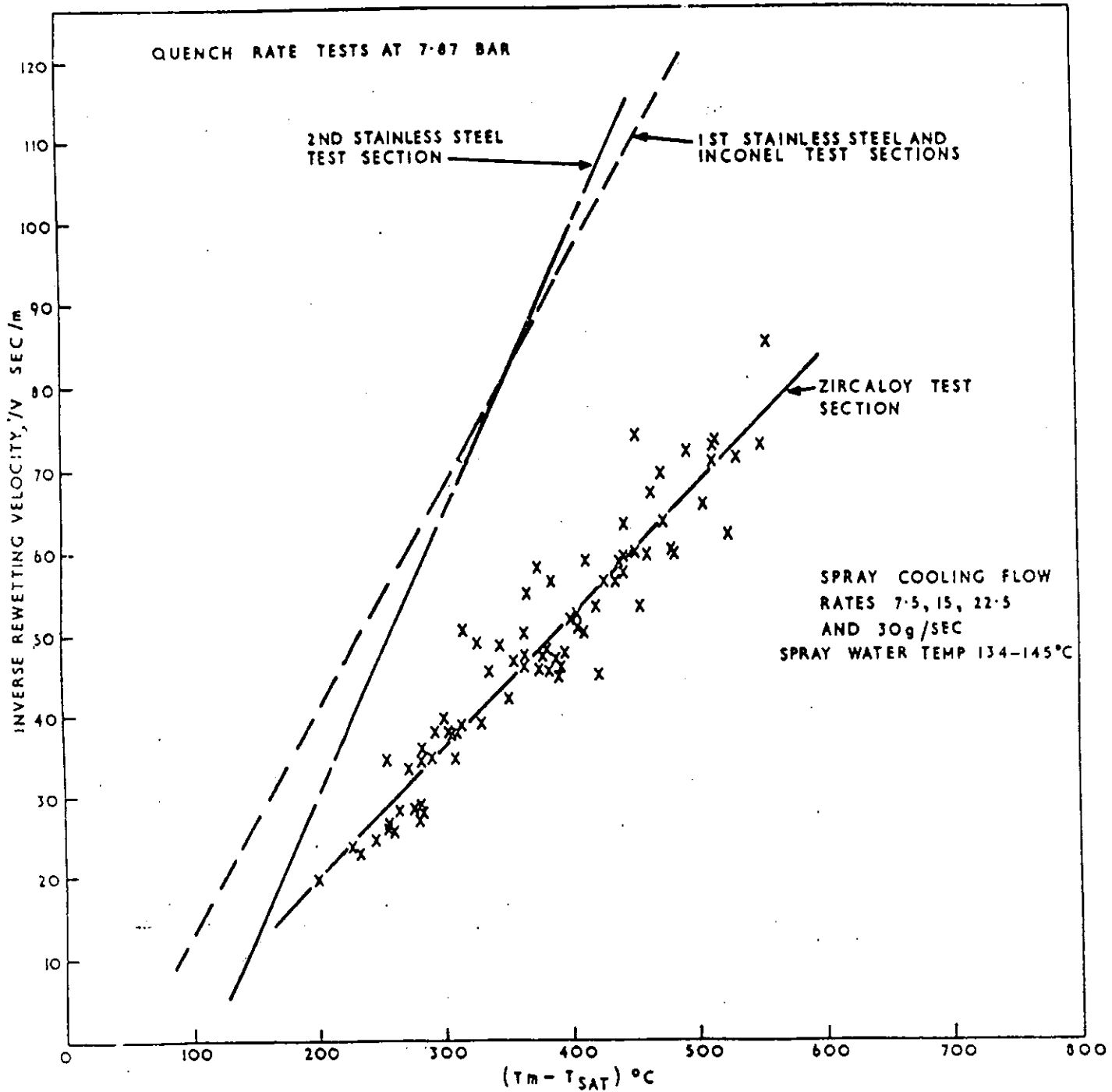
Σχήμα 5.8 : Αντίστροφη ταχύτητα επανάψυξης συναρτήσει της διαφοράς (T_w - T_s) [29].



Σχήμα 5.9 : Αντίστροφη ταχύτητα επανάφυξης συναρτήσει της διαφοράς (T_w - T_s) [29].



Σχήμα 5.10 : Αντίστροφη ταχύτητα επανάψυξης συναρτήσει της διαφοράς $(T_w - T_s)$ [61].

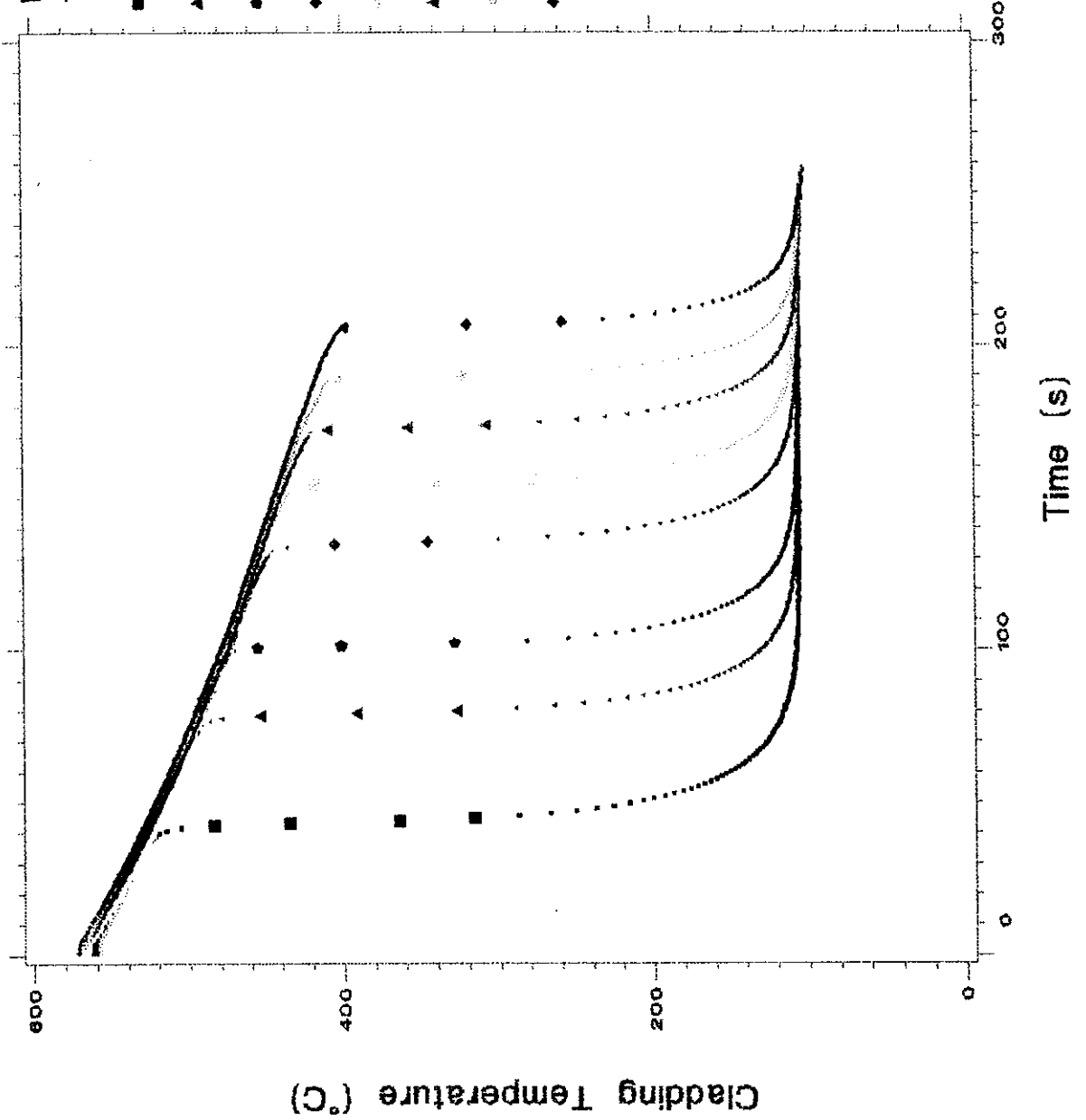


Σχήμα 5.11 : Αντίστροφη ταχύτητα επανάψυξης συναρτήσει της διαφοράς $(T_w - T_s)$ [61].

DATA FILE: 13041052.94

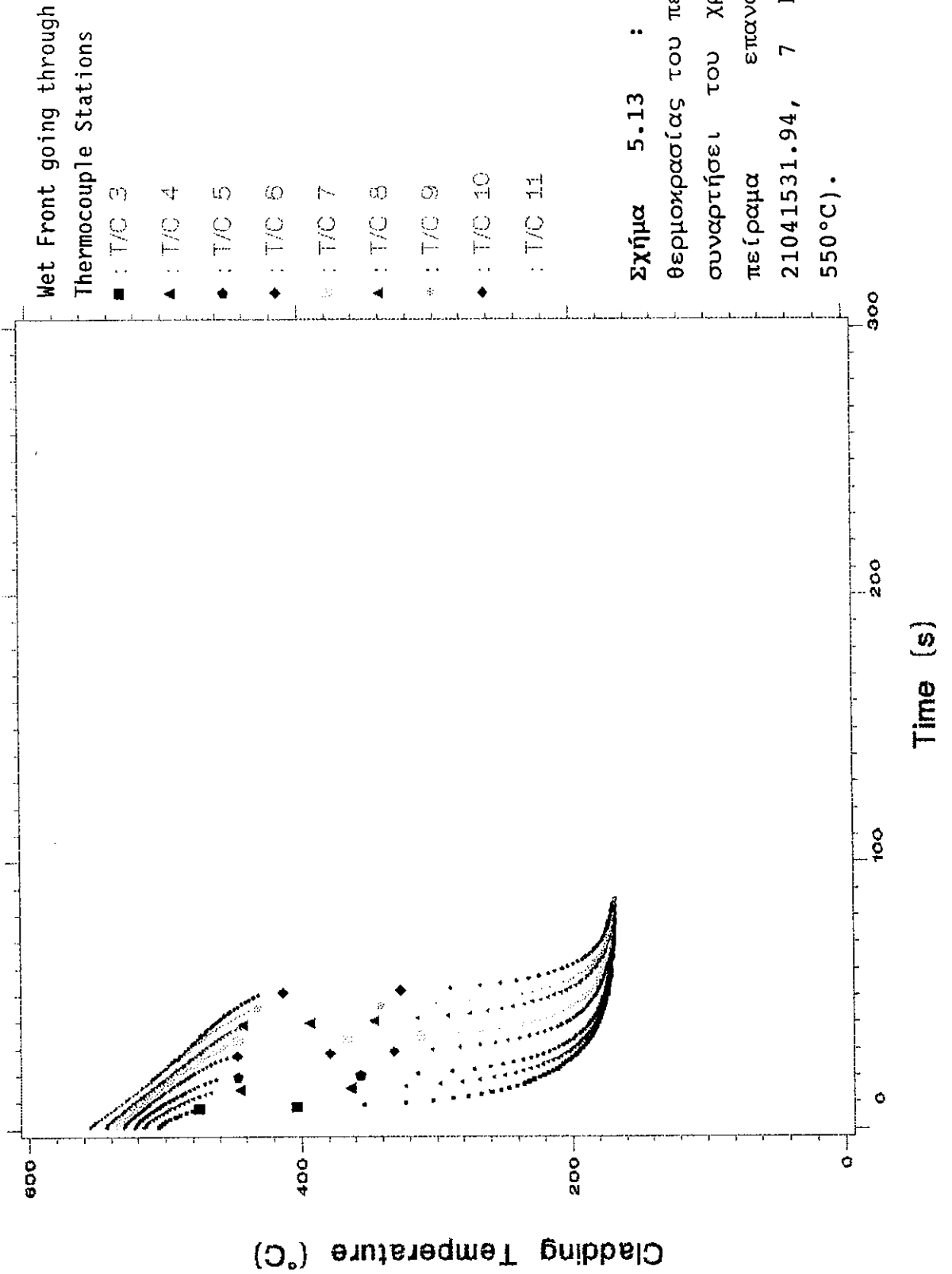
Wet Front going through
Thermocouple Stations

- : T/C 3
- ▲ : T/C 4
- ◆ : T/C 5
- ◇ : T/C 6
- ◐ : T/C 7
- ▲ : T/C 8
- ◑ : T/C 9
- ◆ : T/C 10
- ◒ : T/C 11

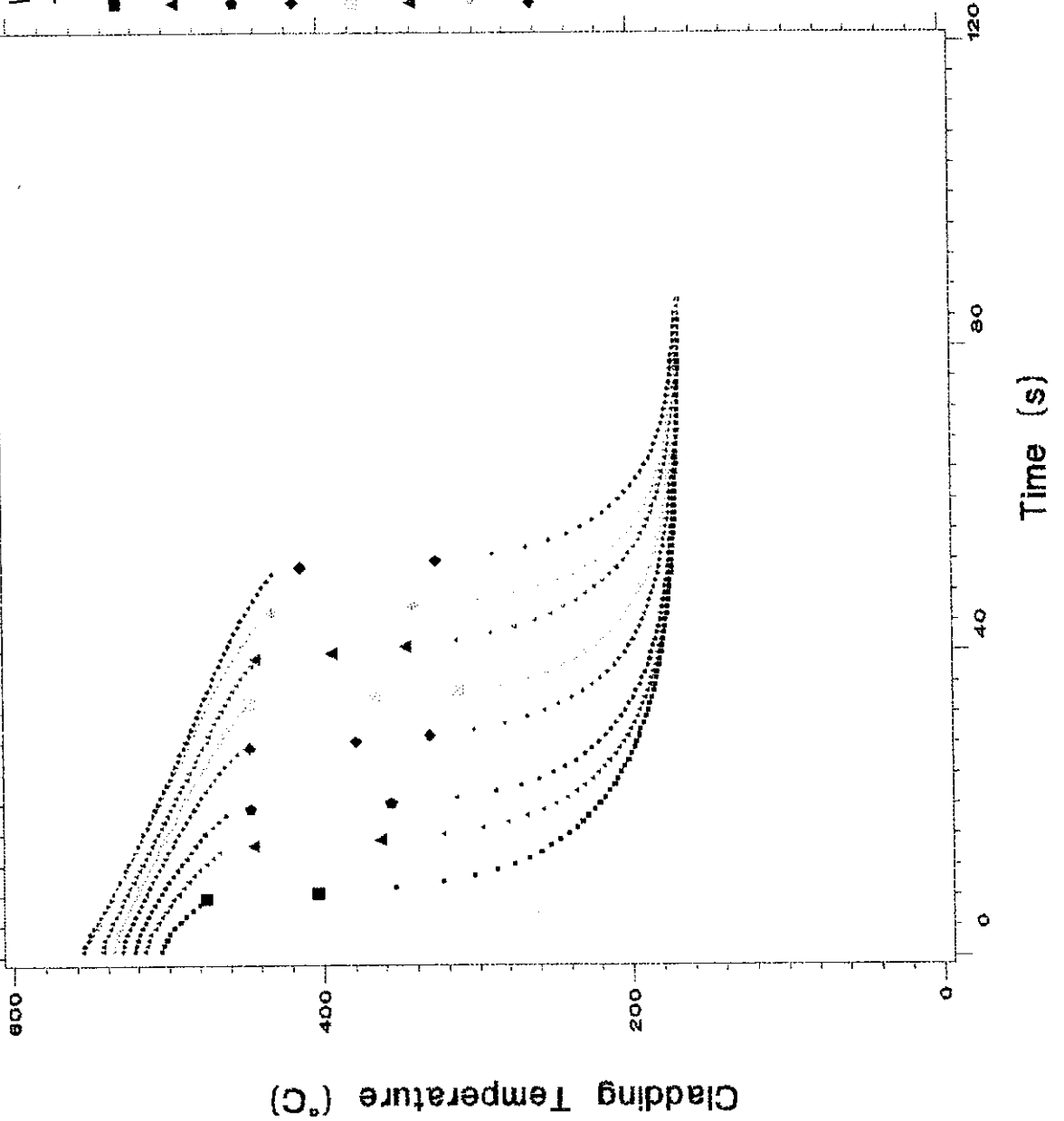


Σχήμα 5.12 : Η καταγραφή της θερμοκρασίας του περιβλήματος της ράβδου συναρτίζει του χρόνου για εκτελεσθέν πείραμα επαναψύξεως σε ατμοφαιριμιές συνθήκες (πείραμα 13041052.94, 1 bar, αρχική θερ/σία 550 °C).

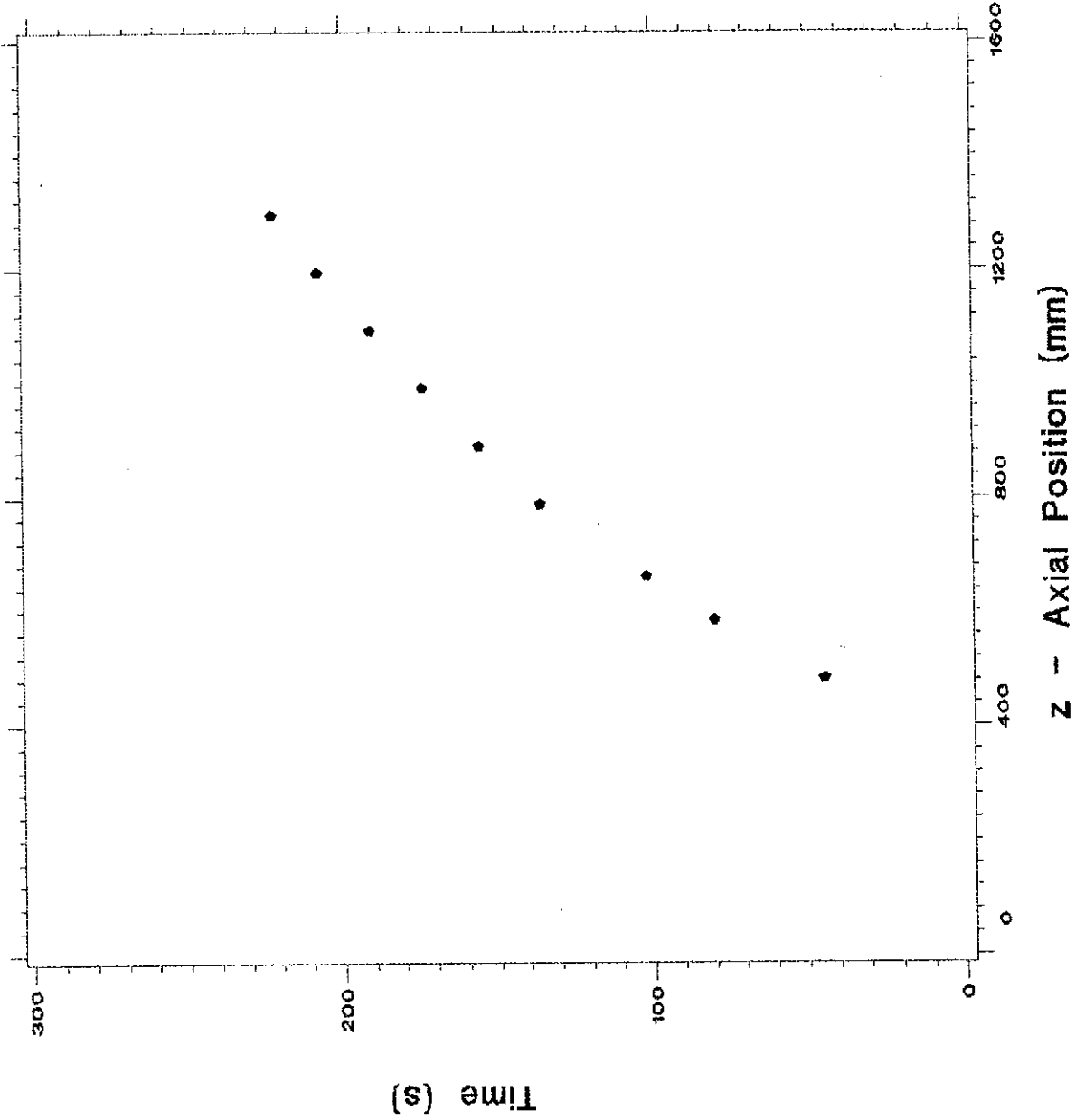
DATA FILE: 21041531.94



DATA FILE: 21041531.94

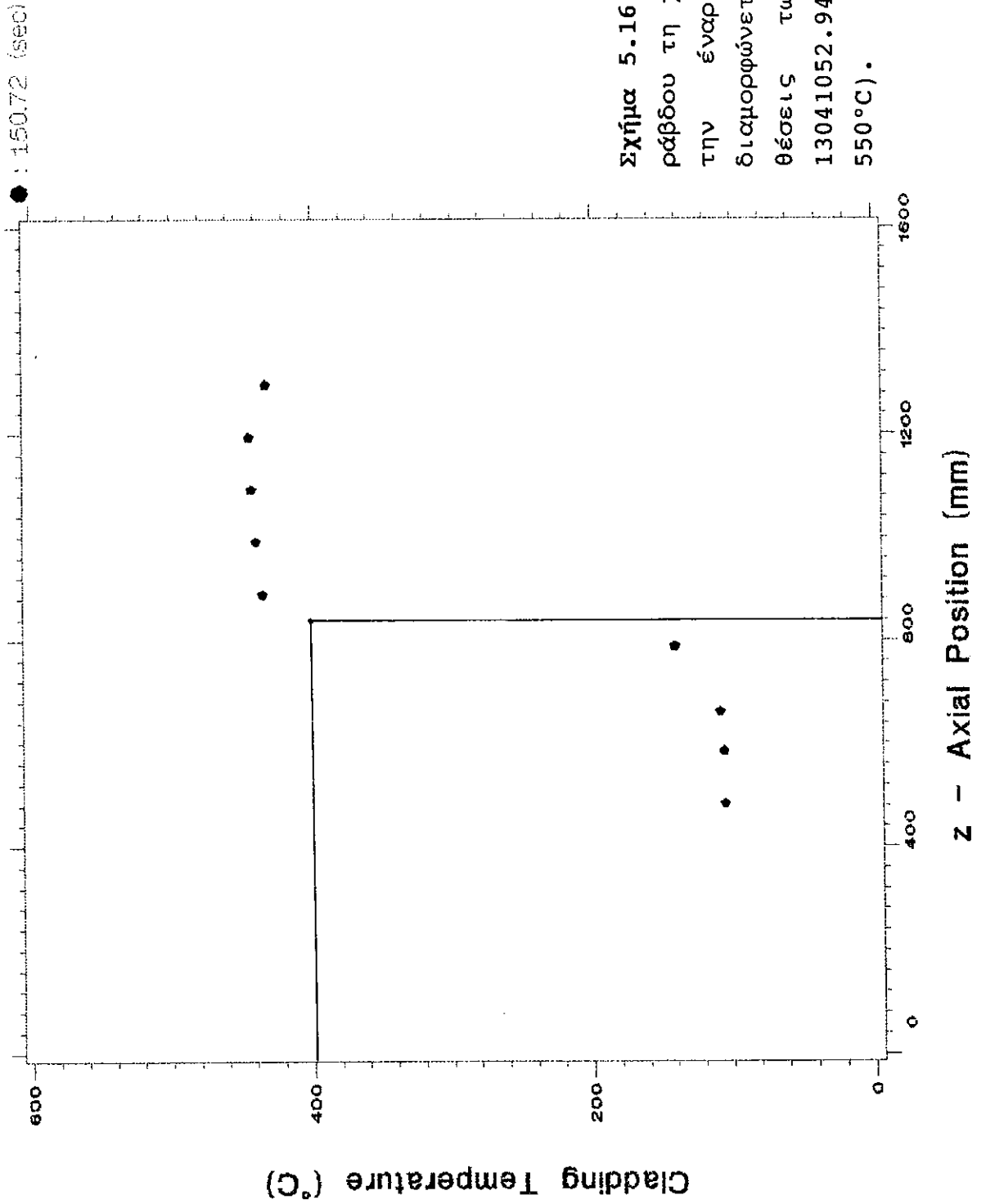


DATA FILE: 13041052.94

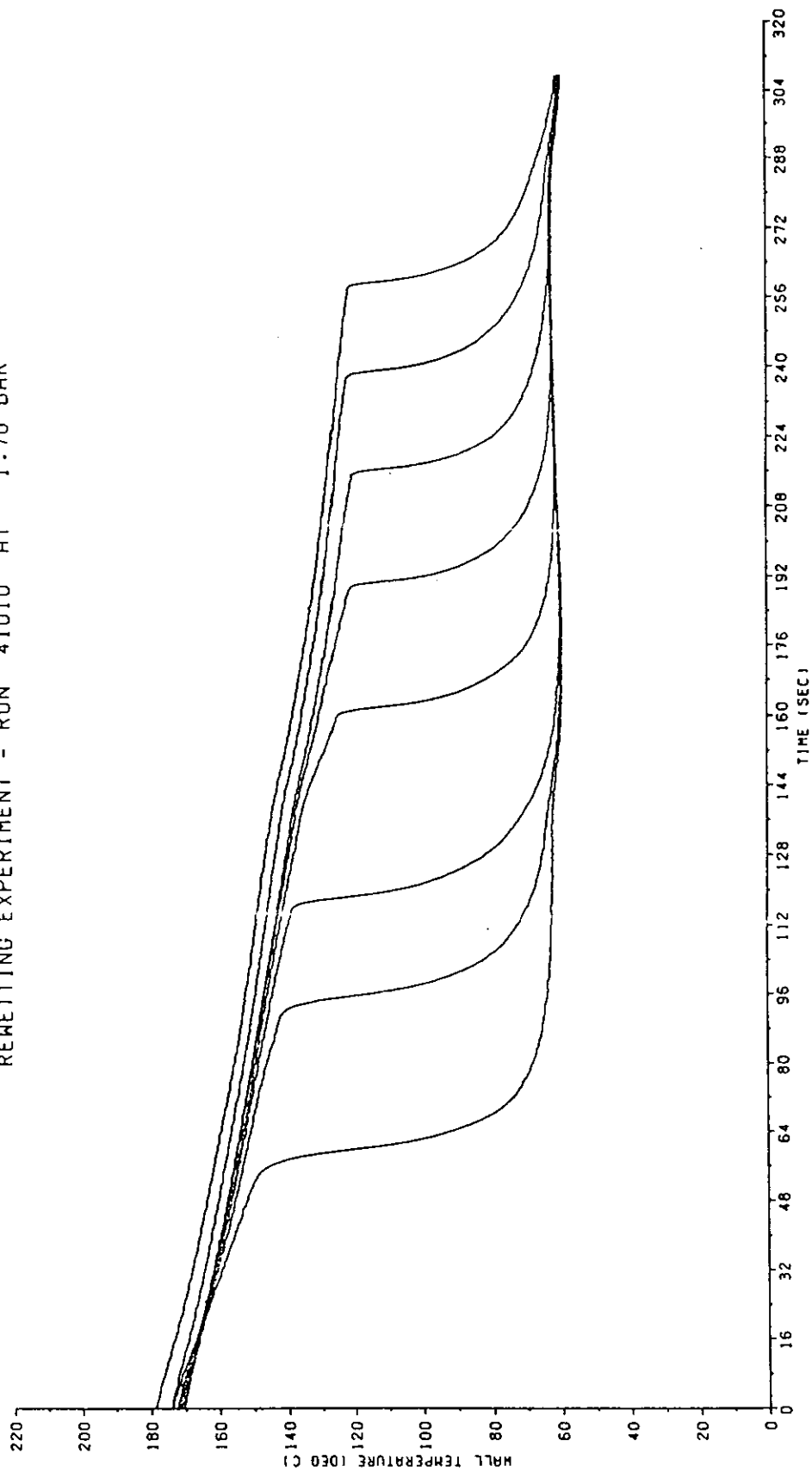


Σχήμα 5.15 : Ο χρόνος επαναφύξεως των 9 θέσεων της ράβδου όπου υπάρχουν θερμοστοιχεία (περίγραμμα 13041052.94, 1 bar, αρχική θερμότητα 550°C).

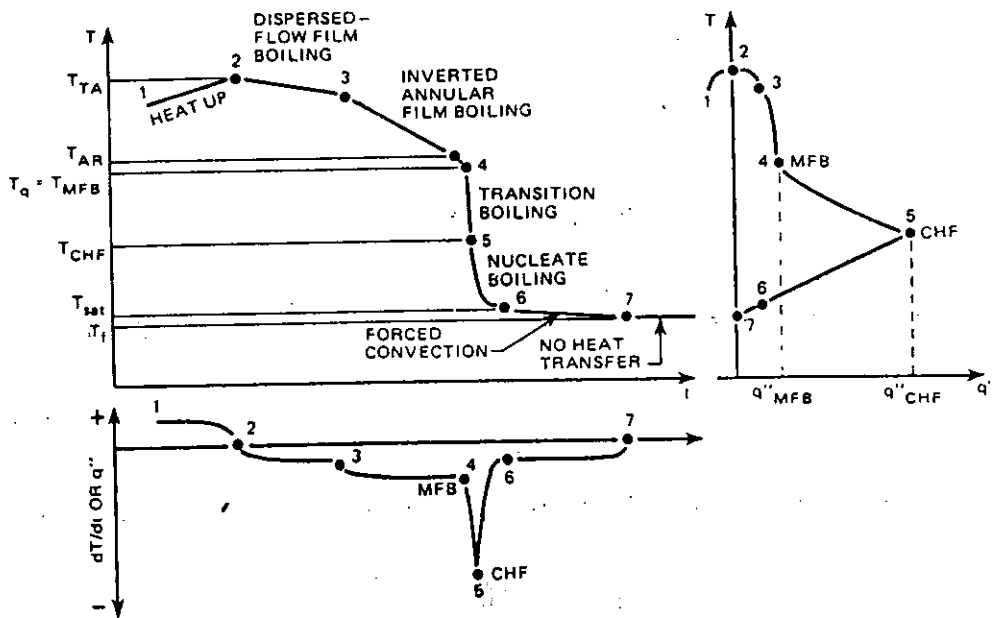
DATA FILE: 13041052.94



REWETTING EXPERIMENT - RUN 41010 AT 1.70 BAR



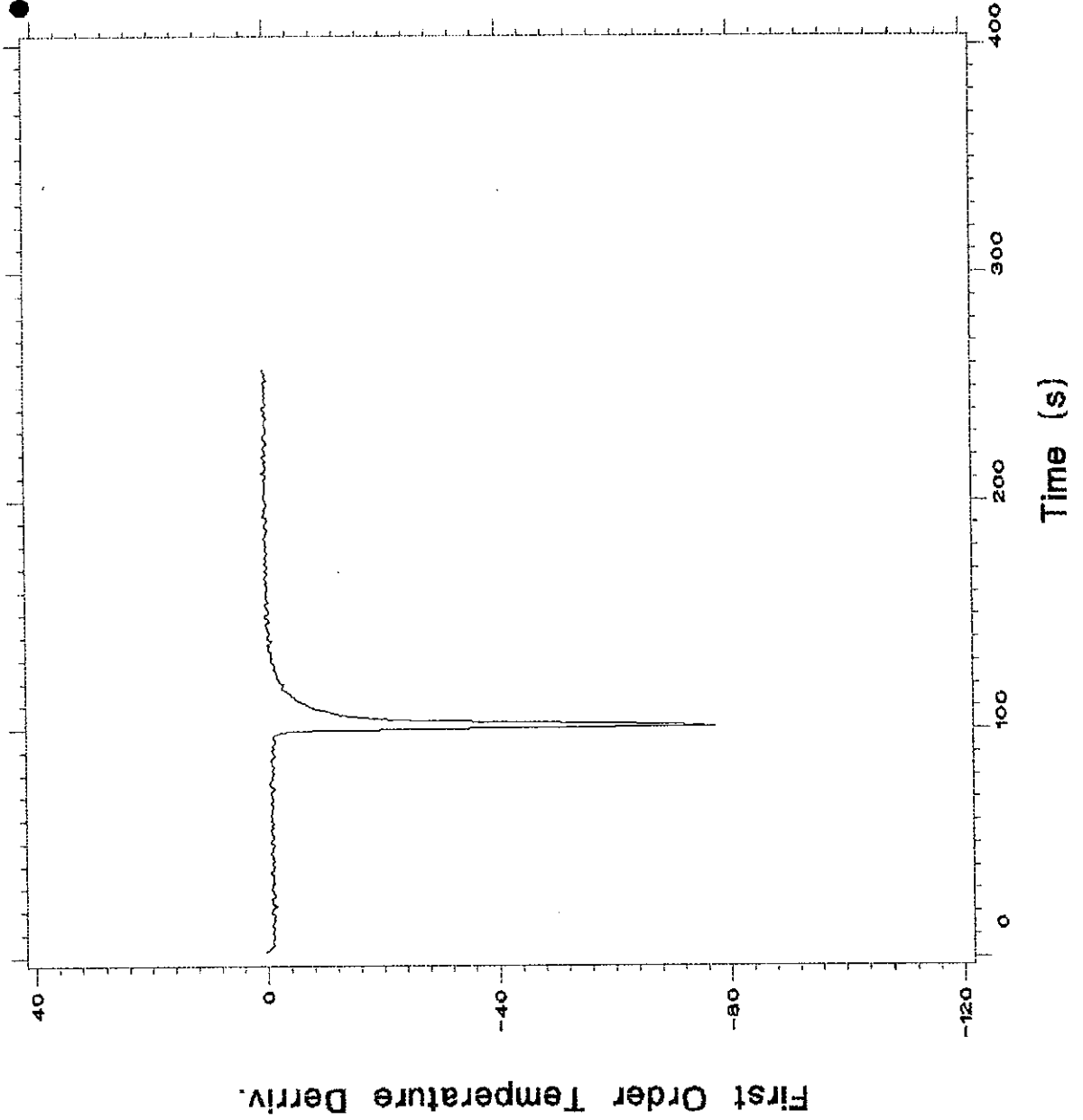
Σχήμα 5.17 : Θερμοκρασιακή ιστορία της ράβδου για την περίπτωση πειράματος με ψυκτικό Freon-113 [2].



Σχήμα 5.18 : Θερμοκρασία περιβλήματος συναρτήσει του χρόνου [97].

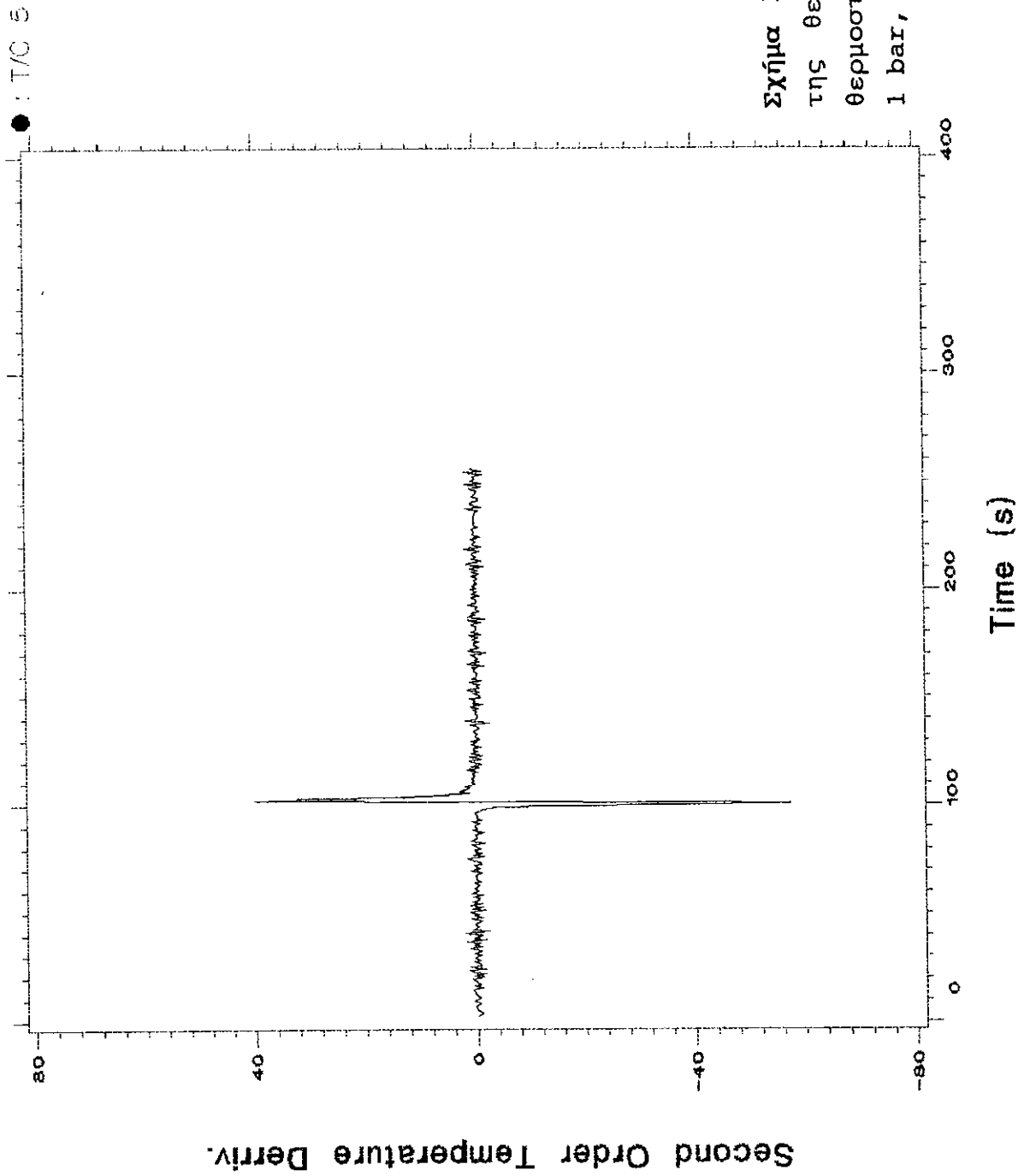
DATA FILE: 13041052.94

● : T/C 5



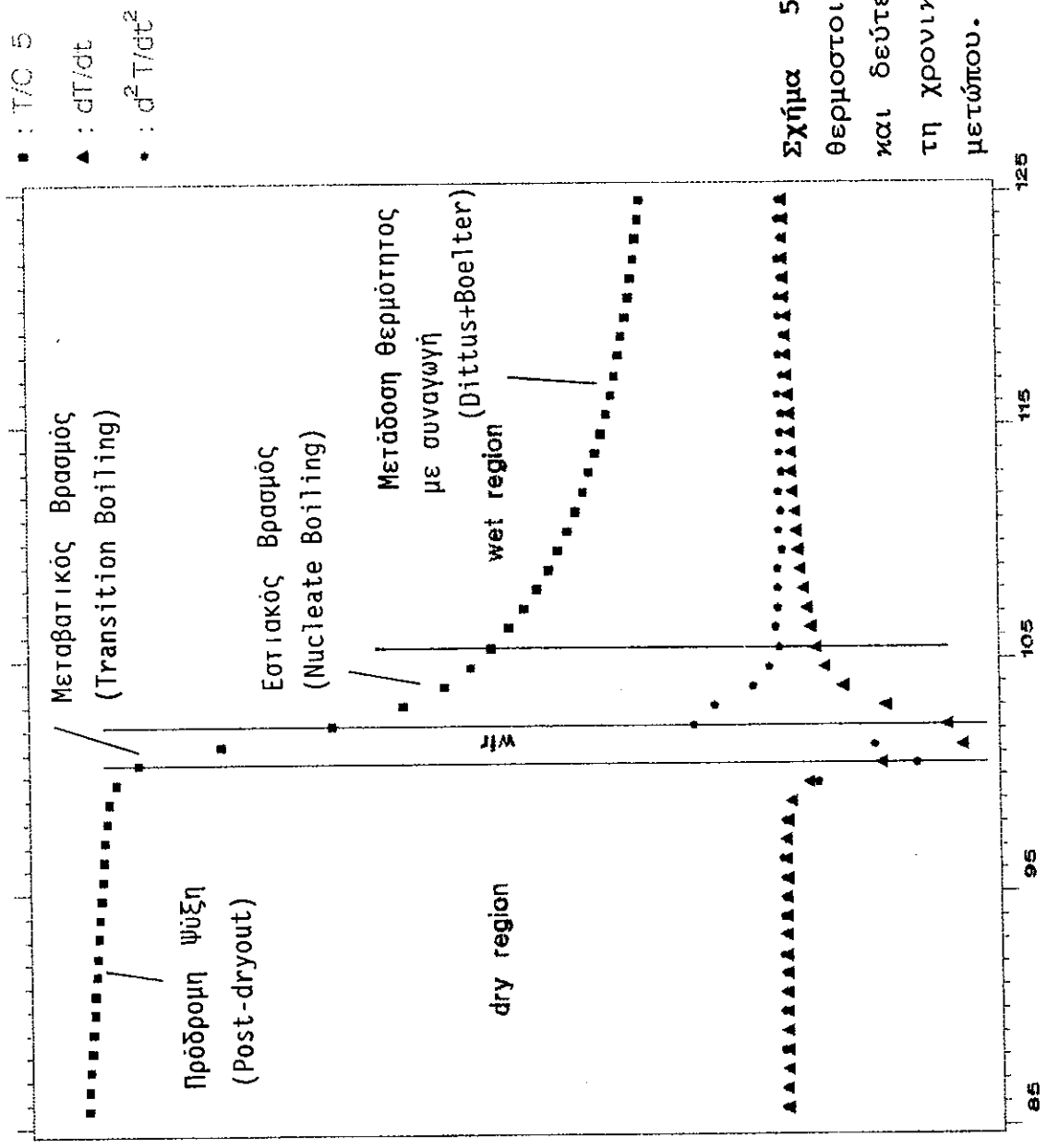
Σχήμα 5.19 : Πρώτη χρονική παράγωγος της, θερμοκρασίας που καταγράφεται στο θερμοστοιχείο TC-5 (πείραμα 13041052.94, 1 bar, αρχική θερμότητα 550°C).

DATA FILE: 13041052.94

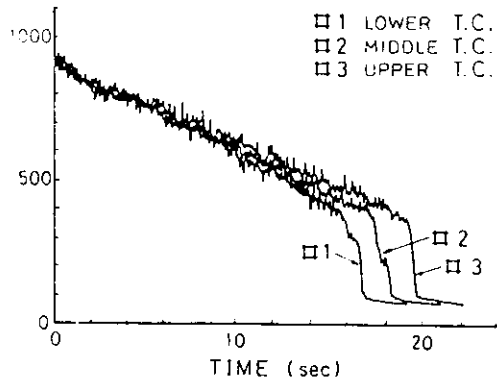


Σχήμα 5.20 : Δεύτερη χρονική παράγωγος της θερμοκρασίας που καταγράφεται στο θερμοστοιχείο TC-5 (πείραμα 13041052.94, 1 bar, αρχική θερμότητα 550°C).

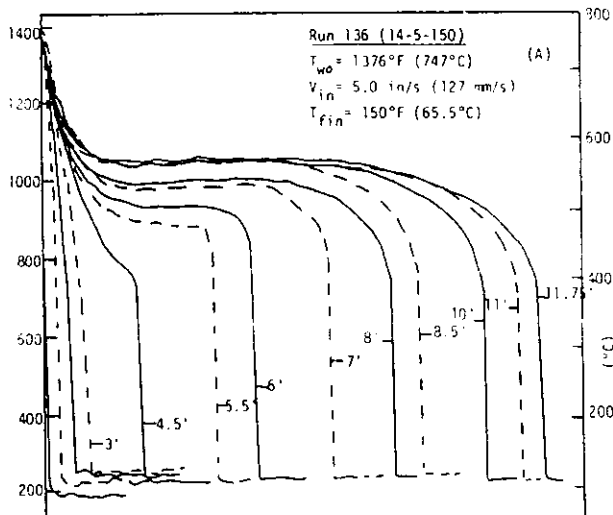
DATA FILE: 13041052.94



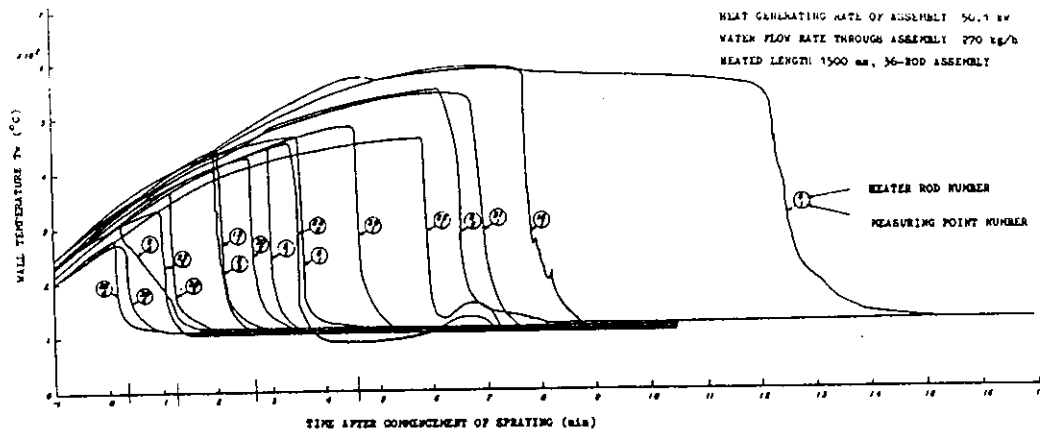
Σχήμα 5.21 : Η θερμοκρασία του θερμοστοιχείου TC-5 καθώς και η πρώτη και δεύτερη χρονική παράγωγός της κατά τη χρονική διάρκεια διέλευσης του υγρού μετώπου.



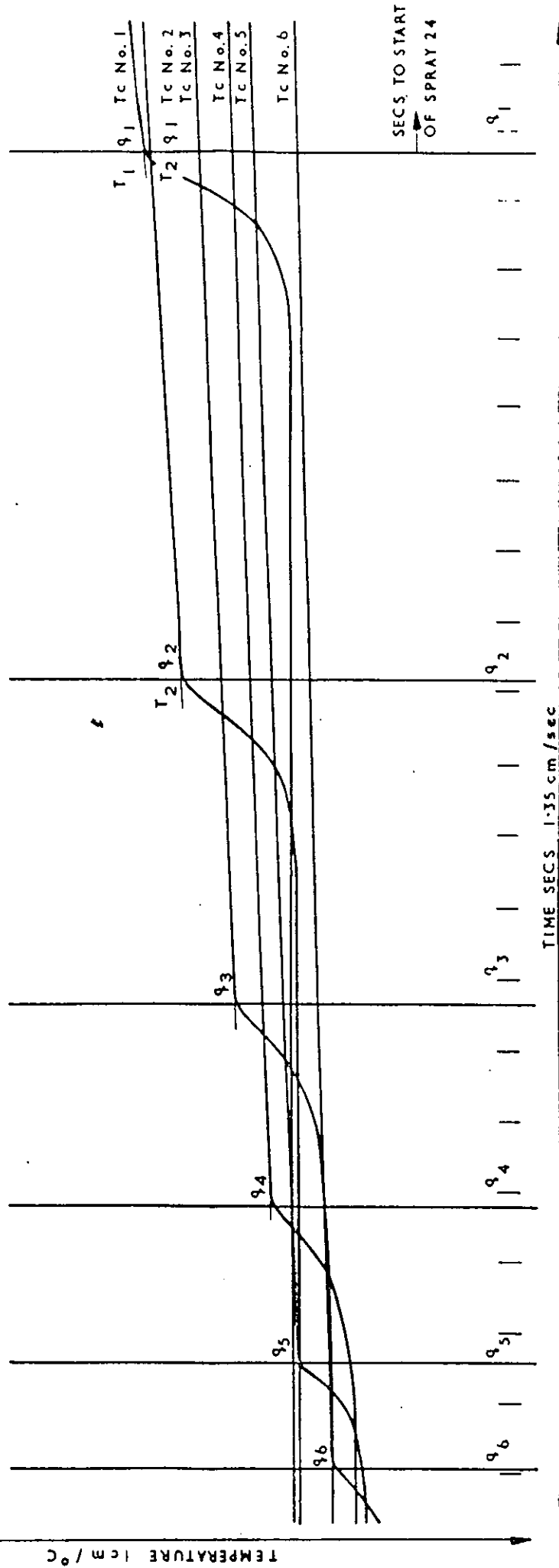
Σχήμα 5.22 : θερμοκρασιακή χρονοϊστορία επαναψυχόμενης ράβδου [34].



Σχήμα 5.23 : θερμοκρασιακή χρονοϊστορία επαναψυχόμενης ράβδου [62].



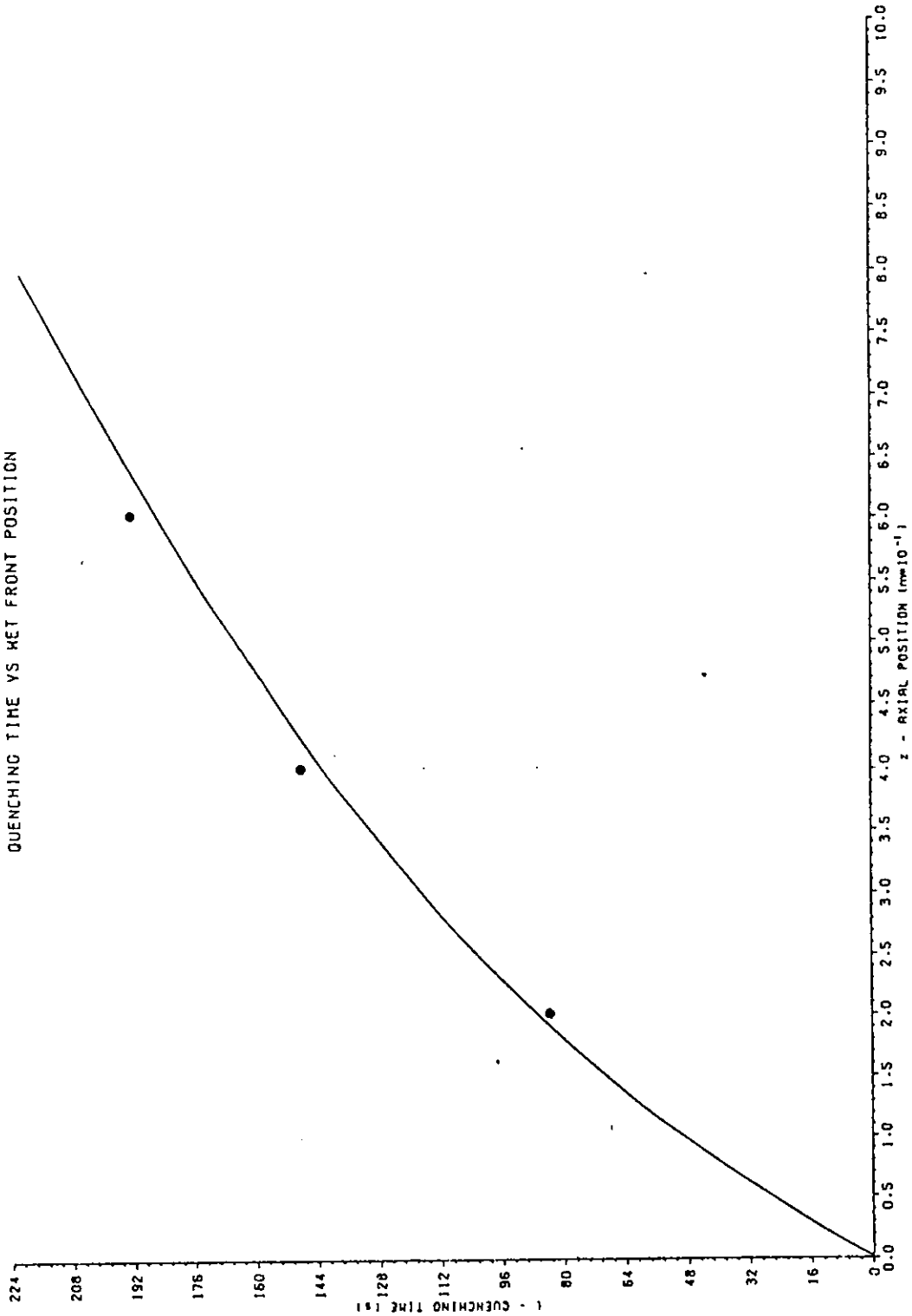
Σχήμα 5.24 : Θερμοκρασιακή χρονοϊστορία επαναψυχόμενης ράβδου [63].



Σχήμα 5.25 : Θερμοκρασιακή χρονοϊστορία επαναψυχόμενης ράβδου [61].

THEORETICAL ANALYSIS OF THE REWETTING PROCESS

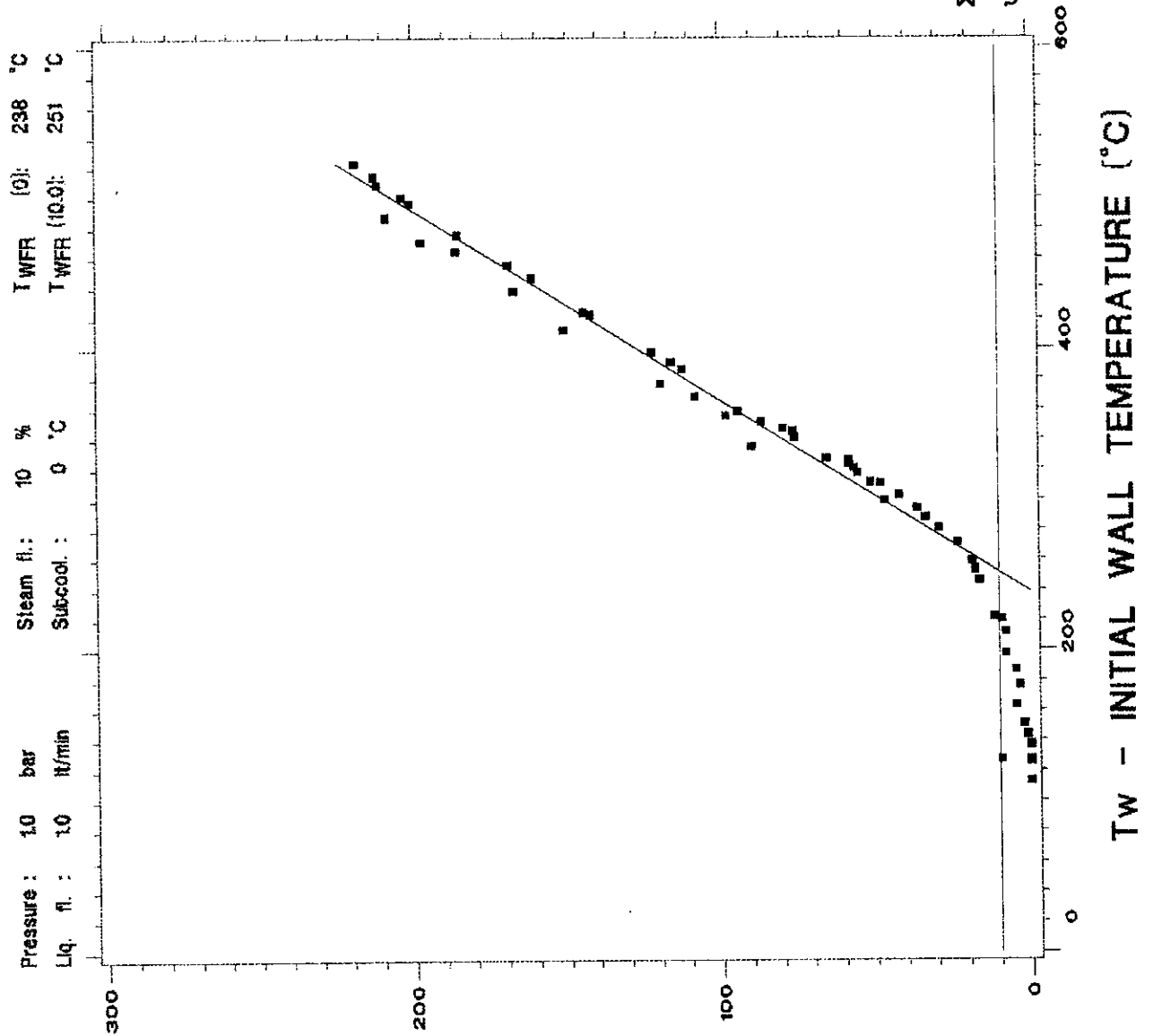
NUMERICAL SOLUTION - RUN 122-J7
 QUENCHING TIME VS WET FRONT POSITION



• transient analysis correlation

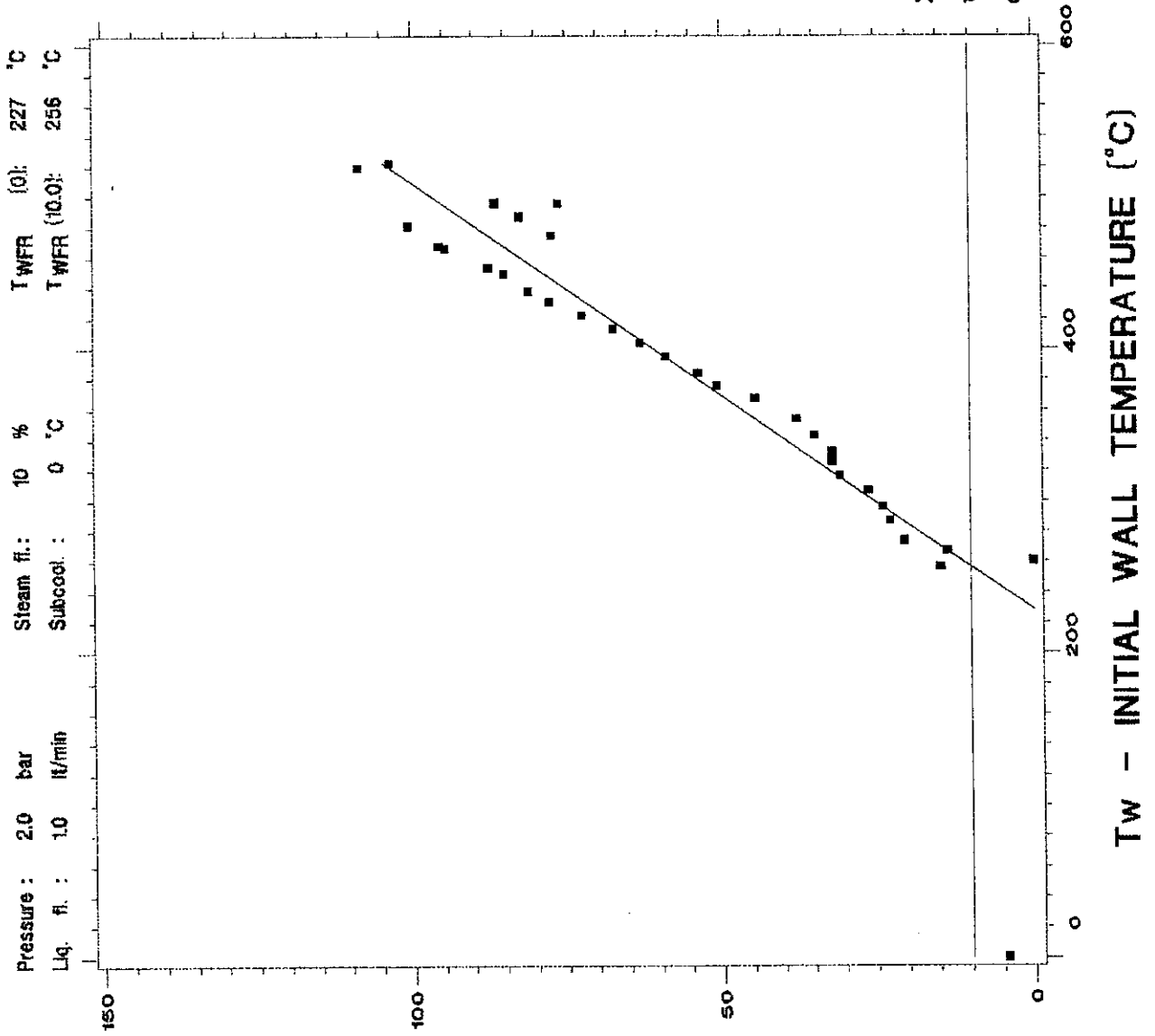
Σχήμα 5.26 : Χρόνος Επαναψύξεως των θέσεων κατά μήκος της ράβδου [2].

1/u - INVERSE REWETTING RATE (s/m)

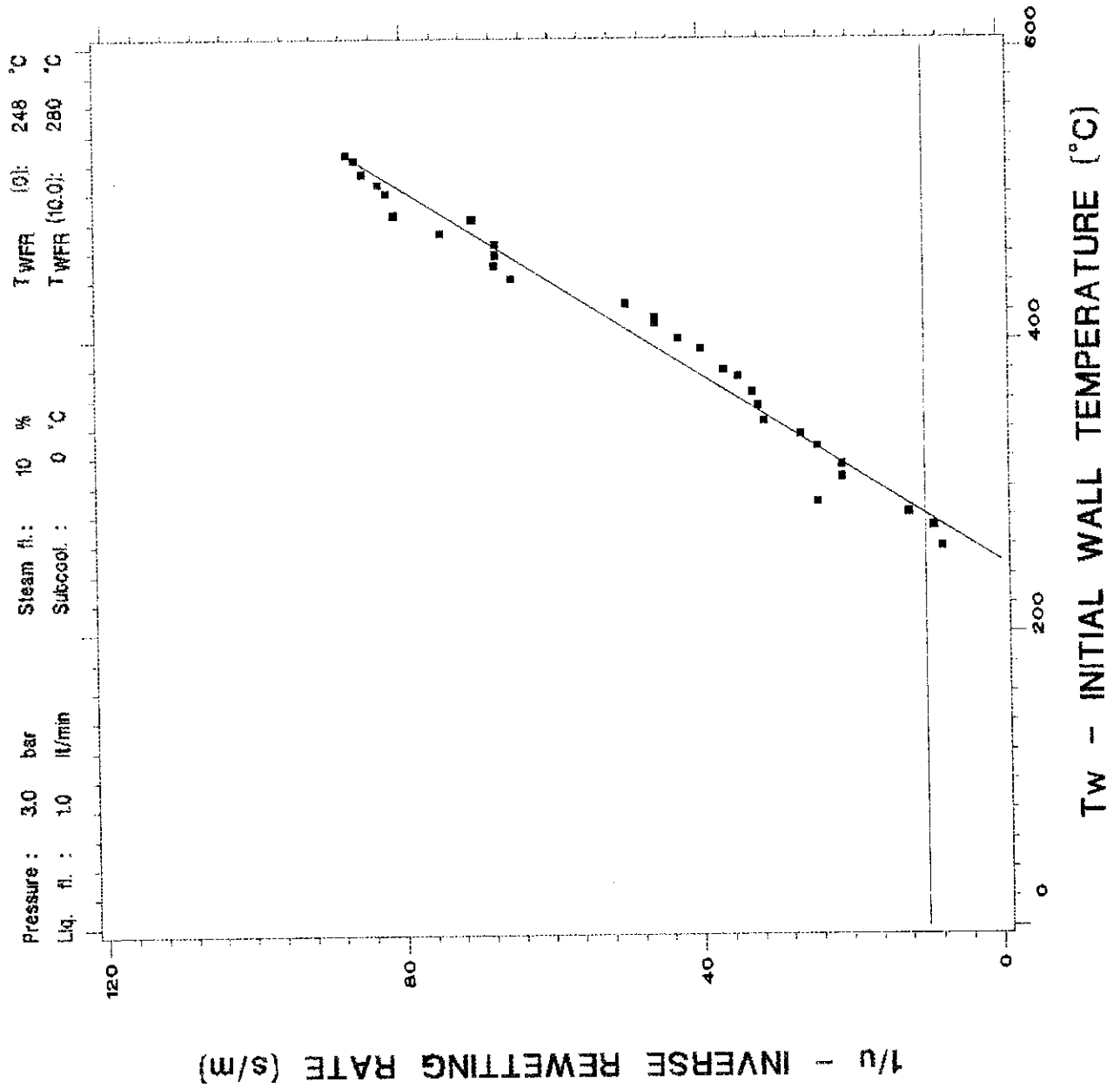


Σχήμα 5.27: Επεξεργασία ενός πειραματικού υποσυνόλου (ατμοσφαιρικό πείραμα).

1/u - INVERSE REWETTING RATE (s/m)

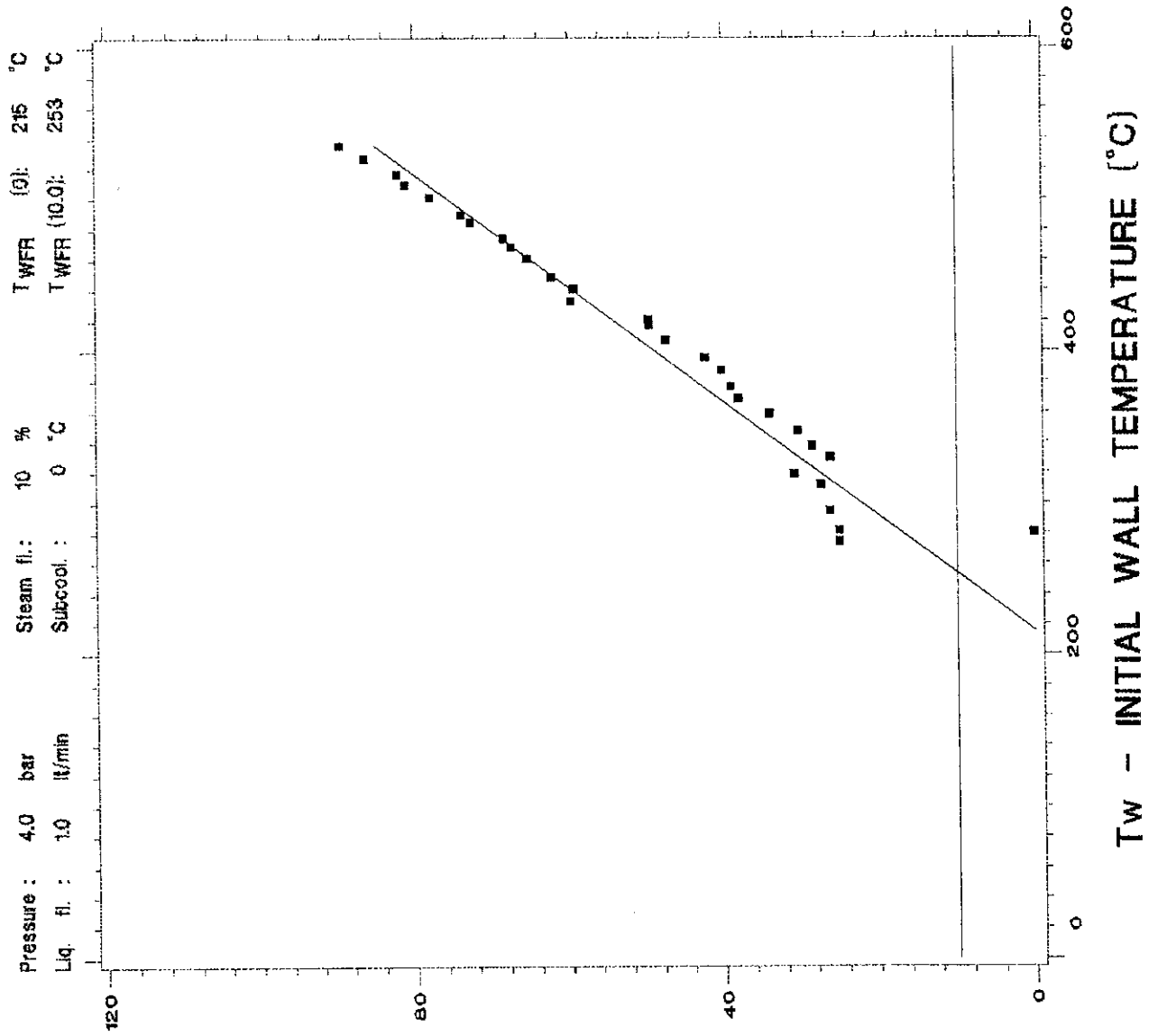


Σχήμα 5.28: Επεξεργασία ενός πειραματικού υποσυνόλου (πείραμα σε πίεση 2 bar ατμού).



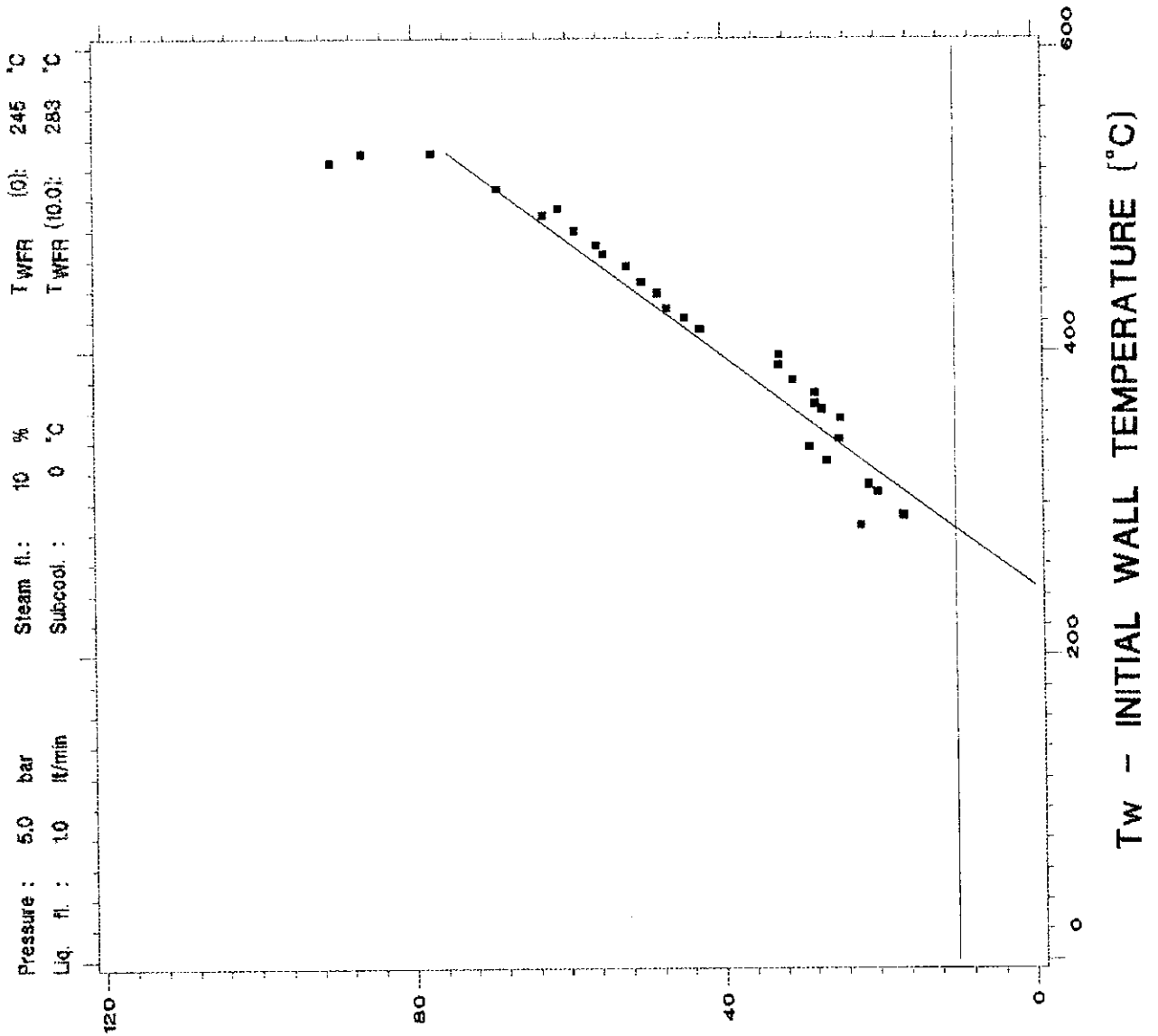
Σχήμα 5.29: Επεξεργασία ενός πειραματικού υποσυνόλου (πείραμα σε πίεση 3 bar ατμού).

1/u - INVERSE RETWETTING RATE (s/m)



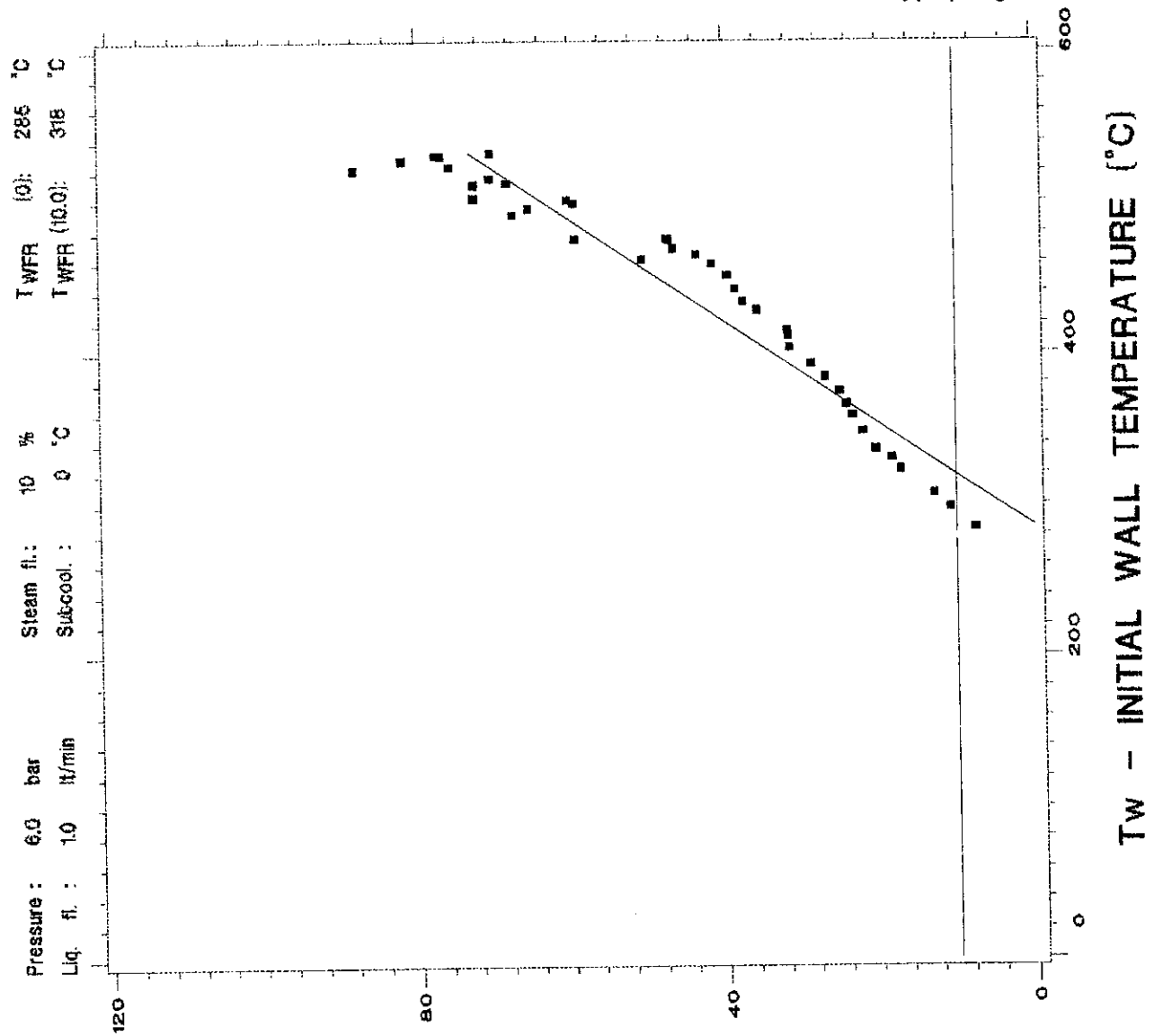
Σχήμα 5.30: Επεξεργασία ενός πειραματικού υποσυνόλου (πείραμα σε πίεση 4 bar ατμού).

1/u - INVERSE REWETTING RATE (s/m)



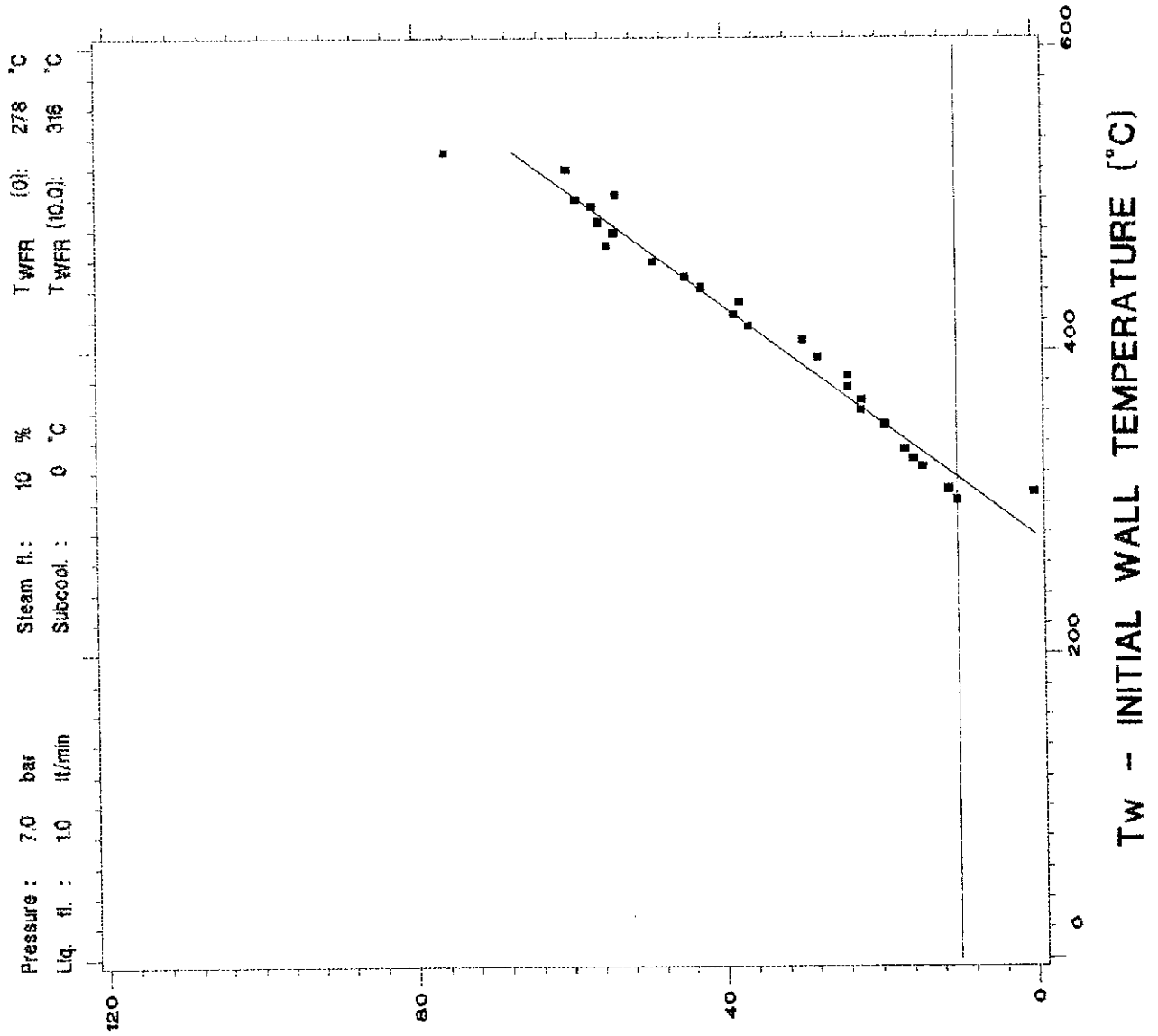
Σχήμα 5.31: Επεξεργασία ενός πειραματικού υποσυνόλου (πείραμα σε πίεση 5 bar ατμού).

1/u - INVERSE REWETTING RATE (s/m)



Σχήμα 5.32: Επεξεργασία ενός πειραματικού υποσυνόλου (πείραμα σε πίεση 6 bar ατμού).

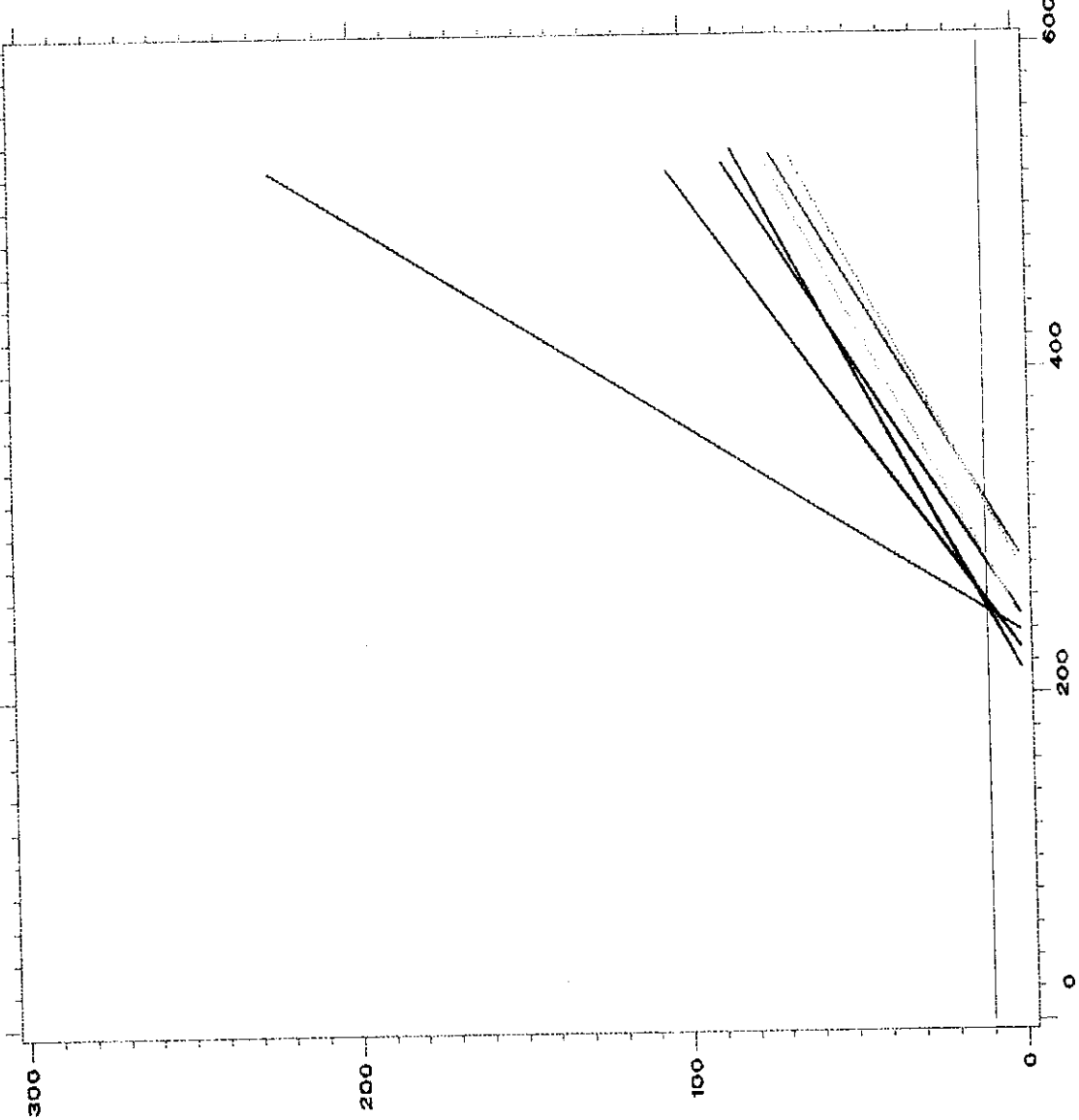
1/u - INVERSE REWETTING RATE (s/m)



Σχήμα 5.33: Επεξεργασία ενός πειραματικού υποσυνόλου (πείραμα σε πίεση 7 bar ατμού).

Pressure : Parameter Steam fl. : 10 %
 Liq. fl. : 1.0 l/min Subcool. : 0 °C

- : 1 bar
- : 2 bar
- : 3 bar
- : 4 bar
- : 5 bar
- : 6 bar
- : 7 bar



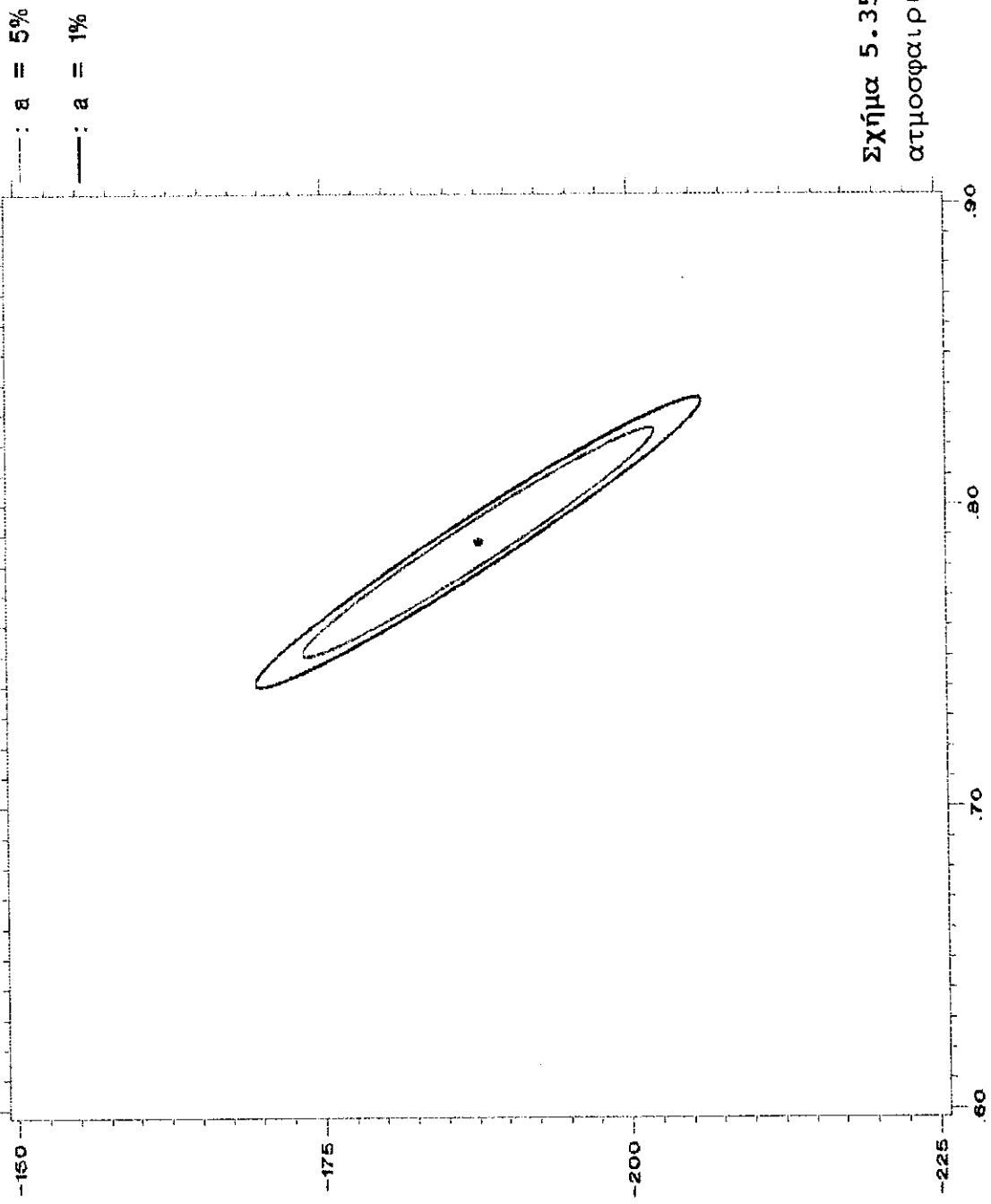
Σχήμα 5.34: Παραμετρική επεξεργασία των συλλεγόντων αποτελεσμάτων με παράμετρο την πίεση.

T_w - INITIAL WALL TEMPERATURE (°C)

1/u - INVERSE REWETTING RATE (s/m)

Confidence Interval Ellipses

$$1/u = a_0 + a_1 * Tw$$

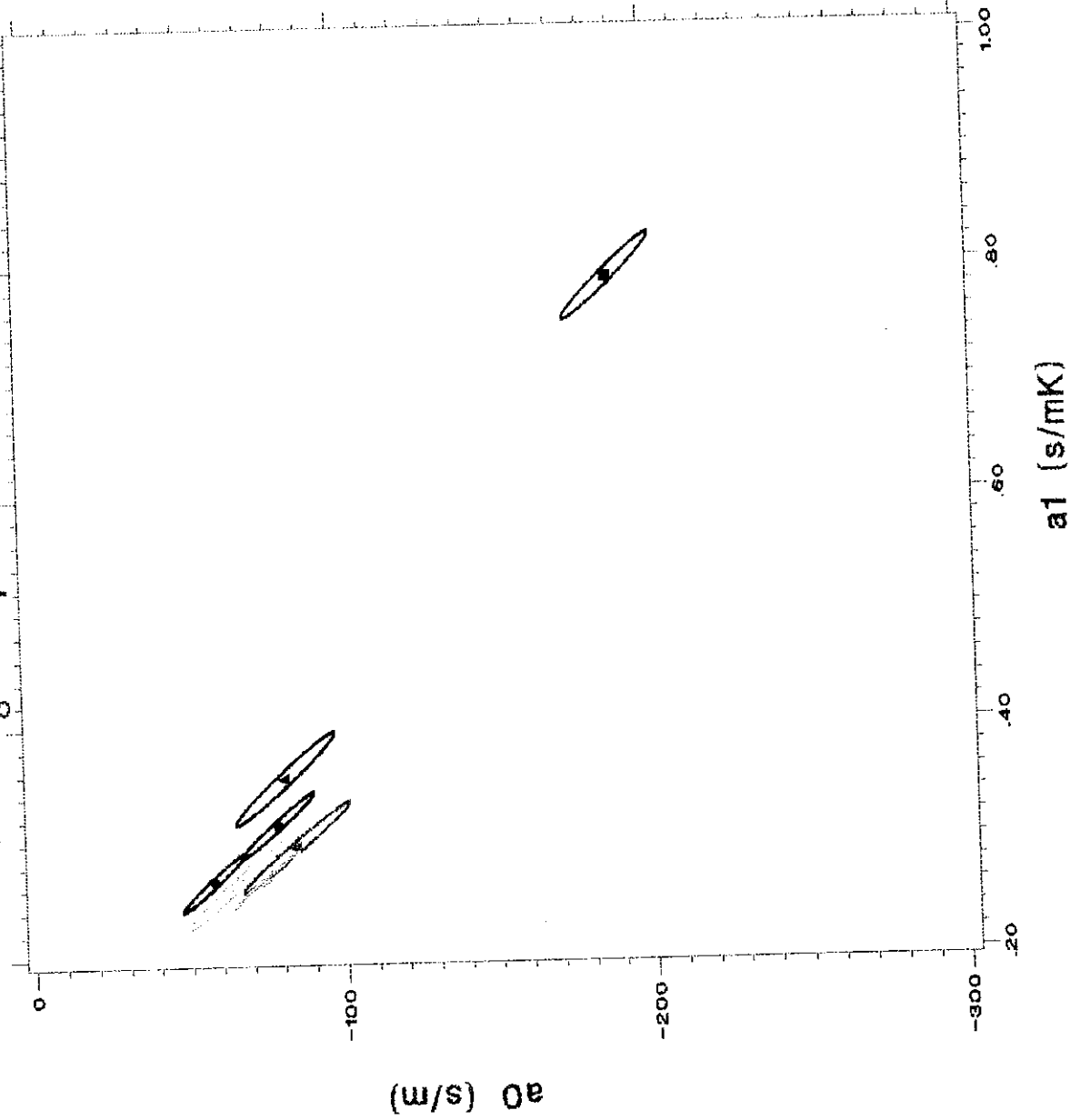


Σχήμα 5.35: Ελλείψεις εμπιστοσύνης για το ατμοσφαιρικό πείραμα.

Confidence Interval Ellipses(5%)

$$1/u = a_0 + a_1 * Tw$$

- : 1 bar
- ▲ : 2 bar
- ◆ : 3 bar
- : 4 bar
- : 5 bar
- △ : 6 bar
- ⊛ : 7 bar

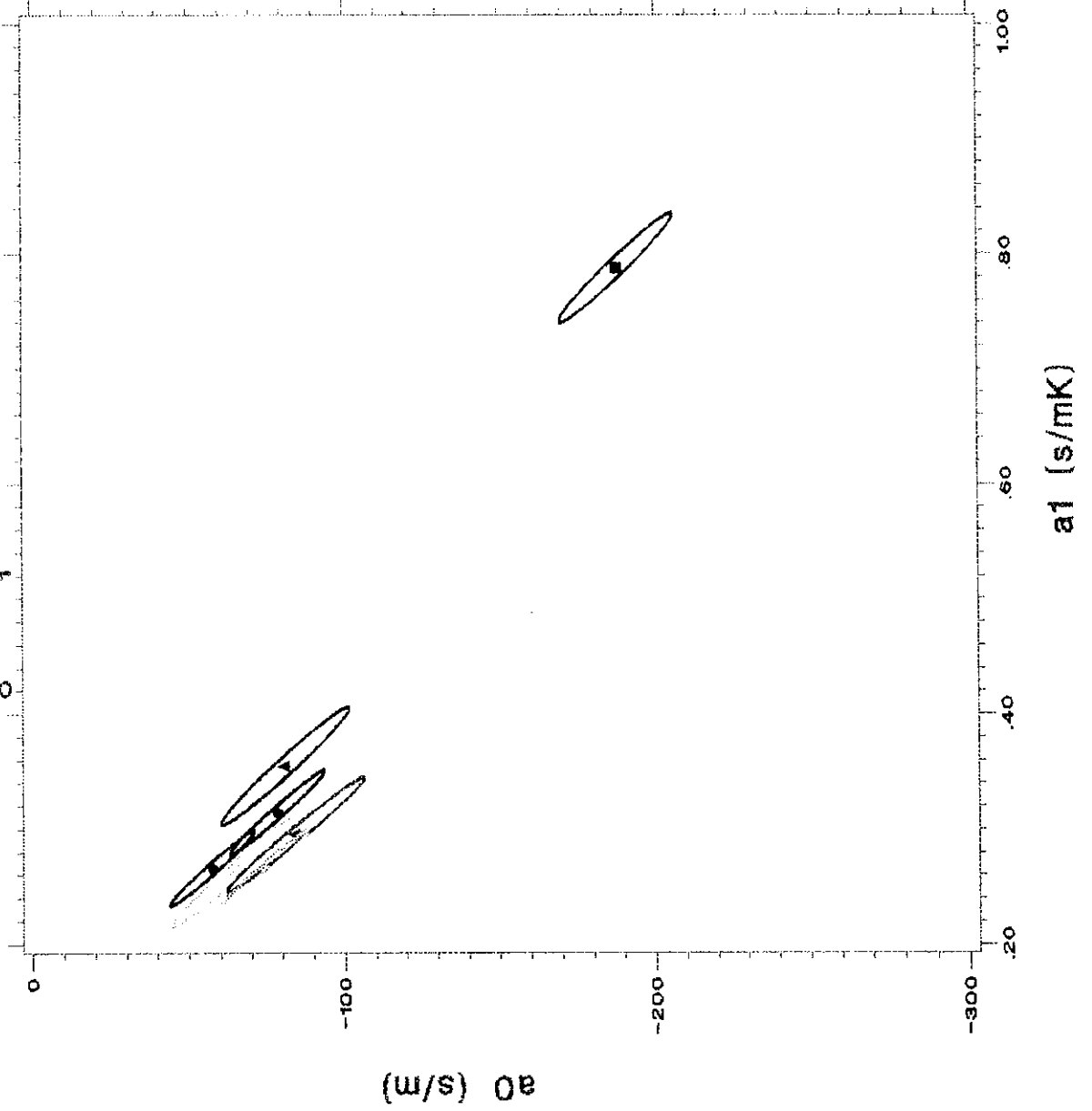


Σχήμα 5.36: Ελλείψεις εμπιστοσύνης σε επίπεδο $\alpha=0.05$.

Confidence Interval Ellipses(1%)

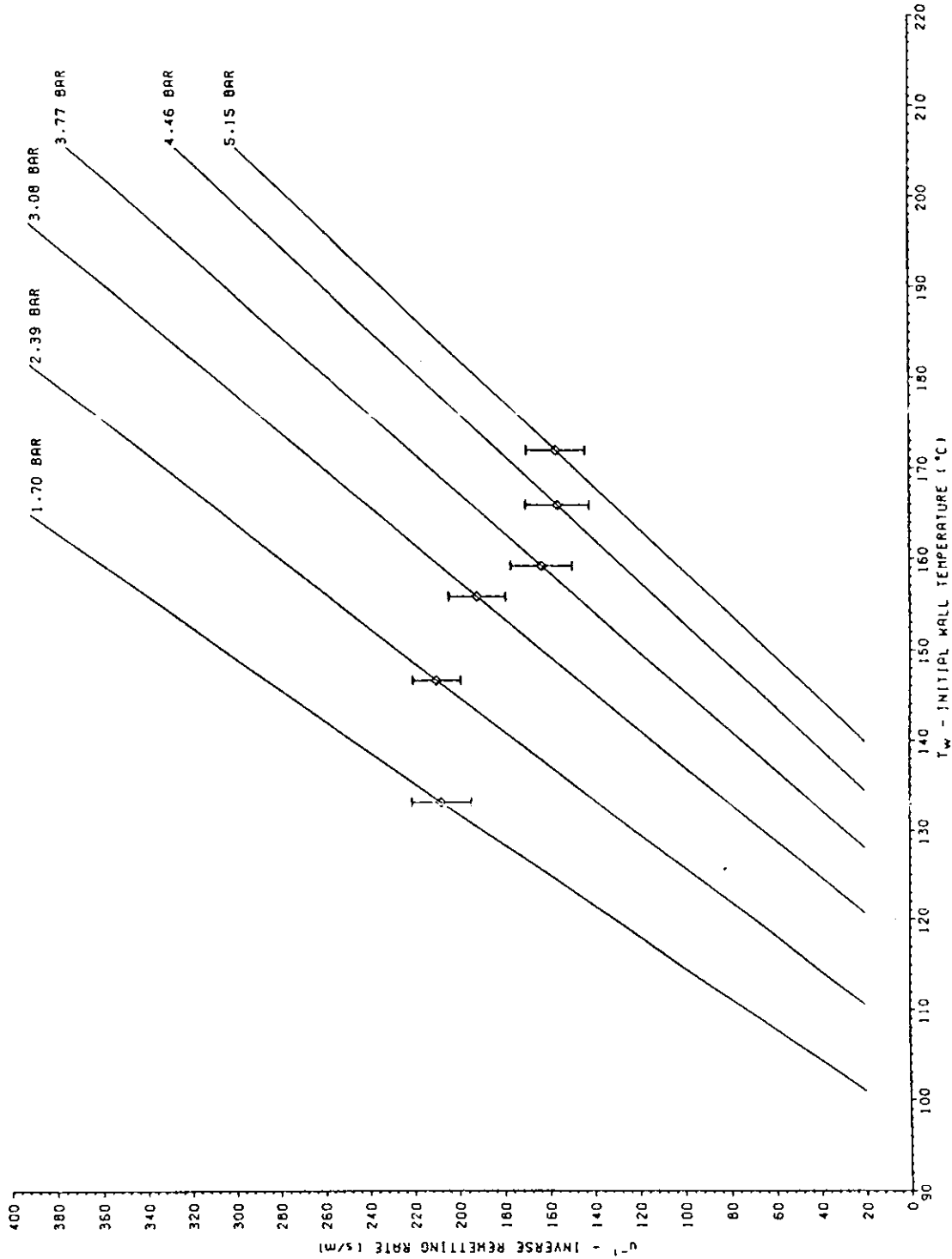
$$1/u = a_0 + a_1 * Tw$$

- : 1 bar
- ▲ : 2 bar
- : 3 bar
- ◆ : 4 bar
- : 5 bar
- △ : 6 bar
- ▽ : 7 bar

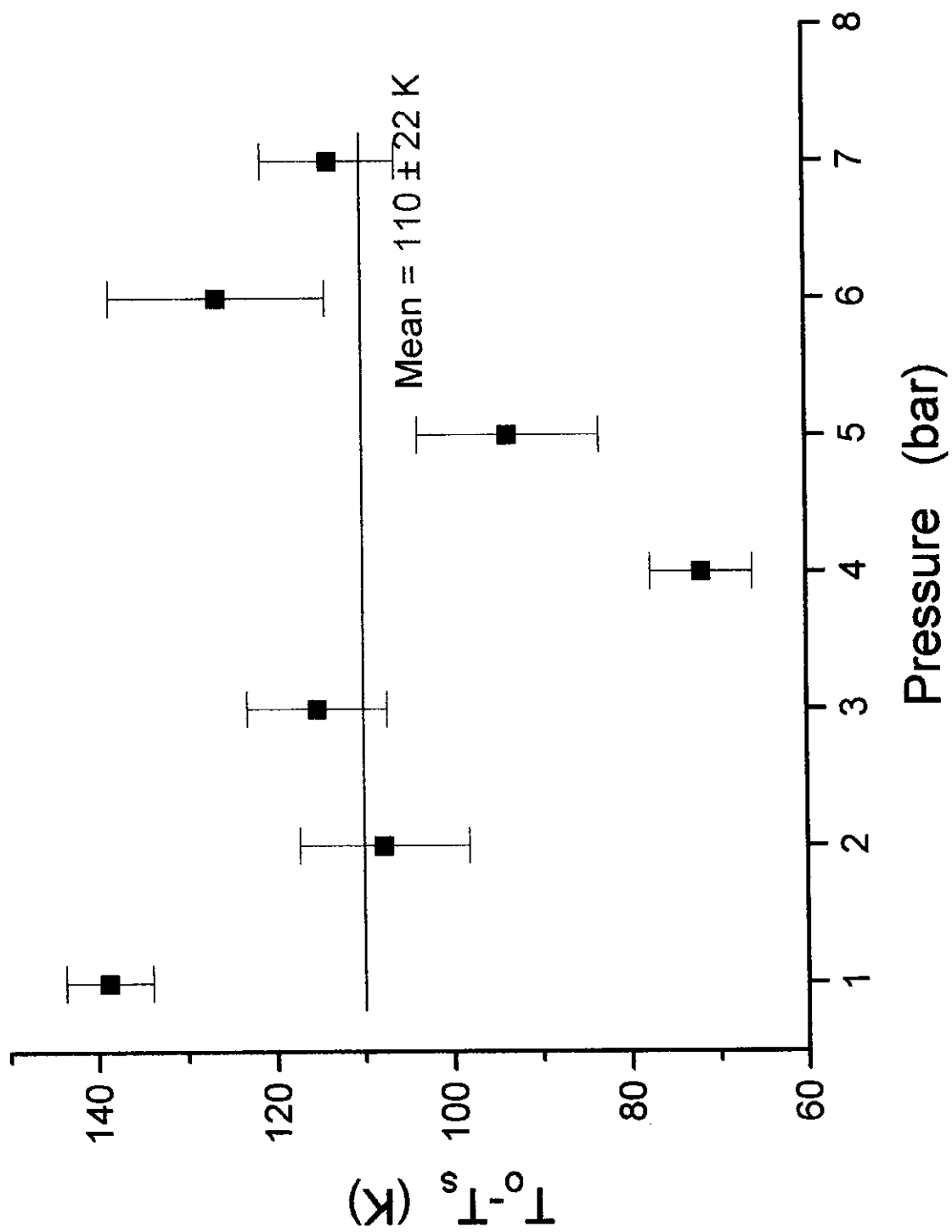


Σχήμα 5.37: Ελλείψεις εμπιστοσύνης σε επίπεδο $\alpha=0.01$.

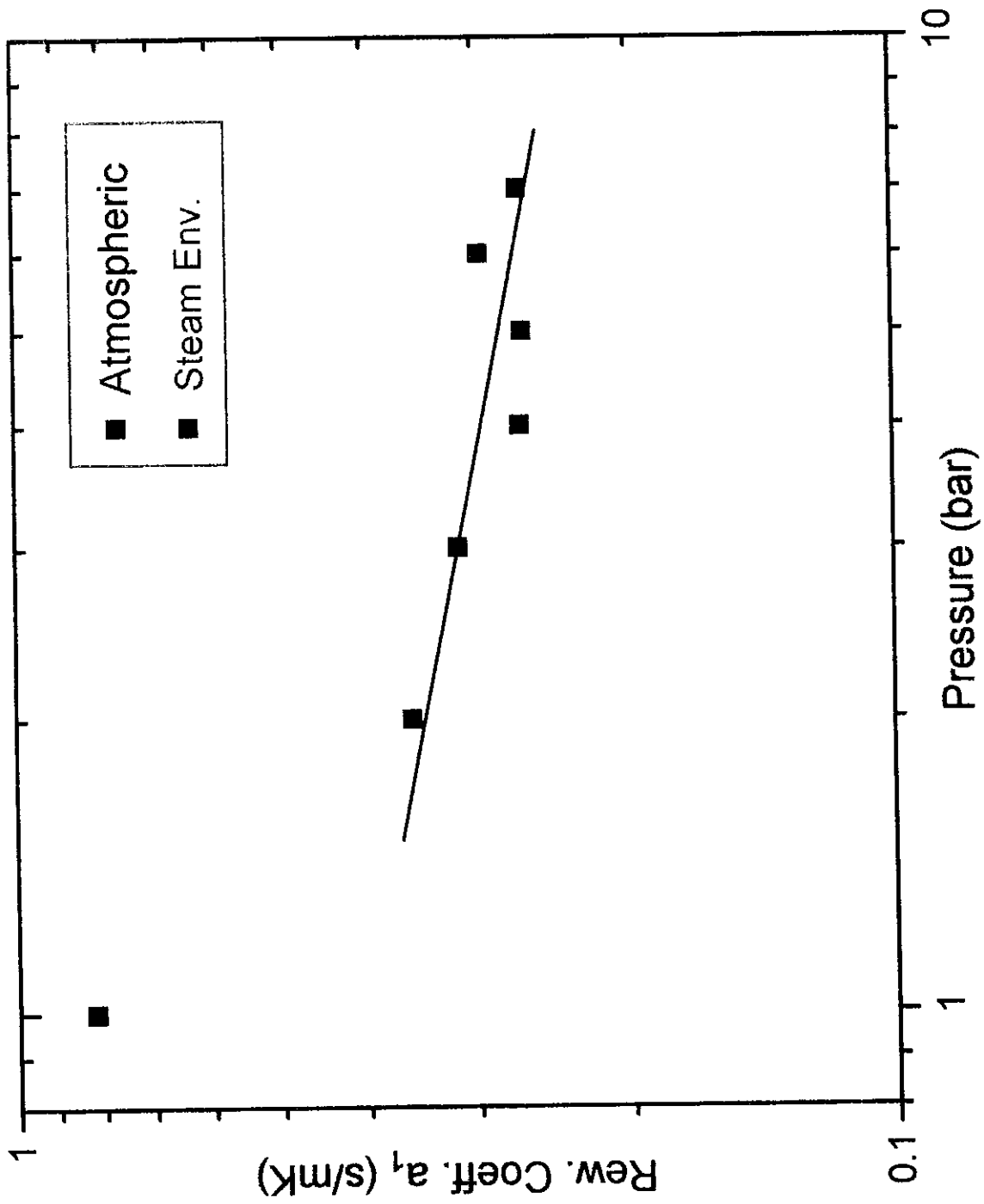
REWETTING EXPERIMENT - STAGE 3 AT VARIOUS PRESSURES
(LIQUID FLOWRATE .037 KG/S)



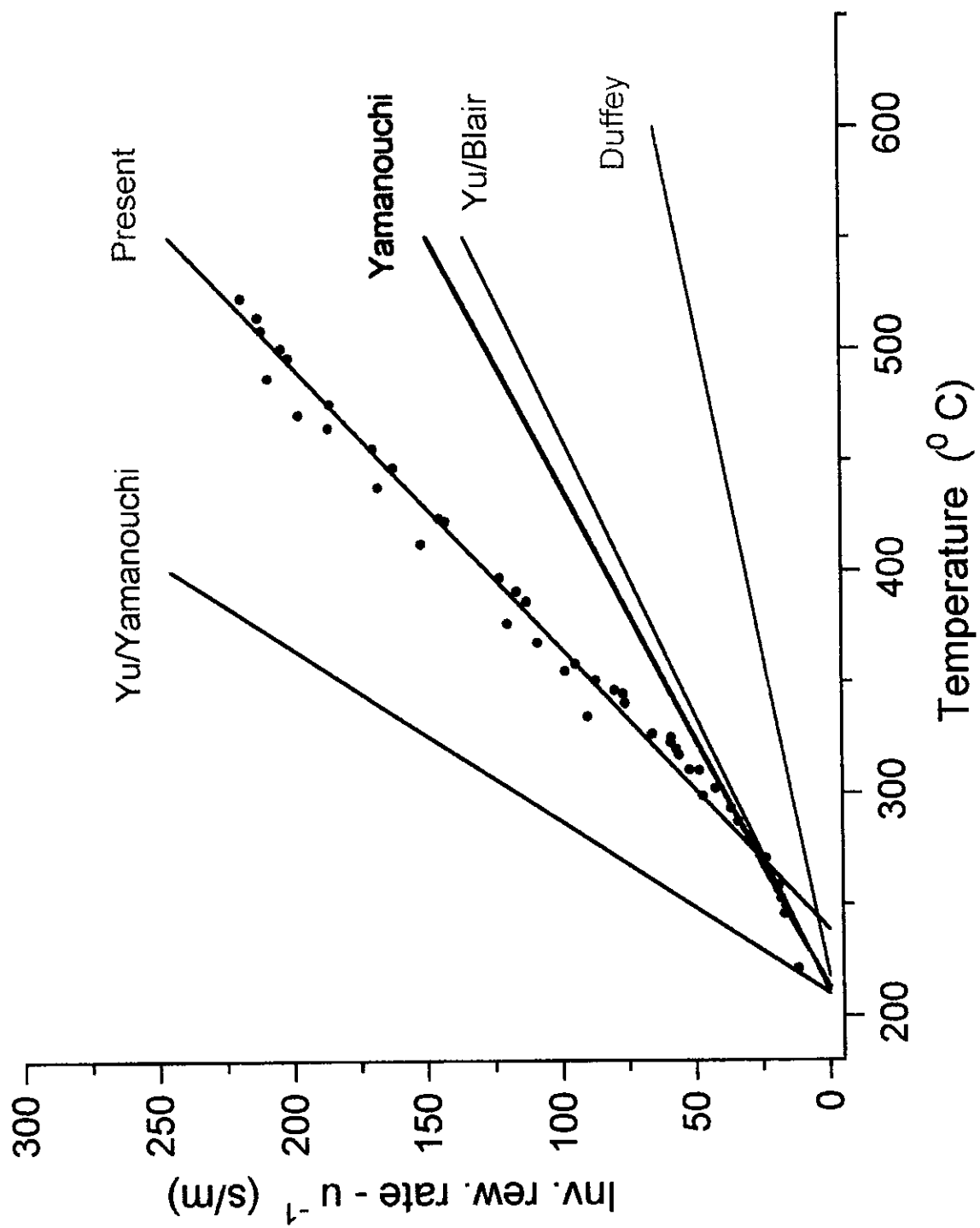
Σχήμα 5.38: Πείραμα επαναψύξεως με ψυκτικό υγρό Freon-113 [2].



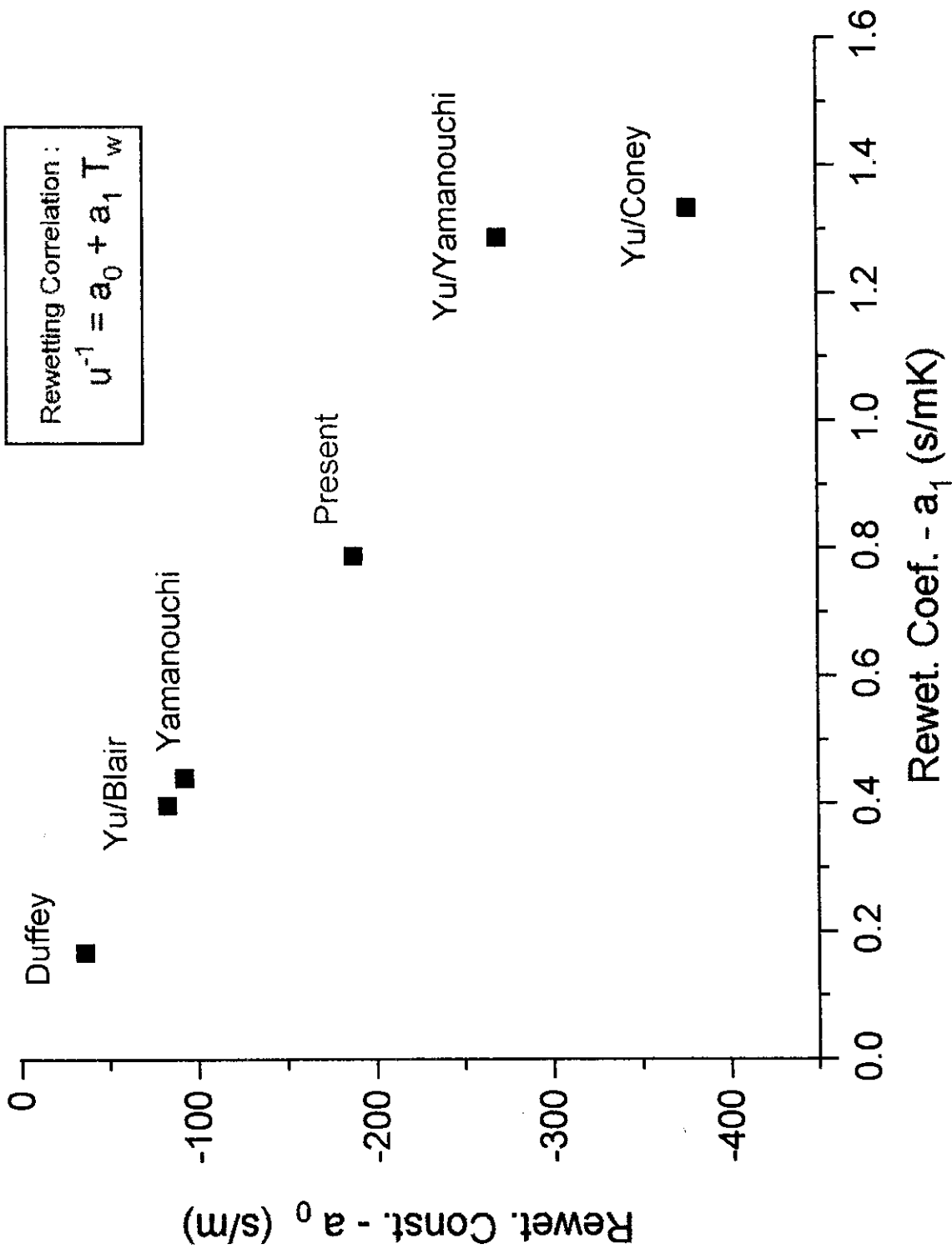
Σχήμα 5.39: Η διαφορά της θερμοκρασίας υγρού μετάπτου - θερμοκρασίας κορεσμού συναρτίζεται της πίεσης.



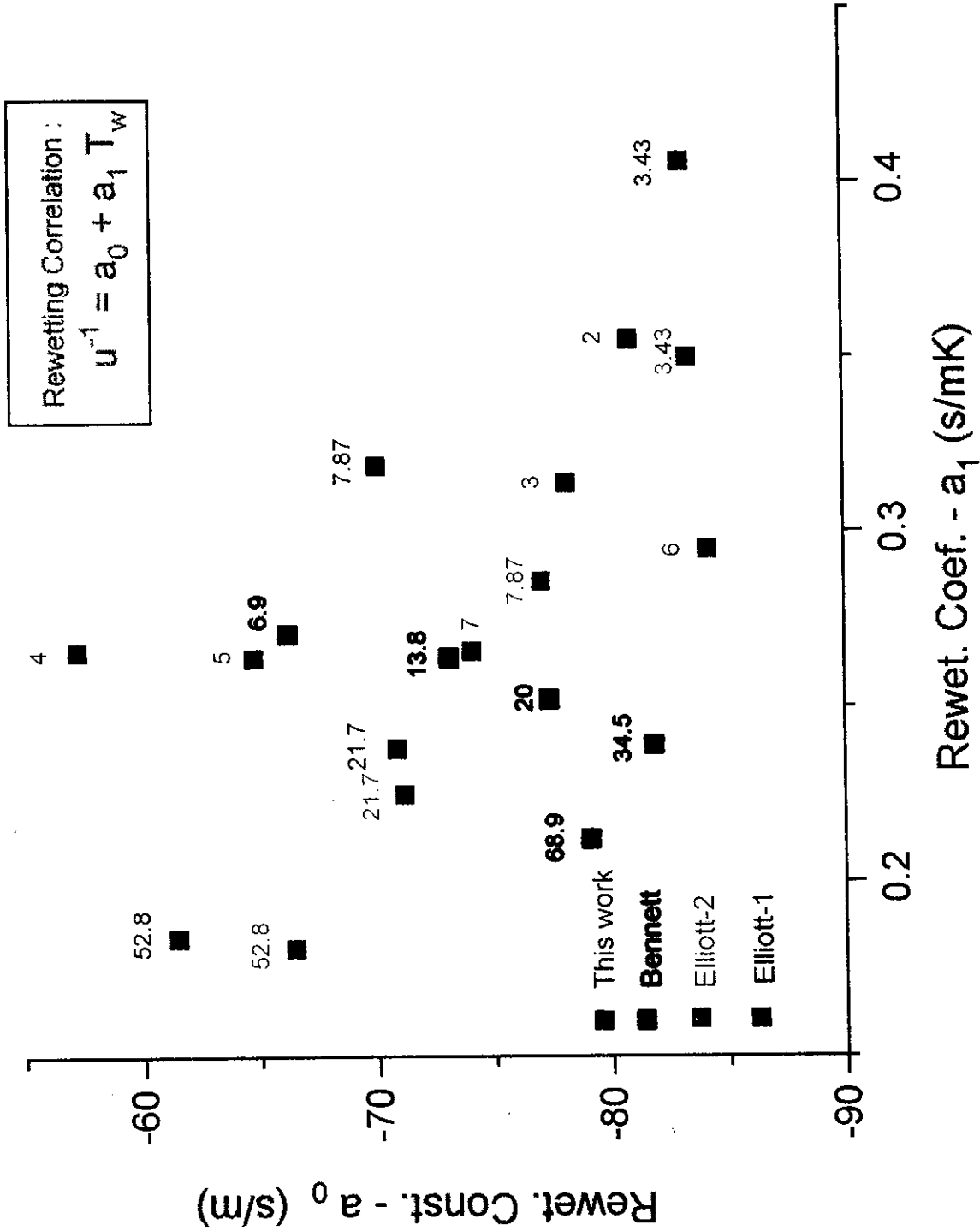
Σχήμα 5.40 : Η μεταβολή του συντελεστή επαναψύξεως με την πίεση του ατμού.



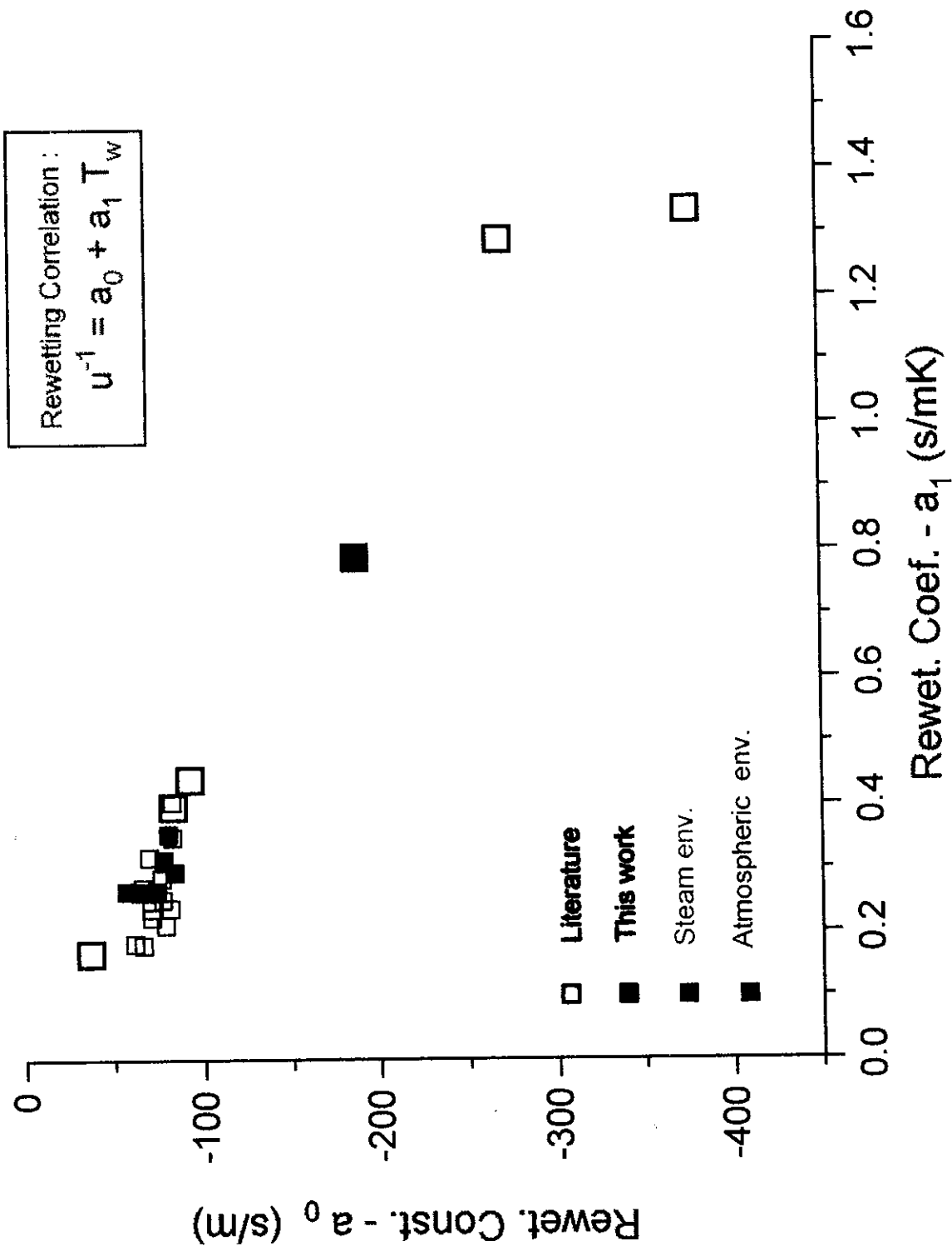
Σχήμα 5.41 : Επανάφυση σε Ατμοσφαιρικές Συνθήκες: Αποτελέσματα του παρόντος πειράματος και σύγκριση με γραμμικές αναδρομές άλλων ερευνητών.



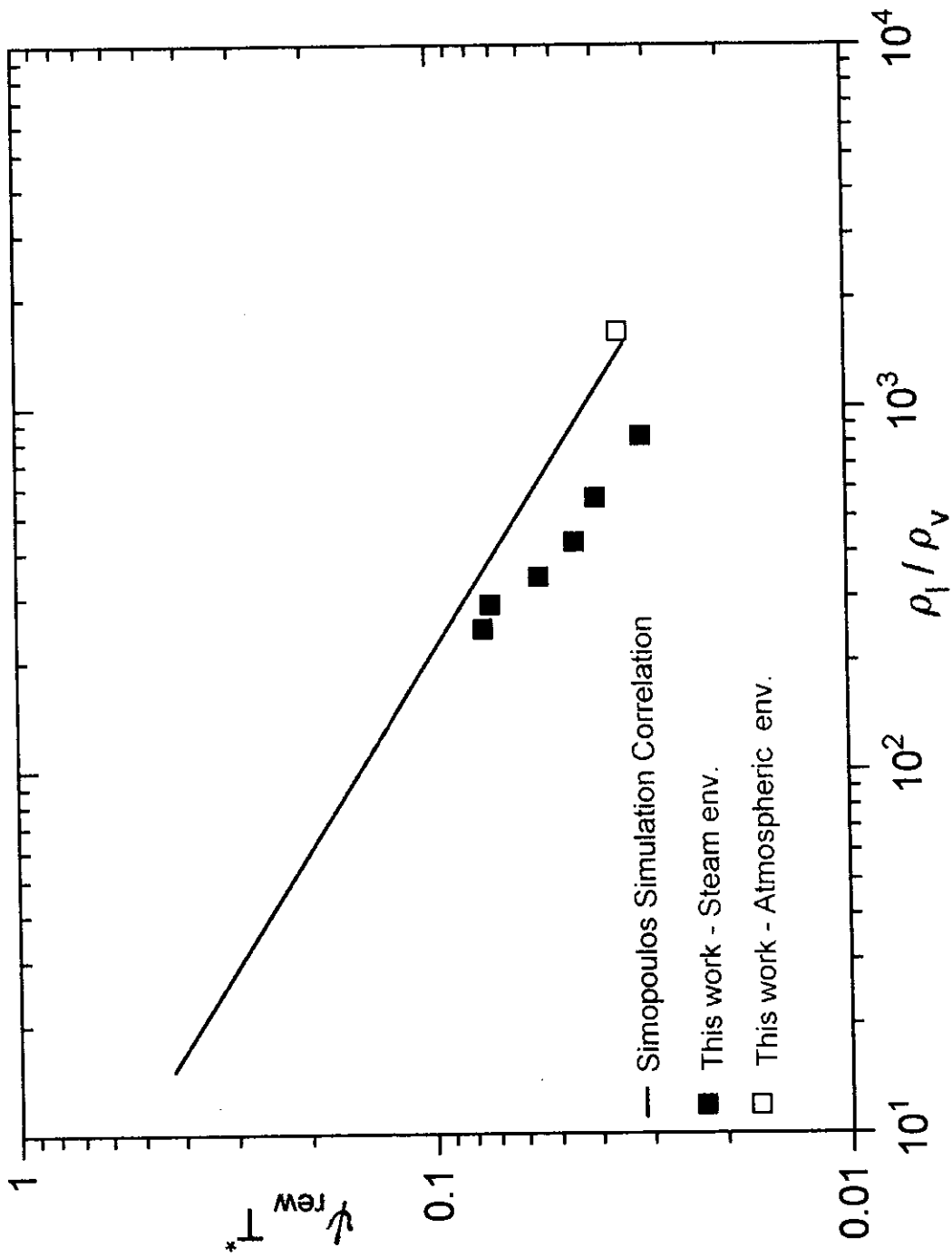
Σχήμα 5.42 : Γραμμικές συσχετίσεις επαναψύξεως σε ατμοσφαιρικές συνθήκες.



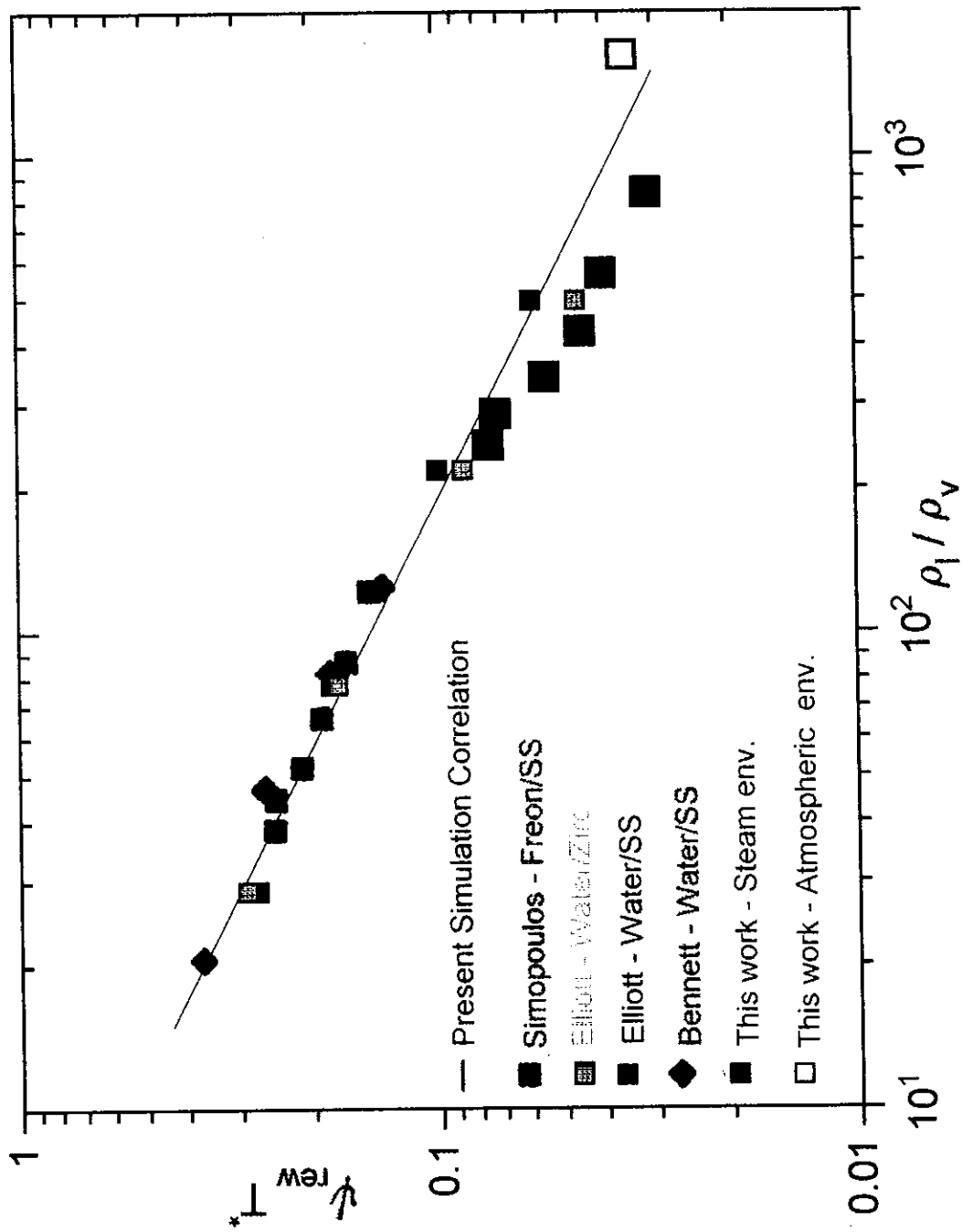
Σχήμα 5.43 : Γραμμικές συσχετίσεις επαναβύζευσης υπό πίεση ατμού (Η πίεση, σε bar, εμφανίζεται πλάι σε κάθε πειραματικό σημείο).



Σχήμα 5.44 : Γραμμικές συσχετίσεις επαναψύξεως νερού.



Σχήμα 5.45 : Αναδρομή προσομοίωσης της επανάφυξης νερού/Freon-113 για διάφορα υλικά ράβδου [2] και παρόντα πειραματικά αποτελέσματα.



Σχήμα 5.46 : Αναδρομή προσομοίωσης της επανάφυξης νερού/Freon-113 από όλα τα διαθέσιμα πειραματικά αποτελέσματα.

Ε Π Ι Λ Ο Γ Ο Σ

6.1 Εισαγωγή.

Στο Κεφάλαιο αυτό, το τελευταίο της παρούσης ΔΔ, συνοψίζεται η εκτελεσθείσα εργασία και ανακεφαλαιώνονται τα κύρια συμπεράσματά της καθώς και τα στοιχεία τα οποία συνιστούν πρωτοτυπία και συμβολή-της στην Επιστήμη και την Τεχνολογία. Τέλος, παρουσιάζονται θέματα στα οποία θα πρέπει να δοθεί επέκταση ή περαιτέρω διερεύνηση σε μελλοντικές εργασίες.

6.2 Σύνοψη-Συμπεράσματα.

Στα πλαίσια της παρούσης ΔΔ, ολοκληρώθηκε η μελέτη, η σχεδίαση και η κατασκευή του θερμούδραυλικού Κυκλώματος (ΘΥΚ) του ΕΠΤ-ΕΜΠ, το οποίο εξοπλίστηκε με σύγχρονα συστήματα αυτομάτου ελέγχου και παρακολούθησης της λειτουργίας του. Η εγκατάσταση ελέγχεται με Η/Υ τύπου IBM-PC Συμβατού που διαθέτει απευθείας συνδεδεμένες μονάδες αναλογικών και ψηφιακών μετατροπών. Το σύστημα ολοκληρώθηκε με τη σύνταξη, στα πλαίσια της ΔΔ, τόσο κατάλληλων ρουτινών σε γλώσσα ASSEMBLY όσο και ολοκληρωμένου προγράμματος για τον έλεγχο της εγκατάστασης, την εμφάνιση της κατάστασής της σε Μιμικό Διάγραμμα στην οθόνη του Η/Υ και της ηλεκτρονικής καταγραφής όλων των μετρούμενων φυσικών μεγεθών. Στη συνέχεια εκτελέστηκε πείραμα για τη μελέτη του φαινομένου της επαναψύξεως, υπερθερμανθείσης ράβδου υδρόψυκτου Πυρηνικού Αντιδραστήρα Ισχύος, με παράμετρο την πίεση του συστήματος στην περιοχή 1 έως 7 bar. Τα πειραματικά δεδομένα μεταφέροντο με τη βοήθεια εξειδικευμένων προγραμμάτων, τα οποία συντάχθηκαν στα πλαίσια της ΔΔ, από τον Η/Υ τύπου IBM-PC, στον Η/Υ HP-9000/370 υπό το Λ/Σ HP-UX του ΕΠΤ-ΕΜΠ, προκειμένου να γίνει λεπτομερής στατιστική και γραφική

επεξεργασία τους. Όπως αναλυτικά τεκμηριώθηκε στο 5^ο Κεφάλαιο της ΔΔ, από τα εκτελεσθέντα πειράματα επαναψύξεως διαπιστώθηκαν τα εξής:

- Τα παρόντα πειράματα υπό πίεση νερού, είναι πλήρως συμβατά με όσα αναφέρονται στην βιβλιογραφία, τα οποία διεξήχθησαν σε υψηλότερες πιέσεις, επεκτείνουν δε την περιοχή ισχύος των αναφερόμενων στη βιβλιογραφία σχετικών συσχετίσεων, σε περιβάλλον υδρατμού, σε χαμηλές πιέσεις έως τα 2 bar.
- Το διεξαχθέν πείραμα υπό ατμοσφαιρικές συνθήκες, βρίσκεται στη συνισταμένη των σχετικών συσχετίσεων οι οποίες με μεγάλη διασπορά εμφανίζονται στη βιβλιογραφία.
- Τα παρόντα πειράματα υπό πίεση νερού μπορεί να χρησιμοποιηθούν στην τεχνική προσομοίωσης επαναψύξεως που αναφέρεται στη βιβλιογραφία επεκτείνοντας την περιοχή ισχύος-της σε χαμηλότερες πιέσεις έως τουλάχιστον τα 2 bar.

Από τα πιο πάνω στοιχεία αλλά και όλα όσα λεπτομερώς παρουσιάστηκαν σε προηγούμενα Κεφάλαια της εργασίας, προκύπτει ότι εκτελέστηκε με επιτυχία το πείραμα της επαναψύξεως και έδωσε επιπλέον αφορμή για την ανάδειξη αρκετών σημείων στα οποία δικαιολογείται περαιτέρω διερεύνηση. Αυτό που αβίαστα προκύπτει από την εργασία αυτή, είναι το γεγονός ότι η λειτουργία του ΘΥΚ ανταποκρίνεται ακριβώς σε όσα είχαν προκαθοριστεί στα πλαίσια της μελέτης και της σχεδιοκατασκευής του. Το συμπέρασμα αυτό προέκυψε, τόσο από τα ποικίλα πειράματα που εκτελέστηκαν στη φάση των δοκιμών του, όσο και από τα πειράματα για τη μελέτη του φαινομένου της επαναψύξεως, των οποίων ακολούθησε διεξοδική ανάλυση και επεξεργασία.

Επικουρικά, ως αναφερθεί ότι η εγκατάσταση, χρησιμοποιείται επί τετραετία ήδη για την εξάσκηση των σπουδαστών του 5^β εξαμήνου στο μάθημα "*Μετρήσεις Τεχνικών Μεγεθών - Εργαστήριο*" καθώς και των σπουδαστών του ενάτου εξαμήνου στο μάθημα "*Ειδικά Κεφάλαια Πυρηνικής Τεχνολογίας ΙΙ - Απαγωγή θερμότητας από τον Πυρήνα Πυρηνικών Αντιδραστήρων*". Κατά την εξάσκησή τους στο δεύτερο μάθημα, οι σπουδαστές εξοικιώνονται με όλα τα προβλήματα κανονικής λειτουργίας και καταστάσεως εκτάκτου ανάγκης των υδρόψυκτων Πυρηνικών Αντιδραστήρων Ισχύος. Έτσι, προκύπτει και η συμβολή της ΔΔ στην εκπαιδευτική διαδικασία του Ιδρύματος.

6.3 Σημεία Πρωτοτυπίας της Παρούσης ΔΔ.

Η παρούσα ΔΔ παρουσιάζει πρωτοτυπία στα εξής σημεία:

1. Με εφαρμογή της πλέον σύγχρονης μηχανολογικής, μετρητικής και ηλεκτρονικής τεχνολογίας, κατασκευάστηκε, μετά την ολοκλήρωση της μελέτης και σχεδίασής της, μια από τις λιγοστές ανά τον κόσμο πειραματικές εγκαταστάσεις για την προσομοίωση των φαινομένων βρασμού σε υδρόψυκτους ΠΑΙ, η οποία μάλιστα διαθέτει και διαφανές Τμήμα Δοκιμών για την παρακολούθηση των εκτελούμενων πειραμάτων. Η εν λόγω εγκατάσταση, εξοπλίστηκε με τα πλέον σύγχρονα συστήματα αυτομάτου ελέγχου και αυτοματοποιημένης καταγραφής των φυσικών παραμέτρων ελέγχου της, με τη βοήθεια Η/Υ τύπου IBM PC και απευθείας συνδεδεμένων μονάδων αναλογικών και ψηφιακών μετατροπών.
2. Για τον έλεγχο της λειτουργίας των μονάδων αναλογικών και ψηφιακών μετατροπών, συντάχθηκαν κατάλληλες ρουτίνες σε γλώσσα ASSEMBLY, καλούμενες από προγράμματα FORTRAN, με τις οποίες επετεύχθη η λειτουργία του Η/Υ τύπου PC, ως *συστήματος πραγματικού χρόνου*.
3. Για την παρακολούθηση της λειτουργίας του ΘΥΚ και την αυτοματοποιημένη καταγραφή των πειραματικών αποτελεσμάτων των πειραμάτων που εκτελούνται σ' αυτό, συντάχθηκε κατάλληλο πρόγραμμα σε γλώσσα FORTRAN το οποίο μεταξύ άλλων εμφανίζει το Μιμικό Διάγραμμα της λειτουργίας της εγκατάστασης και καταγράφει ηλεκτρονικά τα μετρούμενα μεγέθη, με την επιθυμητή συχνότητα δειγματοληψίας.
4. Για πρώτη φορά, εξ όσων αναφέρονται στη βιβλιογραφία, εκτελέστηκαν πειράματα στην ίδια εγκατάσταση, τόσο υπό ατμοσφαιρικές συνθήκες όσο και υπό συνθήκες πίεσης σε περιβάλλον ατμού στην περιοχή 2-7 bar, προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση του παράγοντα "πίεση" στην τιμή της ταχύτητας επαναψύξεως υπερθερμανθεισών ράβδων πυρηνικού καυσίμου.
5. Τα αποτελέσματα των εκτελεσθέντων πειραμάτων, με την περαιτέρω επεξεργασία που υπέστησαν:
 - Οδήγησαν σε τεκμηριωμένο συμπέρασμα ως προς τη διαφοροποίηση των μηχανισμών της διεργασίας της επαναψύξεως σε ατμοσφαιρικές συνθήκες απ' ό,τι σε συνθήκες πίεσης ατμού.
 - Επέτρεψαν, για πρώτη φορά στη βιβλιογραφία, τον αριθμητικό

προσδιορισμό τόσο του χρονικού διαστήματος κατά το οποίο το υγρό μέτωπο της επαναψύξεως διέρχεται μπροστά από ένα θερμοκρασιακό σταθμό επί της ράβδου, όσο και χαρακτηριστικών σημείων μετάπτωσης του βρασμού στη χρονοϊστορία της θερμοκρασίας του σταθμού.

- Επεξετέιναν υπάρχουσες συσχετίσεις στη βιβλιογραφία και συγκεκριμένα μια εμπειρική συσχέτιση επαναψύξεως καθώς και μια ημιεμπειρική συσχέτιση προσομοίωσης της επαναψύξεως, ως προς την πίεση, από τα 3.43 εις τα 2 bar.

6.4 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα και Βελτίωση της Εγκατάστασης.

Η παρούσα ΔΔ σηματοδοτεί το ξεκίνημα μιας πορείας πειραματικής εργασίας στα θέματα που σχετίζονται με τον κλάδο της θερμοϋδραυλικής Υδροψυκτων ΠΑΙ. Πολλά είναι τα πεδία στα οποία μπορεί να συνεχιστεί η εργασία μετά την παρούσα ΔΔ. Ενδεικτικά αναφέρονται οι τομείς άμεσου ενδιαφέροντος στη διεθνή επιστημονική κοινότητα, που προέκυψαν από τη ΔΔ:

1. Η μελέτη του φαινομένου της επαναψύξεως με την παραδοχή της σταθεράς ταχύτητας επαναψύξεως, ώστε να ελεγχθεί η επίδραση των παραγόντων:
 - της παροχής του υγρού στην είσοδο του Τμήματος Δοκιμών,
 - της υπόψυξης του υγρού στην είσοδο του Τμήματος Δοκιμών και
 - της παροχής του ατμού στην είσοδο του Τμήματος Δοκιμών.

Περαιτέρω διερεύνησης χρήζει και η μελέτη της εξάρτησης από τον παράγοντα "πίεση" στην περιοχή 1-2 bar για να διαπιστωθεί η διαδικασία με την οποία λαμβάνει χώρα η έντονη μετάπτωση-διαφοροποίηση των μηχανισμών, καθώς και της εξάρτησης της ταχύτητας επαναψύξεως από την αρχική θερμοκρασία της ράβδου. Ας προστεθεί ότι το ΘΥΚ εμφανίζει πλήρως ελεγχόμενη αυτοματοποιημένη λειτουργία, η οποία επιτρέπει την εκτέλεση πειραμάτων με βήματα πίεσης της τάξεως του 0.2 bar, κάτι που μπορεί να εξυπηρετήσει την ενλόγω μελέτη.

2. Η μελέτη του φαινομένου της επαναψύξεως, προς διερεύνηση του είδους της κινήσεως του υγρού μετώπου, δηλαδή χωρίς την παραδοχή της μεταβλητής ταχύτητας επαναψύξεως, υπό διάφορες συνθήκες. Στη μελέτη αυτή, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και τα ήδη ληφθέντα πειραματικά αποτελέσματα.

Υπενθυμίζεται ότι, η μέθοδος καταγραφής των ενλόγω πειραματικών αποτελεσμάτων, επιτρέπει την υπόψιν μελέτη.

3. Θεωρητική διερεύνηση με παράλληλη χρησιμοποίηση των ήδη ληφθέντων πειραματικών αποτελεσμάτων, προκειμένου να αναδειχθεί η κατάλληλη τιμή της θερμοκρασίας του υγρού μετώπου η οποία θα βελτιώνει τη συμπεριφορά των αναλυτικών μοντέλων, προκειμένου να εγκαταλειφθεί η χρησιμοποίηση της αυθαίρετα και εμπειρικά υπολογιζόμενης τιμής, για τη θερμοκρασία του υγρού μετώπου, που μέχρι τώρα έχει χρησιμοποιηθεί στη βιβλιογραφία και χρησιμοποιήθηκε και στην παρούσα ΔΔ, όπως ήδη αναφέρθηκε στην § 5.7.
4. Η διερεύνηση, θεωρητικά και πειραματικά, του ορίου της ταχύτητας πρόωθσης του υγρού φιλμ που σηματοδοτεί τη μετάπτωση από την υδροδυναμικά ελεγχόμενη στη θερμοεπιφανειακά ελεγχόμενη διεργασία της επαναψύξεως.

Εξ άλλου, άλλα θέματα του ενδιαφέροντος της θερμοϋδραυλικής των Πυρηνικών Αντιδραστήρων Ισχύος, που θα μπορούσαν να μελετηθούν στην παρούσα εγκατάσταση είναι:

- Η μελέτη της συμπεριφοράς ελεύθερα πιπτόντων films υγρού με ή χωρίς μετάδοση θερμότητας.
- Ο προσδιορισμός της τιμής της κρίσιμης θερμικής ροής κατά τη ροή του ψυκτικού σε κανάλι.
- Η μελέτη του κλάσματος κενού.

Τέλος, ας επισημάνομε μερικά σημεία όπου υπάρχουν περιθώρια για περαιτέρω βελτίωση των μετρητικών ικανοτήτων της εγκατάστασης:

- Εγκατάσταση διαφορικού μεταλλάκτη πίεσης (*differential pressure transducer*) για τη λεπτομερή μελέτη της χρονικής διακύμανσης της πτώσης πίεσης στο Τμήμα Δοκιμών.
- Εγκατάσταση μεταλλάκτη μάζης (ροόμετρο *Coriolis*) για τη μέτρηση της παροχής ατμού προς το Τμήμα Δοκιμών.
- Εγκατάσταση και δευτέρου Τμήματος Δοκιμών το οποίο θα είναι δυνατό να λειτουργεί με την αρχή του πλημμυρίσματος εκ των κάτω (*bottom flooding*), για τη μελέτη, ταυτόχρονα και παράλληλα, της επαναψύξεως εκ των άνω και εκ των κάτω.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

(Κατά Αύξουσα Σειρά)

1. Σιμόπουλος Σ.Ε.
Μετρήσεις Τεχνικών Μεγεθών.
ΕΜΠ, Αθήνα, 1989.
2. Simopoulos S.E.
Modelling of the Rewetting Process in Water-Cooled Nuclear Reactor Fuel Elements
PhD Thesis, Thermal Power Section, Dept. of Mechanical Engineering, ICST, London, 1978.
3. Advantech Co. Ltd.
PCL-718 High Performance Data Acquisition Card.
Taiwan, June 1990.
4. Advantech Co. Ltd.
PCLD-889 Amplifier/Multiplexer Board.
Taiwan, June 1990.
5. Runnion W.C.
Structured Programming in ASSEMBLY Language for the IBM PC.
PWS-KENT, Boston, 1988.
6. Scanlon L.J.
Assembly Language Programming for the IBM PC.
Brady, New York, 1986.
7. Abel P.
IBM PC Assembler Language and Programming.
Prentice-Hall, New Jersey, 1987.

* Οι παραπομπές με * είναι γενικού ενδιαφέροντος και δεν αναφέρονται ρητά στο κείμενο της ΔΔ.

8. Angermeyer J., Jaeger K., Bapna R.K., Barkakati N., Dhesikan R., Dixon W., Dumke A., Fleig J. and Goldman M.
The Waite Group's MS-DOS Developer's Guide.
Second Edition, H.W. SAMS & Company, Indianapolis, 1989.
9. Hewlett Packard.
Using Vectra.
Manual P.N. 45951-90001, 1985.
10. Hewlett Packard.
Vectra MS-DOS User's Reference Manual.
Manual P.N. 45951-90003, 1985.
11. Microsoft Corporation.
Microsoft FORTRAN Reference Manual.
1985.
12. Microsoft Corporation.
Microsoft FORTRAN Compiler for the MS-DOS Operating System/User's Guide.
1985.
13. Hewlett Packard.
Vectra MS-DOS Programmer's Reference.
1985.
14. Hewlett Packard.
Vectra MS-DOS Macro Assembler.
1985.
15. Καλαμπαλίκης Ν.Ι.
Αυτοματοποιημένες Μετρήσεις με χρήση Μεταλλάκτη Πίεσης, Θερμοστοιχείων και Η/Υ. Εφαρμογή: Μέτρηση της θερμοδυναμικής Συμπεριφοράς Δοχείου Βρασμού Υδάτος στην περιοχή 1-7bar.
ΔΕ, ΕΜΠ, Τμήμα Μηχανολόγων , Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας, Αθήνα, 1988.
16. Μάγειρας Χ.Α.
Αυτοματοποιημένες Μετρήσεις με χρήση Μαγνητικού Ροομέτρου, Θερμοστοιχείων και Η/Υ. Εφαρμογή: Μελέτη της μεταδόσεως θερμότητας στη μεταβατική περιοχή του νερού.
ΔΕ, ΕΜΠ, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας, Αθήνα, 1988.

17. Βοσυνιώτης Σ.
Σύνδεση Ψηφιακών Συσκευών σε Θύρα RS-232 Η/Υ κάτω από το Λ/Σ DOS.
ΔΕ, ΕΜΠ, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας,
Αθήνα, 1988.
18. Κουτσομπλής Λ.Ι.
Σύνδεση Μεταλλακτών μέσω ADC σε Προσωπικό Η/Υ κάτω από το Λ/Σ DOS.
ΔΕ, ΕΜΠ, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας,
Αθήνα, 1991.
19. Αλμυρούδης Ν.Ε.
Σύνδεση Μεταλλακτών μέσω ADC/MUX σε Προσωπικό Η/Υ κάτω από το Λ/Σ DOS.
ΔΕ, ΕΜΠ, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας,
Αθήνα, 1992.
20. Grob B.
Basic Electronics.
McGraw-Hill Book Co., Singapore, 1984.
21. Advantech Co. Ltd.
PCLD-780, Screw Terminal Board.
Taiwan, June 1990.
22. Richner M., Analytis G.Th. and Aksan S.N.
Assessment of RELAP5/MOD2, cycle 36.02, using NEPTUN reflooding
experimental data.
PSI-Bericht Nr. 104, NUREG/IA-00103, Villingen, Switzerland, Oktober
1991.
- 23.* Luebbesmeyer D.
Wiederbenetzungsexperimente unter atypischen Stroemungsbedingungen wie
hohe Flutrate, Wasserschwall oder nasse Dampfstromung.
PSI-Bericht Nr. 79, Villingen, Switzerland, Oktober 1990.
24. Yamanouchi A.
Effect of core spray cooling in transient state after Loss of Coolant
Accident.
Journal of Nuclear Science and Technology, 5(11):547, 1968.
25. Shires G.L., Pickering A.R. and Blacker P.T.
Film cooling of vertical fuel rods.
AEEW-R343, 1964.

26. Coney M.W.E.
Calculations on the rewetting of hot surfaces.
Nuclear Engineering and Design, 31:246, 1974.
- 27.* Smith B.L.
Implementation and testing of the CFDS-FLOW3D code.
PSI Bericht Nr. 94-05, Villingen, Switzerland, Marz 1994.
28. Piggott B.D.G. and Porthouse D.T.C.,
A correlation of rewetting data.
Nuclear Engineering and Design, 32:171, 1975.
29. Elliott D.F. and Rose P.W.
The quenching of a heated surface by a film of water in a steam environment of pressures up to 53 bar.
AEEW-M976, 1973.
30. Bennett A.W., Hewitt G.F., Kearsy H.A. and Keays R.K.F.
The wetting of hot surfaces by water in a steam environment at high pressures.
AERE-R5146, 1966.
- 31.* Jansen E., Levy S. and Kervinen J.A.
Investigations of Burnout in an internally heated annulus cooled by water at 600 to 1450 psia.
ASME Paper No. 63-WA-149, 1963.
- 32.* Fujita T. and Ueda T.
Heat transfer to falling liquid films and film breakdown-I.
International Journal of Heat and Mass Transfer, 21:97, 1978.
33. Dua S.S. and Tien C.L.
An experimental investigation of falling-film rewetting.
International Journal of Heat and Mass Transfer, 21:955, 1978.
- 34.* Mori M., Toda S., Ochiai M. and Saito S.
Transient cooling process of fuel rod in reactivity initiated accident.
Nuclear Science and Technology, 17(6):413, 1980.
- 35.* Dhir V.K., Duffey R.B. and Catton I.
Quenching studies on a zircaloy rod bundle.
Journal of Heat Transfer, 103:293, 1981.

- 36.* Wang C.H. and Dhir V.K.
An experimental investigation of multidimensional quenching of a simulated core debris bed.
Nuclear Engineering and Design, 110:61, 1988.
- 37.* Abe Y., Sobajima M. and Murao Y.
Experimental study of effects of upward steam flowrate on quench propagation by falling water film.
Journal of Nuclear Science and Technology, 23(5):415, 1986.
38. Yu S.W.K., Farmer P.R. and Coney M.W.E.
Methods and correlations for the prediction of quenching rates on hot surfaces.
International Journal of Multiphase Flow, 3:415, 1977.
- 39.* Loomis G.G. and Shumway R.W.
Low pressure transient flow film boiling in vertically oriented rod bundles.
Nuclear Technology, 63:151, 1983.
- 40.* Dhir V.K. and Purohit G.P.
Subcooled film boiling heat transfer from spheres.
Nuclear Engineering and Design, 47:49, 1978.
41. Duffey R.B., Ackerman M.C., Piggott B.D.G. and Fairbairn S.A.
The effects of countercurrent single and two-phase flows on the quenching rate of hot surfaces.
International Journal of Multiphase Flow, 4:117, 1978.
42. Piggott B.D.G., White E.P. and Duffey R.B.
Wetting delay due to film and transition boiling on hot surfaces.
Nuclear Engineering and Design, 36:169, 1976.
43. Γιωτόπουλος Α.Β.
Μελέτη και Σχεδιασμός Πειραματικής Διάταξης Διφασικής Ροής.
ΔΕ, ΕΜΠ, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας, Αθήνα, 1979.

44. Βοσίνης Α.Κ.
Μελέτη του Συστήματος Μετρήσεων, Ελέγχου και Ρυθμίσεως του Θερμοϋδραυλικού Κυκλώματος Ελαφρού Υδάτος του Ε.Μ.Π.
ΔΕ, ΕΜΠ, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας, Αθήνα, 1988.
- 45.* Kaye G.W.C and Laby T.H.
Tables of Physical and Chemical Constants.
Longman Group Limited, London, 1973.
46. Κωνστανταροπούλου Α.
Διερεύνηση της Επίδρασης της Παροχής του Ψυκτικού στο Φαινόμενο της Επανάψυξης.
ΔΕ, ΕΜΠ, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας, Αθήνα, 1991.
47. Κατσιμίχας Σ.Δ.
Μεταφορά του Κώδικα REWET από το Σύστημα CYBER-171 (NOS) στο Σύστημα HP-9000/370 (UNIX 5) και Βελτίωσή του.
ΔΕ, ΕΜΠ, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας, Αθήνα, 1992.
48. Παπαδανιήλ Ε.
Μηχανολογικόν Σχέδιον - Σημειώσεις και Κανονισμοί.
ΕΜΠ, Διεύθυνσις Μηχανουργικού και Μηχανολογικού Εργοστασίου, Αθήνα, 1980.
49. Ηλιόπουλος Γ.Γ.
Κλιματιστικό και ψυκτικό βοήθημα.
Αθήνα, 1979.
50. Konstantaropoulou A.P. and Simopoulos S.E.
Investigation of the liquid flowrate effect on the rewetting rate.
Proceedings of the International Conference on the Analysis of Thermal and Energy Systems, p. 983, Athens, Greece, June 3-6, 1991.
51. Simopoulos S.E.
The effect of precursory cooling on the rewetting rate.
Atomkernenergie - Kerntechnik, 49(1/2):37, 1986.

52. Φωτιάδης Γ.
Αριθμητικός Κώδικας για τον Υπολογισμό των Θερμοδυναμικών Ιδιοτήτων και Ιδιοτήτων Μεταφοράς του Ελαφρού Νερού.
ΔΕ, ΕΜΠ, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας, Αθήνα, 1982.
53. Αναγνωστάκης Μ.Ι.
Μεταφορά των Κωδικών BWR6, LOCA και LOCECC από το Σύστημα CYBER-171 (NOS) στο Σύστημα HP-9000/320 (UNIX 5).
ΔΕ, ΕΜΠ, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας, Αθήνα, 1988.
- 54.* Boiz R.E. and Tuve G.L.,
Handbook of Tables for Applied Engineering Science.
Second Edition, CRC Press, Cleveland-Ohio, 1973.
55. Χατζηνικολάου Ζ.Γ.
Βαθμονόμηση Μαγνητικών Ροομέτρων Νερού Θερμοκρασίας 20-80 °C.
ΔΕ, ΕΜΠ, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας, Αθήνα, 1994.
56. Cermak L.O., Leyse R.H. and Dominikis D.P.
Effect of flow blockage on bottom flooding heat transfer effectiveness (FLECHT).
Nuclear Technology, vol. 11, p. 557-562, August 1971.
57. Powell R.L., William H.J., Burns G.W. and Plumb H.H.
Thermocouple Reference Tables Based on the IPTS-68.
OMEGA PRESS, National Bureau of Standards (U.S.) Monograph 125, Code name NBSMA6, 1974.
- 58.* Brown R. and Kyle J.
PC Interrupts.
Second Edition, ADDISON&WESLEY, Canada, 1994.
59. Butterworth D. and Owen R.G.
The quenching of hot surfaces by top and bottom flooding - A REVIEW.
AERE-P7982, 1975.

- 60.* Ishii M.
Study on emergency core cooling.
Journal of the British Nuclear Energy Society, 14(3):237, 1975.
61. Elliott D.F. and Rose P.W.
The quenching of a heated zircalloy surface by a film of water in a steam environment at pressures up to 53 bar.
AEEW-M1027,1973.
62. Yu K.P. and Yadigaroglu G.
Heat transfer immediately downstream of the quench front during reflooding.
ASME Paper No. 79-HT-48, 1979.
63. Yamanouchi A.
Effects of core spray cooling at stationary state after Loss of Coolant Accident.
Journal of Nuclear Science and Technology, 5(9):498, 1968.
64. Duffey R.B. and Porthouse D.T.C.
The physics of rewetting in water reactor emergency core cooling.
Nuclear Engineering and Design, 25:379, 1973.
- 65.* Sun K.H., Dix G.E. and Tien C.L.
Cooling of a very hot vertical surface by a falling liquid film.
Transactions of the ASME, Series C, Journal of Heat Transfer, 96(2):126, 1974.
- 66.* Saphier D., Zimmermann M.A., Knoglinger E. and Jaquemoud P.
Sensitivity analysis of the rod ejection accident for the Beznau Reactor.
PSI-Bericht Nr. 78, STARS-Bericht Nr.4, Villingen, Switzerland, August 1990.
- 67.* Richner M. and Aksan S.N.
Determination of some thermal properties of the NEPTUN heated rod and experimental test of the inverse heat conduction program INCON.
PSI-Bericht Nr. 43, Villingen, Switzerland, September 1989.

68. Duffey R.B. and Porthouse D.T.C.
Experiments on the cooling of high temperature surfaces by water jets and drops.
RD/B/N2386, SGHWR/TC/PPSG/P(72)129, SGHWR/TC/SOSG/P(72)76, CEGB, Berkeley Nuclear Laboratories, August 1972.
69. Dhir V.K., Duffey R.B. and Catton I.
On the quenching behaviour of a four rod bundle.
UCLA Report, 1978.
- 70.* Yadigaroglu G., Andreani M., Aksan S.N., Lewis M.J.,
Analytis G.Th., Lubbesmeyer D. and Olek S.
Modelling of thermohydraulic emergency core cooling phenomena.
PSI-Bericht Nr.27, Villingen, Switzerland, Oktober 1990.
- 71.* Olek S.
On the two region rewetting model with a step channel in the heat transfer coefficient.
Nuclear Engineering and Design, 108:315, 1988.
- 72.* Tung V.X. and Dhir V.K.
Quenching of debris beds having variable permeability in the axial and radial directions.
Nuclear Engineering and Design, 99:275, 1987.
- 73.* Olek S.
Solution to a fuel-and-cladding rewetting model.
PSI-Bericht Nr.33, Villingen, Switzerland, Juni 1989.
74. Olek S.
The effect of precursory cooling on rewetting of a slab.
Nuclear Engineering and Design, 108:323, 1988.
- 75.* Sun K.H., Dix. G.E. and Tien C.L.
Effect of precursory cooling on falling-film rewetting.
Transactions of the ASME, Series C, Journal of Heat Transfer, p.360, 1975.
- 76.* Murao Y.
Correlation of quench phenomena for bottom flooding during Loss-of-Coolant Accidents.
Journal of Nuclear Science and Technology, 15(12):875, 1978.

- 77.* Carbajo J.J.
Parametric study on rewetting velocities obtained with a two-dimensional heat conduction code.
Nuclear Engineering and Design, 92:69, 1986.
- 78.* Salcudean M. and Bui T.M.
Heat transfer during the rewetting of hot horizontal channels.
Nuclear Engineering and Design, 59:369, 1980.
- 79.* Caflisch R.E. and Keller J.B.
Quench front propagation.
Nuclear Engineering and Design, 65:97, 1981.
- 80.* Bonakdar H. and McAssey J.
A method for determining rewetting velocity under generalized boiling conditions.
Nuclear Engineering and Design, 66:7, 1981.
81. Ueda T. and Inoue M.
Rewetting of a hot surface by a falling liquid film - effects of liquid subcooling.
International Journal of Heat and Mass Transfer, 27(7):999, 1984.
- 82.* Sawan M.E. and Temraz H.M.
A three regions semi-analytical rewetting model.
Nuclear Engineering and Design, 64:319, 1981.
- 83.* Carbajo J.J. and Siegel A.D.
Review and comparison among the different models for rewetting in LWRs.
Nuclear Engineering and Design, 58:33, 1980.
84. Ueda T., Inoue M., Iwata Y. and Sogawa Y.
Rewetting of a hot surface by a falling liquid film.
International Journal of Heat and Mass Transfer, 26(3):401, 1983.
- 85.* Fujita T. and Ueda T.
Heat transfer to falling liquid films and film breakdown-II.
International Journal of Heat and Mass Transfer, 21:109, 1978.
- 86.* Sawan M.E., Zaki G.M. and Temraz H.M.
A three-regions rewetting model with heat generation and subcooling.
Atomkernenergie - Kerntechnik, 34(3):199, 1979.

- 87.* Sawan M.E.
Analysis of spray cooling of hollow rod cladding following a loss-of-coolant accident (LOCA).
Atomkernenergie - Kerntechnik, 31(2):122, 1978.
88. Thompson T.S.
Rewetting of a hot surface.
AECL-5060, 1975.
- 89.* Sun K.H., Dix G.E. and Tien C.L.
Effect of precursory cooling on falling film rewetting.
ASME Paper No. 74-WA/HT-52, 1974.
90. Piggott B.D.G. and Porthouse D.T.C.
Water reactor emergency core cooling: The effect of pressure, subcooling and surface condition on the rewetting of hot surfaces.
RD/B/N2692, CEGB, Berkeley Nuclear Laboratories, June 1973.
- 91.* Tien C.L. and Yao L.S.
Analysis of conduction controlled rewetting of a vertical surface.
ASME Paper Nr. 74-WA/HT-49, 1974.
92. Blair J.M.
An analytical solution to a two-dimensional model of the rewetting of a hot dry rod.
Nuclear Engineering and Design, 32:159, 1975.
- 93.* Sawan M.E. and Carbon M.W.
A review of spray-cooling and bottom flooding work for LWR cores.
Nuclear Engineering and Design, 32:191, 1975.
- 94.* Kimball K.D. and Roy R.P.
Quench front propagation during bottom reflooding of a heated annular channel.
Nuclear Engineering and Design, 76:79, 1983.
95. Olek S.
Analytical models for the rewetting of hot surfaces.
PSI-Bericht Nr. 17, Villingen, Switzerland, Oktober 1988.

- 96.* Gunnerson E.C. and Yackle T.R.
Quenching and rewetting of nuclear fuel rods.
Nuclear Technology, 54:113, 1981.
97. Carbajo J.J.
A study on the rewetting temperature.
Nuclear Engineering and Design, 84:21, 1982.
- 98.* Thompson T.S.
On the process of rewetting a hot surface by a falling liquid film.
Nuclear Engineering and Design, 31:234, 1974.
- 99.* Thompson T.S.
On the process of rewetting a hot surface by a falling liquid film.
AECL-4516, Chalk River Nuclear Laboratories, Chalk River, Ontario, June 1973.
- 100.* Koizumi Y., Kumamaru H. and Tasaka K.
Investigation of pre- and post- dryout heat transfer in upward steam-water two-phase flow at low rate with improved surface temperature measurement.
Journal of Nuclear Science and Technology, v. 21(12):965, December 1984.
- 101.* Yeh H.
An analysis of rewetting of a nuclear fuel rod in water reactor emergency core cooling.
Nuclear Engineering and Design, 34:317, 1975.
- 102.* Chan S.H. and Gromles M.A.
Hydrodynamically controlled rewetting.
Nuclear Engineering and Design, 34:307, 1975.
- 103.* Piggott B.D.G. and Duffey R.B.
The quenching of irradiated fuel pins.
Nuclear Engineering and Design, 32:182, 1975.
104. Yoshioka K. and Hasegawa S.
A correlation in displacement velocity of liquid film boundary formed on a heated vertical surface in emergency core cooling.
Journal of nuclear Science and Technology, 7(8):418, 1970.

- 105.* Thompson T.S.
An analysis of the wet-side heat-transfer coefficient during rewetting of a hot dry patch.
Nuclear Engineering and Design, 22:212-224, 1972.
106. Chun K.R. and Seban R.A.
Heat Transfer to Evaporating Liquid Films.
Journal of Heat Transfer, November 1971, p. 391.
- 107.* Mariy A.H., El-Shirbini A.A. and Murgatroyd W.
The effect of waves on the motion of the triple-phase front of a dry patch formed in a motivated liquid film.
International Journal of Heat and Mass Transfer, 1:1141, 1974.
108. Σιμόπουλος Σ.Ε.
Απαγωγή θερμότητας από τον Πυρήνα Πυρηνικών Αντιδραστήρων.
ΕΜΠ, Αθήνα, 1983.
- 109.* Semeria R. and Martinet B.
Calefaction spots on a heating wall: Temperature Distribution and Resorption.
Proceedings of Institution of Mechanical Engineers, Session 3, Paper 3, 180:192, 1965.
110. Simopoulos S.E.
Simulation of the water/Freon-113 rewetting process.
Nuclear Engineering and Design, 65:71, 1981.
111. Simopoulos S.E., El-Shirbini A.A. and Murgatroyd W.
Experimental Investigation of the rewetting process in a Freon-113 Vapour Environment.
Nuclear Engineering and Design, 55:17, 1979.
112. Cadek F.F., Dominikis D.P and Leyse R.H.
PWR-FLECHT Final report.
WCAP-7665, 1971.
113. Duncan J.D. and Leonard J.E.
BWR-FLECHT Final Report
GEAP-13197, 1971

114. Γαλλής Μ.Α.
Μελέτη της Μεταβολής του Κλάσματος Κενού κατά μήκος Καναλιού Ψύξεως Αντιδραστήρα Ζέοντος Τύπου. Εφαρμογή στον Κώδικα BWR.
ΔΕ, ΕΜΠ, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας, Αθήνα, 1990.
115. Ockendon J.R. and Hodgkins W.R.
Moving Boundary Problems in Heat Flow and Diffusion.
Oxford University Press, Bristol, 1974.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

(Κατά Αλφαβητική Σειρά)

Abe Y., Sobajima M. and Murao Y. [37]

Experimental study of effects of upward steam flowrate on quench propagation by falling water film.

Journal of Nuclear Science and Technology, 23(5):415, 1986.

Abel P. [7]

IBM PC Assembler Language and Programming.

Prentice-Hall, New Jersey, 1987.

Advantech Co. Ltd. [3]

PCL-718 High Performance Data Acquisition Card.

Taiwan, June 1990.

Advantech Co. Ltd. [4]

PCLD-889 Amplifier/Multiplexer Board.

Taiwan, June 1990.

Advantech Co. Ltd. [21]

PCLD-780, Screw Terminal Board.

Taiwan, June 1990.

Angermeyer J., Jaeger K., Bapna R.K., Barkakati N., Dhesikan R., Dixon W., Dumke A., Fleig J. and Goldman M. [8]

The Waite Group's MS-DOS Developer's Guide.

Second Edition, H.W. SAMS & Company, Indianapolis, 1989.

Bennett A.W., Hewitt G.F., Kearsey H.A. and Keeys R.K.F. [30]

The wetting of hot surfaces by water in a steam environment at high pressures.

AERE-R5146, 1966.

Blair J.M. [92]

An analytical solution to a two-dimensional model of the rewetting of a hot dry rod.

Nuclear Engineering and Design, 32:159, 1975.

- Bolz R.E. and Tuve G.L. [54]
Handbook of Tables for Applied Engineering Science.
Second Edition, CRC Press, Cleveland-Ohio, 1973.
- Bonakdar H. and McAssey J. [80]
A method for determining rewetting velocity under generalized boiling conditions.
Nuclear Engineering and Design, 66:7, 1981.
- Brown R. and Kyle J. [58]
PC Interrupts.
Second Edition, ADDISON&WESLEY, Canada, 1994.
- Butterworth D. and Owen R.G. [59]
The quenching of hot surfaces by top and bottom flooding - A REVIEW.
AERE-P7982, 1975.
- Cadek F.F., Dominikis D.P and Leyse R.H. [112]
PWR-FLECHT Final report.
WCAP-7665, 1971.
- Cafilisch R.E. and Keller J.B. [79]
Quench front propagation.
Nuclear Engineering and Design, 65:97, 1981.
- Carbajo J.J. [77]
Parametric study on rewetting velocities obtained with a two- dimensional heat conduction code.
Nuclear Engineering and Design, 92:69, 1986.
- Carbajo J.J. and Siegel A.D. [83]
Review and comparison among the different models for rewetting in LWRs.
Nuclear Engineering and Design, 58:33, 1980.
- Carbajo J.J. [97]
A study on the rewetting temperature.
Nuclear Engineering and Design, 84:21, 1982.
- Cermark L.O., Leyse R.H. and Dominikis D.P. [56]
Effect of flow blockage on bottom flooding heat transfer effectiveness (FLECHT).
Nuclear Technology, vol. 11, p. 557-562, August 1971.

Chan S.H. and Gromles M.A. [102]

Hydrodynamically controlled rewetting.

Nuclear Engineering and Design, 34:307, 1975.

Chun K.R. and Seban R.A. [106]

Heat Transfer to Evaporating Liquid Films.

Journal of Heat Transfer, November 1971, p. 391.

Coney M.W.E. [26]

Calculations on the rewetting of hot surfaces.

Nuclear Engineering and Design, 31:246, 1974.

Dhir V.K., Duffey R.B. and Catton I. [35]

Quenching studies on a zircaloy rod bundle.

Journal of Heat Transfer, 103:293, 1981.

Dhir V.K. and Purohit G.P. [40]

Subcooled film boiling heat transfer from spheres.

Nuclear Engineering and Design, 47:49, 1978.

Dhir V.K., Duffey R.B. and Catton I. [69]

On the quenching behaviour of a four rod bundle.

UCLA Report, 1978.

Dua S.S. and Tien C.L. [33]

An experimental investigation of falling-film rewetting.

International Journal of Heat and Mass Transfer, 21:955, 1978.

Duffey R.B., Ackerman M.C., Piggott B.D.G. and Fairbairn S.A. [41]

The effects of countercurrent single and two-phase flows on the quenching rate of hot surfaces.

International Journal of Multiphase Flow, 4:117, 1978.

Duffey R.B. and Porthouse D.T.C. [64]

The physics of rewetting in water reactor emergency core cooling.

Nuclear Engineering and Design, 25:379, 1973.

Duffey R.B. and Porthouse D.T.C. [68]

Experiments on the cooling of high temperature surfaces by water jets and drops.

RD/B/N2386, SGHWR/TC/PPSG/P(72)129, SGHWR/TC/SOSG/P(72)76, CEGB, Berkeley Nuclear Laboratories, August 1972.

Duncan J.D. and Leonard J.E. [113]

BWR-FLECHT Final Report

GEAP-13197, 1971

Elliott D.F. and Rose P.W. [29]

The quenching of a heated surface by a film of water in a steam environment of pressures up to 53 bar.

AEEW-M976, 1973.

Elliott D.F. and Rose P.W. [61]

The quenching of a heated zircalloy surface by a film of water in a steam environment at pressures up to 53 bar.

AEEW-M1027, 1973.

Fujita T. and Ueda T. [85]

Heat transfer to falling liquid films and film breakdown-II.

International Journal of Heat and Mass Transfer, 21:109, 1978.

Fujita T. and Ueda T. [32]

Heat transfer to falling liquid films and film breakdown-I.

International Journal of Heat and Mass Transfer, 21:97, 1978.

Grob B. [20]

Basic Electronics.

McGraw-Hill Book Co., Singapore, 1984.

Gunnerson E.C. and Yackle T.R. [96]

Quenching and rewetting of nuclear fuel rods.

Nuclear Technology, 54:113, 1981.

Hewlett Packard. [9]

Using Vectra.

Manual P.N. 45951-90001, 1985.

Hewlett Packard. [10]

Vectra MS-DOS User's Reference Manual.

Manual P.N. 45951-90003, 1985.

Hewlett Packard. [13]

Vectra MS-DOS Programmer's Reference.

1985.

Hewlett Packard. [14]

Vectra MS-DOS Macro Assembler.

1985.

Ishii M. [60]

Study on emergency core cooling.

Journal of the British Nuclear Energy Society, 14(3):237, 1975.

Jansen E., Levy S. and Kervinen J.A. [31]

Investigations of Burnout in an internally heated annulus cooled by water at 600 to 1450 psia.

ASME Paper No. 63-WA-149, 1963.

Kaye G.W.C and Laby T.H. [45]

Tables of Physical and Chemical Constants.

Longman Group Limited, London, 1973.

Koizumi Y., Kumamaru H. and Tasaka K. [100]

Investigation of pre- and post- dryout heat transfer in upward steam-water two-phase flow at low rate with improved surface temperature measurement.

Journal of Nuclear Science and Technology, v. 21(12):965, December 1984.

Kimball K.D. and Roy R.P. [94]

Quench front propagation during bottom reflooding of a heated annular channel.

Nuclear Engineering and Design, 76:79, 1983.

Konstantaropoulou A.P. and Simopoulos S.E. [50]

Investigation of the liquid flowrate effect on the rewetting rate.

Proceedings of the International Conference on the Analysis of Thermal and Energy Systems, p. 983, Athens, Greece, June 3-6, 1991.

Loomis G.G. and Shumway R.W. [39]

Low pressure transient flow film boiling in vertically oriented rod bundles.

Nuclear Technology, 63:151, 1983.

Luebbesmeyer D. [23]

Wiederbenetzungsexperimente unter atypischen Stroemungsbedingungen wie hohe Flutrate, Wasserschwall oder nasse Dampfstromung.

PSI-Bericht Nr. 79, Villingen, Switzerland, Oktober 1990.

- Mariy A.H., El-Shirbini A.A. and Murgatroyd W. [107]
The effect of waves on the motion of the triple-phase front of a dry patch formed in a motivated liquid film.
International Journal of Heat and Mass Transfer, 1:1141, 1974.
- Mori M., Toda S., Ochiai M. and Saito S. [34]
Transient cooling process of fuel rod in reactivity initiated accident.
Nuclear Science and Technology, 17(6):413, 1980.
- Microsoft Corporation. [11]
Microsoft FORTRAN Reference Manual.
1985.
- Microsoft Corporation. [12]
Microsoft FORTRAN Compiler for the MS-DOS Operating System/User's Guide.
1985.
- Murao Y. [76]
Correlation of quench phenomena for bottom flooding during Loss-of-Coolant Accidents.
Journal of Nuclear Science and Technology, 15(12):875, 1978.
- Ockendon J.R. and Hodgkins W.R. [115]
Moving Boundary Problems in Heat Flow and Diffusion.
Oxford University Press, Bristol, 1974.
- Olek S. [71]
On the two region rewetting model with a step channel in the heat transfer coefficient.
Nuclear Engineering and Design, 108:315, 1988.
- Olek S. [73]
Solution to a fuel-and-cladding rewetting model.
PSI-Bericht Nr.33, Villingen, Switzerland, Juni 1989.
- Olek S. [74]
The effect of precursory cooling on rewetting of a slab.
Nuclear Engineering and Design, 108:323, 1988.
- Olek S. [95]
Analytical models for the rewetting of hot surfaces.
PSI-Bericht Nr. 17, Villingen, Switzerland, Oktober 1988.

Piggott B.D.G. and Porthouse D.T.C. [28]

A correlation of rewetting data.

Nuclear Engineering and Design, 32:171, 1975.

Piggott B.D.G., White E.P. and Duffey R.B. [42]

Wetting delay due to film and transition boiling on hot surfaces.

Nuclear Engineering and Design, 36:169, 1976.

Piggott B.D.G. and Porthouse D.T.C. [90]

Water reactor emergency core cooling: The effect of pressure, subcooling and surface condition on the rewetting of hot surfaces.

RD/B/N2692, CEGB, Berkeley Nuclear Laboratories, June 1973.

Piggott B.D.G. and Duffey R.B. [103]

The quenching of irradiated fuel pins.

Nuclear Engineering and Design, 32:182, 1975.

Powell R.L., William H.J., Burns G.W. and Plumb H.H. [57]

Thermocouple Reference Tables Based on the IPTS-68.

OMEGA PRESS, National Bureau of Standards (U.S.) Monograph 125, Code name NBSMA6, 1974.

Richner M., Analytis G.Th. and Aksan S.N. [22]

Assessment of RELAP5/MOD2, cycle 36.02, using NEPTUN reflooding experimental data.

PSI-Bericht Nr. 104, NUREG/IA-00103, Villingen, Switzerland, Oktober 1991.

Richner M. and Aksan S.N. [67]

Determination of some thermal properties of the NEPTUN heated rod and experimental test of the inverse heat conduction program INCON.

PSI-Bericht Nr. 43, Villingen, Switzerland, September 1989.

Runnion W.C. [5]

Structured Programming in ASSEMBLY Language for the IBM PC.

PWS-KENT, Boston, 1988.

Salcudean M. and Bui T.M. [78]

Heat transfer during the rewetting of hot horizontal channels.

Nuclear Engineering and Design, 59:369, 1980.

- Saphier D., Zimmermann M.A., Knoglinger E. and Jaquemoud P. [66]
Sensitivity analysis of the rod ejection accident for the Beznau Reactor.
PSI-Bericht Nr. 78, STARS-Bericht Nr.4, Villingen, Switzerland, August 1990.
- Sawan M.E. and Temraz H.M. [82]
A three regions semi-analytical rewetting model.
Nuclear Engineering and Design, 64:319, 1981.
- Sawan M.E., Zaki G.M. and Temraz H.M. [86]
A three-regions rewetting model with heat generation and subcooling.
Atomkernenergie - Kerntechnik, 34(3):199, 1979.
- Sawan M.E. [87]
Analysis of spray cooling of hollow rod cladding following a loss-of-coolant accident (LOCA).
Atomkernenergie - Kerntechnik, 31(2):122, 1978.
- Sawan M.E. and Carbon M.W. [93]
A review of spray-cooling and bottom flooding work for LWR cores.
Nuclear Engineering and Design, 32:191, 1975.
- Scanlon L.J. [6]
Assembly Language Programming for the IBM PC.
Brady, New York, 1986.
- Semeria R. and Martinet B. [109]
Calcification spots on a heating wall: Temperature Distribution and Resorption.
Proceedings of Institution of Mechanical Engineers, Session 3, Paper 3,
180:192, 1965.
- Shires G.L., Pickering A.R. and Blacker P.T. [25]
Film cooling of vertical fuel rods.
AEEW-R343, 1964.
- Simopoulos S.E. [2]
Modelling of the Rewetting Process in Water-Cooled Nuclear Reactor Fuel Elements
PhD Thesis, Thermal Power Section, Dept. of Mechanical Engineering, ICST,
London, 1978.

Simopoulos S.E. [51]

The effect of precursory cooling on the rewetting rate.
Atomkernenergie - Kerntechnik, 49(1/2):37, 1986.

Simopoulos S.E. [110]

Simulation of the water/Freon-113 rewetting process.
Nuclear Engineering and Design, 65:71, 1981.

Simopoulos S.E., El-Shirbini A.A. and Murgatroyd W. [111]

Experimental Investigation of the rewetting process in a Freon-113 Vapour Environment.
Nuclear Engineering and Design, 55:17, 1979.

Smith B.L. [27]

Implementation and testing of the CFDS-FLOW3D code.
PSI Bericht Nr. 94-05, Villingen, Switzerland, Marz 1994.

Sun K.H., Dix G.E. and Tien C.L. [65]

Cooling of a very hot vertical surface by a falling liquid film.
Transactions of the ASME, Series C, Journal of Heat Transfer, 96(2):126, 1974.

Sun K.H., Dix G.E. and Tien C.L. [75]

Effect of precursory cooling on falling-film rewetting.
Transactions of the ASME, Series C, Journal of Heat Transfer, p.360, 1975.

Sun K.H., Dix G.E. and Tien C.L. [89]

Effect of precursory cooling on falling film rewetting.
ASME Paper No. 74-WA/HT-52, 1974.

Thompson T.S. [88]

Rewetting of a hot surface.
AECL-5060, 1975.

Thompson T.S. [98]

On the process of rewetting a hot surface by a falling liquid film.
Nuclear Engineering and Design, 31:234, 1974.

Thompson T.S. [105]

An analysis of the wet-side heat-transfer coefficient during rewetting of a hot dry patch.
Nuclear Engineering and Design, 22:212-224, 1972.

Thompson T.S. [99]

On the process of rewetting a hot surface by a falling liquid film.

AECL-4516, Chalk River Nuclear Laboratories, Chalk River, Ontario, June 1973.

Tien C.L. and Yao L.S. [91]

Analysis of conduction controlled rewetting of a vertical surface.

ASME Paper Nr. 74-WA/HT-49, 1974.

Tung V.X. and Dhir V.K. [72]

Quenching of debris beds having variable permeability in the axial and radial directions.

Nuclear Engineering and Design, 99:275, 1987.

Ueda T. and Inoue M. [81]

Rewetting of a hot surface by a falling liquid film - effects of liquid subcooling.

International Journal of Heat and Mass Transfer, 27(7):999, 1984.

Ueda T., Inoue M., Iwata Y. and Sogawa Y. [84]

Rewetting of a hot surface by a falling liquid film.

International Journal of Heat and Mass Transfer, 26(3):401, 1983.

Wang C.H. and Dhir V.K. [36]

An experimental investigation of multidimensional quenching of a simulated core debris bed.

Nuclear Engineering and Design, 110:61, 1988.

Yadigaroglu G., Andreani M., Aksan S.N., Lewis M.J., Analytis G.Th., Lubbesmeyer D. and Olek S. [70]

Modelling of thermohydraulic emergency core cooling phenomena.

PSI-Bericht Nr.27, Villingen, Switzerland, Oktober 1990.

Yamanouchi A. [24]

Effect of core spray cooling in transient state after Loss of Coolant Accident.

Journal of Nuclear Science and Technology, 5(11):547, 1968.

Yamanouchi A. [63]

Effects of core spray cooling at stationary state after Loss of Coolant Accident.

Journal of Nuclear Science and Technology, 5(9):498, 1968.

Yeh H. [101]

An analysis of rewetting of a nuclear fuel rod in water reactor emergency core cooling.

Nuclear Engineering and Design, 34:317, 1975.

Yoshioka K. and Hasegawa S. [104]

A correlation in displacement velocity of liquid film boundary formed on a heated vertical surface in emergency core cooling.

Journal of nuclear Science and Technology, 7(8):418, 1970.

Yu S.W.K., Farmer P.R. and Coney M.W.E. [38]

Methods and correlations for the prediction of quenching rates on hot surfaces.

International Journal of Multiphase Flow, 3:415, 1977.

Yu K.P. and Yadigaroglu G. [62]

Heat transfer immediately downstream of the quench front during reflooding.

ASME Paper No. 79-HT-48, 1979.

Αλμυρούδης Ν.Ε. [19]

Σύνδεση Μεταλλικών μέσω ADC/MUX σε Προσωπικό Η/Υ κάτω από το Λ/Σ DOS.

ΔΕ, ΕΜΠ, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας, Αθήνα, 1992.

Αναγνωστάκης Μ.Ι. [53]

Μεταφορά των Κωδικών BWR6, LOCA και LOCECC από το Σύστημα CYBER-171 (NOS) στο Σύστημα HP-9000/320 (UNIX 5).

ΔΕ, ΕΜΠ, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας, Αθήνα, 1988.

Βοσίνης Α.Κ. [44]

Μελέτη του Συστήματος Μετρήσεων, Ελέγχου και Ρυθμίσεως του Θερμοϋδραυλικού Κυκλώματος Ελαφρού Υδατος του Ε.Μ.Π.

ΔΕ, ΕΜΠ, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας, Αθήνα, 1988.

Βοσυνιώτης Σ. [17]

Σύνδεση Ψηφιακών Συσκευών σε Θύρα RS-232 Η/Υ κάτω από το Λ/Σ DOS.

ΔΕ, ΕΜΠ, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας, Αθήνα, 1988.

Γαλλής Μ.Α. [114]

Μελέτη της Μεταβολής του Κλάσματος Κενού κατά μήκος Καναλιού Ψύξεως Αντιδραστήρα Ζέοντος Τύπου. Εφαρμογή στον Κώδικα BWR.

ΔΕ, ΕΜΠ, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας, Αθήνα, 1990.

Γιωτόπουλος Α.Β. [43]

Μελέτη και Σχεδιασμός Πειραματικής Διάταξης Διφασικής Ροής.

ΔΕ, ΕΜΠ, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας, Αθήνα, 1979.

Ηλιόπουλος Γ.Γ. [49]

Κλιματιστικό και ψυκτικό βοήθημα.

Αθήνα, 1979.

Καλαμπαλίκης Ν.Ι. [15]

Αυτοματοποιημένες Μετρήσεις με χρήση Μεταλλάκτη Πίεσης, Θερμοστοιχείων και Η/Υ. Εφαρμογή: Μέτρηση της θερμοδυναμικής Συμπεριφοράς Δοχείου Βρασμού Υδατος στην περιοχή 1-7bar.

ΔΕ, ΕΜΠ, Τμήμα Μηχανολόγων, Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας, Αθήνα, 1988.

Κατσιμίχας Σ.Δ. [47]

Μεταφορά του Κώδικα REWET από το Σύστημα CYBER-171 (NOS) στο Σύστημα HP-9000/370 (UNIX 5) και Βελτίωσή του.

ΔΕ, ΕΜΠ, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας, Αθήνα, 1992.

Κουτσουμπλής Λ.Ι. [18]

Σύνδεση Μεταλλακτών μέσω ADC σε Προσωπικό Η/Υ κάτω από το Λ/Σ DOS.

ΔΕ, ΕΜΠ, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας, Αθήνα, 1991.

Κωνστανταροπούλου Α. [46]

Διερεύνηση της Επίδρασης της Παροχής του Ψυκτικού στο Φαινόμενο της Επανάψυξης.

ΔΕ, ΕΜΠ, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας, Αθήνα, 1991.

Μάγειρας Χ.Λ. [16]

Αυτοματοποιημένες Μετρήσεις με χρήση Μαγνητικού Ροομέτρου, Θερμοστοιχείων και Η/Υ. Εφαρμογή: Μελέτη της μεταδόσεως θερμότητας στη μεταβατική περιοχή του νερού.

ΔΕ, ΕΜΠ, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας, Αθήνα, 1988.

Παπαδανιήλ Ε. [48]

Μηχανολογικόν Σχέδιον - Σημειώσεις και Κανονισμοί.

ΕΜΠ, Διεύθυνσις Μηχανουργικού και Μηχανολογικού Εργοστασίου, Αθήνα, 1980.

Σιμόπουλος Σ.Ε. [1]

Μετρήσεις Τεχνικών Μεγεθών.

ΕΜΠ, Αθήνα, 1989.

Σιμόπουλος Σ.Ε. [108]

Απαγωγή θερμότητας από τον Πυρήνα Πυρηνικών Αντιδραστήρων.

ΕΜΠ, Αθήνα, 1983.

Φωτιάδης Γ. [52]

Αριθμητικός Κώδικας για τον Υπολογισμό των Θερμοδυναμικών Ιδιοτήτων και Ιδιοτήτων Μεταφοράς του Ελαφρού Νερού.

ΔΕ, ΕΜΠ, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας, Αθήνα, 1982.

Χατζηνικολάου Ζ.Γ. [55]

Βαθμονόμηση Μαγνητικών Ροομέτρων Νερού Θερμοκρασίας 20-80 °C.

ΔΕ, ΕΜΠ, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας, Αθήνα, 1994.