ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Προγραμματισμός και διαχείριση έργων εγκατάστασης οργάνων πεδίου

Διπλωματική Εργασία

Ευάγγελος Α. Πλουμιστός

Επίβλεψη: Β. Ι. Λεώπουλος
Αναπ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ 2012

……...

Ευάγγελος Α. Πλουμιστός

Copyright © Ευάγγελος Α. Πλουμιστός, 2012.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτή την εργασία εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Πρόλογος

Η εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας οριοθετεί την ολοκλήρωση των προπτυχιακών σπουδών στην Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π.. Η ανάθεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας παρείχε την δυνατότητα παρουσίασης των οργάνων πεδίου, έναν σύνθετο τεχνικό τομέα με πολλές και ενδιαφέρουσες παραμέτρους, άγνωστες στους περισσότερους. Ο συνδυασμός των γνώσεων που αποκόμισα στη διάρκεια των σπουδών με την εμπειρία από την επαγγελματική ενασχόληση μου στον τομέα της εγκατάστασης των οργάνων πεδίου, παρουσιάζεται σε αυτήν την εργασία. Για τον λόγο αυτό, ευχαριστώ θερμά τον αναπληρωτή καθηγητή Κ^o Β. Λεώπουλο.

Επίσης, ευχαριστώ πολύ τον Διευθυντή του τερματικού σταθμού της Δ.Ε.Σ.Φ.Α. στην Ρεβυθούσα Κ^o Ι. Καραγιάννη και το προσωπικό του τμήματος οργάνων για τις πληροφορίες και το πολύτιμο υλικό που παρείχαν για τον εξοπλισμό των οργάνων του σταθμού.

Ιδιαίτερη μνεία από την πλευρά μου αξίζει σε όλους εκείνους που στην διάρκεια των χρόνων θέλησαν να μοιραστούν την γνώση και την εμπειρία τους από την εγκατάσταση οργάνων πεδίου, συμβάλλοντας με αυτόν τον τρόπο στην ολοκληρωμένη προσέγγιση του αντικειμένου.

Πάνω απ' όλα, ευχαριστώ τους ανθρώπους που βρίσκονται δίπλα μου και με την συμπαράστασή τους συνέβαλλαν καθοριστικά στην ολοκλήρωση αυτής της μακροχρόνιας προσπάθειας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σύνοψη 7
Εισαγωγή 9

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ 11
Όργανα μετρήσεων πεδίου 11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο: Τα όργανα μετρήσεων πεδίου και ο αυτόματος έλεγχος 11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο: Οι βασικές μεταβλητές ελέγχου στην παραγωγή 17
2.1. Ροή 17
2.2. Θερμοκρασία 17
2.3. Πίεση 17
2.4. Στάθμη 17
2.5. Άλλες μεταβλητές της παραγωγής 18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο: Οι αρχές λειτουργίας των οργάνων μέτρησης πεδίου 19
3.2. Κατηγορίες οργάνων 20
3.3. Στατικά χαρακτηριστικά των οργάνων 21
3.4. Πνευματικά όργανα 23
3.5. Ηλεκτρονικά όργανα 25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο: Οι κατηγορίες οργάνων μέτρησης πεδίου 28
4.1. Τα όργανα μέτρησης της ροής 28
4.2. Τα όργανα μέτρησης της θερμοκρασίας 35
4.3. Τα όργανα μέτρησης της πίεσης 40
4.4. Τα όργανα μέτρησης της στάθμης 46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο: Οι δραστηριότητες εγκατάστασης των οργάνων πεδίου 51
5.1. Η εγκατάσταση των σχαρών όδευσης καλωδίων 51
5.2. Η εγκατάσταση των κουτιών διακλάδωσης 55
5.3. Ο έλεγχος της βαθμονόμησης των οργάνων πεδίου 58
5.4. Η εγκατάσταση των καλωδίων οργάνων 62
5.5. Οι εργασίες της τοποθέτησης των οργάνων 67
5.6. Οι εργασίες τοποθέτησης στυπιοθλιπτών και σύνδεσης των καλωδίων 76
5.7. Η εγκατάσταση των πεδίων αυτοματισμού 82

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ 85
Οι δραστηριότητες εγκατάστασης των οργάνων πεδίου στις Δεξαμενές Αποθήκευσης Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου (LNG) του τερματικού σταθμού Ρεβυθούσας 85
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο: Παρουσίαση του έργου 85
6.1. Σκοπός του έργου 86
6.2. Δραστηριότητες του έργου 88
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7ο: Δομική Ανάλυση του Έργου 89
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8ο: Ποσότητες του έργου 91
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9ο: Καταρτισμός διαγράμματος δικτύου 97
9.1. Εκτίμηση χρονικής διάρκειας των δραστηριοτήτων 97
9.2. Οι λογικές σχέσεις μεταξύ των δραστηριοτήτων 108
9.3. Αλληλουχία δραστηριοτήτων 109
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10ο: Επίλυση του δικτύου 115
10.1. Υπολογισμός ημέρας «νωρίτερης έναρξης» δραστηριοτήτων 115
10.2. Υπολογισμός ημέρας «αργότερης έναρξης» δραστηριοτήτων 115
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11ο: Υπολογισμός κρίσιμης διαδρομής 120
11.1. Υπολογισμός χρονικών περιθωρίων 120
11.2. Κρίσιμες δραστηριότητες 121
11.3. Υποκρίσιμες δραστηριότητες 123
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12ο: Χρονοδιάγραμμα έργου 127
12.1. Καταρτισμός χρονοδιαγράμματος δραστηριοτήτων 127
12.2. Χρονοδιάγραμμα έργου 130
Συμπεράσματα 139
Βιβλιογραφία 141

Σύνοψη

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αφορά τον καταρτισμό του χρονοδιαγράμματος των δραστηριοτήτων για την εγκατάσταση οργάνων πεδίου κατά την φάση της κατασκευής ενός έργου. Για την ολοκληρωμένη προσέγγιση του αντικειμένου, κρίθηκε σκόπιμο να προηγηθεί μια παρουσίαση των οργάνων πεδίου και των δραστηριοτήτων που περιλαμβάνονται στην εγκατάσταση τους. Έτσι, στο πρώτο μέρος περιλαμβάνονται:

Στο *πρώτο κεφάλαιο* γίνεται μια σύντομη αναφορά ανά δεκαετία στην εξέλιξη που παρουσίασαν τα όργανα πεδίου και τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου. Στο *δεύτερο κεφάλαιο* αναφέρονται οι βασικές παράμετροι της παραγωγής. Στο *τρίτο κεφάλαιο* περιγράφονται τα μέρη που απαρτίζουν ένα μετρητικό σύστημα, αναπτύσσονται τα στατικά χαρακτηριστικά των οργάνων και οι βασικές αρχές για τα πνευματικά και τα ηλεκτρονικά όργανα. Στο *τέταρτο κεφάλαιο* παρουσιάζονται οι κατηγορίες των οργάνων πεδίου για την μέτρηση της ροής, της θερμοκρασίας, της πίεσης και της στάθμης. Για κάθε κατηγορία οργάνων παρουσιάζονται οι χαρακτηριστικότεροι τύποι και οι αρχές λειτουργίας τους. Στο *πέμπτο κεφάλαιο* αναλύονται οι εργασίες που συνθέτουν τις δραστηριότητες εγκατάστασης των οργάνων πεδίου ενώ σε κάθε εργασία περιγράφεται το αντικείμενο της, ο εξοπλισμός και τα υλικά που απαιτούνται για την πραγματοποίησή της ενώ παρουσιάζονται τα αντίστοιχα σχέδια και έγγραφα Διασφάλισης Ποιότητας.

Στο δεύτερο μέρος παρουσιάζεται αναλυτικά η μεθοδολογία για τον καταρτισμό του χρονοδιαγράμματος δραστηριοτήτων για την εγκατάσταση οργάνων πεδίου στις Δεξαμενές Αποθήκευσης Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου στον τερματικό σταθμό της Ρεβυθούσας. Συγκεκριμένα περιλαμβάνονται:

Στο *έκτο κεφάλαιο* γίνεται η παρουσίαση του έργου, ο σκοπός και οι δραστηριότητες του. Στο *έβδομο κεφάλαιο* γίνεται η δομική ανάλυση του έργου. Στο *όγδοο κεφάλαιο* αναλύονται οι ποσότητες που αποτελούν τις βασικές παραμέτρους των δραστηριοτήτων εγκατάστασης όπως οι σχάρες καλωδίων, τα καλώδια οργάνων και φυσικά τα όργανα πεδίου. Στο *ένατο κεφάλαιο* υπολογίζεται η χρονική διάρκεια των εργασιών και αναφέρονται οι σχέσεις μεταξύ των δραστηριοτήτων οι οποίες καθορίζουν την αλληλουχία εκτέλεσης τους ενώ στο τέλος του κεφαλαίου παρουσιάζεται το διάγραμμα δικτύου των δραστηριοτήτων. Στο *δέκατο κεφάλαιο* επιλύεται το δίκτυο με την εύρεση της ημέρας νωρίτερης έναρξης και αργότερης έναρξης κάθε δραστηριότητας. Στο *ενδέκατο κεφάλαιο* υπολογίζονται τα χρονικά περιθώρια κάθε δραστηριότητας, οι κρίσιμες και υποκρίσιμες δραστηριότητες του έργου. *Στο δωδέκατο κεφάλαιο* παρουσιάζεται ο καταρτισμός του χρονοδιαγράμματος των δραστηριοτήτων έργου με βάση την μέθοδο της Κρίσιμης Διαδρομής χρησιμοποιώντας την καμπύλη κόστους. Η εφαρμογή της μεθόδου παρουσιάζεται για το έργο εγκατάστασης οργάνων πεδίου στις Δεξαμενές Αποθήκευσης Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου στον τερματικό σταθμό της Ρεβυθούσας.

Abstract

The aim of this thesis is to introduce the preparation of time schedule for field instruments erection activities in the construction phase of a project. In order the subject to be easily understood; an introduction of field instruments and relevant erection activities is taking place. In the first part are presented:

Chapter 1: instrumentation development together with control automation systems

Chapter 2: the description of basic process variables

Chapter 3: measuring devices essential parts, static characteristics of field instruments, pneumatic and electronic instruments description

Chapter 4: the basic field instrument types and their principles of operation for process variables measurement such as flow instruments, temperature instruments, pressure instruments and level instruments.

Chapter 5: field instruments erection activities description; materials and equipment needed for their execution together with relevant QA documentation.

In the second part of this thesis is presented in detail the methodology for scheduling instrumentation activities in LNG Storage Tanks in Revithousa terminal. In the second part are presented:

Chapter 6: information about the project; location and scope.

Chapter 7: Structural analysis of the project and its WBS

Chapter 8: quantities of erection variables like cable trays, cables, instruments that constituting the scope of erection activities

Chapter 9: the estimation of activities duration; logical constraints between activities that define the sequence of their execution; and project network

Chapter 10: the project network solving with calculation of time float, the “early start day” and “early finish day” of each activity

Chapter 11: project network analysis, float calculations, the critical and subcritical project activities, project critical path

Chapter 12: the compilation of scheduling project activities based on the critical path method using the cost curve. An application of the method is presented for instrumentation activities in LNG Storage Tanks of Revithousa terminal.

Εισαγωγή

Στην πρόοδο της τεχνολογίας, η ανάγκη για βελτίωση υπαγόρευσε τις περισσότερες φορές, πολλές από τις εξελίξεις. Ένας από τους τομείς της τεχνολογίας που ακολούθησε αυτή την αρχή είναι και αυτός που σήμερα είναι γνωστός σαν *όργανα μετρήσεων* (instrumentation) και τα *όργανα πεδίου* (field instruments). Με τον όρο *πεδίο* εννοείται ο χώρος όπου εξελίσσεται η διαδικασία της παραγωγής.

Τα όργανα πεδίου είναι μετρητικές διατάξεις που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση φυσικών μεγεθών όπως η ροή, η θερμοκρασία, η πίεση και η στάθμη τα οποία αποτελούν τις μεταβλητές της παραγωγής σε μια παραγωγική διαδικασία. Ο έλεγχος των μεταβλητών της παραγωγής είναι απαραίτητος για την επίβλεψη της ή την ρύθμιση των παραμέτρων της με την χρησιμοποίηση των μετρήσεων ως ανάδραση (feedback) στα συστήματα αυτομάτου ελέγχου.[5] Οι εφαρμογές των οργάνων μέτρησης πεδίου συναντώνται σε πολλούς τομείς της σύγχρονης βιομηχανίας, ιδιαίτερα δε στην χημική βιομηχανία, στην βιομηχανία πετρελαίου, στις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, στην βιομηχανία τροφίμων αλλά και οπουδήποτε απαιτείται ακρίβεια ή έλεγχος των παραμέτρων παραγωγής. Τα τελευταία χρόνια, ιδιαίτερα με την ανάπτυξη της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών υπολογιστών, τα όργανα μετρήσεων πεδίου εξελίχθηκαν από συσκευές μέτρησης, σε ολοκληρωμένα συστήματα για την εποπτεία και τον έλεγχο της παραγωγής. Η ανάπτυξη αξιόπιστων συστημάτων μετρήσεων και εξειδικευμένων μεθόδων ελέγχου, συμβάλλει στην βελτίωση των συνθηκών παραγωγής, στην υψηλή ποιότητα των προϊόντων και κατ' επέκταση στην ανάπτυξη των βιομηχανικών εγκαταστάσεων.

Στον τομέα των κατασκευών τα όργανα πεδίου καταλαμβάνουν ένα μικρό ποσοστό στο σύνολο του έργου εκτός των περιπτώσεων που αφορούν εξειδικευμένες εγκαταστάσεις. Παρά ταύτα, λόγω της ευαίσθητης φύσης τους, οι δραστηριότητες που αφορούν την εγκατάσταση τους πραγματοποιούνται προς το τέλος του κύκλου της κατασκευής του έργου, με αποτέλεσμα η ολοκλήρωση των εργασιών να επηρεάζει την έγκαιρη ολοκλήρωση του. Από την άποψη αυτή, οι δραστηριότητες εγκατάστασης οργάνων πεδίου αποτελούν μια κρίσιμη δραστηριότητα στην κατασκευή ενός έργου, γι' αυτό ο σωστός προγραμματισμός των επιμέρους εργασιών και ο έλεγχος τους πρέπει να αποτελούν προϊόν συστηματικής προσέγγισης.

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

Όργανα μετρήσεων πεδίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο : Τα όργανα μετρήσεων πεδίου και ο αυτόματος έλεγχος

Η εμφάνιση και η ανάπτυξη των οργάνων πεδίου είναι στενά συνδεδεμένες με τον έλεγχο, ο οποίος στην πορεία των χρόνων εξελίχθηκε σε «αυτόματο έλεγχο», των βασικών παραμέτρων της παραγωγής.

Ο έλεγχος πραγματοποιείται είτε τοπικά είτε από απόσταση. Με βάση τον τρόπο ελέγχου τα όργανα πεδίου χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες:

- *τοπικά ενδεικτικά όργανα* και
- *όργανα μετάδοσης σήματος*.

Σαν «σήμα» ορίζεται ένα φυσικό μέγεθος που χρησιμοποιείται ως μέσο για την μεταφορά μιας πληροφορίας.[2] Με βάση το μέσο που χρησιμοποιείται για την μετάδοση του σήματος τα όργανα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- *πνευματικά όργανα* (pneumatic instruments) στα οποία το μέσο μετάδοσης είναι πεπιεσμένος αέρας και
- *ηλεκτρονικά όργανα* (electronic instruments) στα οποία το μέσο μετάδοσης είναι ηλεκτρικό ρεύμα ασθενούς, δηλαδή πολύ χαμηλής, τάσης

Τα τοπικά ενδεικτικά, στην δεκαετία του 1900, αποτέλεσαν την πρώτη οργανωμένη προσπάθεια μέτρησης των παραμέτρων της παραγωγής με σκοπό τον έλεγχο της. Διαβάζοντας την ένδειξη (measurement) από ένα τοπικό όργανο (sensor) ένας χειριστής σε μία μονάδα παραγωγής μπορούσε να επενεργεί (controlling) στον εμπλεκόμενο εξοπλισμό, ρυθμίζοντας για παράδειγμα, το άνοιγμα μιας βάνας (valve), έτσι ώστε μεταβάλλοντας την παράμετρο της παραγωγής, εν προκειμένω τη ροή, να επιτυγχάνει το επιθυμητό αποτέλεσμα, εφαρμόζοντας ουσιαστικά τις αρχές ενός συστήματος ελέγχου «κλειστού βρόγχου με ανάδραση».[5]

Στα μέσα της δεκαετίας του 1910 δημιουργήθηκαν τα πρώτα πνευματικά όργανα ελέγχου τα οποία αντικατέστησαν μέρος της εργασίας των χειριστών. Καθοριστικό παράγοντα για την εξέλιξη αυτή αποτέλεσε η εφεύρεση από τον E. Bristol, ερευνητή για την εταιρεία κατασκευής οργάνων Foxboro Instrument Company στις Η.Π.Α., του ενισχυτή σήματος ακροφυσίου με πτερύγιο (flapper nozzle amplifier).[17] Η ανακάλυψη του συνέβαλε στην κατασκευή των πρώτων «αυτόματων» οργάνων μέτρησης, δηλαδή οργάνων με ικανότητα επενέργειας καθώς μπορούσαν να παρεμβαίνουν από απόσταση με βάση το προσλαμβανόμενο σήμα εισόδου. Τα όργανα αυτά ονομάστηκαν ελεγκτές ή κατευθυντές ή επενεργητές (controllers) και μπορούσαν μέσω αισθητήρα (sensor) να

αντιλαμβάνονται την μετρούμενη ποσότητα (measurement) και στην συνέχεια να επενεργούν (controlling) με «αναλογικό» τρόπο (proportional), μεταβάλλοντας την θέση μιας πνευματικής βάνας (final control element), δημιουργώντας ένα ολοκληρωμένο σύστημα ελέγχου «κλειστού βρόγχου με ανάδραση».

Στις αρχές της δεκαετίας του 1920, παρουσιάζεται η πρώτη εφαρμογή «αυτομάτου ελέγχου» από τον N. Minorsky, ελέγχοντας τη συμπεριφορά της απόκρισης του συστήματος πλοήγησης πλοίου με βάση τις αρχές της μεθόδου ελέγχου PID (Proportional-Integral-Derivative). Αναλογικά (Proportional) καθώς ο έλεγχος γινόταν σε σύγκριση με την επιθυμητή πορεία (set point), δηλαδή η διορθωτική ενέργεια ήταν ανάλογη της απόκλισης, του σφάλματος, που κατέγραφε το σύστημα. Ολοκληρωτικά (Integral) γιατί ο καθορισμός του μεγέθους της απαιτούμενης ενέργειας ήταν συγκεκριμένος, ώστε να διορθωθεί η απόκλιση από την επιθυμητή πορεία. Διαφορικά (Derivative) καθώς η προσπάθεια να διαπιστωθεί κατά πόσο αποκλίνει μια μεταβλητή, εν προκειμένω η πλεύση του πλοίου, από το καθορισμένο σημείο προορισμού κατά το παρελθόν, οδηγούσε στην πρόβλεψη για τις διορθωτικές ενέργειες που έπρεπε να γίνουν στο μέλλον. Μερικά χρόνια αργότερα ο H. Nyquist ανέπτυξε μια μέθοδο για τον προσδιορισμό της ευστάθειας συστημάτων «κλειστού βρόγχου» με βάση την απόκριση συστήματος «ανοικτού βρόγχου» όταν η είσοδος τους περιγράφονταν από ημιτονοειδείς συναρτήσεις σταθερού εύρους.[1] Αυτές οι προσπάθειες αποτέλεσαν τα αρχικά στάδια της ανάπτυξης της θεωρίας αυτομάτου ελέγχου.

Κατά την διάρκεια του μεσοπολέμου η βελτίωση των οργάνων οδήγησε στην εμφάνιση των πρώτων επενεργητών με δυνατότητα επαναφοράς (reset). Τα όργανα συγκεντρώθηκαν ανά ομάδες σε πίνακες ελέγχου (control panels) στα διάφορα σημεία των μονάδων, όπου ο χειριστής ευρισκόμενος μπροστά στον πίνακα ελέγχου μπορούσε να ενημερώνεται ταυτόχρονα για τις μετρήσεις σε περισσότερα από ένα σημεία και να παρεμβαίνει ανάλογα στις παραμέτρους της παραγωγής. Η βελτίωση αυτή οδήγησε στην ανάπτυξη των πρώτων μεθόδων για την εφαρμογή θεωριών ελέγχου, με την έννοια που αποδίδεται στον όρο σήμερα, συμβάλλοντας στην επίλυση προβλημάτων παραγωγής.[5] Η σχεδίαση τους αποτελούσε κατά κανόνα τέχνη που ακολουθούσε την μεθοδολογία «δοκιμής και σφάλματος» (trial and error), έχοντας σαν σκοπό να αντιμετωπίσει επιμέρους προβλήματα χωρίς να επεκτείνεται σε γενικευμένο τρόπο αντιμετώπισης τους.[1] Την ίδια εποχή, καθώς η ηλεκτρική ενέργεια και οι ιδιότητες της αποτελούσαν πλέον μέρος της ανθρώπινης καθημερινότητας, παρουσιάστηκαν τα πρώτα ηλεκτρικά όργανα. Το 1936 δημιουργήθηκε στις Η.Π.Α. η πρώτη επαγγελματική επιτροπή για τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου, με σκοπό την τυποποίηση των μεθόδων και του σχεδιασμού τους.

Κατά τη διάρκεια του δευτέρου παγκοσμίου πολέμου, όπως συνέβη και σε πολλές άλλες περιπτώσεις, η ανάγκη για τη δημιουργία εξελιγμένων για την εποχή οπλικών συστημάτων αποτέλεσε ισχυρή ώθηση για την εξέλιξη των οργάνων, τη θεωρία και την

πρακτική του αυτομάτου ελέγχου θέτοντας ουσιαστικά τη βάση για την δημιουργία ενός αυτόνομου επιστημονικού πεδίου.

Στην δεκαετία του 1950 οι ενδείξεις των οργάνων μεταφέρθηκαν σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο, τον θάλαμο ελέγχου (control room) των μονάδων, στον οποίο συγκεντρώνονταν πλέον όλες οι πληροφορίες, δίνοντας τη δυνατότητα συνολικής εποπτείας σε συνεχή βάση και ταυτόχρονης παρέμβασης στις μεταβλητές παραγωγής.[10] Στα μέσα της δεκαετίας παρουσιάστηκαν από την εταιρεία Manning Maxwell and Moore's στις Η.Π.Α. τα πρώτα «αναλογικά» ηλεκτρονικά όργανα (analogue instruments). Την ίδια εποχή, γεννήθηκε η ιδέα για την κατασκευή συστημάτων με σκοπό τον έλεγχο της παραγωγής με την βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή. Η τεχνολογία των υπολογιστών της πρώτης γενιάς χρησιμοποιούσε λυχνίες κενού (vacuum tubes) με αποτέλεσμα μεγάλη κατανάλωση ισχύος και υψηλή παραγωγή θερμότητας κατά τη λειτουργία αλλά και χαμηλή αξιοπιστία υπολογισμών. Η πρώτη, πειραματική, εφαρμογή συστήματος ελέγχου μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή με την ονομασία Digitrack, παρουσιάστηκε στις Η.Π.Α. το 1954 από την εταιρεία Hughes Aircraft Company και αφορούσε το σύστημα αυτόματης πλοήγησης αεροσκάφους. Στο τέλος της δεκαετίας η εταιρεία πετρελαιοειδών Texaco παρουσίασε την πρώτη εφαρμογή συστήματος ελέγχου της παραγωγής σε διυλιστήριο με την βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή. Το σύστημα με την ονομασία Ramo-Woodridge-300 το οποίο παρουσιάζεται στην εικόνα N°1, προϊόν της εταιρείας Thompson Ramo-Woodridge, κατασκευάστηκε με σκοπό να ελέγχει τις διεργασίες στη μονάδα πολυμερισμού του διυλιστηρίου της Texaco, στο Port Arthur των Η.Π.Α.. Είχε τη δυνατότητα να επενεργεί ξεχωριστά σε είκοσι έξι κυκλώματα ροής, σε εβδομήντα δύο κυκλώματα θερμοκρασίας και τρία κυκλώματα πίεσης.

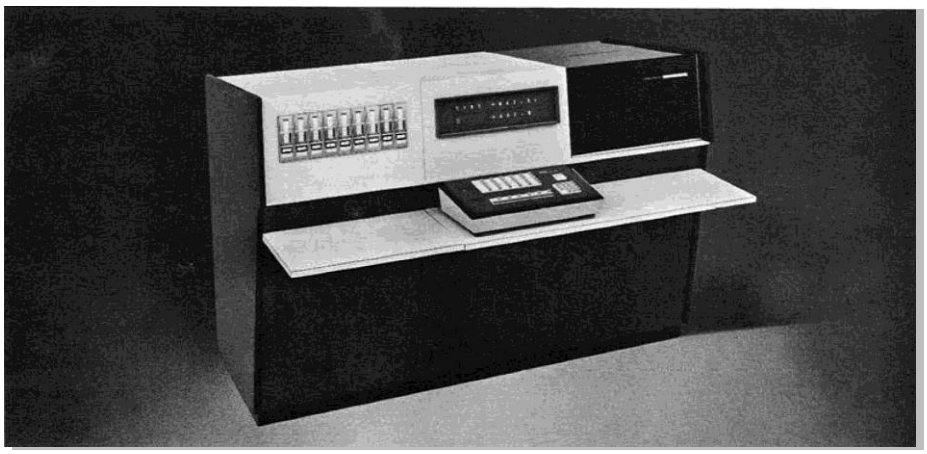
Εικόνα N° 1

Οι βασικές λειτουργίες του συστήματος ήταν ο έλεγχος της πίεσης του αντιδραστήρα (reactor), η βέλτιστη κατανομή της τροφοδοσίας πέντε αντιδραστήρων, ο έλεγχος της εισόδου του θερμού νερού βασισμένη στην μέτρηση της δραστηριότητας του καταλύτη και ο καθορισμός της βέλτιστης λειτουργίας της ανακυκλοφορίας προϊόντων. Η εμφάνιση του R-W 300 οριοθέτησε μια νέα εποχή τόσο για τον έλεγχο των διεργασιών

παραγωγής όσο και για την εξέλιξη των οργάνων και των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου.[8] Ως προς τα όργανα μετρήσεων, στα μέσα της δεκαετίας παρουσιάστηκαν οι πρώτοι μεταλλάκτες για την μέτρηση της καταπόνησης κατασκευασμένοι σε μέγεθος λεπτού φύλλου (foil), οι οποίοι σε συνδυασμό με μια ολοκληρωμένη γέφυρα αντίστασης παρείχαν τη δυνατότητα μέτρησης της μετατόπισης σε ένα *μεταλλάκτη ελαστικής παραμόρφωσης*.[18]

Στις αρχές της δεκαετίας του 1960 στην Βρετανία η εταιρεία Imperial Chemical Industries (I.C.I), παρουσίασε σύστημα ελέγχου στο οποίο οι διεργασίες της παραγωγής ελέγχονταν αποκλειστικά από ένα μόνο υπολογιστή, ο οποίος μπορούσε να δέχεται σήματα από διακόσια είκοσι τέσσερα όργανα και να επενεργεί σε εκατόν είκοσι εννέα πνευματικές βάνες. Η αναλογική τεχνολογία στα συστήματα ελέγχου αντικαταστάθηκε από την ψηφιακή, δίνοντας το όνομα (*σύστημα) άμεσου ψηφιακού ελέγχου* (Direct Digital Control-D.D.C.), υπογραμμίζοντας τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος. Ο νέος τρόπος λειτουργίας δημιούργησε την ανάγκη για την αναθεώρηση του τρόπου αντιμετώπισης της παραγωγής με τη βοήθεια μαθηματικών μοντέλων.[8] Ως προς τα όργανα μετρήσεων, σημαντική εξέλιξη αποτέλεσε στον τομέα των αισθητήρων η κατασκευή του πρώτου μεταλλάκτη πολύ λεπτού πάχους (thin-film transducer), ο οποίος μέσω συγκόλλησης στο διάφραγμα βελτίωσε τα προβλήματα σταθερότητας και υστέρησης που είχαν παρουσιαστεί κατά τις πρώτες εφαρμογές τους στη βιομηχανία.[18]

Στα μέσα της δεκαετίας του 1970 η αμερικανική εταιρεία Honeywell, ειδικευμένη στα όργανα πεδίου, παρουσίασε το πρώτο *κατανεμημένο σύστημα ψηφιακού ελέγχου* (Distributed Digital Control System –D.D.C.S), το οποίο παρουσιάζεται στην εικόνα N°2 και είναι αυτό που στις μέρες μας είναι γνωστό σαν *κατανεμημένο σύστημα ελέγχου* (Distributed Control System) αποτελώντας το πλέον διαδεδομένο σύστημα ελέγχου.[8]



Εικόνα N° 2

Το νέο σύστημα δεν χρησιμοποιούσε πλέον έναν κεντρικό υπολογιστή για όλες τις λειτουργίες του αλλά πολλούς μικροϋπολογιστές (microcomputers), κατανεμημένους τοπογραφικά και λειτουργικά σε διάφορες περιοχές, οι οποίοι πραγματοποιούσαν προκαθορισμένες λειτουργίες επίβλεψης και ελέγχου. Κάθε μικροϋπολογιστής μπορούσε να

επενεργεί ταυτοχρόνως σε οκτώ διαφορετικά κυκλώματα ελέγχου. Η εμφάνιση του νέου συστήματος οδήγησε στην επιτάχυνση των εξελίξεων στα συστήματα ελέγχου. Έτσι παρουσιάστηκαν για πρώτη φορά οι κονσόλες ελέγχου με οθόνη CRT σαν στοιχείο επικοινωνίας του χειριστή με τις μεταβλητές της παραγωγής, αντικαθιστώντας τους ογκώδεις πίνακες ελέγχου. Ο χειριστής καθισμένος μπροστά στην οθόνη μπορούσε να παρακολουθεί τις μεταβλητές της παραγωγής και με το πληκτρολόγιο του να παρεμβαίνει όποτε έκρινε απαραίτητο. Επίσης, η παραδοσιακή μορφή των βρόγχων ελέγχου, η οποία περιελάμβανε έναν βρόγχο ανά ηλεκτρικό κύκλωμα, «υποβιβάσθηκε» σε εφαρμογές που αφορούσαν εφεδρικά ή δευτερεύοντα συστήματα.[10]

Στην δεκαετία του 1980 τα συστήματα ελέγχου εξελίχθηκαν ακόμη περισσότερο αποκτώντας την δυνατότητα πολλαπλών ενεργειών μέσω της κονσόλας χειρισμού και των αναβαθμισμένων γραφικών πραγματικού χρόνου στις οθόνες. Η δυνατότητα συγκέντρωσης περισσότερων πληροφοριών στον θάλαμο ελέγχου αυξήθηκε χάρις στα συστήματα ελέγχου με μικροεπεξεργαστές (microprocessors) . Ο χειριστής στην κονσόλα του μπορούσε να λαμβάνει μηνύματα προσοχής (alarm) που αφορούσαν την παραγωγή και να παρεμβαίνει ανάλογα ή διαγνωστικά μηνύματα σφαλμάτων για τον εξοπλισμό της παραγωγής ή για τον ίδιο τον εξοπλισμό του συστήματος ελέγχου. Παρά την εξέλιξη των ηλεκτρονικών συστημάτων μετρήσεων και ελέγχου τα πνευματικά όργανα δεν έπαψαν να αποτελούν ένα σημαντικό τμήμα των οργάνων πεδίου. Τα περισσότερα εργοστάσια ή μονάδες παραγωγής χρησιμοποιούσαν πλέον ηλεκτρονικά όργανα, όμως μερικές κατηγορίες πνευματικών οργάνων, όπως οι βάνες (valves), διατηρούσαν τα πλεονεκτήματα τους. Η συνεργασία των ηλεκτρονικών οργάνων με τα πνευματικά μέσω *μετατροπέων πνευματικών σημάτων σε ηλεκτρικά ή ηλεκτρικών σημάτων σε πνευματικά* (pneumatic to current converters ή current to pneumatic converters) αποτέλεσαν τη λύση για την επικοινωνία των νέων συστημάτων ελέγχου.[10]

Στις αρχές της δεκαετίας του 1990 παρουσιάστηκαν σε βιομηχανικές εφαρμογές τα πρώτα «ευφυή» όργανα (intelligent instruments) τα οποία διέθεταν την δική τους μνήμη και δυνατότητα προγραμματισμού. Τα τελευταία χρόνια η εξέλιξη των οργάνων αφορά κυρίως τον τομέα των αισθητήρων και της επικοινωνίας τόσο μεταξύ τους όσο και με το κεντρικό συστήματος ελέγχου. Η πλέον σύγχρονη εφαρμογή αφορά την ασύρματη επικοινωνία τους με το κεντρικό σύστημα ελέγχου.[11]

Η ανάπτυξη των εφαρμογών των ηλεκτρονικών υπολογιστών στον έλεγχο της βιομηχανικής παραγωγής δημιούργησε την παράλληλη ανάπτυξη των απαιτήσεων για την μέτρηση, την καταγραφή και τον έλεγχο των μεταβλητών της διαδικασίας. Η εξέλιξη των οργάνων ως μέρος των συστημάτων ελέγχου δημιούργησε την ανάγκη να βελτιωθούν οι διαδικασίες για τις μετρήσεις συμβάλλοντας στην αξιοπιστία των προγραμμάτων που χρησιμοποιούνταν για το σκοπό αυτό. Τα τυπικά πρότυπα ελέγχου για τις διαδικασίες ελέγχου της βαθμονόμησης των οργάνων και την απόδοση των μετρητικών συστημάτων εντάχθηκαν πέρα από τους παραδοσιακούς κώδικες Διασφάλισης Ποιότη-

τας (BS 5781,BS 5750, EN ISO 9000) σε νέα πεδία όπως τα συστήματα προστασίας περιβάλλοντος (EN ISO 14000).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο : Οι βασικές μεταβλητές ελέγχου στην παραγωγή

2.1. Ροή

Η ροή αποτελεί την σημαντικότερη μεταβλητή παραγωγής καθώς μέσω αυτής ελέγχεται η μεταφορά πρώτης ύλης, η μεταφορά των ενδιάμεσων ή των τελικών προϊόντων στις διάφορες φάσεις της παραγωγής. Παράλληλα μέσω της ροής ελέγχονται και άλλες παράμετροι της παραγωγής όπως για παράδειγμα η θερμοκρασία. Σε πολλές περιπτώσεις η επιθυμητή θερμοκρασία κατά την διάρκεια μιας διεργασίας επιτυγχάνεται με τον έλεγχο της ροής θερμού ή ψυχρού μέσου. Οι διαδικασίες παραγωγής στην χημική βιομηχανία επηρεάζονται από το ποσοστό των συστατικών για την πραγματοποίηση σωστής αντίδρασης, ενώ όλες οι διαδικασίες απαιτούν την κατάλληλη αναλογία υλικών ώστε να επιτευχθούν ποιοτικά προϊόντα. Οι ιδιότητες των προϊόντων παραγωγής επηρεάζονται από την αναλογία των συστατικών οπότε η ροή των υγρών, στερεών ή αερίων στα διάφορα μέρη του εξοπλισμού αποτελεί κρίσιμη παράμετρο κατά την παραγωγή. Τα βασικά χαρακτηριστικά του ρευστού, οι ιδιότητες του, η «υφή» της ροής αλλά και οι συνθήκες που επικρατούν, είναι απαραίτητα για την επιλογή του κατάλληλου τρόπου μέτρησης της ροής. Η μέτρηση της ροής αποτελεί την πιο σημαντική μορφή μετρήσεων αφού επηρεάζει τη σωστή και αποτελεσματική λειτουργία των εγκαταστάσεων παραγωγής.

2.2. Θερμοκρασία

Η ενέργεια υπό μορφή θερμότητας αποτελεί μία παράμετρο στη διαδικασία της παραγωγής. Η θερμοκρασία καθορίζει τις συνθήκες που πραγματοποιείται μια διεργασία, επομένως πρέπει να παραμένει υπό έλεγχο μέσα στα επιθυμητά πλαίσια που ορίζει κάθε διαδικασία παραγωγής, καθώς τυχόν αποκλίσεις μπορεί να αποβούν καταστροφικές για την ποιότητα του προϊόντος ή σε ορισμένες περιπτώσεις ακόμη και για την ίδια την εγκατάσταση.

2.3. Πίεση

Η πίεση καθορίζει τις επιθυμητές συνθήκες τόσο για την πραγματοποίηση μιας χημικής αντίδρασης όσο και για την κατάσταση στην οποία βρίσκονται οι συνιστώσες της παραγωγής στον εξοπλισμό φύλαξης τους ή στη διάρκεια της μεταφοράς τους στις φάσεις της παραγωγής.

2.4. Στάθμη

Η στάθμη αποτελεί μια ακόμη παράμετρο της παραγωγής και σχετίζεται με την ένδειξη των διαθέσιμων ποσοτήτων στον εξοπλισμό αποθήκευσης ή σε ενδιάμεσα προϊόντα της παραγωγής καθορίζοντας έτσι την ροή των επιμέρους συνιστωσών για την παραγωγή. Ο έλεγχος της στάθμης είναι στενά συνδεδεμένος με την ροή των συνιστωσών της παραγωγής.

2.5. Άλλες μεταβλητές της παραγωγής

Εκτός από τις κύριες, υπάρχει μια σειρά από άλλες παραμέτρους ελέγχου που συναντώνται στις διαδικασίες παραγωγής και εξαρτώνται από την φύση ή την κατάσταση των συνιστωσών σε συγκεκριμένη φάση της παραγωγής, οι οποίες εκφράζονται από τις φυσικές ιδιότητες (ιξώδες, πυκνότητα, ειδικό βάρος) ή τις χημικές ιδιότητες (αγωγιμότητα, pH κ.α.). Επίσης είναι δυνατόν να καταγράφονται διάφορες άλλες παράμετροι όπως η ταχύτητα περιστροφής ενός κινητήρα, η τάση και η ένταση του ρεύματος κατά την λειτουργία του εξοπλισμού. Πολλές φορές είναι σημαντικό επίσης να διερευνηθεί η απουσία κάποιων συστατικών ώστε να εξασφαλισθούν οι κατάλληλες συνθήκες ασφαλείας κατά την παραγωγή. Στα όργανα μέτρησης συμπεριλαμβάνονται και τα όργανα ανίχνευσης τα οποία χρησιμοποιούνται για την διαρροή επικίνδυνων ουσιών στο περιβάλλον.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο : Οι αρχές λειτουργίας των οργάνων μέτρησης πεδίου

3.1.Μετρητικές διατάξεις

Ένα όργανο πεδίου αποτελεί μια μετρητική διάταξη που παρέχει μια πληροφορία για την ποσότητα ενός φυσικού μεγέθους. Στις απλούστερες περιπτώσεις, το όργανο μπορεί να αποτελείται από ένα μόνο στοιχείο το οποίο δίνει μία ένδειξη της μετρούμενης ποσότητας ή παράγει ένα σήμα ανάλογο με το μετρούμενο μέγεθος, το οποίο ονομάζεται «έξοδος» (output). Στις πιο σύνθετες περιπτώσεις ένα όργανο μέτρησης αποτελείται από περισσότερα στοιχεία, τα οποία μπορεί να βρίσκονται στο εσωτερικό μιας μόνο συσκευής ή να είναι φυσικά διαχωρισμένα. Ο όρος «όργανο» χρησιμοποιείται για να περιγράψει ολόκληρη τη μετρητική διάταξη ανεξάρτητα αν αυτή περιλαμβάνει ένα ή περισσότερα στοιχεία.

Τα στοιχεία και οι βασικές αρχές που παρουσιάζονται αφορούν τα όργανα πεδίου τόσο τα τοπικά ενδεικτικά όργανα όσο και τα όργανα μετάδοσης σήματος ανεξάρτητα αν πρόκειται για πνευματικά ή ηλεκτρονικά όργανα.

Το πρωτεύων στοιχείο σε κάθε όργανο είναι ο *αισθητήρας* (sensor) ο οποίος μετρά το φυσικό μέγεθος δίνοντας μία ένδειξη, η οποία είναι συνάρτηση της ποσότητας που μετράται. Στις περισσότερες των περιπτώσεων η συνάρτηση αυτή είναι γραμμική.

Σε πολλές περιπτώσεις η πρωτογενής μέτρηση χρειάζεται να μετατραπεί σε κάποιο άλλο φυσικό μέγεθος το οποίο μπορεί να μετρηθεί με πιο πρόσφορο τρόπο αλλά και να χρησιμοποιηθεί στις μεταγενέστερες φάσεις του συστήματος ελέγχου. Η συσκευή που πραγματοποιεί την μετατροπή αυτή ονομάζεται *μεταλλάκτης* (transducer) και στην έξοδο του παρέχει κατά κανόνα πνευματικό ή ηλεκτρικό σήμα. Στις περιπτώσεις εκείνες που η πληροφορία της μέτρησης χρειάζεται να μεταφερθεί σε κάποια απόσταση για περαιτέρω επεξεργασία, τότε μετά τον μεταλλάκτη βρίσκεται η *μονάδα προσαρμογής σήματος* (signal conditioner) η οποία διαμορφώνει κατάλληλα το σήμα ώστε να μπορεί να αξιοποιηθεί από τις μεταγενέστερες βαθμίδες. Ο συνηθέστερος τύπος μονάδας προσαρμογής σήματος είναι ο *ενισχυτής* (amplifier) ο οποίος ενισχύει την έξοδο της μονάδας προσαρμογής σήματος. Η μετατροπή του λαμβανόμενου σήματος σε σήμα παλμών, το φιλτράρισμα του, η ολοκλήρωση ή η διαφόριση του αποτελούν επίσης συνηθισμένα είδη προσαρμογής.[2] Στις σύγχρονες συσκευές μέτρησης η μονάδα προσαρμογής σήματος έχει ενσωματωθεί στον μεταλλάκτη και η συσκευή ονομάζεται *μεταδότης* (transmitter).[11] Με τον όρο transmitter εννοείται συνήθως ολόκληρη η μετρητική διάταξη μετάδοσης σήματος.

Τον επεξεργαστή σήματος ακολουθεί η *μονάδα εκμετάλλευσης του σήματος* η οποία μπορεί να είναι μια *συσκευή ένδειξης* της μετρούμενης ποσότητας (display), μια *συσκευή καταγραφής* (recorder), ένας *ελεγκτής* (controller) ή ένας *επεξεργαστής* (processor). Οι δύο τελευταίες συσκευές έχουν την δυνατότητα αφού επεξεργαστούν την λαμ-

βανόμενη πληροφορία να παρέμβουν στην διαδικασία ελέγχου δίνοντας εντολή στο σύστημα να πραγματοποιήσει κάποια προκαθορισμένη ενέργεια.[2]

3.2. Κατηγορίες οργάνων

Ο διαχωρισμός των οργάνων σε κατηγορίες μπορεί να γίνει με διάφορα κριτήρια όπως για παράδειγμα το μέσο λειτουργίας (*πνευματικά ή ηλεκτρονικά*), τον τρόπο μετάδοσης σήματος, την χρησιμοποιούμενη μέθοδο μέτρησης, την τάση λειτουργίας, την ακρίβεια των πραγματοποιούμενων μετρήσεων, το κόστος αγοράς και εγκατάστασης ή την ευκολία με την οποία χρησιμοποιούνται σε διαφορετικές εφαρμογές. Μερικές χαρακτηριστικές κατηγορίες παρουσιάζονται στη συνέχεια.

3.2.1.Ενδεικτικά όργανα και όργανα μετάδοσης σήματος.

Ένας βασικός διαχωρισμός των οργάνων, όπως έχει ήδη αναφερθεί, περιλαμβάνει τα *ενδεικτικά όργανα* που απλώς δίνουν μία ηχητική ή οπτική ένδειξη του μετρούμενου μεγέθους και τα *όργανα μετάδοσης σήματος* που παράγουν σήμα εξόδου ανάλογο της μετρούμενης ποσότητας.[11]

3.2.2.Παθητικά και Ενεργητικά όργανα

Τα όργανα χαρακτηρίζονται σαν *παθητικά* (passive) εάν το μετρούμενο μέγεθος παράγει εξ' ολοκλήρου το σήμα εξόδου ή σαν *ενεργητικά* (active) αν η μετρούμενη ποσότητα παράγει το σήμα εξόδου ρυθμίζοντας, μέσω μεταλλάκτη, την τάση μίας εξωτερικής πηγής τροφοδοσίας.[11] Ένα παράδειγμα παθητικού οργάνου αποτελεί το τοπικό ενδεικτικό όργανο πίεσης (pressure gauge), όπου το μετρούμενο μέγεθος, η πίεση, μετακινεί την ακίδα ενδείξεων (pointer) σύμφωνα με την εκάστοτε τιμή της, χωρίς την παρουσία εξωτερικής πηγής τροφοδοσίας στο σύστημα. Ενεργητικό όργανο μέτρησης είναι για παράδειγμα ο μετρητής στάθμης με στοιχείο μετατόπισης (displacement type level), όπου η μεταβολή της στάθμης αλλάζει τη θέση του στοιχείου μετατόπισης και κατ' επέκταση του βραχίονα από τον οποίο είναι αναρτημένο, ο οποίος με τη σειρά επηρεάζει ένα ποτενσιόμετρο. Το σήμα εξόδου του οργάνου αποτελεί ένα ποσοστό της τάσης που παρέχει στο ποτενσιόμετρο μια εξωτερική πηγή τροφοδοσίας δηλαδή ο μεταλλάκτης του οργάνου απλά ρυθμίζει την τάση της εξωτερικής πηγής τροφοδοσίας.

3.2.3.Αναλογικά και Ψηφιακά όργανα

Ένας πολύ χαρακτηριστικός διαχωρισμός των οργάνων είναι σε *αναλογικά* και *ψηφιακά*. Ένα αναλογικό όργανο δίνει σαν έξοδο ένα σήμα που εξαρτάται συνεχώς από το μετρούμενο μέγεθος. Η έξοδος μπορεί να έχει άπειρο αριθμό ενδείξεων στο εύρος της κλίμακας των μετρήσεων για την οποία έχει κατασκευασθεί. Ένα ψηφιακό όργανο δίνει σαν έξοδο ένα σήμα σε διακριτά βήματα με αποτέλεσμα η έξοδος του να έχει περιορισμένο αριθμό ενδείξεων.[2] Ο διαχωρισμός αναλογικών και ψηφιακών οργάνων έγινε ιδιαίτερα σημαντικός με την είσοδο των μικρουπολογιστών (microcomputers) στα συστήματα αυτομάτου ελέγχου. Οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές πραγματοποιούν όλους τους υπολογισμούς σε ψηφιακή (διακριτή) μορφή, για το λόγο αυτό ένα όργανο μπορεί να

«επικοινωνεί» με έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω της κατάλληλης *μονάδας προσαρμογής* (interface). Για τη μετατροπή του αναλογικού σήματος που παρέχει ένας μεταλλάκτης σε ψηφιακή πληροφορία απαιτείται *αναλογικός- ψηφιακός μετατροπέας* (analogue to digital converter), ο οποίος μετατρέπει το σήμα σε μια ψηφιακή μορφή την οποία μπορεί να επεξεργαστεί ο υπολογιστής.[2] Σε πολλές περιπτώσεις αναλογικά θεωρούνται τα όργανα που το σήμα εξόδου μεταβάλλει την ένταση ηλεκτρικού ρεύματος μιας εξωτερικής πηγής τροφοδοσίας, από 4 μέχρι 20 mA, ενώ ψηφιακά χαρακτηρίζονται τα όργανα που το σήμα εξόδου περιλαμβάνει δύο πιθανές καταστάσεις που σχετίζονται με τη θέση ενός διακόπτη (on – off switch).

3.2.4.Μηδενικού τύπου ή τύπου απόκλισης

Ένας άλλος διαχωρισμός των οργάνων γίνεται ανάλογα με την μέθοδο ελέγχου, σε *μηδενικού τύπου* (null type) ή *τύπου απόκλισης* (deflection type).[11] Σε ένα όργανο μηδενικού τύπου, η ποσότητα που πρέπει να μετρηθεί παράγει μέσω του μεταλλάκτη, μια ένδειξη που συγκρίνεται με το αποτέλεσμα ενός βαθμονομημένου συστήματος μέτρησης. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια μιας συσκευής που δείχνει την απόκλιση για οποιαδήποτε διαφορά μεταξύ της ένδειξης που πρόκειται να μετρηθεί και αυτής του βαθμονομημένου συστήματος. Το βαθμονομημένο σύστημα περιλαμβάνει έναν μηχανισμό ο οποίος μεταβάλλει, συνήθως με αυτόματο τρόπο, την ένδειξη του μέχρι να γίνει ίση με το αποτέλεσμα που παράγεται από το όργανο μέτρησης, οπότε όταν οι δύο μετρήσεις εξισωθούν και η συσκευή δεν δείχνει απόκλιση, το μετρούμενο μέγεθος μετριέται με επιτυχία. Η τιμή της ένδειξης της μετρούμενης ποσότητας είναι αυτή στην οποία ισορρόπησε το βαθμονομημένο σύστημα. Το σημείο της μηδενικής διαφοράς των δυο ενδείξεων ονομάζεται *μηδενικό σημείο* (null point). Χαρακτηριστική εφαρμογή αυτού του συστήματος αποτελεί η γέφυρα Wheatstone που χρησιμοποιείται για την μέτρηση των αντιστάσεων.

Σε ένα σύστημα τύπου απόκλισης η ποσότητα που πρέπει να μετρηθεί παράγει, μέσω μεταλλάκτη, ένα αποτέλεσμα υπό τη μορφή τάσης ή έντασης ηλεκτρικού ρεύματος. Αυτό το αποτέλεσμα στη συνέχεια χρησιμοποιείται για να παράγει μία ροπή που προκαλεί απόκλιση από τη θέση ισορροπίας σε ένα σύστημα ζυγού. Με τη βοήθεια ενός συστήματος ελατηρίου, μια ροπή επαναφοράς τείνει να αναιρέσει την ροπή που ασκείται στο σύστημα. Όταν οι ροπές γίνουν ίσες και αντίθετες το σύστημα ζυγού ισορροπεί και ως εκ τούτου η μετρούμενη ποσότητα μπορεί να γίνει γνωστή με ακρίβεια.

3.3. Στατικά χαρακτηριστικά των οργάνων

Σαν *στατικά χαρακτηριστικά* θεωρούνται όλα τα λειτουργικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα και οι ιδιότητες ενός οργάνου που σχετίζονται με την διαδικασία της μέτρησης του φυσικού μεγέθους σε σταθερή κατάσταση (steady state).[11] Τα κυριότερα χαρακτηριστικά παρουσιάζονται στη συνέχεια:

- *ακρίβεια του οργάνου (accuracy)* φανερώνει την απόκλιση της ένδειξης του οργάνου από το πραγματική τιμή του μετρούμενου μεγέθους. Η ακρίβεια ενός οργάνου δίνεται ως επί τοις εκατό της μέγιστης ενδείξεως, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι η ακρίβεια παραμένει σταθερή σε όλη την περιοχή λειτουργίας του.[2] Συνήθως χρησιμοποιείται η έκφραση της *αβεβαιότητας* (inaccuracy) της μέτρησης.[11]

- *ανοχή (tolerance)* είναι μια έννοια παρεμφερής με την ακρίβεια του οργάνου και σχετίζεται με το μέγιστο αναμενόμενο σφάλμα μιας μέτρησης. Ως σφάλμα ορίζεται η διαφορά μεταξύ της μετρούμενης τιμής ενός μεγέθους από την «πραγματική» του τιμή.[11]

- *εύρος κλίμακας (range ή span)* είναι το εύρος της μετρούμενης κλίμακας που περιλαμβάνεται μεταξύ της ελάχιστης και της μέγιστης τιμής για τις οποίες σχεδιάστηκε να λειτουργεί ένα όργανο.[11]

- *γραμμικότητα (linearity)* ενός οργάνου είναι η επιθυμητή σχέση μεταξύ του μετρούμενου μεγέθους και του σήματος εξόδου. Στις περιπτώσεις που δεν ικανοποιείται επισημαίνεται σαν ποσοστό επί τοις εκατό της μέγιστης μετρούμενης κλίμακας.[11]

- *ευαισθησία του οργάνου (sensitivity)* ορίζεται σαν ο λόγος της μεταβολής της ενδείξεως του οργάνου προς τη μεταβολή του μετρούμενου μεγέθους.[2] Εκφράζει την κλίση της καμπύλης που σχηματίζουν η μετρούμενη ποσότητα με την ένδειξη της εξόδου.[11]

- *ελάχιστο όριο (threshold)* είναι το μικρότερο όριο μεταβολής της εισόδου του οργάνου, δηλαδή της μετρούμενης ποσότητας, το οποίο προκαλεί μεταβολή, στην έξοδο του οργάνου.[11]

- *διακριτική ικανότητα (resolution)* είναι το ελάχιστο ποσό μεταβολής του μετρούμενου μεγέθους, το οποίο μπορεί να ευαισθητοποιήσει το όργανο και κατά συνέπεια διακρίνεται από αυτό.[2] Είναι παρόμοια ιδιότητα με το ελάχιστο όριο και εκφράζεται σαν ποσοστό της μέγιστης μετρούμενης κλίμακας.[11]

- *υστέρηση (hysteresis effect)* είναι η διαφορά μορφής που παρουσιάζεται ανάμεσα στην καμπύλη φόρτισης ενός οργάνου, καθώς το όργανο φορτίζεται από μία αρνητική τιμή μέχρι την μέγιστη επιτρεπτή και την καμπύλη αποφόρτισης του κατά την αντίστροφη διαδρομή. Η διαφορά αυτή στη συμπεριφορά ενός οργάνου παρουσιάζεται συχνά σε όργανα που περιέχουν μαγνήτες ή ελατήρια ή κατά τη λειτουργία τους παρουσιάζονται έντονα φαινόμενα τριβής.[11]

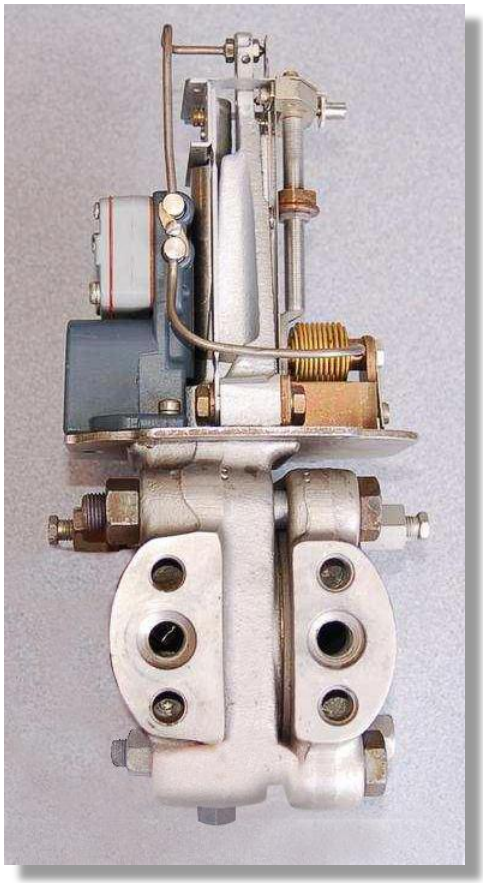
- *νεκρό διάστημα (dead space)* είναι το εύρος των διαφορετικών τιμών εισόδου κατά το οποίο δεν υπάρχει καμία αλλαγή στις τιμές εξόδου. Ένα όργανο που παρουσιάζει υστέρηση παρουσιάζει και νεκρό διάστημα στα χαρακτηριστικά της εξόδου του.[11]

- *χρόνος αποκρίσεως (response time)* είναι το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από την στιγμή που ο αισθητήρας του οργάνου ερεθισθεί από την μετρούμενη ποσότητα, μέχρι την στιγμή που θα ηρεμήσει.[2]

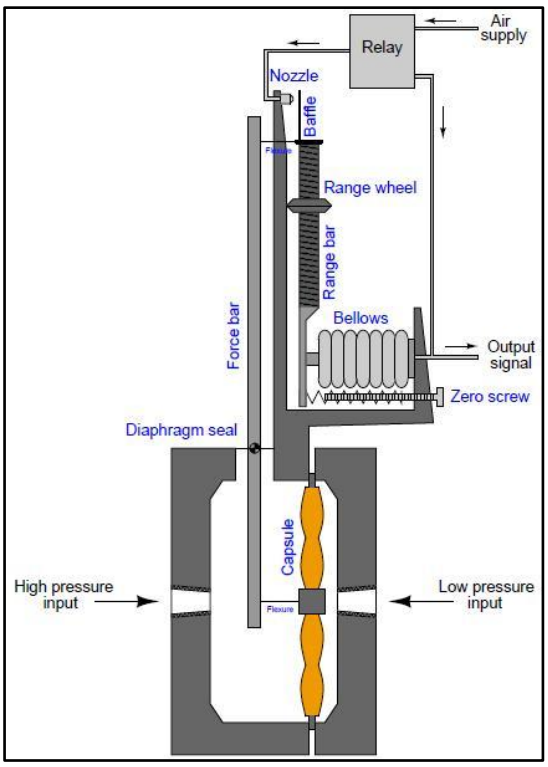
3.4. Πνευματικά όργανα

Τα πνευματικά όργανα πεδίου αποτέλεσαν την πρώτη προσπάθεια για την δημιουργία ολοκληρωμένων μετρητικών συστημάτων στις αρχές του εικοστού αιώνα. Ο τρόπος λειτουργίας τους βασίζεται στην αξιοποίηση των ιδιοτήτων του αέρα, που αποτελεί κατά κανόνα το μέσο λειτουργίας τους, χρησιμοποιώντας αρχές της φυσικής και της μηχανικής των ρευστών. Ο βασικός τρόπος λειτουργίας τους παρέμεινε αναλλοίωτος στην πορεία των χρόνων παρά την εξέλιξη των επιμέρους συστημάτων που τα αποτελούν, δημιουργώντας έναν εξαιρετικό συνδυασμό απλότητας και τεχνολογίας.

Η βασική διαφορά από τα ηλεκτρονικά όργανα εντοπίζεται στην προσαρμογή σήματος η οποία πραγματοποιείται με μηχανικά μέσα.[11] Η λειτουργία της μονάδας προσαρμογής σήματος βασίζεται σε έναν μηχανισμό που μετατρέπει την ευθύγραμμη κίνηση σε μεταβολή πίεσης, το μηχανισμό ακροφυσίου με πτερύγιο (flapper nozzle). Το πτερύγιο (flapper) είναι ένα λεπτό έλασμα τοποθετημένο σε κοντινή απόσταση μπροστά από ένα ακροφύσιο σωλήνα (nozzle). Στον σωλήνα ρέει αέρας, ο αέρας λειτουργίας, ενώ πριν την έξοδο του πραγματοποιείται περιορισμός της ροής (flow restriction). Η μεταβολή της απόστασης ανάμεσα στο πτερύγιο και το ακροφύσιο μεταβάλλει την ταχύτητα της προσπίπτουσας δέσμης, δημιουργώντας υποπίεση (back pressure) στο εσωτερικό του σωλήνα. Το πτερύγιο λειτουργεί σαν μοχλός έτσι ώστε η μεταβολή της ποσότητας του μεγέθους που μετράται από τον αισθητήρα του οργάνου, μεταφέρεται στο ένα άκρο του πτερυγίου μέσω ενός *φυσερού* (bellow) σαν μεταβολή κίνησης, η οποία με τη σειρά της μεταβάλει την απόσταση του πτερυγίου από το ακροφύσιο. Το φυσερό είναι μια συσκευή κυλινδρικού σχήματος από λεπτό μεταλλικό φύλλο με πτυχώσεις, η οποία μπορεί να επιμηκύνεται ή να συμπιέζεται ανάλογα με την ποσότητα αέρα που βρίσκεται στο εσωτερικό της. Η μεταβολή του όγκου του αέρα δημιουργεί μια δύναμη στο ελεύθερο άκρο του φυσερού η οποία ασκείται στο κάτω άκρο του ελάσματος. Οι αρχές λειτουργίας των πνευματικών οργάνων πεδίου εφαρμόζο-



νται και σε πιο σύνθετες περιπτώσεις όπως κύκλωμα ελέγχου με *ελεγκτή* (controller), ανάδραση και επιθυμητό σημείο λειτουργίας (set point), όπως περιγράφεται στη συνέχεια, με έμφαση στη μονάδα προσαρμογής σήματος. Η μέτρηση του μεγέθους από τον αισθητήρα μεταφέρεται στη βάση του οργάνου όπου βρίσκεται ο μεταλλάκτης μετατοπίσεως που αποτελείται από μία κάψουλα με στοιχείο ελαστικής μετατόπισης, συνήθως διάφραγμα.



Η διαφορά πίεσης στις δυο πλευρές του διαφράγματος προκαλεί τη μετατόπιση του η οποία μεταφέρεται στο πτερύγιο μέσω μεταλλικής ράβδου (force bar). Καθώς η μεμβράνη κινείται λόγω των αλλαγών του μετρούμενου μεγέθους, η κίνηση της μεταφέρεται στο πτερύγιο που μεταβάλλει την απόσταση του από το ακροφύσιο, μεταβάλλοντας αντίστοιχα την ροή της δέσμης του αέρα και κατ' επέκταση την πίεση στο εσωτερικό του σωλήνα. Η μεταβολή της πίεσης στο εσωτερικό του σωλήνα ενισχύεται, μέσω ενός ενισχυτή σήματος και χωρίζεται σε δύο κατευθύνσεις. Η μια είναι προς την έξοδο του οργάνου σαν σήμα εξόδου και η άλλη είναι προς το φυσερό μεταβάλλοντας το μήκος του. Η μεταβολή του μήκους του φυσερού μεταφέρεται στο κάτω άκρο του πτερυγίου αντισταθμίζοντας την μετατόπιση που προηγήθηκε, τείνοντας δηλαδή να επιστρέψει το πτερύγιο στην επιθυμητή θέση ισορροπίας. Αυτό είναι ένα σύστημα *αρνητικής ανάδρασης* (negative feedback system) όπου η έξοδος του συστήματος, εδώ η υποπίεση του ακροφυσίου, συνεχώς προσαρμόζεται έτσι ώστε να ισορροπεί την είσοδο. Με αυτό τον τρόπο η ευθύγραμμη μετατόπιση δημιουργεί μεταβολές στην πίεση του σήματος εξόδου. Η μετακίνηση του πτερυγίου μετατρέπεται σε μεταβολή της πίεσης κατά γραμμικό τρόπο ενώ το φυσερό χρησιμοποιείται για διασφαλίσει την ευαισθησία και τη γραμμική συσχέτιση της κίνησης με την αρνητική ανάδραση. Το σύστημα ελάσματος ακροφυσίου αποτελεί τη βάση λειτουργίας των πνευματικών οργάνων και χρησιμοποιείται σε διάφορες παραλλαγές, όπου η ισορροπία δυνάμεων είναι ουσιαστικά μία ισορροπία θέσεων (position balance).

Μία άλλη μέθοδος λειτουργίας ελέγχου που εφαρμόζεται και στα πνευματικά όργ είναι η *μηδενική μέθοδος* (null method), σύμφωνα με την οποία δύο ίσες και αντίθετες δυνάμεις ασκούνται στο πτερύγιο διατηρώντας το πάντα σε θέση ισορροπίας. Το πτερύγιο περιστρέφεται γύρω από ένα υπομόχλιο μεταβάλλοντας τη θέση του ανάλογα με τη ροπή που δημιουργούν οι ασκούμενες δυνάμεις, μετατρέποντας ανάλογα το σήμα εισόδου σε έξοδο. Με τη συσκευή σε ισορροπία μια μεταβολή στο μετρούμενο μέγεθος προκαλεί ροπή στο πτερύγιο με αποτέλεσμα τη μετατόπιση του προς το ακρο-

φύσιο μέχρις ότου αυξηθεί η πίεση στο σήμα εξόδου στο φυσερό ώστε να δημιουργήσει μια αντίθετη ροπή τέτοια ώστε να εξισορροπήσει την αρχική, αποκαθιστώντας ισορροπία.[12]

Τα πνευματικά όργανα πεδίου λειτουργούν με πεπιεσμένο αέρα, ελεύθερο ελαίου, με πίεση είκοσι psi ενώ η μεταβολή του σήματος κυμαίνεται από τρία psi που αντιστοιχούν στο ελάχιστο της μετρούμενης κλίμακας μέχρι δεκαπέντε psi που αντιστοιχούν στο μέγιστο της μετρούμενης κλίμακας. Η βαθμονόμηση των οργάνων επιτυγχάνεται με τη βοήθεια δύο κοχλιών. Έναν για τη ρύθμιση της θέσης «μηδέν» και έναν για τη ρύθμιση του εύρους της «κλίμακας». Ο πρώτος κοχλίας μεταβάλλει ουσιαστικά το αρχικό μήκος του φυσητήρα ωθώντας το πτερύγιο προς το ακροφύσιο μεταβάλλοντας την πίεση εντός του σωλήνα πριν το ακροφύσιο. Ο δεύτερος κοχλίας ρυθμίζει την σχέση μετάδοσης από το έλασμα που συνδέεται με τη μεμβράνη στο πτερύγιο και κατ' επέκταση τη δύναμη που ασκεί το πτερύγιο στην προσπίπτουσα δέσμη αέρα. Τα πνευματικά όργανα πεδίου εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται ακόμη και σήμερα σε πολλές βιομηχανικές εφαρμογές καθώς ο τρόπος λειτουργίας τους δίνει πολλά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τα πολύ εξελιγμένα ηλεκτρονικά. Έτσι μπορούν να εγκατασταθούν και να λειτουργήσουν χωρίς πρόβλημα σε *επικίνδυνη περιοχή* (hazardous area), σε περιβάλλον με υψηλή θερμοκρασία, υγρασία, σκόνη ή άμμο, σε διαβρωτικές συνθήκες ενώ δεν επηρεάζονται από κραδασμούς. Επίσης σε απομακρυσμένες περιοχές όπου η παροχή πεπιεσμένου αέρα απαιτεί την εγκατάσταση πρόσθετου εξοπλισμού, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέσο λειτουργίας των οργάνων το ίδιο το μετρούμενο μέγεθος εφόσον βρίσκεται σε αέρια κατάσταση.

3.5. Ηλεκτρονικά όργανα

Τα ηλεκτρονικά όργανα έκαναν την εμφάνιση του στα μέσα του εικοστού αιώνα. Η εξέλιξη τους συνδέθηκε αρχικά με την πρόοδο των εφαρμογών του ηλεκτρικού ρεύματος, στη συνέχεια με την εξέλιξη της τεχνολογίας των μεταλλακτών και τελικά με αυτή των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Οι βασικές αρχές λειτουργίας τους είναι αυτές που παρουσιάστηκαν στην εισαγωγή του κεφαλαίου ενώ περισσότερες λεπτομέρειες αναφέρονται κατά την παρουσίαση των βασικών κατηγοριών των οργάνων πεδίου στο επόμενο κεφάλαιο. Η μεγαλύτερη καινοτομία των ηλεκτρονικών οργάνων, που αποτελεί συγχρόνως και το συγκριτικό πλεονέκτημα τους από τα πνευματικά, παρουσιάστηκε με την προσθήκη ενσωματωμένου επεξεργαστή, δίνοντας την δυνατότητα «αυτόνομης» λειτουργίας και κατ' επέκταση ολοκληρωμένης παρουσίας στη διαδικασία ελέγχου της παραγωγής.[11]

Στην συνέχεια παρουσιάζεται η εξέλιξη και οι βασικοί τύποι των οργάνων με επεξεργαστή.

3.5.1.Ευφυή όργανα

Τα πρώτα «ευφυή» όργανα (intelligent instruments) εμφανίστηκαν στην δεκαετία του 1980 συνδυάζοντας την μετρητική συσκευή με ενσωματωμένο επεξεργαστή, με δυνατότητα μέσω του προγραμματισμού τους να παρέχουν σαν έξοδο σήμα έτοιμο για αξιοποίηση από έναν υπολογιστή. Μία ακόμα από τις δυνατότητες ήταν η αντιστάθμιση των συνθηκών περιβάλλοντος, οι οποίες αποτελούσαν αιτία για συστηματικά σφάλματα. Εκτός από τον κύριο μεταλλάκτη για την μέτρηση του ζητούμενου φυσικού μεγέθους, διέθεταν έναν ή δύο αισθητήρες για τις συνθήκες περιβάλλοντος, ώστε να διορθώνονται οι αιτίες σφαλμάτων. Μια από τις πρώτες εφαρμογές των οργάνων ήταν στη μέτρηση της ροής με διαφορική πίεση. Εκτός από την πίεση πριν και μετά το στοιχείο περιορισμού της ροής, είχαν την δυνατότητα να μετρούν την απόλυτη πίεση και την θερμοκρασία ώστε να παρέχουν αξιόπιστες μετρήσεις. Οι αρχές που εφαρμόστηκαν στα πρώτα έξυπνα όργανα για τη μέτρηση της ροής με τον συνδυασμό των αισθητήρων, παραμένουν ίδιες στην πορεία της εξέλιξης των οργάνων. Μερικά από τα χαρακτηριστικά που παρουσίασαν τα ευφυή όργανα ήταν: η δυνατότητα ρύθμισης από απόσταση των παραμέτρων των οργάνων, η διάγνωση σφαλμάτων του οργάνου, η διόρθωση της γραμμικότητας του σήματος εξόδου, την δυνατότητα ενδείξεων σε διαφορετικές μονάδες μέτρησης και την δυνατότητα ρύθμισης υπερβάσεων σήματος (signal damping). Η ακρίβεια των ευφυών οργάνων έφθανε το ±0,1% της μέγιστης μετρούμενης κλίμακας σε σχέση με το ±0,5% που έφθαναν τα συμβατικά ηλεκτρονικά όργανα της εποχής.[11]

3.5.2.Έξυπνοι αισθητήρες

Οι έξυπνοι αισθητήρες (smart sensors) είναι αισθητήρες με δυνατότητα επεξεργασίας και άμεσης παρέμβασης σε ένα βρόγχο ελέγχου χωρίς την ανάγκη απομακρυσμένου επενεργητή (controller). Παρουσιάζουν διπλάσια ακρίβεια από τις συμβατικές συσκευές και τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους είναι: η δυνατότητα βαθμονόμησης από απόσταση, η ικανότητα «αυτοδιάγνωσης» σφαλμάτων, ικανότητα ρύθμισης των μη γραμμικών μετρήσεων ώστε να παράγεται ένα γραμμικό σήμα εξόδου και η αυτόματη ρύθμιση της ακρίβειας των μετρήσεων και η αντιστάθμιση των συνθηκών περιβάλλοντος.[11]

3.5.3.Έξυπνα όργανα

Ο όρος «έξυπνο» όργανο (smart instrument) ή «έξυπνος» μεταδότης (smart transmitter) επικράτησε στην πορεία των χρόνων αντικαθιστώντας αυτόν για τα ευφυή όργανα, περιγράφοντας την εξελιγμένη μορφή οργάνων που ακολούθησαν. Ο διαχωρισμός των συσκευών δεν είναι σαφής καθώς όλες διαθέτουν παρόμοια χαρακτηριστικά. Πολλές φορές χρησιμοποιείται ο όρος «μεταδότης πολλών μεταβλητών» (multivariable transmitter) λόγω της δυνατότητας ταυτόχρονης μέτρησης πολλών παραμέτρων. Όπως στην περίπτωση των ευφυών οργάνων έτσι και για τα έξυπνα όργανα το πεδίο εφαρμογής για τη μέτρηση της ροής των ρευστών αποτέλεσε το πεδίο εξέλιξης τους. Η αποδοχή των έξυπνων

οργάνων και η χρησιμοποίηση τους σε πολλές εφαρμογές είχε σαν αποτέλεσμα την πτώση της αξίας αγοράς τους σε σχέση με τα συμβατικά όργανα. Έτσι σε πολλές περιπτώσεις, όπου εξακολουθούν να υπάρχουν συστήματα μετάδοσης αναλογικού σήματος, τα έξυπνα όργανα χρησιμοποιούνται σαν συσκευή προσαρμογής σήματος, για τη μετάδοση αναλογικού σήματος 4÷20 mA μέσω καλωδίου δύο αγωγών, αξιοποιώντας ελάχιστες από τις δυνατότητες τους. Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά τους είναι: πολύ υψηλή ακρίβεια μετρήσεων, σταθερότητα και αξιοπιστία μετρήσεων για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς να απαιτείται έλεγχος βαθμονόμησης, δυνατότητα ρύθμισης των παραμέτρων του από απόσταση μέσω υπολογιστή ή φορητής συσκευής επικοινωνίας, διαθέτουν μεγάλο εύρος μετρήσεων που ενεργοποιείται μέσω υπολογιστή από απόσταση, δυνατότητα να διατηρούν δεδομένα τα οποία βοηθούν στην ανάλυση των συνθηκών της παραγωγής, μειωμένο κόστος συντήρησης.[11]

Η διάταξη των οργάνων πεδίου περιλαμβάνει τη βάση του πάνω στην οποία στηρίζεται το σώμα του οργάνου με τα ηλεκτρονικά μέρη και την ψηφιακή οθόνη (display). Η βάση χρησιμεύει για την στήριξη του οργάνου και την προστασία του μεταλλάκτη ή το σύστημα μεταλλακτών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο : Οι κατηγορίες οργάνων μέτρησης πεδίου

4.1. Τα όργανα μέτρησης της ροής

Η ροή αποτελεί την σημαντικότερη από τις μεταβλητές παραγωγής όχι μόνο γιατί συναντάται στις περισσότερες από τις διεργασίες της παραγωγής αλλά κυρίως λόγω της σύνθετης φύσης της, η οποία καθορίζεται από πολλούς και διαφορετικούς παράγοντες. Στις διάφορες φάσεις της παραγωγής τα προϊόντα μπορεί να βρίσκονται σε υγρή ή αέρια κατάσταση, να συνυπάρχουν σε περισσότερες από μια φάσεις, να είναι διαυγή ή θολά, καθαρά ή με προσμίξεις, να είναι λεπτόρρευστα ή παχύρευστα, διαβρωτικά ή μη. Η ροή μπορεί να είναι στρωτή ή τυρβώδης, η πίεση του ρευστού μπορεί να μεταβάλλεται από το κενό μέχρι και πολλές ατμόσφαιρες, ενώ η θερμοκρασία μπορεί να κυμαίνεται από αρκετούς βαθμούς Κελσίου κάτω από το μηδέν, αν έχουμε κρυογενικές συνθήκες, μέχρι χιλιάδες βαθμούς Κελσίου πάνω αυτό.

Μέχρι σήμερα έχουν αναπτυχθεί πολλές και αξιόπιστες μέθοδοι οι οποίες βασίζονται στην μέτρηση της παροχής όγκου και μάζας του ρευστού κατά τη ροή του σε σωληνώσεις και βρίσκουν εφαρμογή στα όργανα μέτρησης παρέχοντας ακριβή αποτελέσματα. Η μέτρηση μπορεί να αφορά μερικές σταγόνες την ώρα ή χιλιάδες κυβικά μέτρα το λεπτό, ενώ η «ικανότητα εύρους μέτρησης» (rangeability), που ορίζεται ως ο λόγος της μέγιστης προς την ελάχιστη ροή, μπορεί να κυμαίνεται από 1:1 μέχρι 100:1.[5]

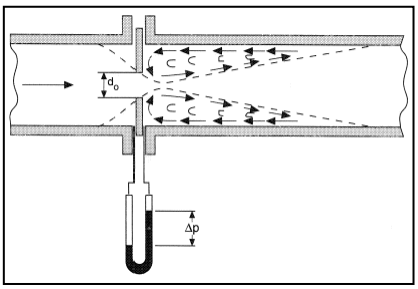
Τα όργανα ροής με βάση την μέθοδο μέτρησης που εφαρμόζεται, χωρίζονται σε τρείς κύριες κατηγορίες:

- *«επαγωγικής» μορφής* (inferential type)
- *διακριτής ποσότητας* (discrete quantity)
- *μάζας* (mass measurement)

4.1.1. Όργανα «επαγωγικής» μέτρησης

Με τον όρο «επαγωγική» εννοείται η μέτρηση που προκύπτει σαν αποτέλεσμα της επίδρασης που έχει η ροή του ρευστού στον αισθητήρα του οργάνου αξιοποιώντας τις ιδιότητες κάποιου άλλου φυσικού μεγέθους ή φαινομένου.[2] Οι κυριότερες μορφές «επαγωγικής» μέτρησης παρουσιάζονται στη συνέχεια.

4.1.1.1Μέτρηση διαφορικής πίεσης



Αφορά την μέτρηση της *διαφορικής πίεσης* (differential pressure measurement) ανάντη και κατάντη από ένα στοιχείο περιορισμού της ροής (restriction ή obstruction element) το οποίο τοποθετείται περιορίζοντας την. Ο όρος διαφορική χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη διαφορά πίεσης μεταξύ δύο σημείων

που ανήκουν στην ίδια δυναμική γραμμή του πεδίου ροής. Πρόκειται για μια από τις παλαιότερες και πιο διαδεδομένες μορφές μετρήσεως της ροής, λόγω της απλότητας εγκατάστασης, καθώς απαιτείται ένα στοιχείο περιορισμού της ροής και ένα όργανο τρησης διαφορικής πίεσης, της ακρίβειας μετρήσεων που παρέχει, την αξιοπιστία της και το χαμηλό κόστος τοποθέτησης.[5] Από εμπειρικές σχέσεις βασισμένες στην εξίσωση της συνέχειας και το θεώρημα Bernoulli, έχει αποδειχθεί ότι η ροή μεταβάλλεται ανάλογα με την τετραγωνική ρίζα της διαφοράς πίεσης που δημιουργείται από το στοιχείο περιορισμού, χωρίς όμως η σχέση μεταβολής να είναι γραμμική. Η σχέση που διέπει την παροχή όγκου και τη διαφορά πίεσης είναι:

$$Q = C \cdot A_1 \cdot \sqrt{\frac{2\cdot(p_1-p_2)}{\rho\cdot((A_1^2/A_2^2)-1)}}$$,όπου

Q: η παροχή του ρευστού, A_1, A_2: το εμβαδόν της επιφάνειας ροής στα σημεία των μετρήσεων, $(p_1 - p_2)$: η διαφορά πίεσης μεταξύ των δύο σημείων, C: ο συντελεστής εκτόνωσης που αποδίδει την πτώση πίεσης λόγω τριβών για την περίπτωση ροής συνεκτικού ρευστού, ο οποίος κυμαίνεται από 0,95÷0,98 και ρ η πυκνότητα του ρευστού.[2] Η σχέση τετραγωνικής ρίζας επεκτείνει το άνω όριο της μετρούμενης κλίμακας αλλά περιορίζει το κάτω. Έτσι το πενήντα τοις εκατό της ροής αντιστοιχεί στο είκοσι πέντε τοις εκατό της διαφορικής πίεσης ενώ το δέκα τοις εκατό της ροής αντιστοιχεί μόλις στο ένα τοις εκατό της διαφορικής πίεσης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η μέθοδος να παρέχει αξιόπιστα αποτελέσματα όταν η ροή κυμαίνεται από το είκοσι πέντε μέχρι το εκατό τοις εκατό του εύρους μέτρησης του οργάνου. Αν η ροή είναι χαμηλότερη τότε πρέπει να χρησιμοποιηθεί και δεύτερο όργανο, με χαμηλότερο εύρος μέτρησης, ώστε να καλύπτει τις περιπτώσεις χαμηλότερης ροής ή να χρησιμοποιηθεί κάποια από τις άλλες μεθόδους.[11] Το στοιχείο περιορισμού της ροής (restriction ή obstruction element) τοποθετείται κατά μήκος της γραμμής δημιουργώντας την διαφορά πίεσης. Συνηθέστερος τύπος είναι ο *δίσκος περιορισμού με οπή* (restriction orifice plate). Πρόκειται για μεταλλικό έλασμα κυκλικής διατομής με οπή στο κέντρο, η οποία ευθυγραμμίζεται με τον άξονα του σωλήνα. Υπάρχουν διάφορα είδη δίσκων που χρησιμοποιούνται ανάλογα την εφαρμογή. Άλλα είδη περιορισμού της ροής είναι ο σωλήνας Venturi, το ακροφύσιο ροής (flow nozzle) και ο σωλήνας Pitot. Ο μεταλλάκτης σήματος περιλαμβάνει ανάλογα την περίπτωση, μανόμετρο διαφορικής πίεσης αν πρόκειται για τοπική ένδειξη, μεμβράνη διαφορικής πίεσης αν πρόκειται για ηλεκτρονικό όργανο μετάδοσης σήματος ή φυσητήρα αν πρόκειται για πνευματικό όργανο μετάδοσης σήματος.

4.1.1.2.Μέτρηση μεταβλητής επιφάνειας

Η μέτρηση της «μεταβλητής επιφάνειας» χρησιμοποιείται στο ροόμετρο «πλωτήρα» (rotameter) όπως έχει επικρατήσει να ονομάζεται, παρ' όλο που το στοιχείο μετατόπισης που περιλαμβάνεται δεν επιπλέει στο ρευστό.[2] Αποτελείται από ένα κατακόρυφο διάφανο σωλήνα κωνικού σχήματος και ένα στοιχείο μετατόπισης το οποίο κινείται ελεύθερα μέσα στο σωλήνα. Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στην μεταβολή της

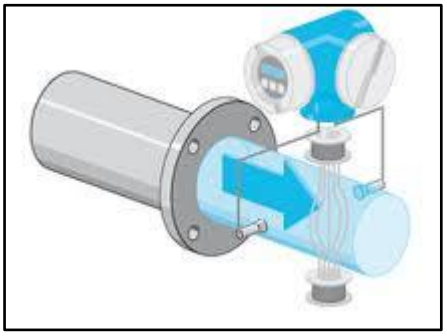
επιφάνειας που δημιουργείται καθώς το ρευστό διαρρέοντας το σωλήνα μετακινεί το στοιχείο μετατόπισης, μεταβάλλοντας αντίστοιχα την διαθέσιμη επιφάνεια για τη διέλευση του ρευστού. Σε κάθε σημείο ο πλωτήρας ισορροπεί υπό την επίδραση της δύναμης βαρύτητας, της άνωσης που υφίσταται από το ρευστό και της δύναμης που δημιουργείται από την διαφορά πίεσης που προκαλεί στη ροή η παρουσία του πλωτήρα ενεργώντας σαν στοιχείο περιορισμού της. Η παροχή όγκου του διερχόμενου ρευστού από τον δακτύλιο που δημιουργεί η διαφορά των διαστάσεων του σωλήνα με τον πλωτήρα, δίνεται από την σχέση:

$$Q = C \cdot \alpha \cdot \sqrt{(2V_f(\rho_f - \rho))/(A_f \rho)}$$,όπου

Q: η παροχή όγκου του ρευστού, α: το εμβαδόν του δακτυλίου που σχηματίζεται, C: ο συντελεστής εκτόνωσης που αποδίδει την πτώση πίεσης λόγω τριβών πριν και μετά τον πλωτήρα. ρ: η πυκνότητα του ρευστού και V_f, A_f, ρ_f: ο όγκος, το εμβαδόν της επιφάνειας του πλωτήρα που είναι κάθετη στις γραμμές ροής και η πυκνότητα του υλικό του πλωτήρα. Στον σωλήνα υπάρχει βαθμονομημένη κλίμακα με τις επιθυμητές μονάδες μέτρησης στην οποία μετριέται η διερχόμενη παροχή. Το ροόμετρο πλωτήρα αποτελεί την απλούστερη και φθηνότερη λύση για την μέτρηση της ροής τοπικά, με την αβεβαιότητα των μετρήσεων να είναι ±5%.[11]

4.1.1.3.Μέτρηση μεταβολής μαγνητικού πεδίου

Η μέτρηση της μεταβολής του μαγνητικού πεδίου του αισθητήρα λόγω της ροής χρησιμοποιείται στο μαγνητικό ροόμετρο (magnetic flow meter) με εφαρμογή κυρίως σε ρευστά που παρουσιάζουν ηλεκτρική αγωγιμότητα. Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στο νόμο Faraday σύμφωνα με τον οποίο κατά την κίνηση ευθύγραμμου αγωγού μέσα σε μαγνητικό πεδίο κάθετα προς τις δυναμικές του γραμμές, εντός του αγωγού αναπτύσσεται ηλεκτρικό πεδίο κάθετο προς το μαγνητικό πεδίο και τη διεύθυνση κινήσεως, με αποτέλεσμα την εμφάνιση στα άκρα του αγωγού ηλεκτρεγερτικής δύναμης εξ' επαγωγής. Αποτελείται από ένα σωλήνα ο οποίος διαπερνάται από γραμμές μαγνητικού πεδίου κάθετα προς τον άξονα του. Κατά την κίνηση ελαφρά αγώγιμου ρευστού εντός του σωλήνα, αναπτύσσεται ηλεκτρεγερτική δύναμη εξ' επαγωγής η οποία συνδέεται με την ταχύτητα του ρευστού σύμφωνα με την σχέση:

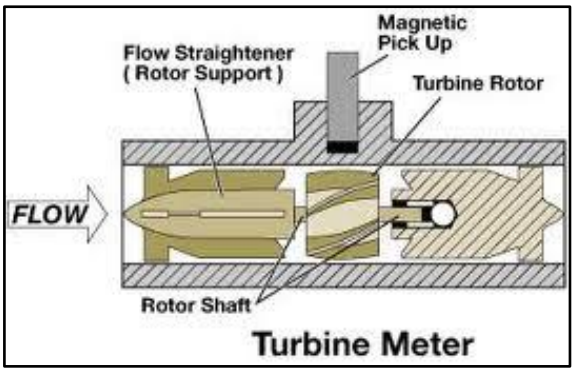


$$e = B \cdot l \cdot u$$,όπου

e: η ηλεκτρεγερτική δύναμη εξ' επαγωγής, B: η μαγνητική επαγωγή, l: το μήκος του αγωγού και u: η ταχύτητα του ρευστού. Η μέτρηση της αναπτυσσόμενης γερτικής δύναμης πραγματοποιείται με ζεύγος ηλεκτροδίων που τοποθετούνται στο σωτερικό του σωλήνα. Η αβεβαιότητα των μετρήσεων είναι ±1% της μέγιστης μενης κλίμακας. Το υψηλό κόστος αγοράς και λειτουργίας περιορίζουν σημαντικά την επιλογή του.[2]

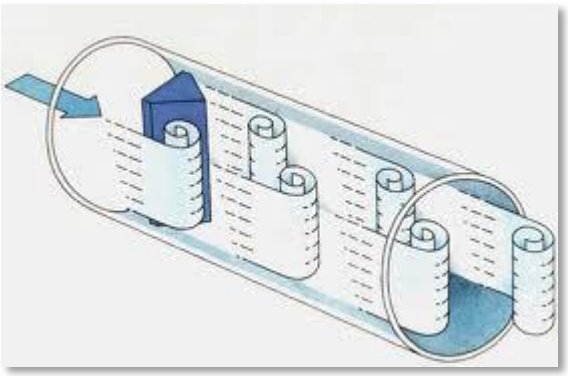
4.1.1.4.Μέτρηση γωνιακής ταχύτητας

Η μέτρηση της γωνιακής ταχύτητας για τον υπολογισμό της ροής ται στα ροόμετρα αξονικού στροβίλου (turbine meters) απλής ροής καθώς έχει χθεί ότι η γωνιακή ταχύτητα της πτερωτής είναι ανάλογη προς την ταχύτητα ροής. Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στην μέτρηση της γωνιακής ταχύτητας που αναπτύσσει ένας αξονικός στρόβιλος καθώς η ροή, αφού διαμορφωθεί πρώτα στο ακροφύσιο του, προσπίπτει στην πτερωτή του, η οποία αποτελείται από μαγνητικά πτερύγια. Η μέτρηση της γωνιακής ταχύτητας πραγματοποιείται με τη βοήθεια ενός αισθητήρα, τοποθετημένου εξωτερικά πάνω από τον στρόβιλο. Καθώς η πτερωτή περιστρέφεται ένας αισθητήρας περισυλλογής (pick up sensor) τοποθετημένος πάνω από τον στρόβιλο παράγει σήμα κάθε φορά που ένα πτερύγιο περνά από αυτόν. Ο αισθητήρας μπορεί να είναι το πηνίο ενός μαγνήτη ή αισθητήρας φαινομένου Hall. Η διαφορά είναι ότι στην πρώτη περίπτωση ο αισθητήρας δημιουργεί ένα παλμό τάσης κάθε φορά που περνά ένα πτερύγιο της πτερωτής ενώ ο αισθητήρας φαινομένου Hall παρέχει ένα σήμα σχεδόν τετραγωνικής κυματομορφής ντας χαμηλότερη μαγνητική έλξη στην πτερωτή επιτυγχάνοντας αποτελέσματα σεων σε χαμηλότερα ποσοστά ροής. Το ροόμετρο αξονικού στροβίλου επινοήθηκε από τον Reinhard Woltman και είναι μια ακριβής και αξιόπιστη συσκευή μέτρησης ροής για υγρά και αέρια.[8]



4.1.1.5.Μέτρηση δινών

Η μέτρηση των δινών που προκαλεί ο αισθητήρας σε συνάρτηση με την ταχύτητα της ροής, χρησιμοποιείται στο ροόμετρο Vortex (Vortex shedding meter). Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στην μέτρηση των δινών που σχηματίζονται κατά μήκος του *δρόμου δινών Von Karman*; όταν ένα σώμα τοποθετηθεί κάθετα στη διεύθυνση της ροής στο εσωτερικό ενός αγωγού.[11] Κατά τη ροή ρευστού γύρω



από σώμα μη αεροδυναμικής μορφής παρατηρούνται φαινόμενα ανακυκλοφορίας της ροής και κυρίως αποκόλλησης του οριακού στρώματος η οποία συνοδεύεται από έκλυση δινών. Σε πολλές περιπτώσεις το αρχικό οριακό στρώμα δεν επανακολλάται αλλά αναμιγνύεται με το ανακυκλοφορούν ρευστό σχηματίζοντας *ομόρρου*. Ο ομμόρους είναι η περιοχή στροβιλής ροής που δημιουργείται κατάντη ενός σώματος όταν αυτό βρίσκεται σε μη μόνιμες συνθήκες ροής. Η εμφάνιση του αποτελεί φυσική συνέπεια του θεωρήματος του Kelvin σύμφωνα με το οποίο αποβάλλεται τόση στροβιλότητα από ένα σώμα αεροδυναμικής μορφής όση είναι η μεταβολή κυκλοφορίας γύρω από αυτή. Οι ταλαντώσεις που σημειώνονται στον ομόρρου αυξάνονται κατά πλάτος σχηματίζοντας διακριτούς στροβίλους οι οποίοι οδεύουν σε δύο κανονικούς σχηματισμούς και δομές που είναι γνωστές ως δρόμος των δινών Von Karman. Αν μετρηθεί η ταλάντωση που παρατηρείται στον ομόρρου μπορεί να υπολογισθεί η συχνότητα έκλυσης δινών με την ίδια φορά περιστροφής. Ο αδιάστατος αριθμός Strouhal περιγράφει τη συχνότητα έκλυσης δινών f της ίδιας φοράς περιστροφής σε συνάρτηση με το πλάτος του σώματος b και την ταχύτητα U της παράλληλης ροής. Η σχέση που διέπει τη συχνότητα έκλυσης δινών και την ταχύτητα της παράλληλης ροής είναι η ακόλουθη:

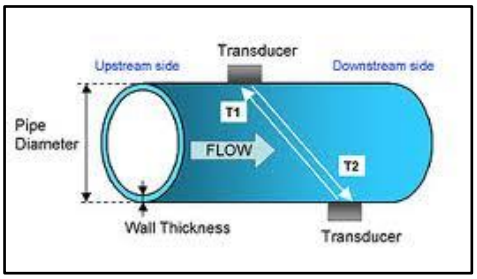
$$Str = {}^{f \cdot b}/_{U}$$

Η μέτρηση της συχνότητας των εκλυόμενων δινών πραγματοποιείται με διάφορους μεταλλάκτες ανάλογα τον τρόπο μέτρησης που επιλέγει κάθε κατασκευαστής.[3]

➢ Η μετάδοση ηχητικού σήματος αποτελεί μια μέθοδο για τη μέτρηση της ροής η οποία συναντάται σε διάφορες παραλλαγές. Ανήκει στην κατηγορία επαγωγικών μετρήσεων με *έμμεσο τρόπο* καθώς δεν απαιτείται η διακοπή της ροής για την τοποθέτηση αισθητήρων, οι οποίοι τοποθετούνται εξωτερικά του σωλήνα όπου ρέει το μετρούμενο μέσο. Οι σημαντικότεροι τύποι οργάνων βασίζονται στις παρακάτω αρχές:

4.1.1.5.Μέτρηση χρόνου διέλευσης

Η μέτρηση της διαφοράς του χρόνου διέλευσης που προκαλεί η ροή σε σωληνώσεις, χρησιμοποιείται στο ροόμετρο χρόνου διέλευσης (transit time ultrasonic flow meter). Η λειτουργία των οργάνων βασίζεται στην αρχή του *χρόνου διέλευσης*, σύμφωνα



με την οποία ένα σήμα μεταδίδεται ταχύτερα όταν κινείται σύμφωνα με το ρεύμα της ροής παρά όταν κινείται αντίθετα προς αυτή. Για την μετάδοση των ηχητικών σημάτων μέσω της ροής, χρησιμοποιούνται δύο αισθητήρες οι οποίοι έχουν την δυνατότητα ταυτόχρονης μετάδοσης και λήψης

σήματος. Οι αισθητήρες τοποθετούνται σε άξονα που διέρχεται από το κέντρο του σωλήνα σχηματίζοντας γωνία θ με τον άξονα κατεύθυνσης της ροής. Έτσι η μετάδοση τος του ενός αισθητήρα γίνεται σύμφωνα με την κατεύθυνση της ροής ενώ του άλλου γίνεται αντίθετα προς αυτήν Η διαφορά μεταξύ των χρόνων διελεύσεως του σήματος που εκπέμπει ο κάθε αισθητήρας, χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η ροή. Ο χρόνος μετάδοσης για την ευθεία (T_f) και την αντίστροφη μετάδοση (T_b) δίνονται από τις σχέσεις:

$$T_f = \frac{L}{c+\upsilon cos\theta} \text{ και } T_b = \frac{L}{c-\upsilon cos\theta} \text{ όπου}$$

c: η ταχύτητα του ήχου στο κενό, υ:η ταχύτητα του ρευστού, L: η απόσταση μεταξύ των αισθητήρων κατά τον άξονα τοποθέτησης. Σε μηδενική ροή, αμφότεροι οι αισθητήρες λαμβάνουν το μεταδιδόμενο ηχητικό σήμα χωρίς χρονική καθυστέρηση. Όταν το στό είναι σε κίνηση, τα κύματα των υπερήχων δεν φθάνουν στους δύο αισθητήρες την ίδια στιγμή. Η «διαφορά χρόνου διέλευσης» είναι ευθέως ανάλογη με την ταχύτητα ροής και κατά συνέπεια τον όγκο της ροής. Η τάξη μεγέθους για μια «τυπική» διαφορά είναι 100 nsec για συνολικό χρόνο μετάδοσης 100 μs ενώ για την μέτρηση της νται υψηλής ακρίβειας συσκευές.[11]

4.1.1.6.Μέτρηση μεταβολής συχνότητας

Η μέτρηση της μεταβολής της συχνότητας που προκαλεί η ροή ρευστού χρησιμοποιείται στο ροόμετρο Doppler (Doppler shift ultrasonic flow meter) η αρχή λειτουργίας του οποίου βασίζεται στο ομώνυμο φαινόμενο. Το όργανο μέτρησης αποτελείται από έναν πομπό μετάδοσης ηχητικού σήματος υψηλής συχνότητας και έναν δέκτη οι οποίοι τοποθετούνται αντιδιαμετρικά στην εξωτερική πλευρά του σωλήνα όπου διέρχεται το ρευστό και κάθετα προς τον άξονα κατεύθυνσης της ροής. Η εκπεμπόμενη συχνότητα, ημιτονοειδούς κυματομορφής, κυμαίνεται από 0,5 MHz μέχρι 20 MHz και καθώς αντανακλάται στα αιωρούμενα σωματίδια μεταβάλλεται, φθάνοντας τροποποιημένη στον δέκτη. Η ταχύτητα του ρευστού (υ) είναι ανάλογη με τη διαφορά προσπίπτουσας και αντανακλώμενης δέσμης, όπως περιγράφεται από την σχέση που ακολουθεί:

$$\upsilon = \frac{c(f_t - f_r)}{2f_t cos\theta}, \text{ όπου}$$

f_t: η συχνότητα μετάδοσης, f_r: η συχνότητα λήψης, c: η ταχύτητα του ήχου στο ρευστό και θ: η γωνία που σχηματίζει η προσπίπτουσα και αντανακλώμενη δέσμη με τον άξονα κατεύθυνσης της ροής. Πρόκειται για φθηνή και αξιόπιστη συσκευή μέτρησης αρκεί να εξασφαλίζονται ορισμένοι παράγοντες που συμβάλλουν στη σωστή λειτουργία της όπως η διαμορφωμένη ροή, η ποσότητα σωματιδίων ή φυσαλίδων αέρα ώστε να αντανακλάται η εκπεμπόμενη δέσμη, το σταθερό πάχος σωλήνα και η επιλογή σωστού σημείου εγκατάστασης μακριά από σημεία μεταβολής της διατομής, σημεία αλλαγής κατεύθυνσης, εξοπλισμό και γενικά ότι προκαλεί διαταραχή της ροής. Στις περιπτώσεις σωστής εγκατάστασης η αβεβαιότητα των μετρήσεων είναι ±0,5% της μέγιστης μετρούμενης κλίμακας.[11]

4.1.2. Όργανα διακριτής ποσότητας

Οι μετρητές διακριτής ποσότητας χρησιμοποιούνται σε μικρό ποσοστό καθώς είναι κατάλληλοι για εξειδικευμένες μετρήσεις ροής. Η βασική αρχή τους περιλαμβάνει την μέτρηση των περιστροφών ενός στελέχους, συνήθως εμβόλου, μετρητικής αντλίας ή οδοντωτών τροχών, οι οποίες μεταβάλλονται ανάλογα με την παροχή όγκου του διερχόμενου ρευστού.[5]

4.1.3. Μετρητές μάζας

Οι μετρητές μάζας αποτελούν το πιο εξειδικευμένο είδος των μετρητών ροής λόγω του μέσου. βασίζονται κυρίως στη μέτρηση του βάρους διερχόμενου υλικού.[5]

4.2. Τα όργανα μέτρησης της θερμοκρασίας

Η μέτρηση της θερμοκρασίας, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες μεταβλητές της παραγωγής στις οποίες έχει καθιερωθεί κάποιο διεθνές πρότυπο μέτρησης, βασίζεται στην μέτρηση της επίδρασης που παρουσιάζουν ορισμένα φαινόμενα στις φυσικές ιδιότητες ενός υλικού.[2] Η λειτουργία των οργάνων μέτρησης της θερμοκρασίας βασίζεται σε δύο φυσικά φαινόμενα:

– την παραγωγή ηλεκτρεγερτικής δύναμης όταν δύο αγωγοί, από διαφορετικά μέταλλα, έρθουν σε επαφή

– τη μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης αγωγών ή ημιαγωγών, σε συνάρτηση με την θερμοκρασία.

Οι κυριότερες κατηγορίες οργάνων μέτρησης της θερμοκρασίας είναι:

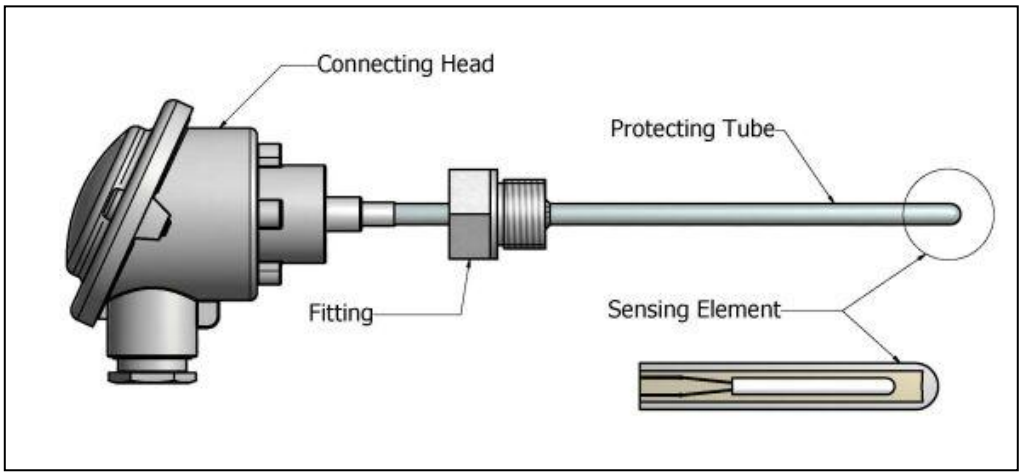
- *το διμεταλλικό θερμόμετρο*
- *το θερμοστοιχείο ή θερμοζεύγος* (thermocouple)
- *το θερμόμετρο αντιστάσεως* (resistance temperature detector-RTD)
- *το θερμίστορ*

Άλλες κατηγορίες οργάνων με εξειδικευμένη εφαρμογή σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις είναι: τα ραδιενεργά πυρόμετρα, τα οπτικά πυρόμετρα, οι θερμογράφοι, τα θερμόμετρα με οπτική ίνα και τα ηχητικά θερμόμετρα.[11]

4.2.1. Διμεταλλικό θερμόμετρο

Το διμεταλλικό θερμόμετρο χρησιμοποιείται στην βιομηχανία σαν τοπικό ενδεικτικό της θερμοκρασίας. Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στη μεταβολή της αντίστασης των μετάλλων ανάλογα με τη θερμοκρασία και τη διαφορά του συντελεστής θερμικής διαστολής από μέταλλο σε μέταλλο. Η διαφορά στο ποσοστό της θερμικής διαστολής μεταξύ των μετάλλων χρησιμοποιείται για να δημιουργεί παραμορφώσεις ανάλογες με τις μεταβολές της θερμοκρασίας. Δυο διαφορετικά μέταλλα συστρέφονται μεταξύ τους σε ελικοειδές σχήμα ή σε μορφή ελατηρίου. Κατά την αύξηση της θερμοκρασίας, λόγω του διαφορετικού συντελεστή διαστολής, παρατηρείται κάμψη προς το μέταλλο με το μικρότερο συντελεστή διαστολής. Η παραμόρφωση που σημειώνεται είναι ανάλογη με τη σταθερά παραμόρφωσης των υλικών, τη θερμοκρασία και την δεύτερη δύναμη του μήκους ενώ είναι αντιστρόφως ανάλογη του πάχους των

αγωγών. Κατά την εκλογή των δύο μετάλλων δίνεται έμφαση στη διαφορά των συντελεστών θερμικής διαστολής.[5] Για την εγκατάσταση των θερμομέτρων στον εξοπλισμό χρησιμοποιούνται *προστατευτικές φωλιές* οι οποίες περιγράφονται στην επόμενη παράγραφο.



4.2.2. Θερμοστοιχείο

Το θερμοστοιχείο ή θερμοζεύγος αποτελεί το πλέον διαδεδομένο όργανο μέτρησης της θερμοκρασίας. Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στην παρατήρηση του T.J.Seebeck το 1821, σύμφωνα με την οποία αν δύο μεταλλικοί αγωγοί κατασκευασμένοι από διαφορετικά υλικά έλθουν σε επαφή τότε στα άκρα τους αναπτύσσεται «θερμοηλεκτρική τάση».[2] Πρόκειται για ηλεκτρεγερτική δύναμη προερχόμενη από θερμικά αίτια, το μέγεθος της οποίας εξαρτάται από το υλικό κατασκευής των μεταλλικών αγωγών και την θερμοκρασία που επικρατεί στο σημείο επαφής τους. Η μέτρηση της θερμοηλεκτρικής τάσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μέτρηση της θερμοκρασίας, με την βοήθεια της σχέσης:

$$e = k(T)T_i \text{ ,όπου}$$

e_i:η θερμοηλεκτρική τάση, $k(T)$:συνάρτηση που εξαρτάται από τη θερμοκρασία και το υλικό κατασκευής των αγωγών και T_i: η θερμοκρασία στο σημείο επαφής των αγωγών.

Η σύνδεση του οργάνου μέτρησης της τάσης δημιουργεί ένα «θερμοηλεκτρικό κύκλωμα» με δύο χαρακτηριστικά σημεία. Το σημείο σύνδεσης των μεταλλικών αγωγών του θερμοστοιχείου στο οποίο επικρατεί η «θερμοκρασία μετρήσεως» και το σημείο σύνδεσης των αγωγών του οργάνου μέτρησης της τάσης με τους αγωγούς του θερμοστοιχείου στο οποίο επικρατεί η «θερμοκρασία αναφοράς». Έχει αποδειχθεί ότι η ένδειξη του οργάνου μέτρησης της τάσης ισούται με τη διαφορά των θερμοηλεκτρικών τάσεων που παράγονται από το ζεύγος των αγωγών του θερμοστοιχείου και του σημείου

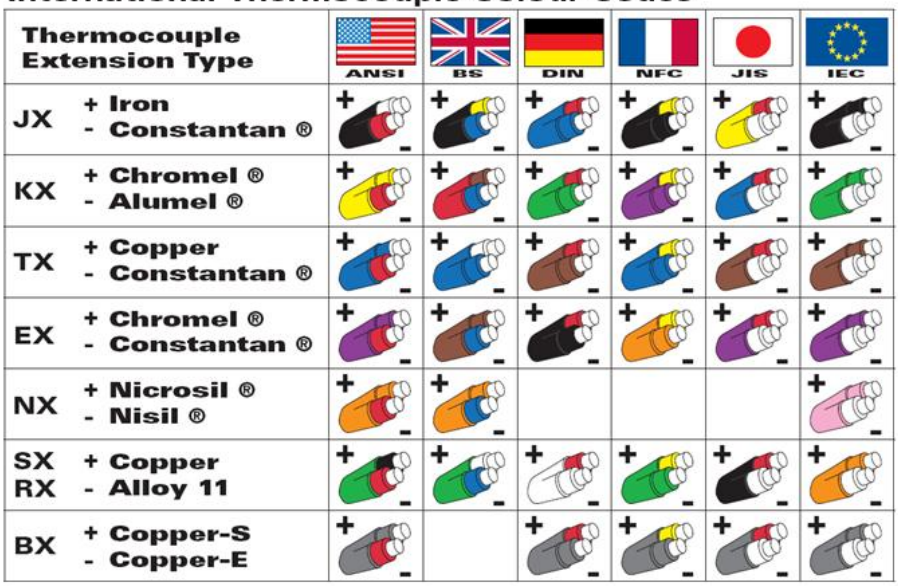
αναφοράς με την προϋπόθεση ότι οι αγωγοί του θερμοστοιχείου συνδέονται με την συσκευή μέτρησης της τάσης με ένα μόνο είδος μεταλλικού αγωγού και η σύνδεση των αγωγών του θερμοστοιχείου με τους αγωγούς της συσκευής μέτρησης πραγματοποιείται στην ίδια θερμοκρασία, την θερμοκρασία αναφοράς.

Η σύμβαση που έχει επικρατήσει ορίζει ως θερμοκρασία αναφοράς τη θερμοκρασία του τηκόμενου πάγου, δηλαδή 0° C, με την ονομασία «σημείο πάγου» (ice point) και ηλεκτρεγερτική δύναμη 0 Volt. Παλαιότερα, αλλά και σήμερα, σε εργαστηριακές εφαρμογές οι επαφές αναφοράς διατηρούνται, σε θερμικά μονωμένο δοχείο, όπου τήκεται πάγος. Στις βιομηχανικές εφαρμογές το σημείο πάγου επιτυγχάνεται μέσω ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, αντισταθμίζοντας την θερμοηλεκτρική τάση του σημείου αναφοράς όντας σε ελεύθερο περιβάλλον. Η θερμοηλεκτρική τάση κυμαίνεται από -10 έως 50 mVolt.[2]

Τα θερμοστοιχεία κατασκευάζονται από συνδυασμούς αγωγών οι οποίοι χαρακτηρίζονται από ένα γράμμα του λατινικού αλφάβητου. Οι χαρακτηριστικότεροι τύποι θερμοστοιχείων και τα υλικά από τα οποία είναι κατασκευασμένοι οι αγωγοί τους είναι οι ακόλουθοι:

- τύπος Ε αποτελούμενο από αγωγούς χρωμίου και κράματος χαλκού – νικελίου (chromel - constantan) που παρουσιάζει την μεγαλύτερη ευαισθησία (80μV/^{o}C), ακρίβεια ±0,5% της μέγιστης μετρούμενης κλίμακας και εύρος μετρήσεων από -200 ^{o}C μέχρι 900 ^{o}C
- τύπος J αποτελούμενο από αγωγούς σιδήρου και κράματος χαλκού – νικελίου (iron - constantan) με ευαισθησία (60μV/^{o}C), ακρίβεια ±0,75% της μέγιστης μετρούμενης κλίμακας και εύρος μετρήσεων από -150 ^{o}C μέχρι 1000 ^{o}C
- τύπος Κ αποτελούμενο από αγωγούς κράματος νικελίου – χρωμίου και κράματος νικελίου -μαγνησίου -αλουμινίου -πυριτίου (chromel - alumel) με ευαισθησία (45μV/^{o}C), ακρίβεια ±0,75% της μέγιστης μετρούμενης κλίμακας και συμπεριφορά σχεδόν γραμμική για εύρος μετρήσεων από 700 ^{o}C μέχρι 1200 ^{o}C

International Thermocouple Colour Codes



- τύπος N αποτελούμενο από αγωγούς κράματος χρωμίου -μαγνησίου - πυριτίου και κράματος νικελίου - πυριτίου (nicrosil – nisil) που αποτελεί μια βελτιωμένη έκδοση του τύπου K έχοντας τριπλάσια διάρκεια ζωής και όμοια θερμοηλεκτρικά χαρακτηριστικά.

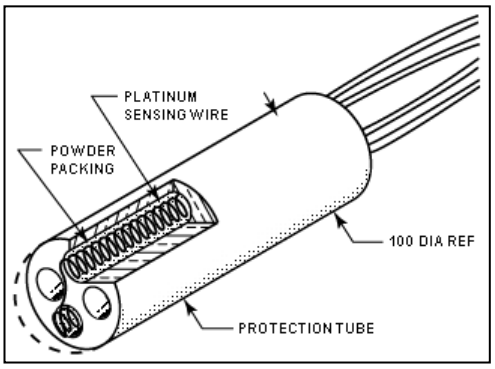
- τύπος T αποτελούμενο από αγωγούς χαλκού και κράματος χαλκού – νικελίου (copper – constantan) που παρουσιάζει ευαισθησία (60μV/^{o}C), ακρίβεια ±0,75% της μέγιστης μετρούμενης κλίμακας και εύρος μετρήσεων από -200 ^{o}C μέχρι 350 ^{o}C

Στις περιπτώσεις που η μέτρηση μεταφέρεται σε κάποια απόσταση μέσω καλωδίου, ισχύει συγκεκριμένος χρωματικός κώδικας τόσο για τον εξωτερικό μανδύα του όσο και τη μόνωση των αγωγών σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα τυποποίησης. Ιδιαίτερη μέριμνα απαιτείται τόσο στην επιλογή της διατομής των αγωγών που συνήθως κυμαίνεται από 0,4mm μέχρι 2,0mm, όσο και στο πάχος της μόνωσης των αγωγών. Επίσης τα καλώδια πρέπει να διαθέτουν ξεχωριστό αγωγό γείωσης σε κάθε ζεύγος (individual shielded) για την προστασία του μεταφερόμενου σήματος από ηλεκτρολογικό «θόρυβο».

Λόγω της ευαίσθητης φύσης τους τα θερμοστοιχεία σπάνια τοποθετούνται χωρίς επιπλέον προστασία σε μια εγκατάσταση. Συνήθως το σημείο της ένωσης και τμήμα των αγωγών καλύπτεται από προστατευτικό μανδύα ενώ τοποθετείται μέσα σε λεπτό σωλήνα από ανοξείδωτο χάλυβα και το κενό που δημιουργείται ανάμεσα στους αγωγούς και το εσωτερικό του σωλήνα συμπληρώνεται από σκόνη κεραμικού υλικού ή οξείδια μετάλλου ώστε να παρέχεται μονωτική προστασία.[5] Οι ελεύθερη άκρη των αγωγών συνδέεται στις κλέμες σύνδεσης, οι οποίες με τη σειρά τους τοποθετούνται πάνω σε κεραμικό υλικό στο πάνω μέρος του σωλήνα προστασίας του θερμοστοιχείου. Το σημείο σύνδεσης βρίσκεται μέσα σε μεταλλικό κουτί αποτελώντας την «κεφαλή» του οργάνου. Η στήριξη του θερμοστοιχείου στο σημείο εγκατάστασης πραγματοποιείται με εξάρτημα προσαρμογής συμπιεστού τύπου (compression type fitting).

Για την εγκατάσταση των θερμοστοιχείων στον εξοπλισμό παραγωγής χρησιμοποιούνται *προστατευτικές φωλιές* (protective wells ή thermowells), με διάμετρο από μισή μέχρι μία ίντσα, εσωτερικό σπείρωμα για τη στήριξη του θερμοστοιχείου και εξωτερικό σπείρωμα ή φλάντζα για την τοποθέτηση στον εξοπλισμό. Κατασκευάζονται από ανοξείδωτο χάλυβα ή άλλα μέταλλα κατάλληλα για τις εκάστοτε συνθήκες παραγωγής.

4.2.3. Θερμόμετρο αντίστασης



Το θερμόμετρο αντίστασης (resistance temperature detector -RTD) χρησιμοποιείται σε εφαρμογές όπου απαιτείται υψηλή ακρίβεια μετρήσεων αλλά παράλληλα υπάρχει περιορισμένο εύρος κλίμακας μετρήσεων. Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στην μεταβολή της αντίστασης των μετάλλων συναρτήσει της θερμοκρασίας. Αν είναι γνωστή η σχέση μεταβολής τότε μπορεί να υπολογιστεί με ακρίβεια η αντίσταση και κατ' επέκταση η θερμοκρασία. Για την μέτρηση της αντίστασης χρησιμοποιούνται είτε γέφυρες (Wheatstone κ.α.) είτε ποτενσιόμετρα αντιστάθμισης.

Τα συνηθέστερα μέταλλα που αποτελούν τους αγωγούς περιλαμβάνουν Λευκόχρυσο που παρουσιάζει γραμμική συμπεριφορά στο μεγαλύτερο μέρος του εύρους μεταβολής των μετρήσεων, Νικέλιο που παρουσιάζει μη γραμμική συμπεριφορά, Χαλκό, Βολφράμιο κ.α.. Η σχέση που συνδέει την αντίσταση του λευκόχρυσου με τη θερμοκρασία περιγράφεται από τον τύπο:

$$R/R_0 = 1 + AT + BT^2 \text{,όπου}$$

R, R_0: η αντίσταση στη θερμοκρασία T και στη θερμοκρασία αναφοράς και A, B: σταθερές που εξαρτώνται από την περιοχή λειτουργίας και το μονωτικό υλικό που χρησιμοποιείται για την προστασία του.[2] Για την εγκατάσταση τους χρησιμοποιούνται προστατευτικές φωλιές και ισχύουν οι ίδιοι κανόνες με αυτούς των θερμοστοιχείων. Το μήκος μπορεί να είναι από μερικά εκατοστά μέχρι αρκετά μέτρα.

4.2.4. Θερμίστορ

Το θερμίστορ αποτελεί μια από τις κύριες κατηγορίες οργάνων για την μέτρηση της θερμοκρασίας. Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στην ιδιότητα να μεταβάλλεται η αντίσταση του σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία λόγω των υλικών από τα οποία κατασκευάζεται όπως χρώμιο, κοβάλτιο, νικέλιο ή μαγνήσιο. Συνήθως παρουσιάζει αρνητικό συντελεστή θερμοκρασίας, δηλαδή μείωση της αντίστασης του κατά την αύξηση της θερμοκρασίας, λόγω της μη γραμμικής μεταβολής της αντίστασης του σε σχέση με την μεταβολή της θερμοκρασίας, η οποία περιγράφεται από την σχέση:

$$R = R_0 \cdot e^{\{\beta\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\}} \text{,όπου}$$

R η αντίσταση σε θερμοκρασία T, R_0 η αντίσταση σε θερμοκρασία T_0 και β σταθερά εξαρτώμενη από το είδος του θερμίστορ που χρησιμοποιείται. Λόγω της μη γραμμικής συμπεριφοράς του χρησιμοποιείται κυρίως για την προστασία συσκευών από υπερθέρμανση και λιγότερο για τη μέτρηση της θερμοκρασίας.[2]

4.3. Τα όργανα μέτρησης της πίεσης

Η μέτρηση της πίεσης συνίσταται στη μέτρηση της δύναμης που ασκείται σε μία επιφάνεια. Μια μέτρηση μπορεί να αφορά την *απόλυτη πίεση* (absolute pressure) η οποία ασκείται πραγματικά σε μια επιφάνεια ή την *μανομετρική πίεση* (gauge pressure) η οποία είναι η ένδειξη του οργάνου μετρήσεως (μανόμετρο) και αποτελεί τη διαφορά της απόλυτης πίεσης με την ατμοσφαιρική. Στις διάφορες φάσεις της παραγωγής οι συνθήκες πιέσεων που επικρατούν χαρακτηρίζονται ως:

- *χαμηλές πιέσεις* αν είναι μικρότερες της ατμοσφαιρικής
- *συνήθεις ή μέσες πιέσεις* αν είναι από την ατμοσφαιρική μέχρι και 7000 bar
- *υψηλές πιέσεις* αν είναι από 7000 bar μέχρι 30000 bar

Τα όργανα μέτρησης της πίεσης μπορούν να χωριστούν σε κατηγορίες με βάση διάφορα κριτήρια όπως είναι οι αρχές λειτουργίας τους, το εύρος της μετρούμενης κλίμακας ή οι εφαρμογές τους, όμως σε κάθε περίπτωση το κομμάτι εκείνο που παίζει τον καθοριστικότερο ρόλο είναι ο μεταλλάκτης πίεσης. Οι κυριότερες κατηγορίες του είναι:

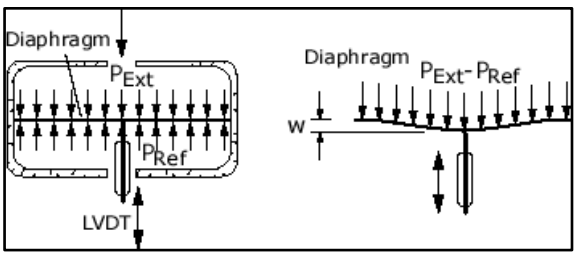
- *μεταλλάκτες ελαστικής παραμόρφωσης ή μετατοπίσεως*
- *μεταλλάκτες στερεάς κατάστασης*

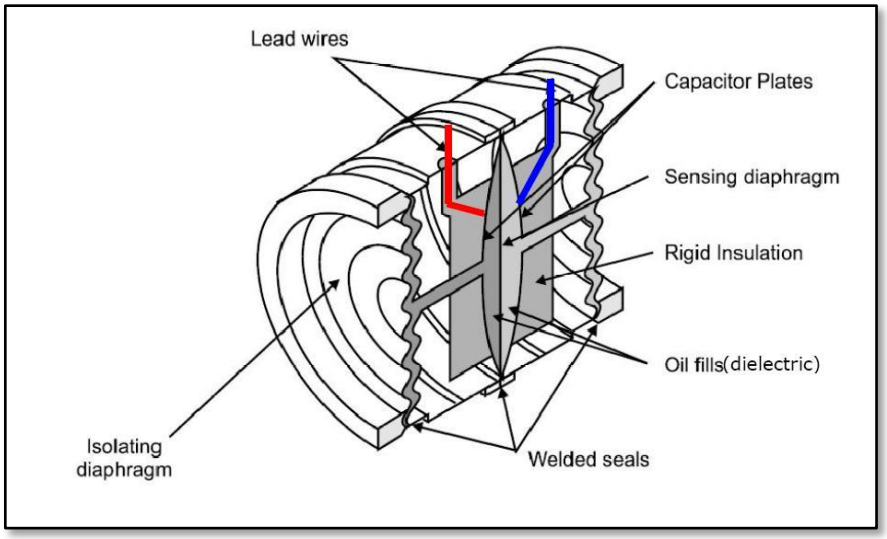
4.3.1. Μεταλλάκτες μετατοπίσεως

Οι μεταλλάκτες ελαστικής παραμόρφωσης ή μετατοπίσεως μετατρέπουν την πίεση που ασκείται σε ένα στοιχείο ελαστικού τύπου (elastic type element), σε μετατόπιση.

4.3.1.1. Διάφραγμα

Ένα από τα πιο διαδεδομένα στοιχεία ελαστικού τύπου είναι το *διάφραγμα* (diaphragm) το οποίο χρησιμοποιείται για μετρήσεις πιέσεων από το κενό μέχρι 2000 bar. Πρόκειται για λεπτό εύκαμπτο δίσκο πάχους 0,1 mm με επίπεδη ή κυματοειδή επιφάνεια κατασκευασμένο από ανοξείδωτο χάλυβα, κράμα μετάλλων, πλαστικό ή κεραμικό υλικό. Τοποθετείται μόνο του ή σε ζεύγη παίρνοντας τη μορφή κάψουλας (capsoule), με πιο χαρακτηριστικούς τύπους τον κυρτό (convex), όπου δύο δίσκοι τοποθετούνται συμμετρικά και συγκολλούνται μεταξύ τους και τον ένθετο (nested), όταν τοποθετούνται παράλληλα μεταξύ τους. Συνήθως δύο ή περισσότερες κάψουλες χρησιμοποιούνται μαζί για να σχηματίσουν έναν αισθητήρα σε πιο σύνθετες εφαρμογές. Η αρχή λειτουργίας του διαφράγματος βασίζεται στη





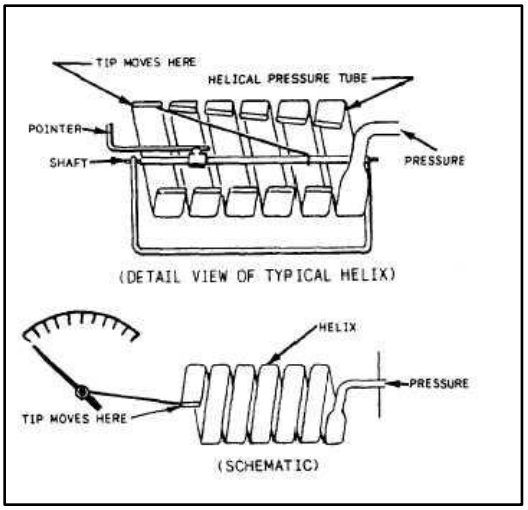
δύναμη που δημιουργείται από τις διαφορετικές πιέσεις που ασκούνται σε κάθε πλευρά του. Στη μία πλευρά ασκείται η πίεση του μετρούμενου μεγέθους ενώ στη άλλη επικρατεί μια γνωστή πίεση η οποία είναι συνήθως η ατμοσφαιρική ή η πίεση ενός σημείου αναφοράς στα όργανα μέτρησης διαφορικής πίεσης.

Στις περιπτώσεις που μετριέται η απόλυτη πίεση, η πίεση του σημείου αναφοράς είναι το κενό οπότε χρησιμοποιείται αντίστοιχη κάψουλα. Η διαφορά πιέσεων στις δυο πλευρές του διαφράγματος δημιουργεί μια δύναμη η οποία ασκούμενη στο διάφραγμα προκαλεί την μετατόπιση του. Για την μέτρηση της μετατόπισης του διαφράγματος χρησιμοποιούνται διάφοροι τρόποι που διαμορφώθηκαν κατά την πρόοδο της τεχνολογίας, με σημαντικότερους τη χρήση κατάλληλου μεταλλάκτη, όπως είναι ο *μεταλλάκτης καταπονήσεως* (strain gauge), το επιμηκυνσιόμετρο ημιαγωγού (semiconductor strain gauge) και ο διαφορικός μετασχηματιστής (LVDT).

4.3.1.2. Σωλήνας Bourdon

Μια επίσης διαδεδομένη μορφή μεταλλάκτη μετατοπίσεως αποτελεί ο *σωλήνας Bourdon*. Πρόκειται για λεπτό εύκαμπτο σωλήνα ελλειπτικής διατομής με σταθερό το ένα του άκρο. Η μετρούμενη πίεση εισέρχεται στο εσωτερικό του σωλήνα από το σταθερό άκρο μεταβάλλοντας το σχήμα του, με αποτέλεσμα την μετατόπιση του ελεύθερου άκρου. Η μετατόπιση αυτή είναι ανάλογη προς την πίεση που ασκείται στο εσωτερικό του σωλήνα και μπορεί να μετρηθεί με μεταλλάκτη μετατόπισης.

Τρία είναι τα βασικά είδη του σωλήνα Bourdon: το ελλειπτικό (C type), το ελιδές και το σπειροειδές. Οι σωλήνες Bourdon ελλειπτικού σχήματος χρησιμοποιούνται για την μέτρηση πιέσεων μέχρι 6000 bar ενώ η μέγιστη τιμή του τόξου που σχηματίζει το ελεύθερο άκρο κατά τη μετατόπιση του φθάνει σχεδόν τις 360°. Η απόκλιση του ελεύθερου άκρου είναι ανάλογη της γωνίας που σχηματίζεται από το τόξο κατά την κάμψη του σωλήνα. Για παράδειγμα για ένα σωλήνα ακτίνας 25 mm η μέγιστη απόσταση μετατόπισης του ελεύθερου άκρου είναι 4 mm δίνοντας μια μέτρια απόκλιση μετρήσεως. Η αβεβαιότητα των μετρήσεων φθάνει το ±1% της μέγιστης μετρούμενης κλίμακας. Στις περιπτώσεις που απαιτείται μεγαλύτερη ευαισθησία στις μετρήσεις, χρησιμοποιούνται οι άλλες μορφές του σωλήνα Bourdon οι οποίες διαθέτουν μεγαλύτερη δυνατότητα εκτροπής από την αρχική θέση. Το εύρος της μετρούμενης κλίμακας φθάνει μέχρι τα 700 bar διατηρώντας την ίδια αβεβαιότητα στις μετρήσεις με αυτή του ελλειπτικού σωλήνα ενώ το κόστος κατασκευής αυξάνεται σημαντικά με αποτέλεσμα οι εφαρμογές τους να είναι περιορισμένες.[5]



4.3.1.3. Φυσερό (bellow)

Ένα ακόμη είδος μεταλλάκτη μετατοπίσεως είναι το *φυσερό* (bellow) το οποίο παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με το διάφραγμα. Πρόκειται για έναν σωλήνα με πτυχώσεις, κατασκευασμένο από πολύ λεπτό έλασμα, σταθερό στο ένα του άκρο. Η πίεση που ασκείται στο σταθερό άκρο μεταβάλει το σχήμα του φυσερού προκαλώντας μια γραμμική μετατόπιση του ελεύθερου άκρου η οποία μπορεί να μετρηθεί με ένα μεταλλάκτη μετατόπισης.[5]

4.3.2. Μεταλλάκτες στερεάς κατάστασης

Οι μεταλλάκτες πιέσεως στερεάς κατάστασης περιλαμβάνουν μια σειρά από μετρητικές διατάξεις οι οποίες έχουν συμβάλλει στην εξέλιξη της τεχνολογίας των οργάνων μετρήσεως πίεσης καθώς εκτός από αυτόνομα συστήματα μέτρησης αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα για τους μεταλλάκτες μετατόπισης. Βασική ιδιότητα είναι η μεταβολή χαρακτηριστικών ιδιοτήτων τους όταν παραμορφώνονται. Χαρακτηριστικότεροι τύποι είναι:

- το *πιεζοηλεκτρικό στοιχείο* (piezoelectric element) και ο
- μεταλλάκτης μετατοπίσεως με ημιαγωγό ή *επιμηκυνσιόμετρο ημιαγωγού* (piezoresistive strain gauge).

4.3.2.1. Πιεζοηλεκτρικό στοιχείο

Η αρχή λειτουργίας του πιεζοηλεκτρικού στοιχείου στηρίζεται στο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο κατά το οποίο ορισμένα υλικά, όπως ο χαλαζίας και το άλας Rochelle, αναπτύσσουν ηλεκτρικό δυναμικό όταν φορτίζονται μηχανικά αλλά και μεταβάλλουν διαστάσεις όταν φορτίζονται ηλεκτρικά. Έχει υψηλή ευαισθησία με ευρεία περιοχή λειτουργίας ενώ διαθέτει διακριτική ικανότητα μικρότερη από 0,1 bar. Συναντάται σε εφαρμογές μέτρησης των μηχανικών τάσεων, της ροής, της επιτάχυνσης και της πίεσης.[2]

4.3.2.2. Επιμηκυνσιόμετρο ημιαγωγού

Το επιμηκυνσιόμετρο ημιαγωγού στηρίζει την λειτουργία του στην μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης του ημιαγωγού από τον οποίο είναι κατασκευασμένο, συνήθως πυρίτιο, όταν παραμορφώνεται. Παρουσιάζει υψηλό συντελεστή ευαισθησίας (gauge factor) σε σχέση με τα επιμηκυνσιόμετρα ηλεκτρικής αντίστασης (electrical resistance gauge) τα οποία εξετάζονται στη συνέχεια στα πλαίσια των συστημάτων υψηλής πίεσης.[11]

4.3.3. Μεταλλάκτης υψηλών πιέσεων

Για την μέτρηση των υψηλών πιέσεων χρησιμοποιείται *μεταλλάκτης ηλεκτρικής αντίστασης* (electrical resistance gauge) ή μεταλλάκτης Bridgman, προς τιμήν του πρώτου κατασκευαστή του, όπου το αισθητήριο του μεταλλάκτη είναι ένα πηνίο. Η μεταβολή της πίεσης προκαλεί έμμεσα την παραμόρφωση του συρματιδίου του πηνίου η οποία συνεπάγεται μεταβολή της ηλεκτρικής του αντίστασης. Το μετρούμενο μέσο δεν έρχεται σε απ' ευθείας επαφή με τον αισθητήρα ο οποίος βρίσκεται μέσα σε φυσερό γεμάτο με κηροζίνη. Η ασκούμενη πίεση στο ένα άκρο του φυσερού μεταβάλλει το μήκος του προκαλώντας την παραμόρφωση του συρματιδίου. Σαν υλικό κατασκευής για το συρματίδιο του πηνίου χρησιμοποιείται κυρίως κράμα χρυσού με χρώμιο το οποίο παρουσιάζει καλύτερη συμπεριφορά στις μεταβολές της θερμοκρασίας ή κράμα χαλκού με μαγνήσιο και νικέλιο.[2] Η αβεβαιότητα των μετρήσεων φθάνει το ±0,5% της μέγιστης μετρούμενης κλίμακας.[11]

4.3.4. Μεταλλάκτες χαμηλών πιέσεων

Η μέτρηση των *χαμηλών πιέσεων* αποτελεί ένα ξεχωριστό τομέα καθώς περιλαμβάνει μια σειρά από συσκευές με αποκλειστικό πεδίο εφαρμογών. Η κατηγορία των χαμηλών πιέσεων περιλαμβάνει τις πιέσεις που είναι χαμηλότερες από την ατμοσφαιρική με τον επιπλέον διαχωρισμό:

- *πολύ χαμηλές* (very low), αν είναι μικρότερες του ενός torr (1 torr $=1{,}333\times10^{2}$ Pa ή 1,333 mbar) και
- *εξαιρετικά χαμηλές* (ultra low), αν είναι μικρότερες από 10^{-3} micron (1 micron$=1{,}333\times10^{-1}$ Pa ή 0,01333 mbar)

Για την μέτρηση της απόλυτης πίεσης μέχρι 10 torr εφαρμόζονται οι συμβατικοί τρόποι που αναπτύχθηκαν μέχρι τώρα χρησιμοποιώντας κατάλληλα υλικά. Για χαμηλότερες πιέσεις εφαρμόζονται *έμμεσες μέθοδοι* (inferential methods) με τις οποίες η ασκούμενη πίεση υπολογίζεται μέσω της μεταβολής των χαρακτηριστικών του ρευστού. Οι χαρακτηριστικότεροι *μεταλλάκτες κενού* είναι:

- *μεταλλάκτης θερμικής αγωγιμότητας* και ο
- *μεταλλάκτης ιονισμού*

4.3.4.1. Μεταλλάκτης θερμικής αγωγιμότητας

Χρησιμοποιείται για την μέτρηση πολύ χαμηλών πιέσεων από 1 μέχρι 10^3 micron, με αισθητήρα ένα πολύ λεπτό μεταλλικό σύρμα κατασκευασμένο από λευκόχρυσο, το οποίο διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα. Η απαγωγή της θερμότητας που αναπτύσσεται στο σύρμα από το περιβάλλον του, δηλαδή το διερχόμενο ρευστό, μεταβάλλει την ένταση του ρεύματος που το διαρρέει. Η μέτρηση της θερμοκρασίας του σύρματος πραγματοποιείται είτε με θερμοστοιχείο (thermocouple gauge) είτε μετρώντας την μεταβολή της αντίστασης του (Pirani gauge).[2]

4.3.4.2. Μεταλλάκτης ιονισμού

Χρησιμοποιείται για την μέτρηση εξαιρετικά χαμηλών πιέσεων από 10^{-6} μέχρι 1 micron. Το μετρούμενο αέριο οδηγείται σε θάλαμο ιονισμού που περιέχει ηλεκτρόνια τα οποία εκπέμπονται από θερμαινόμενο νήμα. Η σύγκρουση των ηλεκτρονίων με τα άτομα του μετρούμενου μέσου, τα οποία αρχικά είναι ουδέτερα, προκαλεί τον ιονισμό των ατόμων με αποτέλεσμα την εμφάνιση ρεύματος στο χώρο μεταξύ της ανόδου και της καθόδου του θαλάμου, ανάλογο της πυκνότητας των ιονιζόμενων μορίων και κατ' επέκταση της πίεσης που επικρατεί στο θάλαμο.[11]

4.3.5. Τοπικά όργανα μετρήσεως πίεσης

Τα τοπικά ενδεικτικά όργανα μετρήσεως της πίεσης (pressure gauges) ή μανόμετρα, αποτελούνται από τα εξής μέρη:

Το *σημείο σύνδεσης* (socket) το οποίο καταλήγει στον *αισθητήρα*, το *άκρο* (tip) του αισθητήρα, την *ακίδα* ένδειξης (pointer), την πλάκα ενδείξεων με την βαθμονομημένη κλίμακα (dial), το σύστημα μετάδοσης της μετατόπισης (lever), τη *θήκη* (case) και το *διάφανο κάλυμμα* (lens) και τη στεφάνη συγκράτησης του καλύμματος . Το σημείο σύνδεσης χρησιμεύει για την τοποθέτηση του οργάνου στο σημείο εγκατάστασης, μέσω κω-

νικού σπειρώματος, αλλά και για την στήριξη της θήκης που περιέχει τα υπόλοιπα χεία που συνθέτουν το όργανο. Ο αισθητήρας του οργάνου περιλαμβάνει τις διαδενες μορφές μεταλλακτών που έχουν ήδη αναπτυχθεί δηλαδή σωλήνα Bourdon, φραγμα και φυσερό, με τον πρώτο να συναντάται στις περισσότερες των εφαρμογών. Το άκρο χρησιμοποιείται για να μεταφέρει την μετατόπιση του αισθητήρα στην ακίδα ενδείξεων. Οι κινήσεις έχουν δύο βασικούς στόχους. Να μεγεθύνουν την μικρή σχετικά μετατόπιση του αισθητήρα και να μετατρέπουν την κίνηση του ελεύθερου άκρου σε περιστροφική δίνοντας στην ακίδα τη δυνατότητα να εκτελεί περιστροφή μέχρι 270°.

Σε πολλές περιπτώσεις για τη μετάδοση της μετατόπισης στην ακίδα χρησιμοποιείται σύστημα οδοντωτών τροχών. Η θήκη περιέχει όλα τα εργαζόμενα μέρη που αποτελούν το όργανο και τα προστατεύει από φθορές, σκόνη και διάβρωση. Πολλές φορές περιλαμβάνει μεταλλική στεφάνη με οπές για στήριξη με κοχλίες. Για την προστασία από κραδασμούς εκτός από ειδικά εξαρτήματα που τοποθετούνται στο σημείο σύνδεσης, ολόκληρη η θήκη του οργάνου περιέχει παχύρευστο διάφανο υγρό, συνήθως γλυκερίνη. Η πλάκα ενδείξεων κατασκευάζεται από λεπτό έλασμα πάνω στο οποίο είναι τυπωμένη η κλίμακα βαθμονόμησης σχηματίζοντας τόξο 270°. Η βαθμονόμηση της κλίμακας εξαρτάται από την ακρίβεια του οργάνου ενώ οι μονάδες μετρήσεις ποικίλουν ανάλογα την εφαρμογή. Στις περιπτώσεις που απαιτείται μεγαλύτερη ευκρίνεια στις μετρήσεις χρησιμοποιείται καθρέπτης κάτω από την κλίμακα πάνω στον οποίο αντανακλά η ακίδα διευκολύνοντας την ανάγνωση της μέτρησης.[5]

4.4. Τα όργανα μέτρησης της στάθμης

Για την μέτρηση της στάθμης των δοχείων έχει παρουσιαστεί στην διάρκεια των χρόνων μεγάλη ποικιλία οργάνων που βασίζουν την λειτουργίας τους, εκτός από την απ' ευθείας μέτρηση, σε ιδιότητες των υλικών που μπορούν να μετρηθούν βοηθώντας στον προσδιορισμό της στάθμης. Ανάλογα με την μέθοδο λειτουργίας τα όργανα μέτρησης της στάθμης χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες:

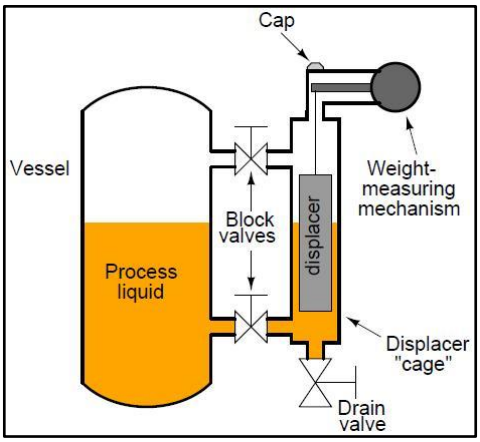
- *άμεσης μέτρησης*
- *έμμεσης μέτρησης* τα οποία χωρίζονται επιπλέον σε δύο υποκατηγορίες ανάλογα αν κατά τη μέτρηση της στάθμης έρχονται σε επαφή με το μετρούμενο μέσο ή όχι.

4.4.1. Όργανα άμεσης μέτρησης της στάθμης

Τα όργανα άμεσης μέτρησης της στάθμης χρησιμοποιούνται σαν τοπικά ενδεικτικά με πλέον χαρακτηριστικό τύπο τον *υαλοδείκτη* (gauge glass). Πρόκειται για διάφανο κύλινδρο κατασκευασμένο από γυαλί που τοποθετείται στην πλευρά του δοχείου με το οποίο επικοινωνεί μέσω σωλήνων ενώ στερεώνεται με φλάντζες . Η αρχή των συγκοινωνούντων δοχείων βοηθά την μέτρηση της στάθμης αφού η ένδειξη του υαλοδείκτη αντικατοπτρίζει την στάθμη στο εσωτερικό του δοχείου. Αποτελεί την απλούστερη και πιο οικονομική μέθοδο μέτρησης. Μια άλλη μέθοδος που εφαρμόζεται για την τοπική ένδειξη της στάθμης είναι αυτή με την *μετρητική ταινία* (tape gauge). Ένας πλωτήρας στο εσωτερικό του δοχείου που επιπλέει την επιφάνεια του υγρού συνδέεται με συρματόσχοινο, μέσω τροχαλίας, με ένα αντίβαρο στην εξωτερική πλευρά του δοχείου. Η μεταβολή της στάθμης προκαλεί την κατακόρυφη μετατόπιση του πλωτήρα μεταβάλλοντας αντίστροφα τη θέση του αντίβαρου. Με τη βοήθεια μιας βαθμονομημένης ταινίας στην πλευρά της δεξαμενής δίπλα ή πίσω από το αντίβαρο και χρησιμοποιώντας το αντίβαρο σαν δείκτη είναι εύκολη η μέτρηση της στάθμης της δεξαμενής. Η μέτρηση με αυτό τον τρόπο περιγράφεται από τον όρο μετρητής δεξαμενής (*tank gauge)*.

4.4.2. Όργανα έμμεσης μέτρησης της στάθμης

Τα όργανα έμμεσης μέτρησης βασίζουν την λειτουργία τους σε φυσικές αρχές και την μέτρηση ιδιοτήτων του υγρού που η μεταβολή τους μπορεί να συσχετισθεί με την στάθμη του. Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται στα όργανα στάθμης χρησιμοποιούν την αρχή της άνωσης, το υδροστατικό ύψος, τη μεταβολή της χωρητικότητας, την αγωγιμότητα, την πυκνότητα και την ακτινοβολία. Οι κυριότερες κατηγορίες παρουσιάζονται στην συνέχεια.



4.4.2.1. Όργανα «μετατόπισης» (displacement type)

Αποτελούν μια διαδεδομένη κατηγορία μετρητών στάθμης, η λειτουργία των οποίων βασίζεται στην αρχή του Αρχιμήδη, σύμφωνα με την οποία ένα στερεό ακίνητο σώμα βυθισμένο σε ακίνητο ρευστό δέχεται από το ρευστό δύναμη αντίρροπη προς το βάρος του σώματος και ίση με το βάρος του εκτοπιζομένου ρευστού. Το όργανο αποτελείται από μεταλλικό κύλινδρο που τοποθετείται στην πλευρά του δοχείου με το οποίο επικοινωνεί μέσω σωληνώσεων ενώ η στήριξη του πραγματοποιείται με φλάντζες. Μέσα στον κύλινδρο βρίσκεται το στοιχείο μετατόπισης (displacer), κυλινδρικού ή σφαιρικού σχήματος, το οποίο κρέμεται από το πάνω μέρος του εξωτερικού κυλίνδρου με ελατήριο (spring type) ή βραχίονα (torque type). Το μήκος του στοιχείου μετατόπισης εξαρτάται από το εύρος της κλίμακας των μετρήσεων που πραγματοποιούνται. Καθώς η στάθμη του ρευστού αλλάζει, μεταβάλλεται η βρεχόμενη επιφάνεια του στοιχείου μετατόπισης και κατ' επέκταση η δύναμη άνωσης που ασκείται από το ρευστό, με αποτέλεσμα την κατακόρυφη κίνηση του στοιχείου μετατόπισης η οποία με τη σειρά της προκαλεί μετατόπιση, του ελατηρίου ή του βραχίονα. Αν για παράδειγμα η στάθμη αυξάνεται, το στοιχείο μετατόπισης βυθίζεται περισσότερο, εκτοπίζοντας μεγαλύτερο όγκο ρευστού, προκαλώντας δηλαδή μεγαλύτερη δύναμη άνωσης με αποτέλεσμα την συμπίεση του ελατηρίου ή τη μετακίνηση του βραχίονα προς τα επάνω. Η μετατόπιση του ελατηρίου μετράται με ένα διαφορικό μετασχηματιστή ενώ του βραχίονα μ' έναν μεταλλάκτη ροπής. Στην περίπτωση του παραδείγματος, το αισθητήριο μέσο, ελατήριο ή βραχίονας «αντιλαμβάνεται» ότι το στοιχείο μετατόπισης γίνεται πιο ελαφρύ.

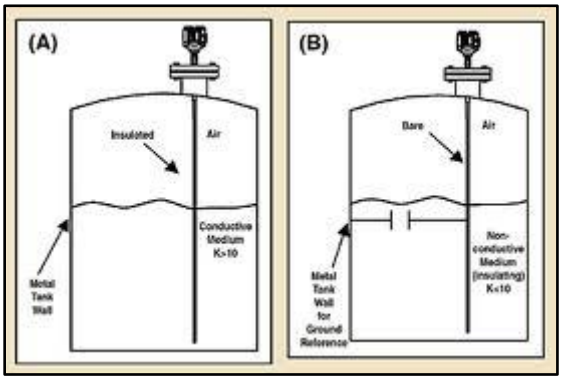
4.4.2.2. Όργανα διαφορικής πίεσης (differential pressure type)

Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στον υπολογισμό της υδροστατικής πίεσης. Ως γνωστόν η υδροστατική πίεση σε ένα σημείο κάτω από την επιφάνεια ενός ρευστού είναι ανάλογη της απόστασης του από αυτήν. Για την μέτρηση της στάθμης χρησιμοποιείται ένα όργανο μέτρησης διαφορικής πίεσης το οποίο τοποθετείται στον πυθμένα του δοχείου. Σε ένα ανοικτό δοχείο ή δοχείο που επικοινωνεί με την ατμόσφαιρα η στάθμη αντιστοιχεί στο υδροστατικό ύψος του πυθμένα και υπολογίζεται από τη διαφορά της πίεσης που επικρατεί στον πυθμένα του δοχείου με την ατμοσφαιρική. Στην περίπτωση κλειστής δεξαμενής με πίεση διαφορετική από την ατμοσφαιρική, η στάθμη της υπολο-

γίζεται μετρώντας την διαφορά πιέσεων ανάμεσα στον πυθμένα και στην κορυφή της. Ένα πρόβλημα που δημιουργείται σε ορισμένες περιπτώσεις είναι η συσσώρευση μπυκνωμάτων στην πλευρά του διαφράγματος που μετρά την πίεση στην κορυφή του δοχείου. Αυτό συμβαίνει καθώς οι μεταβολές της θερμοκρασίας προκαλούν την ση μορίων της επιφάνειας του ρευστού με αποτέλεσμα την δημιουργία συμπυκνωμάτων τα οποία συσσωρεύονται στο σημείο μέτρησης της πίεσης. Για την αποφυγή του φαινομένου αυτού το οποίο δημιουργεί σφάλμα μετρήσεων, χρησιμοποιείται δοχείο αποστράγγισης (drain pot). Στις εφαρμογές μέτρησης της στάθμης με όργανο διαφορικής πίεσης υπάρχουν δύο χαρακτηριστικές λειτουργίες των οργάνων που ενεργοποιούνται ανάλογα με την περίπτωση εγκατάστασης, μέσω προγραμματισμού. Η πρώτη με την ονομασία *υποβάθμιση του «μηδενός»* (zero suppression), η οποία εφαρμόζεται όταν το όργανο έχει εγκατασταθεί χαμηλότερα από τον πυθμένα του δοχείου ή όταν το ζητούμενο της μέτρησης είναι η πίεση στην κορυφή της δεξαμενής . Στην περίπτωση αυτή στην πλευρά του διαφράγματος για την υψηλή πίεση δεν ασκείται μόνο η πίεση του πυθμένα αλλά και η πίεση από το ρευστό που βρίσκεται μέσα στον σωλήνα επικοινωνίας του διαφράγματος με τον πυθμένα, αλλοιώνοντας την πραγματική μέτρηση. Με την λειτουργία αυτή το όργανο τείνει να αναιρέσει την πρόσθετη πίεση που ασκείται στην πλευρά της υψηλής πίεσης του διαφράγματος αφαιρώντας το υδροστατικό ύψος του σωλήνα. Η δεύτερη λειτουργία με την ονομασία *ανύψωση του μηδενός* (zero elevation) χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις εκείνες όπου ο σωλήνας επικοινωνίας του διαφράγματος με την κορυφή της δεξαμενής περιέχει, για λόγους προστασίας του διαφράγματος, κάποιο άλλο υγρό. Ουσιαστικά και στις δύο περιπτώσεις μέσω της κατάλληλης ρύθμισης αφαιρείται το εκάστοτε υδροστατικό ύψος του σωλήνα επικοινωνίας του οργάνου με το σημείο μέτρησης.[5]

4.4.2.3. Όργανα χωρητικής αντίστασης (capacitive devices)

Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στη μεταβολή της διηλεκτρικής σταθεράς του μονωτικού μέσου ενός πυκνωτή μεταβάλλοντας αντίστοιχα την χωρητικότητα του πυκνωτή. Χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της στάθμης σε υγρά και στερεά ή κοκκώδη υλικά. Παρουσιάζουν καλή συμπεριφορά για υλικά που βρίσκονται σε υψηλή θερμοκρασία όπως μέταλλα σε ρευστή μορφή, υγροποιημένα αέρια που βρίσκονται σε χαμηλή θερμοκρασία αλλά και διαβρωτικά υλικά. Δύο είναι οι χαρακτηριστικοί τύποι ανάλογα αν το μετρούμενο μέγεθος έρχεται σε επαφή με τον αισθητήρα ή όχι. Στη δεύτερη περίπτωση ο αισθητήρας αποτελείται από ομόκεντρους κυλίνδρους οι οποίοι εμβαπτίζονται στο μετρούμενο μέσο το οποίο παρουσιάζει διαφορετική διηλεκτρική συμπεριφορά μεταξύ



των κυλίνδρων ανάλογα με το βάθος. Το βάθος h που αντιστοιχεί στην στάθμη του δοχείου, σχετίζεται με τη χωρητικότητα C σύμφωνα με τον τύπο:

$$h = (C \cdot \log(R_2/R_1) - 2\pi\varepsilon_0)/(2\pi\varepsilon_0 \cdot (\varepsilon - 1)) \text{ ,όπου}$$

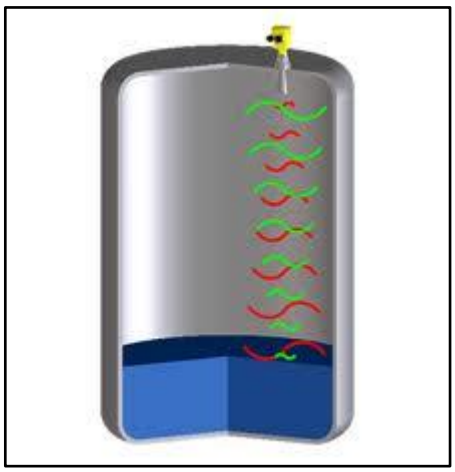
ε: η σχετική διαπερατότητα του μετρούμενου μεγέθους, ε_0: η διαπερατότητα του κενού, R_1: η ακτίνα του εσωτερικού κυλίνδρου, R_2: η ακτίνα του εξωτερικού κυλίνδρου Στην περίπτωση που το υλικό έρχεται σε επαφή με τον αισθητήρα τότε οι κύλινδροι του επικαλύπτονται από μονωτικό υλικό, ενώ η παραπάνω σχέση περιλαμβάνει και την επίδραση του μονωτικού υλικού. Η αβεβαιότητα των μετρήσεων κυμαίνεται από ±1% μέχρι ±2% της μέγιστης μετρούμενης κλίμακας.

- Από τα όργανα μέτρησης της στάθμης που κατά την μέτρηση της δεν έρχονται σε επαφή με το μετρούμενο μέσο οι κυριότεροι τύποι περιλαμβάνουν:

4.4.2.4. Όργανα μέτρησης στάθμης με υπέρηχους(ultrasonic level gauges)

Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στην μέτρηση του χρονικού διαστήματος που μεσολαβεί από την στιγμή της εκπομπής ενός ηχητικού σήματος μέχρι την λήψη του. Τα όργανα μέτρησης της στάθμης με υπερήχους αποτελούν την πιο ενδεδειγμένη λύση για τις περιπτώσεις που στο δοχείο βρίσκονται δύο μη αναμιγνυόμενα υγρά η σχηματίζεται ίζημα στον πυθμένα του. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται κατά την λειτουργία ως προς τις συνθήκες που επικρατούν καθώς ο χρόνος μετάδοσης του ηχητικού σήματος επηρεάζεται από την θερμοκρασία, γι' αυτό η αντιστάθμιση της θερμοκρασίας είναι απαραίτητη. Εφ' όσον εξασφαλιστούν οι κατάλληλες συνθήκες η αβεβαιότητα των μετρήσεων περιορίζεται στο ±1%.[11]

4.4.2.5. Όργανα μέτρησης στάθμης με μικροκύματα (radar type)



Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στην μέτρηση της διαφοράς φάσης εκπομπής και λήψης ενός σήματος μικροκυμάτων σταθερού πλάτους και διαμορφωμένης συχνότητας. Η διαφορά φάσης είναι ανάλογη προς τη στάθμη του υγρού. Χρησιμοποιείται για την μέτρηση της στάθμης σε κλειστές δεξαμενές όπου το περιεχόμενο βρίσκεται σε ειδικές συνθήκες. Αν και η αρχή λειτουργίας είναι παρόμοια με αυτή της συσκευής υπερήχων το συγκριτικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι ο χρόνος μετάδοσης δεν επηρεάζεται από τις συνθήκες που επικρατούν στην δεξαμενή.[11]

4.4.2.6. Όργανα μέτρησης στάθμης με ακτινοβολία (radiation type)

Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στην μέτρηση της ακτινοβολίας που εκπέμπει μια πηγή. Περιλαμβάνει μια συσκευή ακτινοβολίας και έναν δέκτη τα οποία τοποθετού-

νται έξω από την δεξαμενή μέτρησης. Ο πομπός τοποθετείται συνήθως στον πυθμένα και ο δέκτης στην πλευρά ή στην κορυφή του δοχείου. Η απορρόφηση της γ-ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται συνήθως, εξαρτάται από την ποσότητα του ρευστού που παρεμβάλλεται ανάμεσα στον πομπό και τον δέκτη. Η σχέση της ποσότητας ακτινοβολίας I που μετριέται κατά μήκος της απόστασης x, η οποία ενώνει την πηγή με τον δέκτη, περιγράφεται από τον τύπο:

$$I = I_0 \exp(-\mu \rho x), \text{ όπου}$$

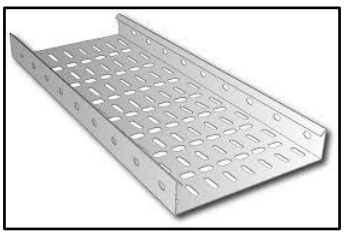
I_0 : η ποσότητα της ακτινοβολίας που θα ελάμβανε ο δέκτης αν δεν μεσολαβούσε το ρευστό, μ: ο συντελεστής απορρόφησης μάζας του υγρού και ρ η πυκνότητα του ρευστού. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι το όργανο μέτρησης τοποθετείται έξω από το δοχείο χωρίς να χρειάζεται κάποια ιδιαίτερη πρόβλεψη για την εγκατάσταση του, παρά μόνο ο καθορισμός του σημείου μετρήσεως. Η συσκευή χρησιμοποιείται τόσο για την μέτρηση υγρών κυρίως μετάλλων σε ρευστή κατάσταση, όσο και για την μέτρηση της στάθμης στερεών με ιδιαίτερη σύνθεση. Πρόκειται για την ακριβότερη από όλες τις μεθόδους καθώς πέρα από το υψηλό κόστος αγοράς του εξοπλισμού απαιτούνται πρόσθετες δαπάνες για τη διαχείριση του ραδιενεργού υλικού αλλά και πρόσθετα μέτρα για την ασφάλεια και την υγιεινή του προσωπικού. Για τους λόγους αυτούς τα όργανα μέτρησης της στάθμης με ακτινοβολία χρησιμοποιούνται σε πολύ εξειδικευμένες εφαρμογές.[11]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο : Οι δραστηριότητες εγκατάστασης των οργάνων πεδίου

5.1. Η εγκατάσταση των σχαρών όδευσης καλωδίων

5.1.1.Περιγραφή του εξοπλισμού

Οι σχάρες όδευσης καλωδίων (cable trays) χρησιμοποιούνται για την εγκατάσταση των καλωδίων οργάνων με σκοπό να τους παρέχουν πρόσθετη μηχανική προστασία κατά την όδευσή τους. Πρόκειται για ευθύγραμμα διαμορφωμένα μεταλλικά ελάσματα από χάλυβα ή κράματα αλουμινίου, ενιαία ή διάτρητα, ορθογωνικής διατομής με ανοικτή την πάνω πλευρά. Επίσης, διαδεδομένο είδος εξοπλισμού για την τοποθέτηση καλωδίων αποτελεί η «σκάλα ή σκαλιέρα καλωδίων» (cable ladder), το όνομα της οποίας παραπέμπει ευθέως στη μορφή της, με εφαρμογές κυρίως σε ηλεκτρολογικά έργα μέσης ή χαμηλής τάσης. Οι διαστάσεις τους ποικίλουν ανάλογα με την ποσότητα και το μέγεθος των καλωδίων που πρόκειται να τοποθετηθούν σε αυτές. Στις τυποποιημένες διαστάσεις που διατίθενται στο εμπόριο, το πλάτος των σχαρών κυμαίνεται από πενήντα χιλιοστά μέχρι ένα μέτρο, το ύψος πλευράς από πενήντα μέχρι εκατόν πενήντα χιλιοστά ενώ το μήκος ενός τεμαχίου είναι, συνήθως, τρία μέτρα. Για λόγους αντοχής σε διάβρωση οι σχάρες που κατασκευάζονται από έλασμα χάλυβα είναι γαλβανισμένες εν θερμώ.



5.1.2.Περιγραφή των εργασιών

Για την δημιουργία μιας διαδρομής σχάρας καλωδίων χρησιμοποιούνται ευθύγραμμα μέρη, συστήματα στήριξης και προκατασκευασμένα τεμάχια αλλαγής επιπέδου ή διεύθυνσης. Τα τεμάχια συνδέονται μεταξύ τους με μικρά διαμορφωμένα ελάσματα, τα οποία ονομάζονται «σύνδεσμοι», κατασκευασμένα από το ίδιο υλικό με την σχάρα και σχήμα όμοιο με την πλευρά της, ενώ στηρίζονται σε αυτή με περαστούς κοχλίες. Οι σχάρες τοποθετούνται πάνω σε μεταλλικούς προβόλους, στους οποίους στερεώνονται με περαστούς κοχλίες, ενώ οι πρόβολοι με την σειρά τους προσαρμόζονται σε διάτρητο διαμορφωμένο δοκό και τοποθετούνται είτε σε οπλισμένο σκυρόδεμα, όπου στερεώνονται με μεταλλικά βύσματα είτε σε μεταλλικές κατασκευές, όπου στερεώνονται με ειδικά άγκιστρα. Σε περιπτώσεις που απαιτείται ιδιαίτερη μέριμνα για την στήριξη των σχαρών κατασκευάζονται συγκολλητά στηρίγματα από διαμορφωμένο δοκό. Για τις αλλαγές επιπέδου ή τις αλλαγές κατεύθυνσης κατά την διαδρομή, όπως αναφέρθηκε, χρη-

σιμοποιούνται προκατασκευασμένα τεμάχια σχάρας, τα οποία εξασφαλίζουν εκτός από την μηχανική προστασία, την σωστή ακτίνα καμπυλότητας των καλωδίων. Οι εργασίες για την εγκατάσταση της σχάρας καλωδίων ολοκληρώνονται, αφού τοποθετηθούν σε αυτές τα καλώδια οργάνων, με την τοποθέτηση καλύμματος και την σύνδεση της με το δίκτυο για την ηλεκτρολογική «γείωσης προστασίας» του έργου. Το κάλυμμα είναι διαμορφωμένο έλασμα από υλικό όμοιο με αυτό της σχάρας που τοποθετείται στην ανοικτή πλευρά της ενώ στηρίζεται με ειδικούς κοχλίες ή ταινία (τσέρκι) από ανοξείδωτο ή γαλβανισμένο χάλυβα. Τα τμήματα και τα εξαρτήματα που αποτελούν την όδευση συνδέονται με το δίκτυο για την ηλεκτρολογική «γείωση προστασίας» παρέχοντας ασφάλεια σε περίπτωση διαρροής ηλεκτρικού ρεύματος.

5.1.3.Σχέδια και έγγραφα Διασφάλισης Ποιότητας

Οι διαδρομές όδευσης των σχαρών χαρακτηρίζονται ως:

κύριες όταν περιλαμβάνουν κατά κύριο λόγο καλώδια που μεταφέρουν σήματα από τα κουτιά διακλάδωσης προς τον θάλαμο ελέγχου

δευτερεύουσες όταν περιλαμβάνουν καλώδια από τα κουτιά διακλάδωσης προς τα ηλεκτρονικά όργανα πεδίου ή μεμονωμένες οδεύσεις καλωδίων.

Οι κύριες οδεύσεις των σχαρών καλωδίων απεικονίζονται στα σχέδια διάταξης σχαρών του έργου (cable tray layout), ακολουθούν συνήθως τις διαδρομές των σωληνώσεων (pipe ways), χρησιμοποιώντας την μεταλλική κατασκευή για την στήριξη τους (pipe rack) με αποτέλεσμα αρκετές φορές οι εργασίες εγκατάστασης να πραγματοποιούνται σε μεγάλο ύψος, αυξάνοντας τον συντελεστή δυσκολίας τους. Οι δευτερεύουσες οδεύσεις αποτελούν, κατά κανόνα, προϊόν επιτόπιας μελέτης κατά τη διάρκεια του έργου, καθώς εξαρτώνται από την ακριβή θέση του εξοπλισμού.

Με την ολοκλήρωση των εργασιών τοποθέτησης των σχαρών, πραγματοποιείται έλεγχος για την ορθή εγκατάσταση σύμφωνα με τα σχέδια και τις προδιαγραφές του έργου, την επαρκή στήριξη τους, την αποφυγή αιχμηρών σημείων για προστασία των καλωδίων κατά την εγκατάσταση τους, την γείωση και την διαθεσιμότητα πρόσθετου χώρου για μελλοντική χρήση. Τα αποτελέσματα καταγράφονται στην «αναφορά ελέγχου εγκατάστασης σχάρας» (Mechanical Completion Sheet-Cable Way), η οποία αποτελεί μέρος των εγγράφων Διασφάλισης Ποιότητας που απαιτούνται για την «Μηχανολογική αποπεράτωση» του έργου (Project Mechanical completion).

Ένα δείγμα της σχετικής αναφοράς ελέγχου παρουσιάζεται στη συνέχεια, η οποία όπως και όλα τα έγγραφα Διασφάλισης Ποιότητας για την «Μηχανολογική αποπεράτωση» που ακολουθούν, προέρχονται από το έργο που εξετάζεται στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

PREUSSAG NOELL	MECHANICAL COMPLETION SHEET	Identification
DEPA LNG TERMINAL - LNG Tanks Installations and Utility Systems (WBS 6.2.1.) - Contract No 120/94		Sheet type: INST 180
Manufacturer:	TAG:	Discipline: INSTRUMENT
Type.		Page 1 of 1
Serial Number:		System:
EQUIPMENT : CABLE WAY		Date:

	VERIFICATION	Code	Date	Remark
1	Installation according to location drawing			
2	Fixation			
3	Cable jacket protected from edge			
4	Paint touch up			
5	Earthing			
6	Cover			
7	Spare capacity			

Codes: *NA: Non applicable* ○ : *Checked/rejected* ● : *checked/accepted*

Comments:

WHESSOE LGA GAS TECHNOLOGY LTD	ENGINEER	OWNER
Name:	Name:	Name:
Date:	Date:	Date:
Signature:	Signature:	Signature:

Δελτίο αναφοράς εγκατάστασης σχάρας

5.2. Η εγκατάσταση των κουτιών διακλάδωσης

5.2.1.Περιγραφή του εξοπλισμού

Τα κουτιά διακλάδωσης (junction boxes) χρησιμοποιούνται για την συγκέντρωση των ηλεκτρικών σημάτων από τα όργανα του πεδίου, την ομαδοποίηση τους και την μεταφορά τους μέσω των καλωδίων στα πεδία αυτοματισμού. Πρόκειται για κουτιά κατασκευασμένα από κράματα αλουμινίου, ανοξείδωτο χάλυβα ή πολυεστέρα ενισχυμένο με ανθρακονήματα. Αποτελούνται από το πλαίσιο στήριξης στο εσωτερικό τους, κάλυμμα με κοχλίες από ανοξείδωτο χάλυβα και στεγανοποιητικό υλικό (φλάντζα) ώστε να επιτυγχάνεται πλήρης απομόνωση του εσωτερικού χώρου από το περιβάλλον. Οι διαστάσεις τους ποικίλουν ανάλογα με την ποσότητα των καλωδίων που περιέχουν, ενώ για τα μεταλλικά κουτιά ισχύει χρωματικός κώδικας ανάλογα με την κατηγορία σημάτων που περιέχουν. Τα κουτιά που περιέχουν σήματα *πραγματικής ασφάλειας* (intrinsically safe) έχουν γαλάζιο ή μπλε χρώμα ενώ αυτά που περιέχουν σήματα non intrinsically safe έχουν γκρι χρώμα. Στο εσωτερικό του κουτιού βρίσκεται το πλαίσιο στήριξης πάνω στο οποίο είναι εγκατεστημένη η ράγα στήριξης και οι κλέμμες σύνδεσης των αγωγών, οι οποίες ακολουθούν χρωματικό κώδικα όμοιο με το εξωτερικό περίβλημα εάν υπάρχει και η μπάρα για την σύνδεση της ηλεκτρολογικής «γείωσης προστασίας». Στη βάση του κουτιού υπάρχουν οπές στις οποίες τοποθετούνται οι στυπιοθλίπτες για την είσοδο των καλωδίων. Όπως όλες οι ηλεκτρικές ή ηλεκτρονικές συσκευές που λειτουργούν σε *επικίνδυνες περιοχές* (hazardous areas) έτσι και τα κουτιά διακλάδωσης πρέπει να πληρούν τις προδιαγραφές *αντιεκρηκτικής προστασίας* (explosion proof protection). Σύμφωνα με το ισχύον ευρωπαϊκό πρότυπο αντιεκρηκτικής προστασίας ATEX 100A, το οποίο αντικατέστησε τα παλαιότερα EN 50014:1997 και EN 60079-0, τα κουτιά διακλάδωσης για σήματα οργάνων πρέπει να ανήκουν στην κατηγορία Ex ia για εγκατάσταση στη *ζώνη μηδέν* ή ένα και Ex ib για εγκατάσταση στη *ζώνη ένα*. Επίσης πρέπει να διαθέτουν βαθμό προστασίας κατά επαφής και εισχώρησης στερεών σωματιδίων σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60529 το οποίο προβλέπει για την εγκατάσταση σε επικίνδυνη περιοχή, βαθμό προστασίας IP-65.

5.2.2.Περιγραφή των εργασιών

Τα κουτιά διακλάδωσης τοποθετούνται είτε μεμονωμένα είτε κατά ομάδες, σύμφωνα με την κατηγορία σημάτων, σε προκατασκευασμένα μεταλλικά πλαίσια από διαμορφωμένο δοκό. Το σημείο εγκατάστασης τους απεικονίζεται συνήθως στο σχέδιο απεικόνισης των σχαρών όδευσης καλωδίων.

5.2.3.Σχέδια και έγγραφα Διασφάλισης Ποιότητας

Μετά την σύνδεση των καλωδίων, πραγματοποιείται έλεγχος στα κουτιά διακλάδωσης ο οποίος αφορά την ορθή εγκατάσταση σύμφωνα με τα σχέδια και τις προδιαγραφές του έργου, την επαρκή στήριξη, την προστασία των καλωδίων, την γείωση, την διαθεσιμότητα πρόσθετου χώρου για μελλοντική χρήση και την ορθή σήμανση και σύνδεση των κλώνων των καλωδίων. Τα αποτελέσματα καταγράφονται στην «αναφορά ελέγχου για τα κουτιά διακλάδωσης» (Mechanical Completion Sheet-Junction Boxes) η οποία αποτελεί μέρος των εγγράφων Διασφάλισης Ποιότητας που απαιτούνται για την «Μηχανολογική αποπεράτωση» του έργου. Ένα δείγμα της σχετικής αναφοράς, παρουσιάζεται στη συνέχεια.

PREUSSAG NOBEL	MECHANICAL COMPLETION SHEET	Identification
DEPA LNG TERMINAL - LNG Tanks Installations and Utility Systems (WBS 6.2.1.) - Contract No 120/94		Sheet type: INST 181
Manufacturer:	TAG:	Discipline: INSTRUMENT
Type.		Page 1 of 1
Serial Number:		System:
EQUIPMENT :	JUNCTION BOX	Date:

	VERIFICATION	Code	Date	Remark
1	Installation according to location drawing			
2	Tagging			
3	Supporting			
4	Earthing			
5	Cable gland			
6	Cable tagging			
7	Associated individual cable tray			
8	Final visual checking			
9	Accessibility			
10	Conformity with terminal drawing			
11	Stability			

Codes: *NA: Non applicable* *o: Checked/rejected* *■: checked/accepted*

Comments:

WHESSOE LGA GAS TECHNOLOGY LTD	ENGINEER	OWNER
Name:	Name:	Name:
Date:	Date:	Date:
Signature:	Signature:	Signature:

Δελτίο αναφοράς εγκατάστασης κουτιών διακλάδωσης

5.3. Ο έλεγχος της βαθμονόμησης των οργάνων πεδίου

5.3.1.Περιγραφή των εργασιών

Ο έλεγχος βαθμονόμησης (calibration) των οργάνων πραγματοποιείται πριν από την εγκατάσταση τους στο πεδίο αφενός για να διαπιστωθεί η σωστή λειτουργία τους αφετέρου για να επιβεβαιωθεί η συμμόρφωση τους με τις προδιαγραφές και τα έγγραφα του έργου στο οποίο πρόκειται να χρησιμοποιηθούν. Για κάθε όργανο, κατά την μελέτη του έργου, εκδίδεται ένα φύλλο δεδομένων (data sheet) στο οποίο αναφέρονται όλα τα στοιχεία του, όπως το είδος και ο τύπος, η ονομασία του (tag number), η κλίμακα μέτρησης και οι μονάδες της, το υλικό κατασκευής, τα στατικά χαρακτηριστικά του και όποια πληροφορία κρίνεται απαραίτητη καθιστώντας έτσι κάθε όργανο μοναδικό. Τα ηλεκτρονικά όργανα ελέγχονται επιπλέον με την βοήθεια κατάλληλης συσκευής επικοινωνίας και ως προς τον προγραμματισμό των παραμέτρων τους. Η εργασία πραγματοποιείται σε διαμορφωμένο χώρο με σταθερές συνθήκες.

Η βαθμονόμηση των οργάνων ελέγχεται χρησιμοποιώντας πρότυπα όργανα ή πρότυπες μετρητικές συσκευές παράγοντας ακριβώς γνωστές τιμές του μετρούμενου μεγέθους. Κατά την διάρκεια του ελέγχου γίνεται άμεση σύγκριση των ενδείξεων του προτύπου και του προς έλεγχο οργάνου. Εκτός από τον έλεγχο της βαθμονόμησης, ελέγχεται η πλήρης συμμόρφωση του οργάνου με τα δεδομένα που αναφέρονται στο φύλλο δεδομένων του.

Τα όργανα ή οι συσκευές που χρησιμοποιούνται ως πρότυπα πρέπει να έχουν διακριτική ικανότητα μεγαλύτερη από αυτά που ελέγχονται μία τάξη μεγέθους κατ' ελάχιστο ενώ διαθέτουν πιστοποιητικό βαθμονόμησης από αναγνωρισμένο οργανισμό πιστοποιήσεων. Ανάλογα με το είδος του οργάνου που ελέγχεται και το μέγεθος που μετράται, χρησιμοποιείται ο κατάλληλος εξοπλισμός. Τα όργανα ελέγχονται στο 0 25%,50%,75% και 100% της κλίμακας τους κατά αύξουσα και φθίνουσα τάξη.

5.3.2.Περιγραφή του εξοπλισμού

5.3.2.1. Έλεγχος οργάνων πίεσης

Για τα όργανα πίεσης των οποίων η μέγιστη τιμή μέτρησης δεν ξεπερνά τα σαράντα bar, χρησιμοποιείται πεπιεσμένος αέρας ο οποίος παράγεται από μικρή φορητή χειροκίνητη αντλία (pneumatic hand held pump). Η συσκευή εκτός από την αντλία διαθέτει ψηφιακή οθόνη ενδείξεων, μικρομετρική ρύθμιση και βαλβίδα εκτόνωσης. Η μέτρηση της απόλυτης πίεσης πραγματοποιείται από παρόμοια αντλία η οποία έχει τη δυνατότητα δημιουργίας κενού.

Για υψηλότερες πιέσεις χρησιμοποιούνται αντλίες ελαίου, φιάλες αζώτου με ρυθμιστή ακριβείας σε συνδυα-

σμό με μανόμετρα ακριβείας ή συσκευές βασισμένες στην αρχή του «απόβαρου» (dead weight tester). Το όργανο που πρόκειται να ελεγχθεί συνδέεται με το πρότυπο όργανο μέσω δικτύου σωληνώσεως, έτσι ώστε να επιδρά η ίδια πίεση κατά τη διάρκεια της μέτρησης, δίνοντας την δυνατότητα σύγκρισης των τιμών και τη ρύθμιση του οργάνου σε περίπτωση που παρουσιάζεται απόκλιση από την τιμή του προτύπου.

5.3.2.2. Έλεγχος οργάνων θερμοκρασίας

Για τα όργανα θερμοκρασίας των οποίων η μέγιστη τιμή μέτρησης δεν ξεπερνά τους τετρακόσιους βαθμούς Κελσίου χρησιμοποιείται θερμότητα η οποία παράγεται από συσκευές ξηρής πλάκας (dry block calibrator), ενώ για υψηλότερες θερμοκρασίες χρη-

σιμοποιείται λουτρό ελαίου. Οι συσκευές διαθέτουν θερμοστάτη με την βοήθεια του οποίου επιτυγχάνεται η επιθυμητή θερμοκρασία του μέσου και υποδοχές για την τοποθέτηση των αισθητήρων. Για την μέτρηση της παραγόμενης τάσης από τα θερμοστοιχεία ή την μεταβολή της αντίστασης στα θερμόμετρα μεταβλητής αντίστασης χρησιμοποιείται φορητός βαθμονομητής (hand held calibrator) ο οποίος εμφανίζει στην οθόνη του την τιμή του μετρούμενου μεγέθους. Για τα τοπικά ενδεικτικά της θερμοκρασίας αρκεί η τοποθέτηση τους στην συσκευή θερμότητας και η σύγκριση της ένδειξης με αυτή του θερμοστάτη.

5.3.3.Έγγραφα Διασφάλισης Ποιότητας

Κατά τον έλεγχο της βαθμονόμησης οι τιμές των ενδείξεων του οργάνου σε σύγκριση με αυτές του προτύπου καταγράφονται στη αναφορά βαθμονόμησης (calibration sheet) η οποία αποτελεί μέρος των εγγράφων Διασφάλισης Ποιότητας που απαιτούνται για την «Μηχανολογική αποπεράτωση» του έργου.

Στην συνέχεια παρουσιάζεται ένα δείγμα για το φύλλο δεδομένων και την αναφορά βαθμονόμησης ενός οργάνου.

GENERAL	1	TAG NUMBER	06 LT -31303B	
	2	SERVICE	RECONDENSER	
	3	LOCATION / P&ID No.	O 3102	3106
	4	MOUNTING	BRACKET FOR 2" PIPE	
	5	AREA CLASSIFICATION	GROUP II B T3	
	6	CERTIFICATION	CENELEC - EEx ia II C T4	
	7	ENCLOSURE	IP 67	
PROCESS CONDITIONS	8	FLUID UPPER / STATE	NATURAL GAS	VAPOUR
	9	FLUID LOWER / STATE	LNG	LIQUID
	10	MAX.PRESS. / OPER.PRESS.	18.0 b G	7.0 b G
	11	MAX.TEMP. / OPER.TEMP.	- 130 °C	- 164 °C
	12	OPER.DENSIT.UPPER / LOWER	10.7 kg/m3	428 TO 478 kg/m3
	13			
TRANSMITTER	14	INSTRUMENT RANGE	-10000 TO 10000 mm H2O	
	15	CALIBRATION RANGE	0-2200 mm H2O	
	16	INSTRUMENT SPAN	200 TO 10000 mm H2O	
	17	ELEVATION / SUPPRESSION	N.A.	N.A.
	18	ALLOW.MAX.STATIC PRESS.	140 bar	
	19	ACCURACY	0.1 % OF SPAN	
	20	OUT SIGNAL / IMPEDANCE	4 / 20 mA	600 Ω
	21	POWER SUPPLY / CONSUMPT.	24 V-DC	0.48 W AT 20 mA
	22	ELEMENT TYPE / MATERIAL	DIAPHRAGM	HASTELLOY C 276
	23	BODY MAT. / BODY RATING	JIS SCS 14A (CF 8M)	SEE LINE 18
	24	PROCESS FLG.RATING/MAT.	N.A.	
	25	WETTED O-RING MATERIAL		
	26	FILL FLUID	STD MANUFACTURER	
	27	BOLTS / HOUSING	STAINLESS STEEL	CAST ALU ALLOY
	28	PAINTING	EPOXY BACKED COATING	
	29	PROC. CONN. / ELEC. CONN.	1/2" F-NPT	1/2" F-NPT
	30	VENT/DRAIN CON.TYPE / QTY	1/2" & 1/4" F-NPT	2 + 2
	31	ALLOWABLE AMBIENT TEMP.	- 40 TO + 60 °C	
	32			
DIAPHRAGM SEAL	33	PROCESS CONN. & RATING	N.A.	
	34	DIAPHRAGM MATERIAL	N.A.	
	35	BODY MATERIAL	N.A.	
	36	FILL FLUID TYPE / DENSITY	N.A.	N.A.
	37	CAP. TYPE / CAP. LENGTH	N.A.	N.A.
	38	CAPILLARY MATERIAL	N.A.	
	39	CAP.ARMOUR TYPE/MATER.	N.A.	
	40	WASH.RING TYPE/MATERIAL	N.A.	
	41	FLUSH.CONNECT.TYPE/QTY	N.A.	
OPTIONS	42	ASSOCIAT.INDIC. / SCALE	INTEGRATED LCD	0 - 100% LINEAR
	43	CLEANING	N.A.	
	44	MOUNTING BRACKET	REQUIRED FOR 2" PIPE	
	45	VENT/DRAIN PLUGS	2 - 1/4" M-NPT ST. STEEL VENT VALVES	
	46	ELECT. CABLE GLAND	REQ. FOR 1/2" F-NPT NICKEL PLATED BRASS	
COMMUNICAT. AND SOFTWARE	47	COMMUNICATION TYPE	F S K	
	48	BAUD RATE	1 = 0 Hz / 0 = 2.4 kHz	
	49	COMMUNICATION WITH	DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM	
	50	CONFIGURATION FROM	LOCAL & REMOTE	
	51	INTERNAL DIAGNOSTICS	REQUIRED	
PURCHASE	52	MANUFACTURER	YOKOGAWA	
	53	MODEL	EJA 110 DMS4B 92DA X1 T02 KS1 +PE	
	54	REQUISITION & ITEM No	U.3000.J.GE.1103 / I 023	

NOTES:

NO	BY	DATE	REVISION
2	YME	06.08.98	FOR APPLICATION
1	YME	24.01.97	UP DATED
0	DBD	27.08.96	UP DAT.FOR ORDER

INSTRUMENT SPECIFICATION
SMART LEVEL DIF.P.TRANSM

LNG TERMINAL
PROJECT:DEPA PROCESS — SHEET 17 OF

CODE:472 | DWG. NO.:INS 10.04 01103 | REV. 2

Φύλλο δεδομένων οργάνου

PREUSSAG NOBELL	MECHANICAL COMPLETION SHEET	Identification
DEPA LNG TERMINAL – LNG Tanks installations and Utility Systems (WBS 6.2.1.) - Contract No 120/94		Sheet type : INST 201
Manufacturer:	TAG:	Discipline : INSTRUMENT
Type.		Page : 1 of 1
Serial Number:		System:
EQUIPMENT :	GAUGE CALIBRATION SHEET	Date:

Accuracy [%] Span range [ ]

INPUT		OUTPUT				
		RISING			FALLING	
%	VALUE	THEORIC	VALUE	DEVIATION (%)	VALUE	DEVIATION (%)
0						
25						
50						
75						
100						

Codes NA: Non applicable ○ : checked /rejected ● : checked /accepted

Comments:

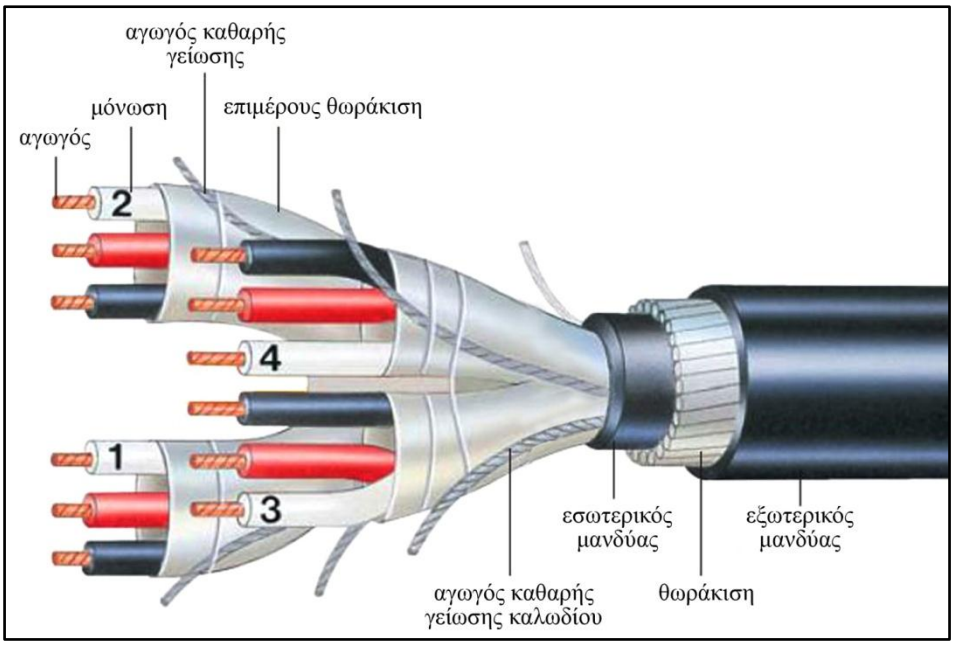
WHESSOE LGA GAS TECHNOLOGY LTD	ENGINEER	OWNER
Name:	Name:	Name:
Date:	Date:	Date:
Signature:	Signature:	Signature:

Δελτίο αναφοράς βαθμονόμησης

5.4. Η εγκατάσταση των καλωδίων οργάνων

5.4.1.Περιγραφή του εξοπλισμού

Τα καλώδια οργάνων χρησιμοποιούνται για την μεταφορά των ηλεκτρικών σημάτων. Αποτελούνται από τον εξωτερικό μανδύα, την θωράκιση ή μηχανική προστασία, τον εσωτερικό μανδύα, τον αγωγό καθαρής γείωσης και ένα ή περισσότερα συνεστραμμένα αριθμημένα ζεύγη ή τριάδες αγωγών διατεταγμένα σε ομόκεντρες στοιβάδες. Σύμφωνα με το πρότυπο EN-50288-7 αποτελούνται από ένα (single cable), τέσσερα, έξι, δώδεκα ή είκοσι τέσσερα (multi cable) συνεστραμμένα ζεύγη ή τριάδες καλωδίων. Ο



αριθμός των ζευγών ή τον κλώνων που αποτελούν το καλώδιο χαρακτηρίζει το καλώδιο ως ενός ζεύγους, δύο ζευγών ή κλώνων, έξι ζευγών ή κλώνων κ.λ.π.

Η συστροφή των ζευγών είναι απαραίτητη για την μείωση του ηλεκτρικού θορύβου στα ηλεκτρικά κυκλώματα γι' αυτό σε πολλές περιπτώσεις πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο αριθμός των συστροφών κατά μήκος του καλωδίου.

Ο εξωτερικός μανδύας του καλωδίου χρησιμοποιείται για την ηλεκτρική μόνωση και την προστασία των υπολοίπων στοιχείων από διαβρωτικά στοιχεία και τις συνθήκες περιβάλλοντος. Κατασκευάζεται κατά κανόνα από θερμοπλαστικά ή θερμοσκληρυντικά υλικά. Στην πρώτη κατηγορία περιλαμβάνονται υλικά όπως το πολυαιθυλένιο, απλό (PE) ή υψηλής πυκνότητας (HDPE), το χλωριούχο πολυβινύλιο (PVC), το χλωριούχο πολυβινύλιο ανθεκτικό σε υδρογονάνθρακες (PVC RH) ή υλικά ελεύθερα αλογόνου. Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν πιο ανθεκτικά υλικά όπως το ενισχυμένο πολυαιθυλένιο (XLPE) και το ελαστικό με σιλικόνη.

Βασικό κριτήριο για την επιλογή του εξωτερικού μανδύα αποτελεί η συμπεριφορά του κατά την καύση, η οποία χαρακτηρίζει ολόκληρο το καλώδιο. Ένα καλώδιο, ανάλογα με την περιοχή που πρόκειται να εγκατασταθεί, μπορεί να είναι:

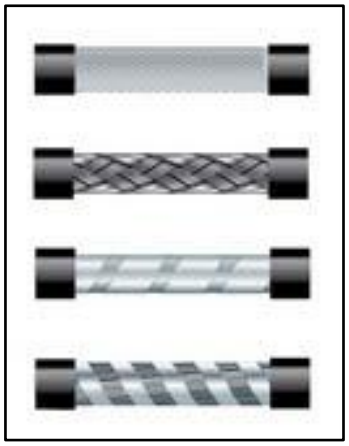
- ανθεκτικό σε φωτιά (fire resistant), σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60331
- επιβραδυντικό σε φωτιά (fire retardant), σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60332-3
- επιβραδυντικό σε φλόγα (flame retardant), σύμφωνα με το πρότυπο IEC 6033211

Το πάχος του εξωτερικού μανδύα καθορίζεται από το πρότυπο BS 5308[7] και εξαρτάται από τον αριθμό των ζευγών του καλωδίου.

Ένα ακόμη κριτήριο αποτελεί η συμπεριφορά του μανδύα κατά την καύση ως προς την έκκληση αερίων, οπότε το καλώδιο χαρακτηρίζεται:

- ελεύθερο αλογόνου (halogen free), σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60754-1
- χαμηλής έκκλησης καπνού (low smoke emission), σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61034-1&2

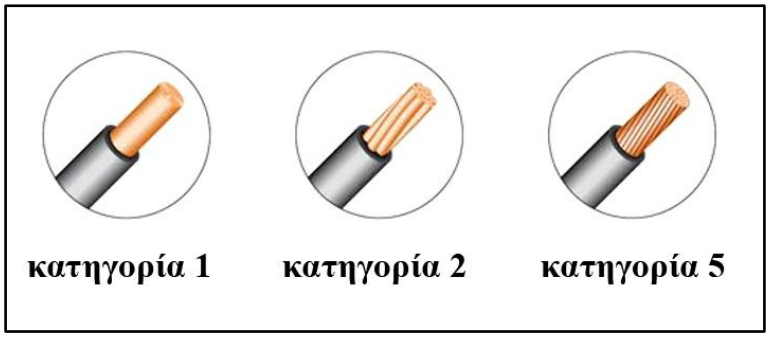
Το χρώμα του εξωτερικού μανδύα επιλέγεται σύμφωνα με το είδος των σημάτων που μεταφέρονται. Έτσι τα καλώδια για σήματα intrinsically safe έχουν χρώμα γαλάζιο ή μπλε, για σήματα non intrinsically safe έχουν γκρι ή μαύρο ενώ τα καλώδια που μεταφέρουν ενδείξεις θερμοκρασίας ακολουθούν τον χρωματικό κώδικα που περιγράφηκε κατά την παρουσίαση των οργάνων θερμοκρασίας.



Η θωράκιση χρησιμοποιείται για να παρέχει στο καλώδιο μηχανική προστασία από καταπονήσεις, όπως για παράδειγμα εφελκυστικά φορτία, που μπορεί ν' αναπτυχθούν κατά την διάρκεια της λειτουργίας, για προστασία από ενδεχόμενη πτώση αντικειμένων από ατύχημα ή για να εξασφαλίζει την απαραίτητη ακτίνα καμπυλότητας κατά την εγκατάσταση. Αποτελείται από γαλβανισμένα χαλύβδινα συρματίδια, μεταλλική ταινία ή πλέγμα το οποίο περιβάλλει ελικοειδώς τον εσωτερικό μανδύα του καλωδίου.

Ο εσωτερικός μανδύας των καλωδίων χρησιμοποιείται για την προστασία των ζευγών από τα συρματίδια της θωράκισης και διέπεται από τους ίδιους κανόνες με τον εξωτερικό μανδύα.

Οι αγωγοί, ή «κλώνοι», των καλωδίων αποτελούν το μέσο μεταφοράς του σήματος. Περιβάλλονται από μονωτικό μανδύα και κατασκευάζονται από ανοπτημένο χαλκό ή αλουμίνιο αν πρόκειται για μεταφορά σήματος ή από κράματα μετάλλων αν πρόκειται για καλώδια θερμοκρασίας. Σύμφωνα με τα πρότυπο EN 60288 υπάρχουν τρία είδη αγωγών που επιλέγονται ανάλογα την εφαρμογή:



- κατηγορία 1: *συμπαγής αγωγός* (solid) για μόνιμη εγκατάσταση ή σύνδεση με ακροδέκτες.

- κατηγορία 2: *αγωγός από συνεστραμμένα συρματίδια* (stranded) για εγκατάσταση σε περιβάλλον με διαβρωτικά υλικά ή όταν απαιτείται σύνδεση με ψυχρή κόλληση.

- κατηγορία 5: *εύκαμπτος αγωγός* (flexible) με λεπτά συρματίδια για τις περιπτώσεις όπου υπάρχει εξοπλισμός με έντονους κραδασμούς ή όταν κατά την εγκατάσταση του καλωδίου απαιτείται μικρότερη ακτίνα καμπυλότητας από την προβλεπόμενη.

Η επιφάνεια της διατομής των αγωγών σύμφωνα με το πρότυπο EN-50288-7 είναι 0,5-0,75-1,0 ή 1,5 mm^2. Το πρότυπο BS 5308 καθορίζει τα επιτρεπτά όρια των τιμών της αντίστασης των αγωγών και της αμοιβαίας χωρητικότητας τους. [16]

Το κάθε ζεύγος ή τριάδα αγωγών περιβάλλεται από λεπτό φύλλο αλουμινίου ή πλαστικό με σκοπό την διατήρηση της συστροφής του ζεύγους, την προστασία του σήματος από τον «ηλεκτρικό θόρυβο» αλλά και την αλληλεπίδραση των σημάτων που μεταφέρει, αποτελώντας την εσωτερική θωράκιση του καλωδίου. Σε πολλές περιπτώσεις αντίστοιχο φύλλο θωράκισης υπάρχει στην εξωτερική στοιβάδα των ζευγών του καλωδίου. Ανάλογα με την εφαρμογή που χρησιμοποιείται ένα ζεύγος μπορεί να έχει αγωγό καθαρής γείωσης (individual shield).

Για την αποθήκευση και την μεταφορά τους τα καλώδια περιτυλίσσονται σε ξύλινα στροφεία.

5.4.2.Περιγραφή των εργασιών

Τα καλώδια τοποθετούνται χειρονακτικά χρησιμοποιώντας ράουλα στις σχάρες καλωδίων, μέσα σε ηλεκτρολογικούς σωλήνες (conduits) αν πρόκειται για υπέργεια εγκατάσταση ή σε διαμορφωμένα κανάλια από σκυρόδεμα όπου σκεπάζονται με άμμο αν πρόκειται για εγκατάσταση στο έδαφος. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στην ομαδοποίηση τους ανά κατηγορία σημάτων και την τήρηση των προβλεπομένων αποστάσεων μεταξύ των ομάδων σημάτων. Την εγκατάσταση των καλωδίων σε σχάρες ή σε κανάλια ακολουθεί ο ευθετισμός κατά μήκος της όδευσης τους, η στερέωση τους εφόσον πρόκειται για εγκατάσταση σε σχάρα και η τοποθέτηση σήμανσης ανά τακτά διαστήματα.

Για την στερέωση των καλωδίων στις σχάρες χρησιμοποιούνται «δεματικά» ενώ η σήμανση των καλωδίων γίνεται με πλαστικές λωρίδες πάνω στις οποίες τοποθετούνται φορετά στοιχεία τα οποία σχηματίζουν επιθυμητό κείμενο.

5.4.3.Σχέδια και έγγραφα Διασφάλισης Ποιότητας

Με την ολοκλήρωση των εργασιών τοποθέτησης των καλωδίων πραγματοποιείται έλεγχος για να διαπιστωθεί η κατάσταση της μόνωσης τους. Σύμφωνα με το πρότυπο BS 5308 εφαρμόζεται τάση χιλίων Volt συνεχούς ρεύματος, συχνότητας από σαράντα μέχρι εξήντα δύο Hertz, για χρονικό διάστημα ενός λεπτού. Η τάση εφαρμόζεται διαδοχικά μεταξύ του οπλισμού μηχανικής προστασίας και κάθε αγωγού ξεχωριστά, μεταξύ του οπλισμού μηχανικής προστασίας και του αγωγού καθαρής γείωσης και τέλος μεταξύ του αγωγού καθαρής γείωσης και κάθε αγωγού ξεχωριστά.

Τα αποτελέσματα των ελέγχων καταγράφονται στην αναφορά ελέγχου μονώσεως (insulation test report) η οποία αποτελεί μέρος των εγγράφων Διασφάλισης Ποιότητας που απαιτούνται για την «Μηχανολογική αποπεράτωση» του έργου.

Οι διαδρομές όδευσης των καλωδίων περιλαμβάνονται στα αντίστοιχα σχέδια όδευσης των σχαρών ενώ πολλές φορές απεικονίζονται σε αυτά λεπτομέρειες για την ακριβή διάταξη τους. Όλα τα καλώδια του έργου αναφέρονται στον «κατάλογο καλωδίων οργάνων» του έργου (instrument cable list) ένα από τα σημαντικότερα έγγραφα καθώς περιλαμβάνει πληροφορίες για τον τόπο έναρξης και προορισμού της όδευσης, το μήκος του, τον αριθμό των ζευγών του, το είδος των σημάτων που μεταφέρονται, τον τύπο του καλωδίου μαζί με διάφορα άλλα λειτουργικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του.

PREUSSAG NOELL	MECHANICAL COMPLETION SHEET	Identification
DEPA LNG TERMINAL - LNG Tanks Installations and Utility Systems (WBS 6.2.1.) - Contract No 120/94		Sheet type: INST 391
Manufacturer:	TAG:	Discipline: INSTRUMENT
Type.		Page 1 of 3
Serial Number:		System:
EQUIPMENT :	CABLE INSULATION	Date:

PAIR CABLE		
TIERCE CABLE		
QUARTE CABLE		

WIRE 1	B Bleu		Black		Red	
WIRE 2	L Bleu		White		White	
WIRE 3	Yellow		Yellow		Yellow	
WIRE 4	Green		Green		Green	

ASSEMBLY	COLOR	CODE
1		

WIRE/SCREEN	
WIRE/ WIRE	

SCREEN/SCREEN	
SCREEN/ ARMOUR	

MINIMUM INSULATION LEVEL REQUESTED : 2 Mohms

Codes: *NA: Non applicable* ○: *Checkedl/ rejected* ● : *checked / accepted*

Comments:

WHESSOE LGA GAS TECHNOLOGY LTD	ENGINEER	OWNER
Name:	Name:	Name:
Date:	Date:	Date:
Signature:	Signature:	Signature:

Δελτίο αναφοράς ελέγχου μόνωσης καλωδίου

5.5. Οι εργασίες της τοποθέτησης των οργάνων

5.5.1.Περιγραφή των εργασιών

Οι δραστηριότητες τοποθέτησης οργάνων περιλαμβάνουν μια σειρά από εργασίες που προηγούνται ή έπονται της εγκατάστασης του ίδιου του οργάνου καθώς πολλά όργανα απαιτείται να εγκατασταθούν σε στήριγμα (instrument support ή stand) ή μετά την εγκατάσταση τους, απαιτείται ανοξείδωτος σωλήνας (impulse line ή process tube) για την επαφή με το μετρούμενο μέγεθος ή απαιτείται παροχή πεπιεσμένου αέρα (air supply) για τη λειτουργία τους ενώ άλλα τοποθετούνται απ' ευθείας στον εξοπλισμό.

Οι θέσεις των οργάνων παρουσιάζονται στο σχέδιο με τη γενική διάταξη οργάνων (instrument plot plan). Τα σημεία σύνδεσης προσδιορίζονται με την βοήθεια των υψομετρικών σχεδίων που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των δικτύων σωληνώσεων και των αναλυτικών σχεδίων για τον εξοπλισμό. Η επιλογή του σημείου εγκατάστασης ενός οργάνου πρέπει να ικανοποιεί δύο συνθήκες: την εύκολη πρόσβαση σε αυτό και φυσικά να επιτρέπει την ανάγνωση των ενδείξεων του ιδιαίτερα αν πρόκειται για τοπικό ενδεικτικό όργανο. Όλα τα όργανα περιλαμβάνονται στον «κατάλογο οργάνων» του έργου (instrument list) που αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα έγγραφα καθώς περιλαμβάνει πληροφορίες για την περιοχή και τον εξοπλισμό που τοποθετείται το όργανο, την κατηγορία στην οποία ανήκει, την κλίμακα και της μονάδες μέτρησης του μαζί με διάφορα άλλα λειτουργικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του.

Τα όργανα πεδίου χωρίζονται σε δύο κατηγορίες με βάση τον τρόπο που τοποθετούνται.[5]

όργανα γραμμής (line mounted) είναι εκείνα που τοποθετούνται απ' ευθείας στη γραμμή με το μετρούμενο μέγεθος και

όργανα βάσης (pedestal mounting) είναι εκείνα που τοποθετούνται σε στήριγμα με βάση σε κάποια απόσταση από τη γραμμή.

Σαν *γραμμή* εννοείται ο μηχανολογικός σωλήνας τον οποίο διαρρέει το μετρούμενο μέγεθος.

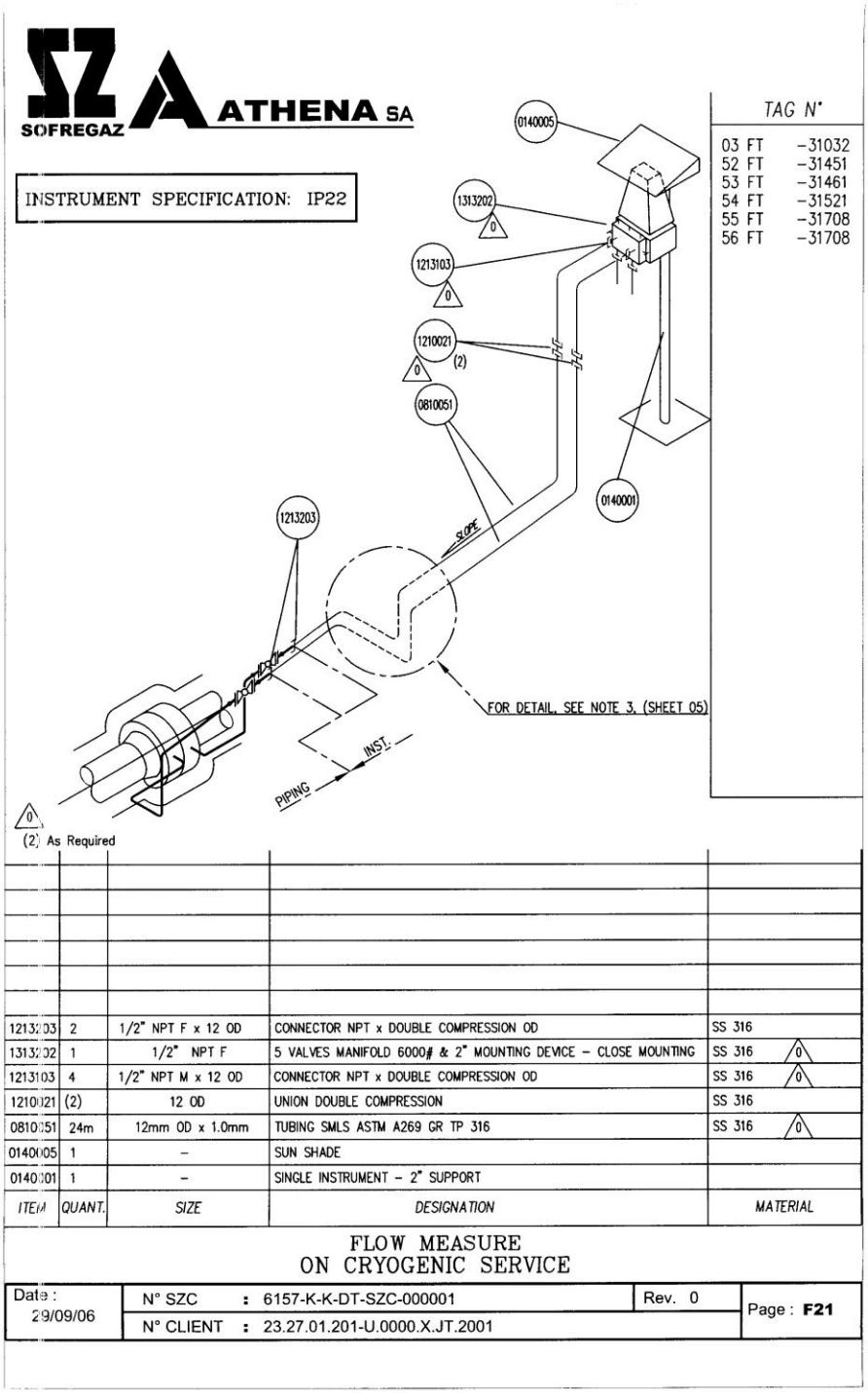
Τα όργανα γραμμής τοποθετούνται είτε διακόπτοντας την όπως συμβαίνει με τα ροόμετρα είτε ενσωματώνονται σε αυτή με φλάντζες όπως τα θερμοστοιχεία ή τα τοπικά ενδεικτικά θερμοκρασίας είτε τοποθετούνται δίπλα ή επάνω από τη γραμμή, όπως συμβαίνει με τα τοπικά ενδεικτικά για την πίεση. Στην τελευταία περίπτωση στο σημείο σύνδεσης του οργάνου με την γραμμή, το οποίο ονομάζεται και «σημείο λήψης» (connection ή tapping point), τοποθετείται πάντοτε βάνα απομόνωσης ειδικού τύπου (needle valve) για ενδεχόμενη εξάρμωση σε περίπτωση βλάβης ή συντήρησης. Στη βάνα απομόνωσης προσαρμόζεται εξάρτημα στο οποίο συνδέεται ο σωλήνας από ανοξείδωτο χάλυβα για την μεταφορά του μετρούμενου μεγέθους στον αισθητήρα του οργάνου.

Για την εγκατάσταση των οργάνων βάσης κατασκευάζεται στήριγμα από σωλήνα διαμέτρου δύο ιντσών με τετραγωνικό έλασμα σαν βάση για την στήριξη του και κυκλικό έλασμα για κάλυμμα του σωλήνα στο άνω άκρο του. Τα τεμάχια που το αποτελούν συγκολλούνται μεταξύ τους ενώ το υλικό κατασκευής είναι χάλυβας βαμμένος ή γαλβανισμένος εν θερμώ. Για την στήριξη του χρησιμοποιούνται μεταλλικά βύσματα αν πρόκειται να εγκατασταθεί σε βάση από οπλισμένο σκυρόδεμα ή περαστοί κοχλίες αν πρόκειται να εγκατασταθεί σε μεταλλική κατασκευή οπότε συγκολλούνται πρόσθετα μεταλλικά στηρίγματα στην κατασκευή πάνω στα οποία στερεώνεται το στήριγμα. Για την προστασία των οργάνων από τον ήλιο τοποθετούνται μεταλλικά σκέπαστρα. Η θέση που τοποθετείται το στήριγμα και κατ' επέκταση το όργανο καθορίζεται από την κατάσταση του μετρούμενου μεγέθους. Αν το μετρούμενο μέγεθος είναι υγρό ή ατμός το όργανο τοποθετείται κάτω από την γραμμή ενώ αν είναι αέριο τοποθετείται πάνω από τη γραμμή.

Την τοποθέτηση του οργάνου βάσης ακολουθεί η εγκατάσταση ανοξείδωτου σωλήνα στα όργανα που απαιτείται. Ο ανοξείδωτος σωλήνας χρησιμοποιείται για την επικοινωνία του αισθητήρα με το μετρούμενο μέγεθος κυρίως στα όργανα που μετρούν πίεση, διαφορά πίεσης, ροή ή στάθμη με την αρχή της διαφοράς πίεσης. Πρόκειται για σωλήνα από ανοξείδωτο χάλυβα με ονομαστική διάμετρο από έξι έως δέκα χιλιοστά ο οποίος τοποθετείται από το όργανο μέχρι το σημείο λήψης. Εκτός από τον σωλήνα χρησιμοποιούνται και ειδικά εξαρτήματα συμπιεστού τύπου (compression type) για την σύνδεση στη βάνα απομόνωσης (male connectors), τη σύνδεση των τμημάτων του σωλήνα (unions) ή τη διακλάδωση τους (tee unions) ενώ οι αλλαγές κατεύθυνσης ή επιπέδου πραγματοποιούνται με την βοήθεια χειροκίνητης συσκευής κάμψης (κουρμπαδόρου). Τα εξαρτήματα διαθέτουν δύο κωνικούς δακτυλίους (twin ferrules) οι οποίοι κατά την περιστροφή του εξωτερικού περικοχλίου δια της συμπιέσεως των δακτυλίων στον σωλήνα επιτυγχάνουν την πλήρη εφαρμογή του στο εξάρτημα και κατ' επέκταση πλήρη στεγανότητα. Στη βάση του οργάνου τοποθετείται πολλαπλή βάνα (manifold valve) στην οποία συνδέεται από την μία πλευρά ο ανοξείδωτος σωλήνας ενώ η άλλη επικοινωνεί απ' ευθείας με το όργανο επιτρέποντας την απομόνωση και την εξάρμωση του σε περίπτωση βλάβης ή συντήρησης. Η πολλαπλή βάνα επιτρέπει επίσης την απομόνωση της πίεσης γραμμής βοηθώντας στην επιτόπια επιβεβαίωση της βαθμονόμησης του οργάνου στη θέση του μηδενός. Για την στήριξη του σωλήνα χρησιμοποιούνται στηρίγματα από PVC τα οποία τοποθετούνται σε μεταλλικά ελάσματα.

5.4.2.Σχέδια και έγγραφα Διασφάλισης Ποιότητας

Οι λεπτομέρειες για τον τρόπο όδευσης του ανοξείδωτου σωλήνα και τη διάταξη των απαιτούμενων εξαρτημάτων ανά είδος και ποσότητα, από το σημείο λήψης μέχρι το σημείο εγκατάστασης του οργάνου, απεικονίζονται για κάθε όργανο στα σχέδια σύνδεσης (hook up drawings) του έργου, δείγμα του οποίου παρουσιάζεται στην συνέχεια.



Σχέδιο process hook up

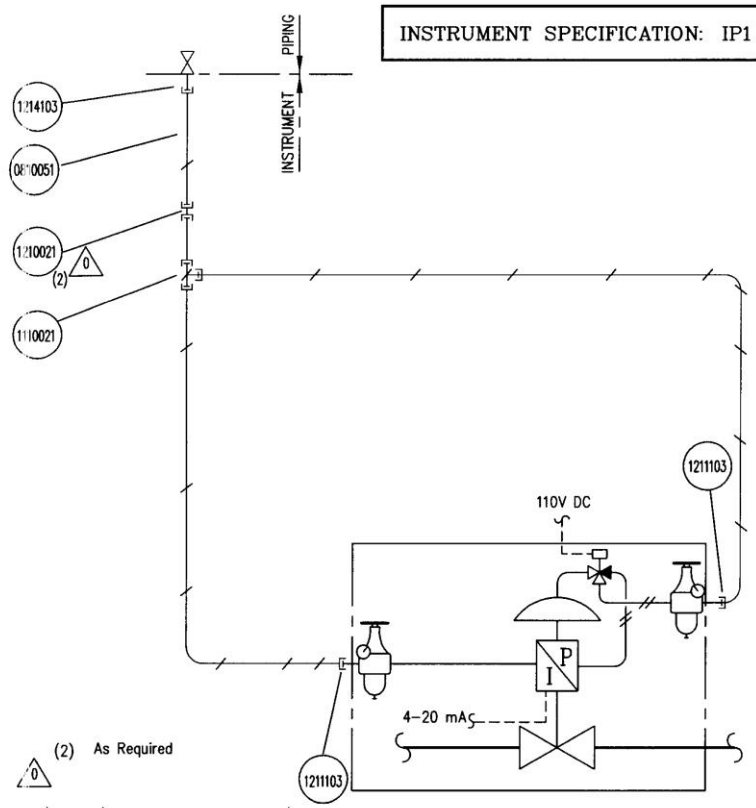
Για την τροφοδοσία των πνευματικών οργάνων κατασκευάζεται δίκτυο για την παροχή πεπιεσμένου αέρα. Το «δίκτυο αέρα οργάνων» όπως ονομάζεται, αποτελείται από την κύρια και τις δευτερεύουσες οδεύσεις.

Η κύρια όδευση κατασκευάζεται από σωλήνα βαρέως τύπου άνευ ραφής γαλβανισμένο εν θερμώ. Εκτός από τον σωλήνα χρησιμοποιούνται εξαρτήματα όπως σύνδεσμοι, γωνίες, και διασταυρώσεις τα οποία δημιουργούν δίκτυο. Σε τακτά διαστήματα τοποθετούνται διακλαδωτές (colecteur) όπου συνδέονται οι δευτερεύουσες οδεύσεις. Οι δευτερεύουσες οδεύσεις κατασκευάζονται από ανοξείδωτο σωλήνα ή χάλκινο επενδεδυμένο με ελαστικό μανδύα και εξαρτήματα συμπιέσεως (compression type). Τόσο για την κύρια όσο και για δευτερεύουσα όδευση χρησιμοποιούνται στηρίγματα από διαμορφωμένο δοκό τα οποία συγκολλούνται στην μεταλλική κατασκευή. Οι λεπτομέρειες για την εγκατάσταση του σωλήνα απεικονίζονται για κάθε όργανο στα σχέδια σύνδεσης (air supply hook up drawings) του έργου, δείγμα των οποίων παρουσιάζεται στη συνέχεια, μαζί με τις ποσότητες των εξαρτημάτων ανά είδος, από τον διακλαδωτή μέχρι το όργανο. Οι οδεύσεις αποτελούν αντικείμενο επιτόπιας μελέτης που πραγματοποιείται στη διάρκεια του έργου.

SOFREGAZ ATHENA SA

INSTRUMENT SPECIFICATION: IP1

TAG N°
52 FV -31451
53 FV -31461



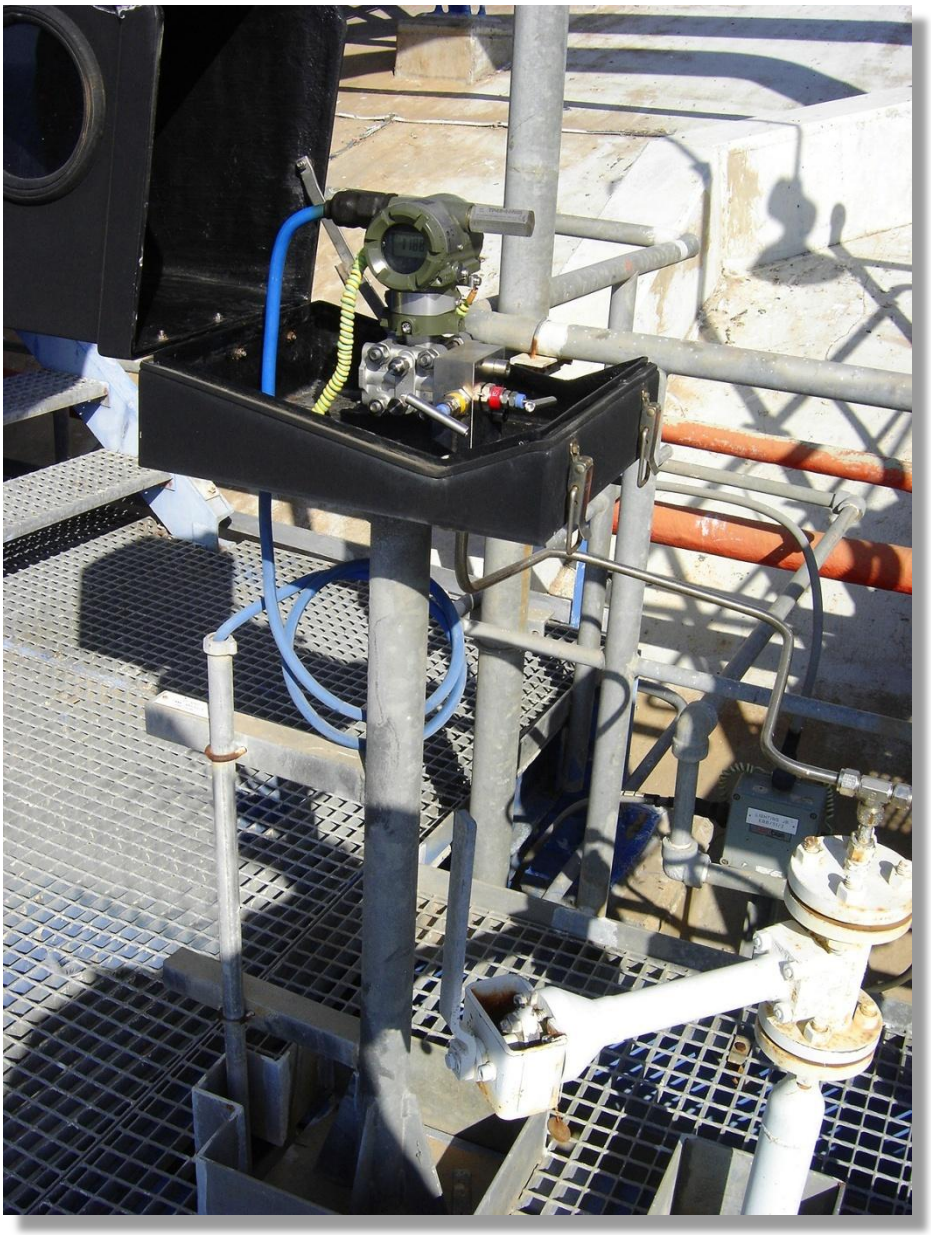
ITEM	QUANT.	SIZE	DESIGNATION	MATERIAL
1214103	1	3/4" NPT M x 12 OD	CONNECTOR NPT x DOUBLE COMPRESSION OD	SS 316
1211103	2	1/4" NPT M x 12 OD	CONNECTOR NPT x DOUBLE COMPRESSION OD	SS 316
1210021	(2)	12 OD	UNION DOUBLE COMPRESSION	SS 316
1110021	1	12 OD	TEE DOUBLE COMPRESSION	SS 316
0810051	15m	12mm OD x 1.0mm	TUBING SMLS ASTM A269 GR TP 316	SS 316

AIR SUPPLY
ON CONTROL VALVES

Date : 29/09/06	N° SZC : 6157-K-K-DT-SZC-000001	Rev. 0	Page : **AI22**
	N° CLIENT : 23.27.01.201-U.0000.X.JT.2001		

Hook up air supply

Με την ολοκλήρωση των εργασιών εγκατάστασης πραγματοποιείται έλεγχος διαρροής στα δίκτυα των σωληνώσεων. Ο έλεγχος πραγματοποιείται με δύο τρόπους. Ο πρώτος είναι με την παροχή στο σωλήνα νερού πίεσης μεγαλύτερης από αυτήν της μέγιστης λειτουργίας (υδραυλική δοκιμή) και τη διερεύνηση τυχόν διαρροών στα σημεία συναρμογής σωληνώσεων και εξαρτημάτων με την εφαρμογή κατάλληλου υδατικού διαλύματος. Ο δεύτερος που εφαρμόζεται μόνο στον ανοξείδωτο σωλήνα περιλαμβάνει τον έλεγχο των σημείων συναρμογής με ειδικό εξάρτημα που μετρά την απόσταση μεταξύ του περικοχλίου σύσφιξης και του σημείου σύνδεσης του εξαρτήματος (go-no go gauge). Τα αποτελέσματα των ελέγχων στεγανότητας καταγράφονται στο αντίστοιχο φύλλο Διασφάλισης Ποιότητας εγκατάστασης σωληνώσεων του οργάνου. Στην συνέχεια παρουσιάζεται ένα δείγμα αναφοράς για τον έλεγχο εγκατάστασης ανοξείδωτου σωλήνα, έγγραφο που αποτελεί μέρος των απαιτούμενων εγγράφων στα πλαίσια της Διασφάλισης Ποιότητας για την «Μηχανολογική αποπεράτωση» του έργου.



PREUSSAG NOELL	MECHANICAL COMPLETION SHEET	Identification
DEPA LNG TERMINAL - LNG Tanks Installations and Utility Systems (WBS 6.2.1.) - Contract No 120/94		Sheet type: INST 212
Manufacturer: Type. Serial Number:	TAG:	Discipline: INSTRUMENT Page 1 of 1 System:
EQUIPMENT : IMPULSE TUBING		Date:

	VERIFICATION	Code	Date	Remark
1	Hook up installation conformity			
2	Fitting Tightness (go-no go gouge test)			
3	Tubing supporting			
4	Tubing pressure testing			

Codes: *NA: Non applicable* ○ *: Checked/rejected* ● *: checked/accepted*

Comments:

WHESSOE LGA GAS TECHNOLOGY LTD	ENGINEER	OWNER
Name:	Name:	Name:
Date:	Date:	Date:
Signature:	Signature:	Signature:

Δελτίο αναφοράς ελέγχου διαρροών

Την ολοκλήρωση όλων των εργασιών ακολουθεί μια σειρά ελέγχων που σχετίζονται με την ορθή εγκατάσταση του οργάνου σύμφωνα με τα σχέδια και τις προδιαγραφές του έργου. Τα αποτελέσματα των ελέγχων καταγράφονται στην αναφορά ελέγχου για την εγκατάσταση οργάνου (Mechanical Completion Sheet-instrument installation) η οποία αποτελεί μέρος των εγγράφων Διασφάλισης Ποιότητας που απαιτούνται για την «Μηχανολογική ολοκλήρωση» του έργου.

PREUSSAG NOLL	MECHANICAL COMPLETION SHEET	Identification
DEPA LNG TERMINAL - LNG Tanks Installations and Utility Systems (WBS 6.2.1.) - Contract No 120/94		Sheet type: INST 121
Manufacturer:	TAG:	Discipline: INSTRUMENT
Type.		Page 1 of 1
Serial Number:		System:
EQUIPMENT : FLOW (differential pressure)		Date:

	VERIFICATION	Code	Date	Remark
1	Installation conformity with EFD location drawing			
2	Tagging			
3	Supporting			
4	Earthing			
5	Cable gland			
6	Cable tagging			
7	Associated individual cable tray			
8	Impulse tubing	*See relevant INST 212*		
9	Installation in conformity with fluid direction			
10	Calibration sheet review			
11	Associated orifice plate sheet review			
12	Final visual checking			
13	Insulation			
14	Tracing			
15	Accessability			
16	Stability			

Codes: *NA: Non applicable* ○: *Checked/rejected* ●: *checked/accepted*

Comments:

WHEESOE LGA GAS TECHNOLOGY LTD	ENGINEER	OWNER
Name:	Name:	Name:
Date:	Date:	Date:
Signature:	Signature:	Signature:

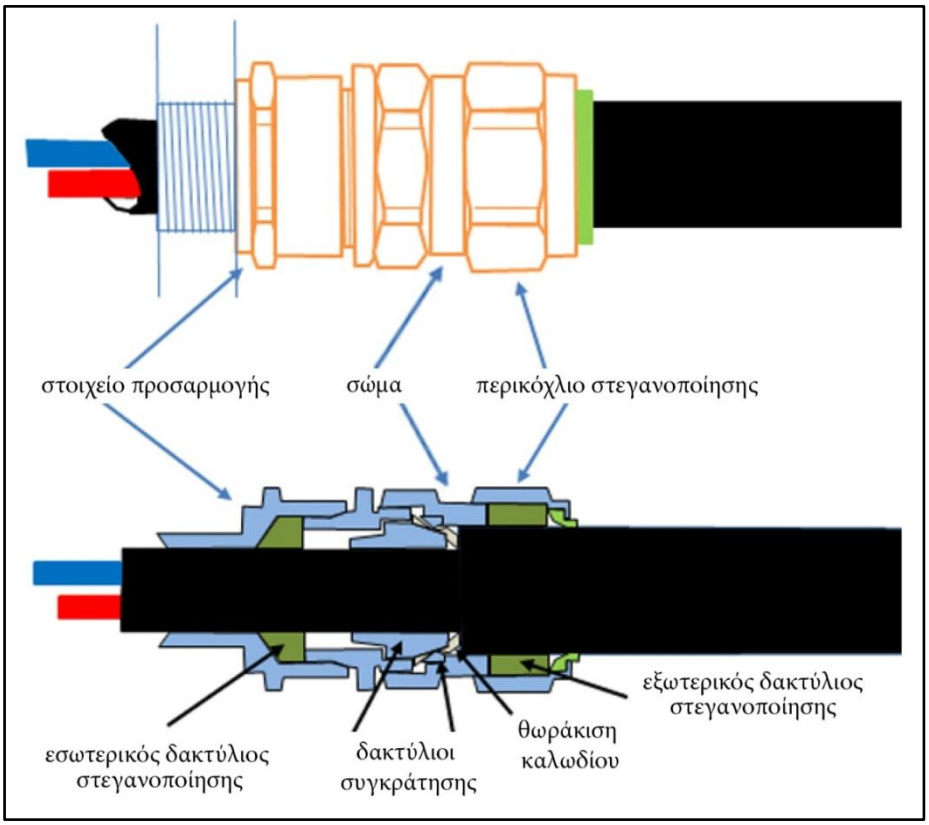
Δελτίο αναφοράς εγκατάστασης οργάνων

5.6. Οι εργασίες τοποθέτησης στυπιοθλιπτών και σύνδεσης των καλωδίων

5.6.1.Περιγραφή του εξοπλισμού

Οι εργασίες τοποθέτησης των στυπιοθλιπτών και της σύνδεσης των καλωδίων αποτελούν ενιαία εργασία στις δραστηριότητες εγκατάστασης οργάνων.

Οι στυπιοθλίπτες είναι εξαρτήματα τα οποία τοποθετούνται στα σημεία εισόδου των καλωδίων στον εξοπλισμό ή στα κουτιά διακλάδωσης. Κατασκευάζονται από αλουμίνιο, ορείχαλκο απλό ή επινικελωμένο που αποτελεί και το πιο διαδεδομένο υλικό, ανοξείδωτο χάλυβα ή πλαστικό. Κατά την επιλογή του υλικού κατασκευής πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το περιβάλλον στο οποίο πρόκειται να εγκατασταθεί και οι συνθήκες που επικρατούν, σε συνδυασμό με το υλικό κατασκευής του εξοπλισμού. Οι στυπιοθλίπτες χρησιμοποιούνται για να επιτυγχάνεται η στερέωση του καλωδίου κατά την είσοδο του στον εξοπλισμό, η απομόνωση του εσωτερικού χώρου από το περιβάλλον σε περίπτωση ανάφλεξης στον εξοπλισμό, η στεγανότητα στο εσωτερικού του εξοπλισμού και να εξασφαλίζεται η σύνδεση της εξωτερικής θωράκισης με την γείωση προστασίας.



Αποτελούνται από τρία μεταλλικά μέρη: το τμήμα προσαρμογής, το κεντρικό τμήμα ή κύριο σώμα και το περικόχλιο στεγανοποίησης. Στο εσωτερικό υπάρχουν δύο ελαστικοί δακτύλιοι στεγανοποίησης ένας πριν και ένας μετά το κύριο σώμα και δύο κωνικοί μεταλλικοί δακτύλιοι μεταξύ του τμήματος προσαρμογής και του κυρίου σώματος. Η στερέωση του στυπιοθλίπτη επιτυγχάνεται με περικόχλιο ή με την επιλογή κωνι-

κού σπειρώματος τόσο για τον στυπιοθλίπτη όσο και για τον εξοπλισμό. Η συγκράτηση του καλωδίου πραγματοποιείται μέσω των δύο κωνικών δακτυλίων ανάμεσα στους οποίους προσαρμόζονται τα συρματίδια της μηχανικής προστασίας, εξασφαλίζοντας παράλληλα συνέχεια στη γείωση προστασίας. Για την διασφάλιση της απομόνωσης του εσωτερικού χώρου και της στεγανότητας χρησιμοποιούνται οι δύο ελαστικοί δακτύλιοι, ένας κατά την είσοδο του καλωδίου πριν το κύριο σώμα ο οποίος περιβάλει τον εξωτερικό μανδύα και ένας αμέσως μετά το κύριο σώμα ο οποίος περιβάλει τον εσωτερικό μανδύα. Η συναρμογή των τμημάτων του στυπιοθλίπτη πραγματοποιείται με σπείρωμα έτσι ώστε κατά τη σύσφιξη μεταξύ τους να επιτυγχάνεται τόσο η στερέωση όσο και η επιθυμητή στεγανότητα. Για την πλέον ασφάλεια του εξοπλισμού χρησιμοποιείται σε πολλές περιπτώσεις πρόσθετο μεταλλικό εξάρτημα το οποίο επιτρέπει την σύνδεση του στυπιοθλίπτη με το δίκτυο της γείωσης προστασίας. Επίσης συχνά τοποθετείται φορετό ελαστικό περίβλημα για την προστασία του.

Οι προδιαγραφές των στυπιοθλιπτών καθορίζονται από το πρότυπο EN 50262 ενώ το πρότυπο EN 60079-14 αποτελεί οδηγό για την εκλογή του καταλληλότερου τύπου σύμφωνα με την εφαρμογή που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν. Η επιλογή του κατάλληλου μεγέθους στυπιοθλίπτη γίνεται με βάση την διάμετρο της εξωτερικής μόνωσης, την διάμετρο της θωράκισης και την διάμετρο του εσωτερικού μανδύα.

5.6.2.Περιγραφή των εργασιών

Η τοποθέτηση του στυπιοθλίπτη στο κουτί διακλάδωσης ή στο όργανο σηματοδοτεί και την σύνδεση ή «τερματισμό» του καλωδίου. Το καλώδιο κόβεται σε μήκος τέτοιο ώστε να επαρκεί για τη σύνδεση του, αφαιρείται η εξωτερική μόνωση μέχρι το σώμα του στυπιοθλίπτη και κόβονται τα συρματίδια της μηχανικής προστασίας για να τοποθετηθούν στους δακτυλίους σύσφιξης του. Το τμήμα προσαρμογής του στυπιοθλίπτη στερεώνεται με περικόχλιο ή βιδώνεται απ' ευθείας στον εξοπλισμό και στην συνέχεια αφαιρείται ο εσωτερικός μανδύας προστασίας και το περιτύλιγμα των ζευγών των καλωδίων, ενώ τοποθετείται προστατευτικό κάλυμμα στους αγωγούς καθαρής γείωσης του καλωδίου και των ζευγών του. Για την διατήρηση των ομόκεντρων στοιβάδων του καλωδίου και την συνοχή των εσωτερικών στοιχείων του καλωδίου τοποθετείται στο σημείο όπου σταματά ο εσωτερικός μανδύας, θερμοσυστελόμενο πλαστικό ή ελαστικός σωλήνας σύσφιξης. Στην συνέχεια οι αγωγοί των καλωδίων κόβονται στο επιθυμητό μήκος και τοποθετούνται τα «στοιχεία σήμανσης» τους. Πρόκειται για φορετά ελαστικά στοιχεία τα οποία αποτελούνται είτε από μεμονωμένα ψηφία που σχηματίζουν το επιθυ-

μητό κείμενο είτε από πλαστικό σωλήνα πάνω στον οποίο τυπώνεται το κείμενο. Πριν από την σύνδεση των αγωγών αφαιρείται μικρό τμήμα από την προστατευτική μόνωση στη άκρη του αγωγού και τοποθετείται ακροδέκτης ο οποίος συμπιέζεται με ειδικό εργαλείο ώστε να επιτυγχάνεται η πλήρης σύσφιξη του μεταλλικού τμήματος του γύρω από τα συρματίδια του αγωγού και κατ' επέκταση η πλήρης αγωγιμότητα του.

5.6.3.Έγγραφα Διασφάλισης Ποιότητας

Με την ολοκλήρωση των εργασιών εγκατάστασης του στυπιοθλίπτη και του καλωδίου πραγματοποιείται «έλεγχος συνέχειας» (continuity test) του κάθε αγωγού με το σημείο προορισμού του. Τα αποτελέσματα των ελέγχων καταγράφονται στην αναφορά ελέγχου συνέχειας (continuity test report) που αποτελεί τμήμα των εγγράφων Διασφάλισης Ποιότητας του έργου που απαιτούνται για την «Μηχανολογική αποπεράτωση» του έργου. Με την ολοκλήρωση του ελέγχου πραγματοποιείται η σύνδεση του καλωδίου στα σημεία τερματισμού, σύμφωνα με τα «σχέδια σύνδεσης» του έργου (termination drawings).

PREUSSAG NOBEL	MECHANICAL COMPLETION SHEET	Identification
DEPA LNG TERMINAL - LNG Tanks Installations and Utility Systems (WBS 6.2.1.) - Contract No 120/94		Sheet type: INST 392
Manufacturer:	TAG:	Discipline: INSTRUMENT
Type.		Page 1 of 2
Serial Number:		System:
EQUIPMENT : CABLE CONTINUITY		Date:

PAIR CABLE	
TIERCE CABLE	
QUARTE CABLE	

WIRE 1	B Bleu		Black		Red	
WIRE 2	L Bleu		White		White	
WIRE 3	Yellow		Yellow		Yellow	
WIRE 4	Green		Green		Green	

ASSEMBLY	COLOR	CODE
1		

WIRE/SCREEN	
WIRE/ WIRE	

SCREEN/SCREEN	
SCREEN/ ARMOUR	

MINIMUM INSULATION LEVEL REQUESTED : 2 Mohms

Codes: *NA: Non applicable* *O: Checked/rejected* *● : checked/accepted*

Comments:

WHESSOE LGA GAS TECHNOLOGY LTD	ENGINEER	OWNER
Name:	Name:	Name:
Date:	Date:	Date:
Signature:	Signature:	Signature:

Δελτίο αναφοράς συνέχειας καλωδίου

PREUSSAG NOELL	MECHANICAL COMPLETION SHEET	Identification
DEPA LNG TERMINAL - LNG Tanks Installations and Utility Systems (WBS 6.2.1.) - Contract No 120/94		Sheet type: INST 192
Manufacturer:	TAG:	Discipline: INSTRUMENT
Type.		Page 1 of 1
Serial Number:		System:
EQUIPMENT : CABLE CONNECTION		Date:

FROM EQUIPMENT TAG	
CONNECTION CHECK ACCORDING TO DWG	U.3000.
SHEET	
CHECKING CODE	

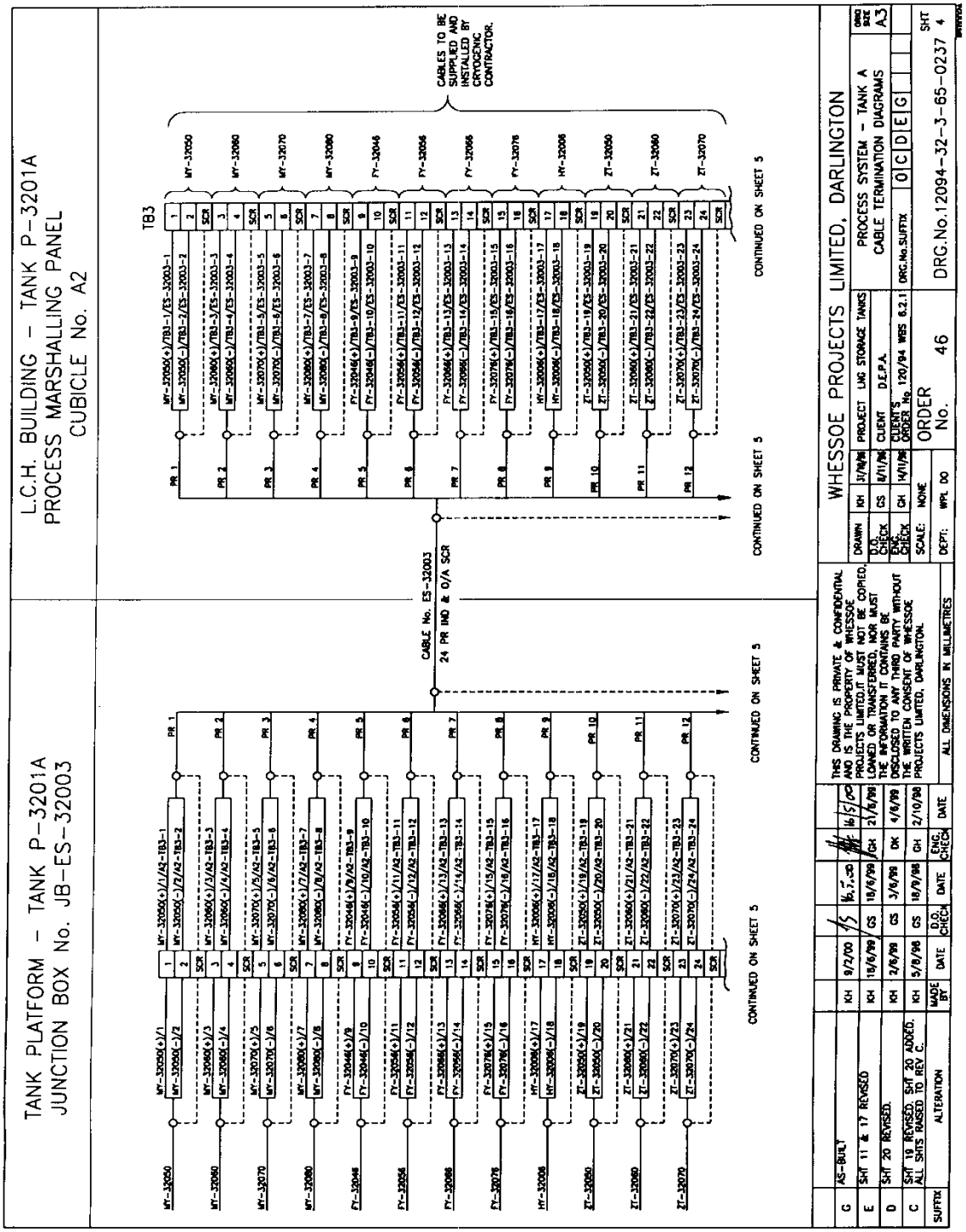
TO EQUIPMENT TAG	
CONNECTION CHECK ACCORDING TO DWG	U.3000.
SHEET	
CHECKING CODE	

Codes: *NA: Non applicable* ⬭ *: Checked/rejected* ⬬ *: checked/accepted*

Comments:

WHESSOE LGA GAS TECHNOLOGY LTD	ENGINEER	OWNER
Name:	Name:	Name:
Date:	Date:	Date:
Signature:	Signature:	Signature:

Δελτίο αναφοράς σύνδεσης καλωδίου



Σχέδιο σύνδεσης καλωδίων

5.7. Η εγκατάσταση των πεδίων αυτοματισμού

5.7.1.Περιγραφή του εξοπλισμού

Τα πεδία αυτοματισμού ή Marshalling Cabinets αποτελούν το «όριο» επικοινωνίας του κεντρικού συστήματος ελέγχου με τις διεργασίες της παραγωγής καθώς εκεί καταλήγουν όλα τα καλώδια που μεταφέρουν τα σήματα από τα όργανα πεδίου και από εκεί ξεκινούν τα καλώδια της εσωτερικής επικοινωνίας με το σύστημα ελέγχου.

Πρόκειται για μεταλλικά ερμάρια αντιστατικής βαφής, τα οποία περιλαμβάνουν το πλαίσιο στήριξης και μία ή περισσότερες μεταλλικές πόρτες. Το υλικό κατασκευής τους είναι χάλυβας St-37 με πάχος ενάμιση χιλιοστό, ενώ οι διαστάσεις τους είναι δύο μέτρα ύψος, ογδόντα εκατοστά πλάτος και ογδόντα εκατοστά βάθος. Στο δάπεδο περιλαμβάνονται αφαιρετές πλάκες ώστε να επιτρέπουν την είσοδο των καλωδίων.

Στο πλαίσιο στήριξης είναι εγκατεστημένες οι ράγες στήριξης για τα σημεία σύνδεσης των καλωδίων, πλαστικά κανάλια για την όδευση των κλώνων των καλωδίων, οι *βαθμίδες φραγμού σήματος* (intrinsic safety barriers) και οι μπάρες για την γείωση των καλωδίων, μία για την *γείωση προστασίας* και μία για την *καθαρή γείωση*. Η δεύτερη είναι τοποθετημένη πάνω σε μονωτικά στοιχεία ώστε να επιτυγχάνεται πλήρης απομόνωση από το μεταλλικό πλαίσιο.

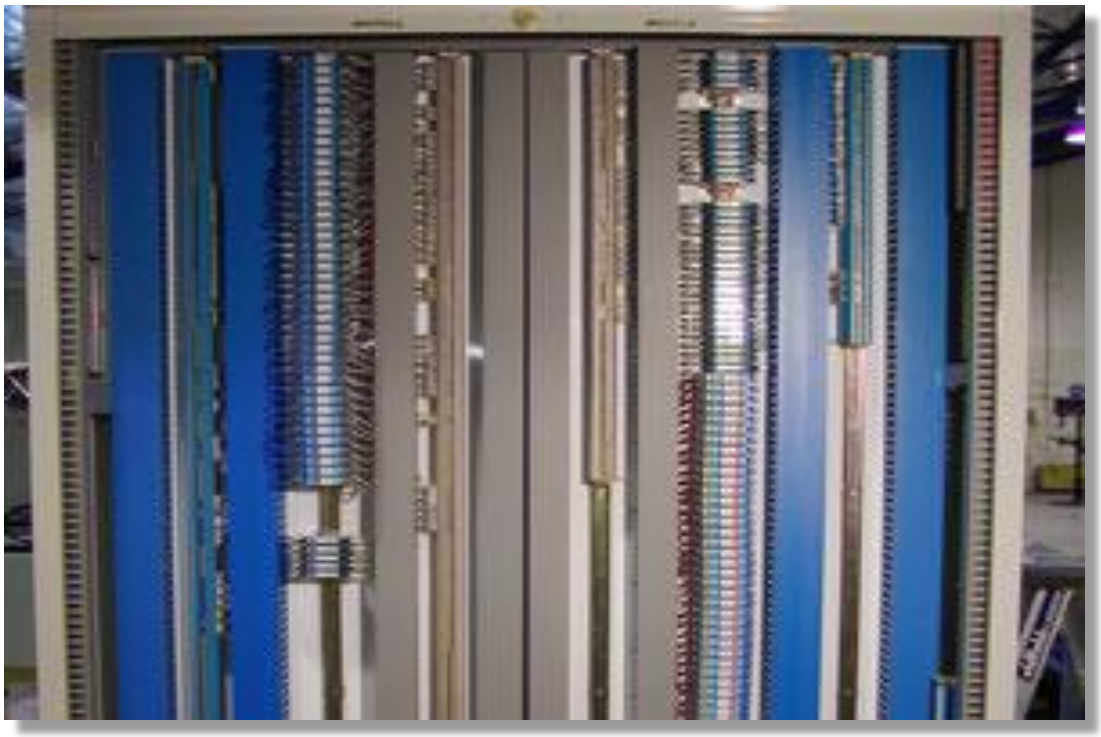
Οι βαθμίδες φραγμού σήματος χρησιμοποιούνται για την προστασία του κυκλώματος, ελέγχοντας τη τάση τροφοδοσίας των σημάτων από το σύστημα ελέγχου προς τα όργανα πεδίου, εφαρμόζοντας την τεχνική της *πραγματικής ασφάλειας* (intrinsic safety ή I.S.). Ένα ηλεκτρικό κύκλωμα χαρακτηρίζεται ως κύκλωμα πραγματικής ασφάλειας, σύμφωνα με την ευρωπαϊκή οδηγία EN 50020, εφόσον αποτρέπει την δημιουργία σπινθήρων ή την αύξηση της θερμοκρασίας. Με τις βαθμίδες φραγμού σήματος αποτρέπεται η δημιουργία υπερεντάσεων ή υπερτάσεων από τις πηγές τροφοδοσίας του συστήματος ελέγχου προς τα όργανα του πεδίου όταν αυτά είναι εγκατεστημένα σε *επικίνδυνες περιοχές* (hazardous areas). Σύμφωνα με την αρχή λειτουργίας τους χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

zener barriers ή shunt zener diode safety barriers τα οποία χρησιμοποιούνται για τα σήματα intrinsically safe και

galvanically isolated interface units τα οποία χρησιμοποιούνται για τα σήματα non intrinsically safe.

Για την σωστή λειτουργία των ηλεκτρονικών οργάνων απαιτούνται δύο ανεξάρτητα δίκτυα γείωσης, το δίκτυο *γείωσης προστασίας* και το δίκτυο *καθαρής γείωσης*. Στο πρώτο συνδέονται τα διάφορα μεταλλικά μέρη του εξοπλισμού των οργάνων όπως τα ερμάρια και το πλαίσιο στήριξης από τους πίνακες αυτοματισμού, τα κουτιά διακλάδωσης, ο οπλισμός μηχανικής προστασίας των καλωδίων. Στο δεύτερο το οποίο είναι πλήρως απομονωμένο από το πρώτο συνδέονται οι αγωγοί καθαρής γείωσης από τα καλώδια οργάνων. Τα σήματα που μεταφέρονται, λόγω της χαμηλής τάσης λειτουργίας τους, είναι πολύ ευαίσθητα στον «ηλεκτρικό θόρυβο» και τη δημιουργία παρεμβολών. Κάθε ζεύγος καλωδίου που χρησιμοποιείται για την μεταφορά σήματος διαθέτει δικό του αγωγό γείωσης (shield ή screen) ο οποίος συνδέεται στο δίκτυο καθαρής γείωσης. Ο αγωγός γείωσης πρέπει να συνδέεται στην μία του πλευρά σύνδεσης του καλωδίου, κατά προτίμηση στην πλευρά του πίνακα αυτοματισμού, ώστε να αποφεύγεται η δημιουργία βρόγχου που θα επιτρέψει την κυκλοφορία ρεύματος σε περίπτωση διαρροής. Για την προστασία του αγωγού και την αποφυγή οποιασδήποτε επαφής με την γείωση προστασίας ή τον εξοπλισμό, χρησιμοποιείται προστατευτικό κάλυμμα (sleeve) καλύπτοντας το μήκος του αγωγού, καθώς σφάλματα γείωσης μπορεί να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα λειτουργίας όχι μόνο στα όργανα αλλά και σε ολόκληρο το σύστημα ελέγχου.

Ο χώρος εγκατάστασης των πεδίων αυτοματισμού είναι συνήθως ειδικά διαμορφωμένα δωμάτια δίπλα από τον θάλαμο ελέγχου. Για την στήριξη των ερμαρίων στο δάπεδο χρησιμοποιούνται μεταλλικά βύσματα ή στους χώρους όπου υπάρχει ψευδοδάπεδο, κατασκευάζονται μεταλλικά πλαίσια από διαμορφωμένο δοκό, πάνω στο οποία τοποθετούνται με κοχλίες.



PREUSSAG NOELL	MECHANICAL COMPLETION SHEET	Identification
DEPA LNG TERMINAL - LNG Tanks Installations and Utility Systems (WBS 6.2.1.) - Contract No 120/94		Sheet type: INST 182
Manufacturer:	TAG:	Discipline: INSTRUMENT
Type.		Page 1 of 1
Serial Number:		System:
EQUIPMENT :	PANEL	Date:

	VERIFICATION	Code	Date	Remark
1	Installation according to location drawing			
2	Tagging			
3	Fixation			
4	Earthing ME ☐ ISE ☐ SE ☐			
5	Cable gland			
6	Cable tagging			
7	Associated cable tray(s)			
8	Final visual checking			
9	Accessibility			
10	Vendor certificate of conformity review			
11	Alignment			
12	Stability			

Codes: *NA: Non applicable* ○ *: Checked/rejected* ● *: checked/accepted*

Comments:

WHESSOE LGA GAS TECHNOLOGY LTD	ENGINEER	OWNER
Name:	Name:	Name:
Date:	Date:	Date:
Signature:	Signature:	Signature:

Δελτίο αναφοράς εγκατάστασης πεδίου

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

Οι δραστηριότητες εγκατάστασης των οργάνων πεδίου στις Δεξαμενές Αποθήκευσης Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου (LNG) του τερματικού σταθμού Ρεβυθούσας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο : Παρουσίαση του έργου

Οι Δεξαμενές αποθήκευσης Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου βρίσκονται στην Ρεβυθούσα, ένα μικρό νησί στον κόλπο των Μεγάρων με έκταση περίπου δύο τετραγωνικά χιλιόμετρα. Η έκταση του νησιού έχει χρησιμοποιηθεί στο σύνολο της για την κατασκευή του πρώτου τερματικού σταθμού Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου στην Ελλάδα για λογαριασμό της Δημόσιας Επιχείρησης Αερίου. Οι εγκαταστάσεις του σταθμού κατά την λειτουργία τους έχουν την δυνατότητα να παραλαμβάνουν από πλοίο υγροποιημένο φυσικό αέριο, να το αποθηκεύουν σε κρυογενικές συνθήκες, να το αεριοποιούν και να το διοχετεύουν στο δίκτυο διανομής φυσικού αερίου καλύπτοντας τις ανάγκες αιχμής σε ολόκληρη τη χώρα. Οι δεξαμενές είναι κυλινδρικές με ονομαστική διάμετρο 65,7 m, ονομαστικό ύψος 22,5 m. και αποθηκευτική ικανότητα εξήντα πέντε χιλιάδων κυβικών μέτρων η κάθε μία ενώ έχουν κατασκευασθεί στο χώρο που δημιουργήθηκε από την εκσκαφή του μοναδικού λόφου του νησιού. Αποτελούνται από διπλό κέλυφος, το εσωτερικό (inner tank) και το εξωτερικό (tank shell), τα οποία είναι κατασκευασμένα από έλασμα κράματος Χάλυβα με Νικέλιο σε περιεκτικότητα εννέα τις εκατό. Η απόσταση ανάμεσα στα κελύφη (tank inter space) είναι ένα μέτρο και είναι πλήρως καλυμμένη από περλίτη, ώστε να παρέχεται μονωτική προστασία και να διασφαλίζονται οι απαιτούμενες συνθήκες αποθήκευσης του υγροποιημένου φυσικού αερίου. Από το εσωτερικό της θολωτής οροφής είναι αναρτημένη η εσωτερική οροφή της δεξαμενής (suspended deck) το πάνω μέρος της οποίας καλύπτεται από μονωτικό υλικό. Σε συνθήκες λειτουργίας η θερμοκρασία στο εσωτερικό της δεξαμενής είναι εκατόν εξήντα πέντε βαθμοί Κελσίου υπό το μηδέν ενώ η πίεση που επικρατεί είναι η ατμοσφαιρική. Το εξωτερικό κέλυφος της δεξαμενής περιβάλλεται από προεντεταμένο σκυρόδεμα και ολόκληρη η κατασκευή στηρίζεται πάνω σε διακόσιους δώδεκα ελαστικούς αποσβεστήρες σφαιρικού σχήματος. Ο κάθε αποσβεστήρας είναι τοποθετημένος πάνω σε διαμορφωμένη βάση κυβικού σχήματος από οπλισμένο σκυρόδεμα, μπορεί δε να απορροφήσει τις κινήσεις της δεξαμενής προς κάθε κατεύθυνση, φθάνοντας μέχρι τα τριάντα εκατοστά, σε περίπτωση σεισμικής δόνησης με μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση 0,5g.

Τα κατακόρυφα τμήματα της κοιλότητας που δημιουργήθηκε κατά την εκσκαφή (pit wall) είναι καλυμμένα από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η απόσταση ανάμεσα στο περίβλημα της δεξαμενής και τα κατακόρυφα τμήματα είναι τρία μέτρα ενώ κάτω από την

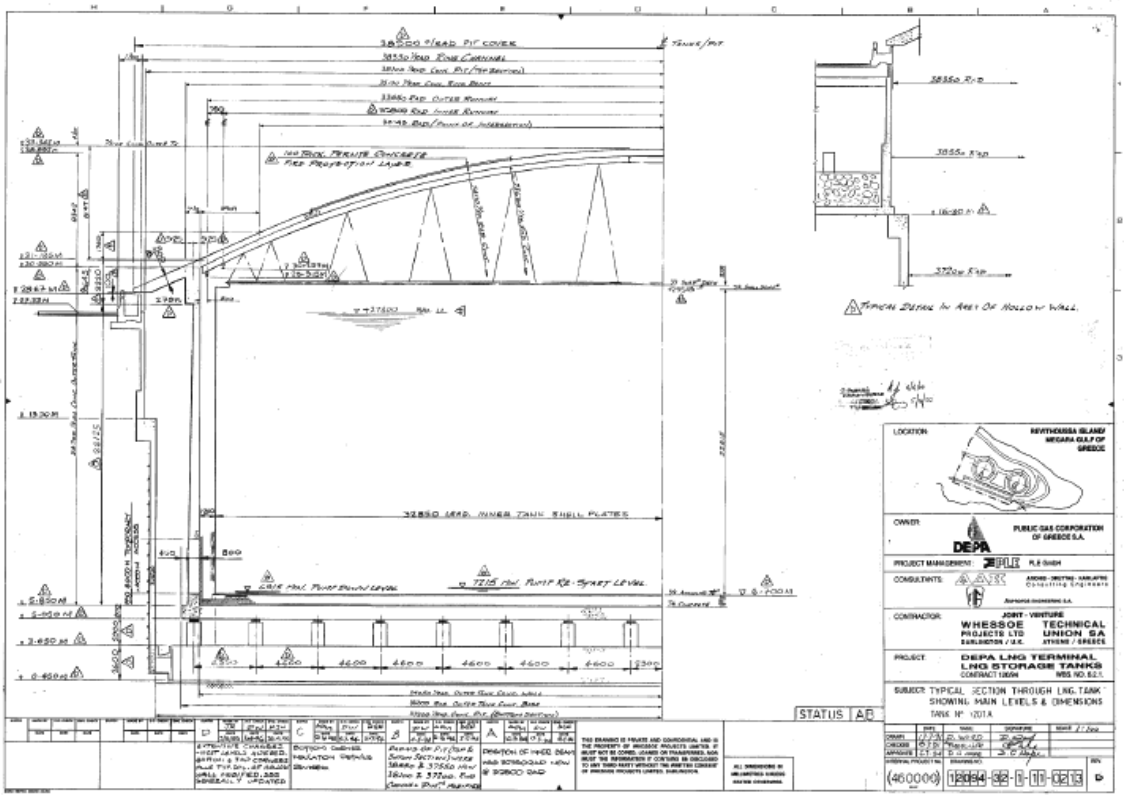
δεξαμενή (tank base), στον χώρο όπου βρίσκονται οι αποσβεστήρες, το ύψος από τον πυθμένα της κοιλότητας είναι δύο μέτρα.

Στην εξωτερική οροφή της δεξαμενής (tank roof), η οποία έχει κατασκευασθεί από προεντεταμένο σκυρόδεμα, υπάρχουν σε διάφορα σημεία μεταλλικές υπερκατασκευές (platforms) στις οποίες είναι εγκατεστημένος ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται κατά την διάρκεια της λειτουργίας. Ο εξοπλισμός περιλαμβάνει αντλίες (pumps), δίκτυα σωληνώσεων μεταφοράς ενδιάμεσων και τελικών προϊόντων (process), δίκτυα εξαερισμού του ενδιάμεσου χώρου των δεξαμενών (pit ventilation), δίκτυα σωληνώσεων κατιονισμού και πυρόσβεσης (fire and gas), όργανα μετρήσεων και ανίχνευσης καθώς και διάφορα βοηθητικά δίκτυα που καλύπτουν τις ανάγκες λειτουργίας της εγκατάστασης.

6.1. Σκοπός του έργου

Σκοπός του έργου είναι η εγκατάσταση των οργάνων πεδίου, των συσκευών ανίχνευσης αερίων και φλόγας, συμπεριλαμβανομένων των επιμέρους εργασιών, στις υπό ανέγερση δεξαμενές αποθήκευσης υγροποιημένου φυσικού αερίου στην Ρεβυθούσα. Οι εργασίες πραγματοποιήθηκαν από την εταιρεία Technical Consulting Bureau Ε.Π.Ε., υπεργολάβου της εταιρείας ΑΒΒ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ Α.Ε. κύριου εργολάβου για τις

ηλεκτρολογικές εργασίες. Ανάδοχος του έργου είναι η κοινοπραξία PREUSSAG-WHESSOE/ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΝΩΣΗ Α.Ε.. Η εταιρεία Τ.C.B. Ε.Π.Ε. πραγματοποίησε επίσης ως κύριος εργολάβος της κοινοπραξίας SOFREGAZ/ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΝΩΣΗ Α.Ε. τις εργασίες εγκατάστασης του κεντρικού συστήματος ελέγχου και διαχείρισης (D.C.S., E.S.D.) και των οργάνων πεδίου για ολόκληρο τον τερματικό σταθμό καθώς και το σύστημα παρακολούθησης των δομικών στοιχείων των Δεξαμενών (Civil Monitoring System). Το τελευταίο πραγματοποιήθηκε παράλληλα με τις εργασίες εγκατάστασης οργάνων στις δεξαμενές και εκτελέσθηκε από την ίδια ομάδα έργου. Η Τ.C.B. Ε.Π.Ε. ιδρύθηκε το 1988 και είναι ειδικευμένη σε εργασίες εγκατάστασης οργάνων πεδίου, μελέτης, εγκατάστασης και λειτουργίας συστημάτων αυτοματισμού (D.C.S., S.C.A.D.A., P.L.C.) και ηλεκτρολογικών εργασιών υψηλής, μέσης και χαμηλής τάσης, σε εγκαταστάσεις διύλισης πετρελαίου, την χημική βιομηχανία και σε εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η εταιρεία διαθέτει πιστοποιητικό διασφάλισης ποιότητας EN ISO 9002:1994 για τις ηλεκτρολογικές εργασίες και τις εργασίες εγκατάστασης οργάνων πεδίου από το 2000.



6.2. Δραστηριότητες του έργου

Οι δραστηριότητες του έργου περιλαμβάνουν όλες τις απαιτούμενες εργασίες για την ολοκληρωμένη εγκατάσταση οργάνων πεδίου, αισθητήρων ανίχνευσης αερίων και φλόγας στις δεξαμενές αποθήκευσης υγροποιημένου φυσικού αερίου.

Ένα από τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου έργου είναι η μεγάλη έκταση στην οποία πραγματοποιείται, καθώς ο χώρος των δεξαμενών καταλαμβάνει σχεδόν το ένα τρίτο της επιφάνειας του νησιού.

Οι ιδιαιτερότητες που παρουσιάζονται ως προς την εκτέλεση των εργασιών αφορούν κυρίως την εγκατάσταση των οργάνων μέτρησης της θερμοκρασίας στον εσωτερικό κέλυφος των δεξαμενών (inner tank area) και στον χώρο ανάμεσα στα δύο κελύφη (tank inter space). Οι αισθητήρες μέτρησης της θερμοκρασίας πρόκειται να τοποθετηθούν σε κατακόρυφη όδευση ύψους τριάντα μέτρων σε επιλεγμένα σημεία για κάθε κέλυφος. Στο εσωτερικό κέλυφος η εγκατάσταση των αισθητήρων γίνεται τόσο στην εσωτερική όσο και στην εξωτερική πλευρά του ενώ στο εξωτερικό κέλυφος η εγκατάσταση αφορά μόνο την εσωτερική πλευρά του. Ιδιαίτερη μέριμνα απαιτείται για την πρόσβαση στα σημεία εγκατάστασης επειδή δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάποιος από τους συνηθισμένους τρόπους, όπως μεταλλικό ικρίωμα (σκαλωσιά), καθώς το δάπεδο της δεξαμενής δεν είναι κατασκευασμένο να αντέχει τέτοιου είδους φορτία. Ανάμεσα στα κελύφη ο περιορισμένος χώρος δεν επιτρέπει την εγκατάσταση εξοπλισμού πρόσβασης. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε η χρήση φορητού καλαθιού ασφαλείας αναρτημένου από τον μεταλλικό σκελετό της οροφής σε συνδυασμό με πρόσθετο εξοπλισμό ασφαλείας κατάλληλο για την εργασία σε τέτοιο ύψος. Επιπλέον η πρόσβαση στους παραπάνω χώρους κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης των εργασιών είναι δυνατή μόνο από την εξωτερική οροφή της δεξαμενής. Στον χώρο ανάμεσα στο εξωτερικό περίβλημα των δεξαμενών και του κατακόρυφου τοίχου απαιτείται η τοποθέτηση κατακόρυφης σκαλωσιάς ύψους τριάντα μέτρων για την εγκατάσταση όδευσης της σχάρας και των καλωδίων οργάνων. Στην κύρια μεταλλική κατασκευή της οροφής στον χώρο των αντλιών μεταφοράς προϊόντων όπου βρίσκεται και ο κύριος όγκος των εργασιών απαιτείται η τοποθέτηση σκαλωσιάς ύψους δέκα μέτρων για τις εργασίες εγκατάστασης σχαρών και καλωδίων οργάνων.

Ιδιαίτερη πρόβλεψη απαιτείται κατά την κατασκευή των μεταλλικών στηριγμάτων για την εγκατάσταση της σχάρας καλωδίων και των δικτύου σωληνώσεων καθώς οι κύριες μεταλλικές κατασκευές στην οροφή της δεξαμενής πρόκειται να επικαλυφθούν από ειδικό χρώμα πυροπροστασίας πάχους δέκα εκατοστών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7ο : Δομική Ανάλυση του Έργου

Η Δομική Ανάλυση του Έργου (Work Breakdown Structure) επιδιώκει την διαίρεση του σε επιμέρους τμήματα. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται αρχικά η καλύτερη κατανόηση των απαιτήσεων του έργου, καθώς διευκολύνει την καταγραφή του αντικειμένου των δραστηριοτήτων με περισσότερες λεπτομέρειες, περιορίζοντας τυχόν αβεβαιότητες που προκύπτουν από την περιγραφή του. Στην συνέχεια διευκολύνει τον προγραμματισμό των εργασιών μειώνοντας τους παράγοντες που οδηγούν σε αποκλίσεις από τους επιθυμητούς στόχους, βοηθά δε την οργάνωση των δραστηριοτήτων με την σωστότερη διαχείριση των απαιτούμενων πόρων ενώ κατά την εξέλιξη του έργου αποτελεί χρήσιμο εργαλείο για την καλύτερη εποπτεία της προόδου των εργασιών.

Η έκταση και οι αποστάσεις μεταξύ των σημείων που πραγματοποιούνται οι εργασίες αποτελεί ένα από τα χαρακτηριστικά του έργου, για το λόγο αυτό σαν κριτήριο για την Δομική Ανάλυση, επιλέγεται ο τοπογραφικός διαχωρισμός του. Η επιφάνεια που καταλαμβάνουν οι δυο δεξαμενές χωρίζεται, δημιουργώντας την περιοχή της «Δεξαμενής Α» και την περιοχή της «Δεξαμενής Β». Στην συνέχεια η κάθε δεξαμενή χωρίζεται σε περιοχές με βάση τα κύρια μέρη που την αποτελούν.

Επιπλέον κρίνεται σκόπιμος ο διαχωρισμός της οροφής της δεξαμενής καθώς λόγω της μεγάλης επιφάνειας που καλύπτει, συγκεντρώνει το μεγαλύτερο μέρος των δραστηριοτήτων και κατ' επέκταση υψηλότερα επίπεδα κινδύνων και αβεβαιότητας. Έτσι χωρίζεται σε επιμέρους περιοχές σύμφωνα με τον σκοπό λειτουργίας τους, περιλαμβάνοντας την αντίστοιχη μεταλλική κατασκευή. Επιμέρους περιοχές επιλέγονται για το εσωτερικό και τον ενδιάμεσο χώρο της δεξαμενής λόγω της ιδιαιτερότητας των εργασιών και των συνθηκών στις οποίες πραγματοποιούνται.

Ο διαχωρισμός σε κύριες και επιμέρους περιοχές για κάθε δεξαμενή είναι ο ακόλουθος:

- *οροφή της δεξαμενής* (tank roof) με τις επιμέρους περιοχές:
  - *πλατφόρμα αντλιών* τροφοδοσίας (pump platform)
  - *πλατφόρμα οργάνων* (instrument platform)
  - *πλατφόρμα εξαερισμού* (pit ventilation platform)
  - *πλατφόρμα ασφαλιστικών* βαλβίδων (pressure relief platform)
  - *πλατφόρμα πλήρωσης δεξαμενών* (fill platform)
  - *πλατφόρμα θόλου* (dome platform)
  - *πλατφόρμα αναγέννησης* (purge platform)
  - *διάδρομοι πρόσβασης* (tank roof walkways)

- *εξωτερική περιοχή* της δεξαμενής (tank pit wall)
- *βάση της δεξαμενής* (tank base)
- *εσωτερικό της δεξαμενής* (tank inner) με τις επιμέρους περιοχές:
    - *δάπεδο* της δεξαμενής (tank floor) και το
    - *εσωτερικό* κέλυφος (tank shell) της δεξαμενής
- *εσωτερική οροφή* της δεξαμενής (suspended deck)
- *ενδιάμεσος χώρος* (inter space) με τις επιμέρους περιοχές:
    - *εξωτερική* πλευρά (tank inter space) από το εσωτερικό κέλυφος και
    - *εσωτερική* πλευρά (tank outer wall) από το εξωτερικό κέλυφος
- *τοπικό κτίριο ελέγχου* (Local Control House)

Με βάση τον παραπάνω διαχωρισμό γίνεται η αρχική αρίθμηση για την Δομική Ανάλυση του έργου η οποία θα συμπληρωθεί στην συνέχεια καθώς θα προστεθούν οι επιμέρους δραστηριότητες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8ο : Ποσότητες του έργου

Οι ποσότητες των βασικών παραμέτρων που απαρτίζουν το έργο όπως είναι οι σχάρες όδευσης των καλωδίων, τα κουτιά διακλάδωσης, τα όργανα πεδίου, τα καλώδια οργάνων και οι πίνακες αυτοματισμού, αποτελούν τον σημαντικότερο παράγοντα για τη διαχείριση του τόσο στον κύκλο της υλοποίησης γιατί καθορίζουν το μέγεθος των εργασιών που απαιτούνται για την κατασκευή όσο και στο οικονομικό σκέλος γιατί καθορίζουν το κόστος το οποίο συνεπάγεται η εκτέλεση του.

Από τα σχέδια του έργου «εγκεκριμένα για κατασκευή» γίνεται η προμέτρηση των βασικών παραμέτρων που καθορίζουν τις εργασίες εγκατάστασης οργάνων πεδίου. Με τον όρο προμέτρηση εννοείται η καταγραφή των μεγεθών όπως αποτυπώνονται στα σχέδια γενικής διάταξης και τους καταλόγους αλλά και η εκτίμηση των ποσοτήτων που αναλογούν σε αυτά. Με τη βοήθεια της Δομικής Ανάλυσης του έργου γίνεται η κατανομή των ποσοτήτων ανά περιοχή, δίνοντας έτσι μια ποσοτική εκτίμηση των απαιτούμενων για την εκτέλεση του ανά περιοχή. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται η ολοκληρωμένη καταγραφή των παραμέτρων που αφορούν τις εργασίες, οδηγώντας σε ασφαλέστερη εκτίμηση για τον φόρτο εργασίας, τις απαιτούμενες ποσότητες υλικών και τις ανάγκες σε προσωπικό ή άλλους πόρους ενώ παράλληλα ελέγχεται η διατήρηση του «σκοπού του έργου» σε σχέση με την αρχική προσφορά. Τα σχέδια που χρησιμοποιούνται είναι αυτά που απεικονίζουν την όδευση σχαρών, η γενική διάταξη των οργάνων, ο κατάλογος οργάνων και ο κατάλογος καλωδίων οργάνων ενώ οι βασικές παράμετροι που καταγράφονται είναι:

- ποσότητες σχάρας ανά είδος σε μέτρα
- ποσότητες κουτιών διακλάδωσης ανά είδος σε τεμάχια
- ποσότητες καλωδίων οργάνων ανά είδος σε μέτρα
- ποσότητες οργάνων ανά είδος σε τεμάχια
- ποσότητες πινάκων αυτοματισμού ανά είδος σε τεμάχια

Για την εκτίμηση των ποσοτήτων του έργου αρκεί η προμέτρηση τους στη μια δεξαμενή, δεδομένου ότι οι δεξαμενές είναι όμοιες μεταξύ τους. Οι ποσότητες παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν και πιο συγκεκριμένα:

- ποσότητες σχάρας ανά είδος στον πίνακα Νο1
- ποσότητες κουτιών διακλάδωσης ανά είδος στον πίνακα Νο2
- ποσότητες πεδίων αυτοματισμού ανά είδος στον πίνακα Νο3
- ποσότητες καλωδίων οργάνων ανά είδος στον πίνακα Νο4
- ποσότητες οργάνων ανά είδος στον πίνακα Νο5

Περιγραφή	*Tank roof*	*Tank Pit*	*Tank base*	*LCH*
Σχάρα καλωδίων 50x50x1,5mm	745	115	10	60
Σχάρα καλωδίων 100x60x1,5mm	97	0	0	0
Σχάρα καλωδίων 150x60x1,5mm	847	278	0	61
Σχάρα καλωδίων 300x60x1,5mm	605	581	303	0
Σχάρα καλωδίων 400x60x1,5mm	303	0	0	0
Σχάρα καλωδίων 600x60x1,5mm	303	0	0	121
Σκαλιέρα καλωδίων 110x200x1,5mm	36	0	0	0
Σκαλιέρα καλωδίων 110x300x1,5mm	65	0	0	0
Σκαλιέρα καλωδίων 110x600x1,5mm	58	0	0	0

Πίνακας N° 1: Ποσότητες σχάρας ανά δεξαμενή

Περιγραφή	*Tank roof*	*Tank Pit*	*Tank base*	*LCH*
Κουτιά διακλάδωσης για καλώδιο 6 ζευγών	8	14	10	1
Κουτιά διακλάδωσης για καλώδιο 12 ζευγών	6	2	0	0
Κουτιά διακλάδωσης για καλώδιο 24 ζευγών	9	1	0	0

Πίνακας N° 2: Ποσότητες κουτιών διακλάδωσης ανά δεξαμενή

Περιγραφή	*Tank roof*	*Tank Pit*	*Tank base*	*LCH*
Process Marshalling Cabinet	0	0	0	1
Fire and Gas Marshalling Panel	0	0	0	1
Fire Alarm Control Panel	0	0	0	1

Πίνακας N° 3: Ποσότητες πεδίων αυτοματισμού ανά δεξαμενή

Τύπος καλωδίου	Pump Platform	Instru-ment Plat-form	Ventila-tion Plat-form	Relief Platform	Fill Plat-form	Dome Platform	Tank roof walkways	Pit wall	Tank base	LCH
1PR	1815	100	50	265	300	370	555	550		145
1TR								100		
1C COAX							380			
2PR	400	100			500	50	380	120		
5PR							3			
6PR							755	400	1000	50
7PR							450			
12PR	250			170			735	200		475
12TR							270	100		
24PR							500			20
2C	400	100			400	50	100	120		200
3C	55	15		285	145	65	350	675	75	60
4C							453			
5C							3			
7C				4			300			
12C								200		
19C							100			200
27C							200			

Πίνακας N° 4: Ποσότητες καλωδίων οργάνων ανά δεξαμενή

Είδος οργάνου	Pump Pltf	Instrument Pltf	Ventilation Pltf	Relief Pltf	Fill Pltf	Dome Pltf	Purge Pltf	Pit wall	Tank base	Tank floor	Tank inner shell	Suspended deck	Tank inter space	Tank outer wall	LCH
AIR OPERATED BUTTERFLY VALVE	4	1			5										
AIR OPERATED GLOBE VALVE	8					1									
ANEMOMETER															1
ANEMOMETER TRANSMITTER															1
BREAK GLASS UNIT	1	1	1		1	1		4							9
CLOSED CIRCUIT TV CAMERA		1			1										1
CONTROL PLATE								8							
DENSITY MONITORING TRANSMIT-TER		3													
DP INDICATOR															1
DP TRANSMITTER		1													
DUAL PUSHBUTTON		1			5										
ELEMENT SELECTOR	5	4		1											
FIRE WATER DELUGE VALVE								8							
FLOW (DP) TRANSMITTER	2					3									
FLOW ALARM AMPLIFIER	1														1
FLOW CONTROLLER	1														
FLOW INDICATOR	7														2
FLOW SENSOR						1									
FLOW SWITCH	1														
FLP CONTROL UNIT		1													
HAND SWITCH															8
I/P CONVERTER	5					4									
INTEGRAL LEVEL SWITCH		4													
LEVEL TRANSMITTER								1							
LNG SAMPLER FOR ANALYSIS	1														
LOADING STATION	4					1									

Είδος οργάνου	Pump Pltf	Instrument Pltf	Ventilation Pltf	Relief Pltf	Fill Pltf	Dome Pltf	Purge Pltf	Pit wall	Tank base	Tank floor	Tank inner shell	Suspended deck	Tank inter space	Tank outer wall	LCH
LOCAL / REMOTE SELECTOR SWITCH	4					1									
METHANE DETECTOR			1												
MULTI - SPOT TEMP PROBE		2													
NATURAL GAS SENSOR	3		4					9	1						2
OXYGEN ANALYZER						1									
POSITION TRANSMITTER	4					1									
PRESSURE GAUGE	8	1	1	2			1								
PRESSURE SWITCH	8			12				8							
PRESSURE TRANSMITTER	4	2		2											
PROXIMITY SWITCH	8	2			10	2									
RTD	1									10	8	8	7	6	
RTD ELEMENT	30	1													1
RTD WITH HEAD MTD TRANSMITTER	4	1				1		8							
SERVO OPERATED LEVEL SWITCH		2													
SERVO OPERATED LEVEL TRANSMITTER		1													
SINGLE PUSHBUTTON	5	1			3										
SOLENOID VALVE	8	2		9	8	1		8							
TEMPERATURE INDICATOR															1
TEMPERATURE SWITCH				5											
TEMPERATURE TRANSMITTER	30														1
ULTRA VIOLET FLAME DETECTOR	3			1	1	1		2							
VALVE LIMIT SWITCHES								8							
VALVE POSITION INDICATOR															8
VIBRATION DETECTOR	4														
WIND SPEED DIRECTION INDICATOR															1
WIND SPEED INDICATOR															1

Πίνακας N° 5: Ποσότητες οργάνων ανά δεξαμενή

Από τα στοιχεία που αναφέρονται στους παραπάνω πίνακες προκύπτει η εκτίμηση για τις συνολικές ποσότητες του έργου, οι οποίες παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον πίνακα που ακολουθεί.

Περιγραφή	*Tank Roof*	*Tank Pit*	*Tank Base*	*Inner*	*Suspended deck*	*Inter space*	*LCH*	*Σύνολο*
Σχάρα καλωδίων (m)	6.120	1.950	625		0			**9.058**
Κουτιά διακλάδωσης (τεμ.)	46	4	20		0		2	**102**
Καλώδια (m)	23.850	4.610	2.150		0	0	2.300	**32.910**
Όργανα πεδίου (τεμ.)	580	28	2	6	6	6	4	**822**
Πίνακες αυτοματισμού (τεμ.)	0		0		0	0	6	**6**

Συγκεντρωτικός πίνακας των ποσοτήτων του έργου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9ο : Καταρτισμός διαγράμματος δικτύου

Ο καταρτισμός του προγράμματος των δραστηριοτήτων γίνεται χρησιμοποιώντας την μέθοδο της Δικτυωτής Ανάλυσης η οποία αποτελεί ένα συνδυασμό της «Τεχνικής Εκτίμησης και Αναθεώρησης Προγράμματος» (Program Evaluation and Review Techniques), γνωστότερης ως PERT και της μεθόδου της Κρίσιμης Διαδρομής (Critical Path Method-C.P.M.).[4] Για την μέθοδο της δικτυωτής ανάλυσης απαιτείται η κατασκευή του *διαγράμματος δικτύου*. Με τον όρο διάγραμμα δικτύου εννοείται η γραφική απεικόνιση των δραστηριοτήτων του έργου στην οποία αποτυπώνεται η προγραμματισμένη αλληλουχία των δραστηριοτήτων. Επειδή η αλληλουχία των δραστηριοτήτων δημιουργεί και σχέσεις προτεραιότητας μεταξύ των, το διάγραμμα δικτύου ονομάζεται και *μέθοδος διαγράμματος προτεραιότητας* (Precedence Diagramming Method), η οποία αποτελεί μια εξελιγμένη μορφή της έννοιας *δραστηριότητα επί του κόμβου* (activity on node) όπου κάθε δραστηριότητα απεικονίζεται με ένα κόμβο ή ένα τετράγωνο ενώ οι σχέσεις μεταξύ των δραστηριοτήτων, χρονικές ή λογικές, απεικονίζονται με βέλη. Σαν *δραστηριότητα* ορίζεται οποιοδήποτε καθήκον, εργασία ή λειτουργία που πρέπει να πραγματοποιηθεί για να ολοκληρωθεί ένα σύνολο εργασιών ή το έργο στο οποίο ανήκει.[13]

Για την κατασκευή του δικτύου λαμβάνονται υπόψη οι παρακάτω παράγοντες:

- *χρονική διάρκεια* των επιμέρους εργασιών
- *λογικές σχέσεις των δραστηριοτήτων*
- *αλληλουχία* των δραστηριοτήτων

Όλοι οι παράγοντες για την κατασκευή του δικτύου αναλύονται στην συνέχεια. Η απεικόνιση του δικτύου μέσω ηλεκτρονικό υπολογιστή γίνεται με τη βοήθεια του λογισμικού διαχείρισης έργων MS Project, προϊόν της εταιρείας Microsoft, το οποίο παρουσιάζει το διάγραμμα PERT σύμφωνα με τη μέθοδο απεικόνισης «δραστηριότητα επί του κόμβου».

9.1. Εκτίμηση χρονικής διάρκειας των δραστηριοτήτων

Για την εκτίμηση της χρονικής διάρκειας κάθε δραστηριότητας χρησιμοποιούμε στοιχεία από παλαιότερα έργα στα οποία πραγματοποιήθηκαν παρόμοιες εργασίες. Η χρονική διάρκεια εκφράζεται σε ανθρωποώρες (Mhrs) και αποτελεί την βασική μονάδα για τον υπολογισμό του χρόνου που απαιτείται για να πραγματοποιηθεί κάθε εργασία.

Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στον πίνακα Νο 6 που ακολουθεί.

Περιγραφή εργασίας	Μον. μέτρ.	U-2000	Reformer	U-5200	Power Plant	New Crude Oil Tanks	Crude Oil Pipe-line	DCS Phase 3
Installation of Marshalling barrier cabinet	pc	31,14	33,85	27,08	33,85	23,02		
Installation of Electrical interface marshalling cabinet	pc	27,25	29,62	23,69	29,62	20,14		15,00
Installation of Fire detection panel	pc	12,46	13,54	10,83	13,54	8,00		16,00
Installation of Oxygen Analyzer pan-el	pc	27,25	29,62	23,69	29,62	17,47		15,00
Installation of junction box for 6 pairs multi pair cable	pc	7,78	8,46	6,77	8,46	4,00		
Installation of junction box for 12 pairs multi pair cable	pc	7,78	8,46	6,77	8,46	6,00	8,00	
Installation of junction box for 24 pairs multi pair cable	pc	14,01	15,23	12,18	15,23	8,00		25,00
Installation of cable tray up to 50 mm	m					0,60		
Installation of cable tray 51-100 mm	m	0,56	0,62	0,49	0,92	0,60	0,50	1,10
Installation of cable tray 101-200 mm	m	0,91	1,02	0,81	1,02	0,70	1,00	1,10
Installation of cable tray 201-300 mm	m	1,39	1,54	1,23	1,54	0,80		1,10
Installation of cable tray 301-400 mm	m	1,39	1,54	1,23	1,54	0,90		
Installation of cable tray 450-500 mm	m	1,80	2,00	1,60	2,00	1,00		
Installation of cable tray 600-700 mm	m	1,94	2,16	1,73	2,16	2,00		
Installation of cable tray 800-1000 mm	m	2,22	2,46	1,97	2,46			
Installation of aboveground metallic conduit pipe 1/2"	m					0,50		
Installation of aboveground metallic conduit pipe 3/4"	m					0,70		
Installation of aboveground metallic conduit pipe 1"	m		0,62	0,49		0,80		
Installation of aboveground metallic conduit pipe 1 1/2"	m		0,69	0,56		1,10		
Installation of aboveground metallic conduit pipe 2"	m					1,30		
Installation of aboveground metallic conduit pipe 2 1/2"	m		0,85	0,68		1,80		
Installation of aboveground metallic conduit pipe 4"	m		1,07	0,86		2,60		
Installation of single pair cable in overhead cable tray	m	0,18	0,20	0,16	0,20	0,12	0,14	0,16
Installation of double pair cable in overhead cable tray-core size 0,5mm	m	0,19	0,19	0,15	0,19	0,12	0,14	0,16
Installation of double pair cable in overhead cable tray-core size 1,5mm	m	0,20						

Περιγραφή εργασίας	Μον. μέτρ.	U-2000	Reformer	U-5200	Power Plant	New Crude Oil Tanks	Crude Oil Pipe-line	DCS Phase 3
Installation of multi pair cable with 5 pairs with individual shield in over-head cable tray	m	0,22						
Installation of multi pair cable with 6 pairs with individual shield in over-head cable tray-core size 0,5mm	m	0,24	0,28	0,22	0,28	0,14	0,16	0,20
Installation of multi pair cable with 6 pairs with individual shield in over-head cable tray-core size 1,5mm	m	0,26						
Installation of multi pair cable with 12 pairs with individual shield in overhead cable tray-core size 0,5mm	m	0,31	0,33	0,26	0,33	0,20	0,20	0,20
Installation of multi pair cable with 12 pairs with individual shield in overhead cable tray-core size 1,5mm	m	0,33						
Installation of multi pair cable with 24 pairs with individual shield in overhead cable tray	m	0,41	0,38	0,30	0,38	0,23	0,22	0,20
Installation of special type cable in overhead cable tray	m	0,18	0,20	0,16	0,20	0,12	0,14	0,60
Installation of single pair cable in conduit	m	0,21	0,22	0,18	0,22	0,14	0,16	0,18
Installation of double pair cable in conduit	m	0,22	0,22	0,17	0,22	0,15	0,16	0,18
Installation of multi pair cable with 6 pairs in conduit	m	0,27	0,32	0,26	0,32	0,16	0,18	0,23
Installation of multi pair cable with 12 pairs in conduit	m	0,35	0,38	0,30	0,38	0,25	0,23	0,23
Installation of multi pair cable with 24 pairs in conduit	m	0,47	0,43	0,35	0,43	0,25	0,25	0,23
Installation of single tierce thermore-sistance cable individual shielded in overhead cable tray	m	0,20	0,22	0,17	0,22	0,13	0,15	0,18
Installation of double tierce thermore-sistance cable individual shielded in overhead cable tray	m	0,21	0,21	0,17	0,21	0,13	0,15	0,18
Installation of 6 tierce thermoresis-tance multicable individual shielded in overhead cable tray	m	0,26	0,31	0,25	0,31	0,16	0,18	0,22
Installation of 12 tierce thermoresis-tance multicable individual shielded in overhead cable tray	m	0,34	0,36	0,29	0,36	0,20	0,22	0,22
Installation of single tierce thermore-sistance cable individual shielded in conduit	m	0,22	0,24	0,19	0,24	0,15	0,17	0,19
Installation of double tierce thermore-sistance cable individual shielded in conduit	m	0,23	0,23	0,18	0,23	0,15	0,17	0,19
Installation of 6 tierce thermoresis-tance multi cable individual shielded in conduit	m	0,29	0,34	0,27	0,34	0,16	0,20	0,24
Installation of 12 tierce thermoresis-tance multi cable individual shielded in conduit	m	0,38	0,40	0,32	0,40	0,20	0,25	0,24
Installation of power cable 2 x 1.5 mm in overhead cable tray	m							

Περιγραφή εργασίας	Μον. μέτρ.	U-2000	Reformer	U-5200	Power Plant	New Crude Oil Tanks	Crude Oil Pipe-line	DCS Phase 3
Installation of power cable 3 x 1.5 mm in overhead cable tray	m	0,20						
Installation of power cable 2 x 2.5 mm in overhead cable tray	m	0,18				0,12		
Installation of power cable 3 x 2.5 mm in overhead cable tray	m						0,12	0,20
Installation of power cable 4 x 4 mm	m	0,50						
Installation of power cable 7 x 1,5 mm	m	0,24						
Installation of power cable 12 x 2.5 mm	m	0,28						
Installation of power cable 19 x 1.5 mm	m	0,32						
Installation of power cable 27 x 2.5 mm	m	0,38						
Connection of single pair cable	pc	1,05						
Connection of double pair cable-core size 0,5mm	pc	1,40					1,00	
Connection of double pair cable-core size 1,5mm	pc	1,50						
Connection of multi pair cable with 6 pair with individual shield-core size 0,5mm	pc	2,75					1,00	
Connection of multi pair cable with 6 pairs with individual shield-core size 1,5mm	pc	3,15						
Connection of multi pair cable with 12 pairs with individual shield-core size 0,5mm	pc	5,90					3,00	
Connection of multi pair cable with 12 pairs with individual shield-core size 1,5mm	pc	6,50						
Connection of multi pair cable with 24 pairs with individual shield	pc	9,10					4,00	3,80
Connection of single tierce thermore-sistance cable individual shielded	pc	1,40						
Connection of double tierce thermo-resistance cable individual shielded	pc							
Connection of 6 tierce thermoresis-tance multicable individual shielded	pc							
Connection of 12 tierce thermoresis-tance multicable individual shielded	pc	6,50						
Connection of power cable 2 x 1.5 mm	pc						1,00	
Connection of power cable 3 x 1.5 mm	pc	1,50						
Connection of power cable 2 x 2.5 mm	pc	1,10						
Connection of power cable 3 x 2.5 mm	pc							
Connection of power cable 4 x 4 mm	pc	5,00						

Περιγραφή εργασίας	Μον. μέτρ.	U-2000	Reformer	U-5200	Power Plant	New Crude Oil Tanks	Crude Oil Pipe-line	DCS Phase 3
Connection of power cable 7 x 1,5 mm	pc	2,20						
Connection of power cable 12 x 2.5 mm	pc	3,55						
Connection of power cable 19 x 1.5 mm	pc	5,60						
Connection of power cable 27 x 2.5 mm	pc	8,00						
Installation of Flow instrument :Grade mounted electronic transmitter with block manifold without pots	pc		31,82	25,46			24,00	32,00
Installation of Flow instrument :Grade mounted flow indicator	pc		42,31	33,85				32,00
Installation of pressure instruments: On line mounted temperature indicator	pc		6,77	5,42			6,00	
Installation of temperature instuments: Single thermoresistance & wells	pc		21,15	16,92				22,00
Installation of temperature instuments: Double thermoresistance & wells	pc		21,15	16,92				22,00
Installation of temperature instuments: Grade mounted local electronic temperature transmitter	pc		19,46	15,57				
Installation of temperature instuments: Multipoint thermoresistances & wells	pc		25,38	20,31				
Installation of pressure instruments: Grade mounted electronic pressure transmitter or switch without pot	pc		27,08	21,66			20,00	32,00
Installation of pressure instruments: Grade mounted electronic differential pressure transmitter or switch without pot	pc		29,62	23,69			24,00	
Installation of pressure instruments: Grade mounted local mA indicator	pc		8,46	6,77				
Installation of pressure instruments: Grade mounted electronic differential pressure transmitter or switch without pot	pc		42,31	33,85				
Installation of pressure instruments: Grade mounted local indicator	pc		21,15	16,92			6,00	
Installation of pressure instruments: Grade mounted receiver pressure switch	pc		29,62	23,69				
Installation of pressure instruments: On line mounted pressure gauges.	pc		6,77	5,42			6,00	
Installation of pressure instruments: Wall mounted pressure gauges.	pc		12,69	10,15				
Installation of pressure instruments: On line mounted differential pressure gauges.	pc		8,46	6,77				
Installation of pressure instruments: Wall mounted direct differential pressure gauges.	pc		25,38	20,31				

Περιγραφή εργασίας	Μον. μέτρ.	U-2000	Reformer	U-5200	Power Plant	New Crude Oil Tanks	Crude Oil Pipe-line	DCS Phase 3
Installation of Level instrument: Top mounted displacement type electronic level transmitter	pc		21,15	16,92				40,00
Installation of Level instrument: Electronic tank gauging transmitter on cryogenic tank	pc		27,03	21,62				
Installation of Level instrument: Level switch directly flanged	pc		11,85	9,48				
Installation of Level instrument: Radar/Ultrasonic level instruments	pc		25,38	20,31				
Installation of in line instruments: Control valve with pneumatic positioner.	pc		27,08	21,66				24,15
Installation of in line instruments: Solenoid valve on pneumatic signals	pc		21,85	17,48				
Installation of in line instruments: I/P converters	pc		20,15	16,12				
Break glass unit (HSE)	pc		16,77	13,42				14,96
Gas detection points.(GSE)	pc		15,92	12,74				14,20
Smoke detection points.(TSE)	pc		15,92	12,74				14,20
Fire detection points (BSE)	pc		18,46	14,77				16,47
Heat detector point	pc		16,77	13,42				14,96

Πίνακας N° 6: Χρόνος εκτέλεσης εργασιών σε ανθρωποώρες (Mhrs)

Για την προσέγγιση της χρονικής διάρκειας κάθε εργασίας ακολουθούμε στατιστική προσέγγιση «τριών σημείων», θεωρώντας ότι οι τιμές ακολουθούν κατανομή β, οπότε ισχύουν οι παρακάτω βασικοί ορισμοί[13]:

- *αισιόδοξη τιμή (a)*: η χρονική διάρκεια που θα προκύψει στην περίπτωση που επικρατήσουν οι πλέον ευνοϊκές συνθήκες στην εκτέλεση της δραστηριότητας (best case scenario), είναι δε η μικρότερη τιμή από όλες τις άλλες

- *απαισιόδοξη τιμή (b)*: η χρονική διάρκεια που θα προκύψει στην περίπτωση που επικρατήσουν οι χειρότερες συνθήκες στην εκτέλεση της δραστηριότητας (worst case scenario), είναι δε η μεγαλύτερη τιμή από όλες τις άλλες

- *πιο πιθανή τιμή (m)*: είναι αυτή που θα προκύψει τις περισσότερες φορές, εν προκειμένω ο μέσος όρος των τιμών της διάρκειας των εργασιών από παλαιότερες εργασίες

μέση τιμή (μ): είναι η μέση τιμή η οποία υπολογίζεται από την σχέση:

$\mu = (a + 4m + b)/6$ (1)

τυπική απόκλιση (σ): είναι η τυπική απόκλιση των τιμών η οποία υπολογίζεται από την σχέση: $\sigma = (b - a)/6$ (2)

Τα μεγέθη **a**,**b** και **m** όπως ορίστηκαν παραπάνω καθώς και η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της χρονικής διάρκειας για κάθε εργασία, όπως υπολογίστηκαν με την βοήθεια των σχέσεων (1) και (2), παρουσιάζονται στον πίνακα N°7 που ακολουθεί.

Περιγραφή εργασίας	**Μον. μέτρ.**	**a**	**b**	**m**	**μ**	**σ**
Installation of Marshalling barrier cabinet	pc	23,02	33,85	29,78	29,33	1,81
Installation of Electrical interface marshalling cabinet	pc	15,00	29,62	23,61	23,18	2,44
Installation of Fire detection panel	pc	8,00	16,00	12,38	12,25	1,33
Installation of Oxygen Analyzer panel	pc	15,00	29,62	23,08	22,82	2,44
Installation of junction box for 6 pairs multi pair cable	pc	4,00	8,46	6,92	6,69	0,74
Installation of junction box for 12 pairs multi pair cable	pc	6,00	8,46	7,54	7,44	0,41
Installation of junction box for 24 pairs multi pair cable	pc	8,00	25,00	15,13	15,59	2,83
Installation of cable tray up to 50 mm	m	0,60	0,60	0,60	0,60	0,00
Installation of cable tray 51-100 mm	m	0,49	1,10	0,71	0,74	0,10
Installation of cable tray 101-200 mm	m	0,70	1,10	0,94	0,93	0,07
Installation of cable tray 201-300 mm	m	0,80	1,54	1,24	1,22	0,12
Installation of cable tray 301-400 mm	m	0,90	1,54	1,30	1,28	0,11
Installation of cable tray 450-500 mm	m	1,00	2,00	1,65	1,60	0,17
Installation of cable tray 600-700 mm	m	1,73	2,16	2,01	1,99	0,07
Installation of cable tray 800-1000 mm	m	1,97	2,46	2,30	2,27	0,08
Installation of aboveground metallic conduit pipe 1/2"	m	0,50	0,50	0,50	0,50	0,00
Installation of aboveground metallic conduit pipe 3/4"	m	0,70	0,70	0,70	0,70	0,00
Installation of aboveground metallic conduit pipe 1"	m	0,49	0,80	0,64	0,64	0,05
Installation of aboveground metallic conduit pipe 1 1/2"	m	0,56	1,10	0,78	0,80	0,09
Installation of aboveground metallic conduit pipe 2"	m	1,30	1,30	1,30	1,30	0,00
Installation of aboveground metallic conduit pipe 2 1/2"	m	0,68	1,80	1,11	1,15	0,19
Installation of aboveground metallic conduit pipe 4"	m	0,86	2,60	1,51	1,58	0,29
Installation of single pair cable in overhead cable tray	m	0,12	0,20	0,16	0,16	0,01

Περιγραφή εργασίας	Μον. μέτρ.	a	b	m	μ	σ
Installation of double pair cable in overhead cable tray core size 0,5mm	m	0,12	0,19	0,16	0,16	0,01
Installation of double pair cable in overhead cable tray core size 1,5mm	m	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00
Installation of multi pair cable with 5 pairs with individual shield in overhead cable tray	m	0,22	0,22	0,22	0,22	0,00
Installation of multi pair cable with 6 pairs with individual shield in overhead cable tray-core size 0,5mm	m	0,14	0,28	0,22	0,22	0,02
Installation of multi pair cable with 6 pairs with individual shield in overhead cable tray-core size 1,5mm	m	0,26	0,26	0,26	0,26	0,00
Installation of multi pair cable with 12 pairs with individual shield in overhead cable tray-core size 0,5mm	m	0,20	0,33	0,25	0,26	0,02
Installation of multi pair cable with 12 pairs with individual shield in overhead cable tray-core size 1,5mm	m	0,33	0,33			0,00
Installation of multi pair cable with 24 pairs with individual shield in overhead cable tray	m	0,20	0,41	0,29	0,29	0,04
Installation of special type cable in overhead cable tray	m	0,12	0,60	0,23	0,28	0,08
Installation of single pair cable in conduit	m	0,14	0,22	0,18	0,18	0,01
Installation of double pair cable in conduit	m	0,15	0,22	0,18	0,18	0,01
Installation of multi pair cable with 6 pairs in conduit	m	0,16	0,32	0,24	0,24	0,03
Installation of multi pair cable with 12 pairs in conduit	m	0,23	0,38	0,29	0,30	0,02
Installation of multi pair cable with 24 pairs in conduit	m	0,23	0,47	0,32	0,33	0,04
Installation of single tierce thermoresistance cable indvidual shielded in overhead cable tray	m	0,13	0,22	0,18	0,18	0,01
Installation of double tierce thermoresistance cable individual shielded in overhead cable tray	m	0,13	0,21	0,17	0,17	0,01
Installation of 6 tierce thermoresistance multicable individual shielded in overhead cable tray	m	0,16	0,31	0,24	0,24	0,02
Installation of 12 tierce thermoresistance multicable individual shielded in overhead cable tray	m	0,20	0,36	0,28	0,28	0,03
Installation of single tierce thermoresistance cable individual shielded in conduit	m	0,15	0,24	0,20	0,19	0,02
Installation of double tierce thermoresistance cable individual shielded in conduit	m	0,15	0,23	0,19	0,19	0,01
Installation of 6 tierce thermoresistance multi cable individual shielded in conduit	m	0,16	0,34	0,26	0,26	0,03
Installation of 12 tierce thermoresistance multi cable individual shielded in conduit	m	0,20	0,40	0,30	0,30	0,03
Installation of power cable 2 x 1.5 mm in overhead cable tray	m	0,00	0,00			0,00
Installation of power cable 3 x 1.5 mm in overhead cable tray	m	0,20	0,20			0,00
Installation of power cable 2 x 2.5 mm in overhead cable tray	m	0,12	0,18	0,12	0,13	0,01

Περιγραφή εργασίας	Μον. μέτρ.	a	b	m	μ	σ
Installation of power cable 3 x 2.5 mm in overhead cable tray	m	0,12	0,20	0,16	0,16	0,01
Installation of power cable 4 x 4 mm	m	0,50	0,50			0,00
Installation of power cable 7 x 1,5 mm	m	0,24	0,24			0,00
Installation of power cable 12 x 2.5 mm	m	0,28	0,28			0,00
Installation of power cable 19 x 1.5 mm	m	0,32	0,32			0,00
Installation of power cable 27 x 2.5 mm	m	0,38	0,38			0,00
Connection of single pair cable	pc	1,05	1,05			0,00
Connection of double pair cable-core size 0,5mm	pc	1,00	1,40	1,00		0,07
Connection of double pair cable-core size 1,5mm	pc	1,50	1,50			0,00
Connection of multi pair cable with 6 pair with individual shield-core size 0,5mm	pc	1,00	2,75	1,00		0,29
Connection of multi pair cable with 6 pairs with individual shield-core size 1,5mm	pc	3,15	3,15			0,00
Connection of multi pair cable with 12 pairs with individual shield-core size 0,5mm	pc	3,00	5,90	3,00		0,48
Connection of multi pair cable with 12 pairs with individual shield-core size 1,5mm	pc	6,50	6,50			0,00
Connection of multi pair cable with 24 pairs with individual shield	pc	3,80	9,10	3,90		0,88
Connection of single tierce thermoresistance cable individual shielded	pc	1,40	1,40			0,00
Connection of double tierce thermoresistance cable individual shielded	pc	0,00	0,00			0,00
Connection of 6 tierce thermoresistance multicable individual shielded	pc	0,00	0,00			0,00
Connection of 12 tierce thermoresistance multicable individual shielded	pc	6,50	6,50			0,00
Connection of power cable 2 x 1.5 mm	pc	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00
Connection of power cable 3 x 1.5 mm	pc	1,50	1,50			0,00
Connection of power cable 2 x 2.5 mm	pc	1,10	1,10			0,00
Connection of power cable 3 x 2.5 mm	pc	0,00	0,00			0,00
Connection of power cable 4 x 4 mm	pc	5,00	5,00			0,00
Connection of power cable 7 x 1,5 mm	pc	2,20	2,20			0,00
Connection of power cable 12 x 2.5 mm	pc	3,55	3,55			0,00

Περιγραφή εργασίας	Μον. μέτρ.	a	b	m	μ	σ
Connection of power cable 19 x 1.5 mm	pc	5,60	5,60			0,00
Connection of power cable 27 x 2.5 mm	pc	8,00	8,00			0,00
Installation of Flow instrument :Grade mounted electronic transmitter with block manifold without pots	pc	24,00	32,00	28,32	28,21	1,33
Installation of Flow instrument :Grade mounted flow indicator	pc	32,00	42,31	36,05	36,42	1,72
Installation of pressure instruments: On line mounted temperature indicator	pc	5,42	6,77	6,06	6,07	0,23
Installation of temperature instuments: Single thermoresistance & wells	pc	16,92	22,00	20,03	19,84	0,85
Installation of temperature instuments: Double thermoresistance & wells	pc	16,92	22,00	20,03	19,84	0,85
Installation of temperature instuments: Grade mounted local electronic temperature transmitter	pc	15,57	19,46	17,52	17,52	0,65
Installation of temperature instuments: Multipoint thermoresistances & wells	pc	20,31	25,38	22,85	22,85	0,85
Installation of pressure instruments: Grade mounted electronic pressure transmitter or switch without pot	pc	20,00	32,00	25,18	25,46	2,00
Installation of pressure instruments: Grade mounted electronic differential pressure transmitter or switch without pot	pc	23,69	29,62	25,77	26,06	0,99
Installation of pressure instruments: Grade mounted local mA indicator	pc	6,77	8,46	7,62	7,62	0,28
Installation of pressure instruments: Grade mounted electronic differential pressure transmitter or switch without pot	pc	33,85	42,31	38,08	38,08	1,41
Installation of pressure instruments: Grade mounted local indicator	pc	6,00	21,15	14,69	14,32	2,53
Installation of pressure instruments: Grade mounted receiver pressure switch	pc	23,69	29,62	26,65	26,65	0,99
Installation of pressure instruments: On line mounted pressure gauges.	pc	5,42	6,77	6,06	6,07	0,23
Installation of pressure instruments: Wall mounted pressure gauges.	pc	10,15	12,69	11,42	11,42	0,42
Installation of pressure instruments: On line mounted differential pressure gauges.	pc	6,77	8,46	7,62	7,62	0,28
Installation of pressure instruments: Wall mounted direct differential pressure gauges.	pc	20,31	25,38	22,85	22,85	0,85
Installation of Level instrument: Top mounted displacement type electronic level transmitter	pc	16,92	40,00	26,03	26,84	3,85
Installation of Level instrument: Electronic tank gauging transmitter on cryogenic tank	pc	21,62	27,03	24,33	24,33	0,90
Installation of Level instrument: Level switch directly flanged	pc	9,48	11,85	10,66	10,66	0,39
Installation of Level instrument: Radar/Ultrasonic level instruments	pc	20,31	25,38	22,85	22,85	0,85
Installation of in line instruments: Control valve with pneumatic positioner.	pc	21,66	27,08	24,30	24,32	0,90
Installation of in line instruments: Solenoid valve on pneumatic signals	pc	17,48	21,85	19,66	19,66	0,73

Περιγραφή εργασίας	Μον. μέτρ.	a	b	m	μ	σ
Installation of in line instruments: I/P converters	pc	16,12	20,15	18,14	18,14	0,67
Break glass unit (HSE)	pc	13,42	16,77	15,05	15,06	0,56
Gas detection points.(GSE)	pc	12,74	15,92	14,29	14,30	0,53
Smoke detection points.(TSE)	pc	12,74	15,92	14,29	14,30	0,53
Fire detection points (BSE)	pc	14,77	18,46	16,57	16,58	0,62
Heat detector point	pc	13,42	16,77	15,05	15,06	0,56

Πίνακας N°7: Εκτίμηση βασικής χρονικής διάρκειας

Οι ποσότητες ανά είδος σε συνδυασμό με την μέση τιμή της διάρκειας για κάθε εργασία δίνουν την εκτίμηση του χρόνου που απαιτείται για την εκτέλεση κάθε δραστηριότητας του έργου, εκφρασμένη σε ανθρωποώρες (Mhrs). Η εκτίμηση για την χρονική διάρκεια κάθε δραστηριότητας του έργου που παρουσιάζεται στον πίνακα N°8, εκφράζεται σε ανθρωποημέρες (Mdays) καθώς αυτή η χρονική μονάδα χρησιμοποιείται και στις μεταγενέστερες φάσεις του προγραμματισμού των δραστηριοτήτων.

Η συνολική εκτίμηση της χρονικής διάρκειας των βασικών παραμέτρων για τις δραστηριότητες εγκατάστασης οργάνων ανά δεξαμενή, εκφρασμένη σε ανθρωποώρες, παρουσιάζεται στον συγκεντρωτικό πίνακα που ακολουθεί και αποτελεί ένα μέτρο για την εκτίμηση του μεγέθους του έργου

Περιγραφή	*Tank A (Mhrs)*	*Tank B (Mhrs)*	*Σύνολο*
Εγκατάσταση σχάρας καλωδίων	5.007,0	5.007,00	**10.014,00**
Εγκατάσταση κουτιών διακλάδωσης	436,00	436,00	**872,00**
Εγκατάσταση καλωδίων	3.602	3.602	**7.204,00**
Εγκατάσταση οργάνων πεδίου	6.020,00	6.020,00	**12.040,00**
Σύνδεση καλωδίων	1.385	1.385	**2.770,00**
Εγκατάσταση πινάκων αυτοματισμού	65,00	65,00	**130,00**
Γενικό Σύνολο	**16.515,00**	**16.515,00**	**33.030,00**

Συγκεντρωτικός πίνακας εργατοωρών δραστηριοτήτων του έργου

9.2. Οι λογικές σχέσεις μεταξύ των δραστηριοτήτων

Κατά τον προγραμματισμό των δραστηριοτήτων εκτός από τη χρονική διάρκεια λαμβάνονται υπόψη οι *λογικές σχέσεις* που διέπουν τις εργασίες που μπορεί να είναι *υποχρεωτικές* ή *μη υποχρεωτικές*. Υποχρεωτικές σχέσεις, ή *αυστηρές εξαρτήσεις*, είναι οι περιορισμοί που τίθενται από την μέθοδο κατασκευής. Έτσι για παράδειγμα στις δραστηριότητες εγκατάστασης οργάνων, η εγκατάσταση των σχαρών προηγείται υποχρεωτικά της εγκατάστασης των καλωδίων. Μη υποχρεωτικές σχέσεις είναι εκείνες που απορρέουν από την εκάστοτε βέλτιστη πρακτική κατά την κατασκευή όπως για παράδειγμα η εγκατάσταση των τοπικών ενδεικτικών πίεσης κατά την εγκατάσταση των οργάνων πραγματοποιείται τελευταία έτσι ώστε να αποφεύγονται προβλήματα καταστροφών. Κάποιες από τις εργασίες πραγματοποιούνται *σε σειρά* όπως για παράδειγμα η σύνδεση των καλωδίων έπεται της εγκατάστασης τους ενώ κάποιες άλλες μπορούν να εξελίσσονται *παράλληλα* όπως η εγκατάσταση των κουτιών διακλάδωσης με την εγκατάσταση σχάρας και την εγκατάσταση οργάνων. Όμως η σύνδεση των καλωδίων έπεται υποχρεωτικά της εγκατάστασης των πινάκων αυτοματισμού και της εγκατάστασης οργάνων. Οι δραστηριότητες επίσης περιλαμβάνουν διάφορες εργασίες που πραγματοποιούνται από ομάδες που απαρτίζονται από τεχνίτες με διαφορετικό αντικείμενο όπως για παράδειγμα ηλεκτρολόγους, ηλεκτροσυγκολλητές ή τεχνίτες οργάνων. Όλα τα παραπάνω επιβάλουν *σχέσεις προτεραιότητας* μεταξύ των δραστηριοτήτων οι οποίες τελικά συντίθενται έτσι ώστε να δημιουργούν μια αλληλουχία που αποτελεί το σύνολο του έργου.

Οι λογικές σχέσεις μεταξύ των δραστηριοτήτων κατά την αποτύπωση τους στο διάγραμμα δικτύου εκφράζονται με τις *σχέσεις προτεραιότητας* δημιουργώντας δεσμούς και *προηγηθείσες ή «προαπαιτούμενες» δραστηριότητες* (predecessors). Υπάρχουν τέσσερα είδη σχέσεων προτεραιότητας[13] :

- ✦ *έναρξη μετά τη λήξη* (finish to start-FS) η έναρξη της τρέχουσας πραγματοποιείται σε σχέση με την ολοκλήρωση της προαπαιτούμενης
- ✦ *έναρξη μετά την έναρξη* (start to start-SS) η έναρξη της τρέχουσας πραγματοποιείται σε σχέση με την έναρξη της προαπαιτούμενης
- ✦ *λήξη μετά τη λήξη* (finish to finish-FF) η λήξη της τρέχουσας πραγματοποιείται σε σχέση με τη λήξη της προαπαιτούμενης
- ✦ *λήξη μετά την έναρξη* (start to finish SF) η έναρξη της προαπαιτούμενης πραγματοποιείται σε σχέση με την έναρξη της τρέχουσας

Όσον αφορά το συγκεκριμένο έργο οι εργασίες που εξελίσσονται παράλληλα, δεσμός SS, είναι:

- εγκατάσταση σχάρας
- εγκατάσταση κουτιών διακλάδωσης
- εγκατάσταση οργάνων

- εγκατάσταση πινάκων αυτοματισμού

Οι εργασίες που εξελίσσονται σε σειρά, δεσμός FS, είναι:

- εγκατάσταση σχάρας
- εγκατάσταση καλωδίων και
- σύνδεση καλωδίων είναι η εργασία που πραγματοποιείται με την ολοκλήρωση όλων των υπολοίπων.

Για τον καταρτισμό του δικτύου υπάρχει μια ακόμη σειρά λογικών σχέσεων η οποία υπαγορεύεται από τον τρόπο υλοποίησης του έργου και καθορίζει τον αριθμό των ομάδων εργασίας. Για το συγκεκριμένο έργο θεωρείται ότι οι δραστηριότητες για την εγκατάσταση οργάνων διεξάγονται παράλληλα στις δύο δεξαμενές. Η κάθε δεξαμενή έχει το απαιτούμενο προσωπικό που απασχολείται αποκλειστικά στις δραστηριότητες της και οι ομοειδείς εργασίες σε κάθε δεξαμενή πραγματοποιούνται σε σειρά ανά περιοχή από το ίδιο συνεργείο. Έτσι η εγκατάσταση σχάρας γίνεται πρώτα στην οροφή της δεξαμενής έπειτα στον ενδιάμεσο χώρο, στη βάση και τέλος στο LCH. Η ίδια «τοπογραφική» αλληλουχία ακολουθείται και για τις υπόλοιπες δραστηριότητες της δεξαμενής.

9.3. Αλληλουχία δραστηριοτήτων

Η ολοκληρωμένη αρίθμηση για την δομική ανάλυση του έργου (W.B.S) μαζί με τον πλήρη κατάλογο των δραστηριοτήτων παρουσιάζεται στον πίνακα N°8. Στον ίδιο πίνακα παρουσιάζεται η εκτίμηση για την χρονική διάρκεια των δραστηριοτήτων σε κάθε περιοχή εκφρασμένη σε ανθρωποημέρες (Mdays). Επίσης στην τελευταία στήλη του πίνακα παρουσιάζονται οι *προηγηθείσες δραστηριότητες* (predecessors) για κάθε δραστηριότητα, με βάση τον αύξοντα αριθμό καταγραφής τους (ID). Οι προηγηθείσες δραστηριότητες είναι οι εκείνες που προηγούνται της έναρξης μιας δραστηριότητας και η ολοκλήρωση τους αποτελεί προϋπόθεση για την έναρξη της. Σαν επικεφαλίδα της στήλης επιλέχθηκε η λέξη «προαπαιτούμενα», αν και δεν αποτελεί πιστή μετάφραση της αγγλικής λέξης «predecessors», θεωρώντας ότι ως τίτλος αποδίδει καλύτερα το νόημα της αλληλουχίας των δραστηριοτήτων.

ID	WBS	Περιγραφή	Διάρκεια	Προαπαιτούμενα
1	1	Receive drawings in "approved for construction" status		
2	2	**Instrumentation activities in tank 'A'**		
3	2.1	**Tank 'A' Roof**		
4	2.1.1	Install instrument cable tray and supports in tank 'A' roof	407,83	1
5	2.1.2	Install junction boxes in tank 'A' roof	29,81	1
6	2.1.3	Instruments bench calibration	30,00	1
7	2.1.4	Install instruments in tank 'A' roof		

ID	WBS	Περιγραφή	Διάρκεια	Προαπαιτούμενα
8	2.1.4.1	Install instruments and F &G devices in Pump platform of tank 'A' roof	272,00	6
9	2.1.4.2	Install instruments and F &G devices in Instrument platform of tank 'A' roof	50,50	8
10	2.1.4.3	Install instruments and F &G devices in Pit Vent platform of tank 'A' roof	11,75	9
11	2.1.4.4	Install instruments and F &G devices in Pressure Relief platform of tank 'A' roof	77,00	10
12	2.1.4.5	Install instruments and F &G devices in Fill platform of tank 'A' roof	56,88	11
13	2.1.4.6	Install instruments and F &G devices in dome platform of tank 'A' roof	40,13	12
14	2.1.4.7	Install instruments and F &G devices in Purge platform of tank 'A' roof	0,75	13
15	2.1.5	Pull instrument cables in tank 'A' roof	215,00	4
16	2.1.6	Pull F &G cables in tank 'A' roof	105,13	15
17	2.1.7	Terminate instrument cables in tank 'A' roof	97,50	4;5;14;15
18	2.1.8	Terminate F &G cables in tank 'A' roof	25,25	4;5;14;16,17
19	2.2	**Tank 'A' Pit wall**		
20	2.2.1	Install instrument cable tray and supports in tank 'A' pit wall	129,55	4
21	2.2.2	Install junction boxes in tank 'A' pit wall	15,52	5
22	2.2.3	Install instruments in tank 'A' pit wall	1,38	14
23	2.2.4	Install F &G devices in tank 'A' pit wall	114,75	22
24	2.2.5	Pull instrument cables in tank 'A' pit wall	2,25	16;20
25	2.2.6	Pull F &G cables in tank 'A' pit wall	60,75	24
26	2.2.7	Terminate instrument cables in tank 'A' pit wall	0,50	18;20;21;22;24
27	2.2.8	Terminate F &G cables in tank 'A' pit wall	27,00	20;21;23;25;26
28	2.3	**Tank 'A' Base**		
29	2.3.1	Install instrument cable tray and supports in tank 'A' base	46,88	20
30	2.3.2	Install junction boxes in tank 'A' base	8,36	21
31	2.3.3	Install instruments in tank 'A' base	0,00	23
32	2.3.4	Install F &G devices in tank 'A' base	1,88	31
33	2.3.5	Pull instrument cables in tank 'A' base	27,50	25;29
34	2.3.6	Pull F &G cables in tank 'A' base	1,88	33
35	2.3.7	Terminate instrument cables in tank 'A' base	7,88	27;29;30;31;33
36	2.3.8	Terminate F &G cables in tank 'A' base	0,50	29;30;32;34;35
37	2.4	**Tank 'A' Inner**		
38	2.4.1	Weld RTD pads & blocks to tank floor (Mech.)	0,00	
39	2.4.2	Weld cable retaining paddles to tank floor (Mech.)	0,00	38
40	2.4.3	Weld RTD pads & blocks to tank shell (Mech.)	0,00	39
41	2.4.4	Weld support pads & angles to tank shell (Mech.)	0,00	40
42	2.4.5	Install support tubes to tank shell (Mech.)	0,00	41

ID	WBS	Περιγραφή	Διάρκεια	Προαπαιτούμενα
43	2.4.6	Install temperature detectors to tank 'A' floor	24,88	32;42
44	2.4.7	Install temperature detectors to tank 'A' shell	19,88	43
45	2.4.8	Pull and clip cables to tank 'B' inner	0,00	
46	2.4.9	Terminate cables to tank 'B' inner	0,00	
47	2.5	**Tank 'A' Suspended Deck**		
48	2.5.1	Install RTD pads & blocks on suspended deck (Mech.)	0,00	
49	2.5.2	Install cable straps on tank 'B' suspended deck (Mech.)	0,00	48
50	2.5.3	Install temperature detectors on tank 'A' suspended deck	19,88	44;49
51	2.5.4	Pull instrument cables on tank 'B' suspended deck	0,00	
52	2.5.5	Terminate instrument cables on tank 'B' suspended deck	0,00	
53	2.6	**Tank 'A' Inter-space**		
54	2.6.1	Weld RTD pads & blocks to outer tank wall Inner (Mech.)	0,00	
55	2.6.2	Install support tubes to outer tank wall (Mech.)	0,00	54
56	2.6.3	Install temperature detectors to tank 'A' outer wall	15,00	50;55
57	2.6.4	Install temperature detectors to tank 'A' inter space	17,38	56
58	2.6.5	Pull instrument cables in tank 'B' inter space	0,00	
59	2.6.6	Terminate instrument cables in tank 'B' inter space	0,00	
60	2.7	**Tank 'A' Local Control House**	0,00	
61	2.7.1	Install Process Marshalling Cabinet in tank 'A' LCH	3,64	30
62	2.7.2	Install F &G Marshalling Cabinet in tank 'A' LCH	2,90	61
63	7.5	Install FAC Panel in tank 'A' LCH	1,53	62
64	7.6	Install instrument cable tray and supports in tank 'A' LCH	41,63	29;63
65	2.7.5	Install junction boxes in tank 'A' LCH	0,84	61
66	7.7	Install instruments in tank 'A' LCH	8,13	57
67	2.7.7	Install F &G devices in tank 'A' LCH	20,63	66
68	2.7.8	Pull instrument cables in tank 'A' LCH	13,75	34;64
69	2.7.9	Pull F &G cables in tank 'A' LCH	24,00	68
70	7.8	Terminate instrument cables in tank 'A' LCH	4,88	63;36;64;65;66;68
71	7.9	Terminate F &G cables in tank 'A' LCH	9,63	64;65;67;69;70
72	2.7.12	Pre-commissioning activities in tank 'A'	0,00	71
73	3	**Instrumentation activities in tank 'B'**		
74	3.1	**Tank 'B' Roof**		
75	3.1.1	Install instrument cable tray and supports in tank 'B' roof	407,83	
76	3.1.2	Install junction boxes in tank 'B' roof	29,81	
77	3.1.3	Instruments Bench Calibration	30,00	
78	3.1.4	Install instruments in tank 'B' roof		
79	3.1.4.1	Install instruments and F &G devices in Pump platform of tank 'B' roof	272,00	77
80	3.1.4.2	Install instruments and F &G devices in instrument platform of tank 'B' roof	50,50	79

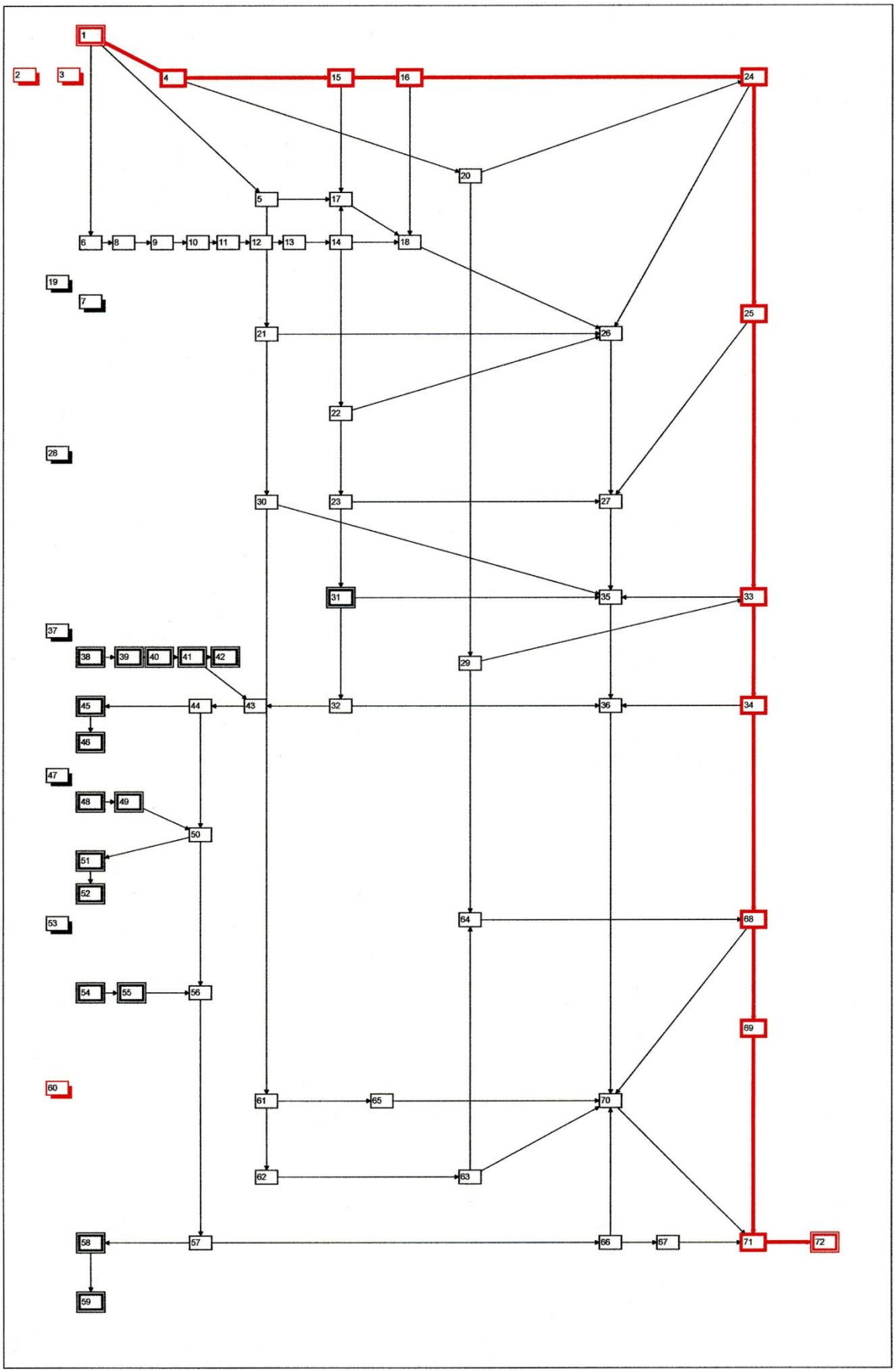
ID	WBS	Περιγραφή	Διάρκεια	Προαπαιτούμενα
81	3.1.4.3	Install instruments and F &G devices in Pit Vent platform of tank 'B' roof	11,75	80
82	3.1.4.4	Install instruments and F &G devices in Pressure Relief platform of tank 'B' roof	77,00	81
83	3.1.4.5	Install instruments and F &G devices in Fill platform of tank 'B' roof	56,88	82
84	3.1.4.6	Install instruments and F &G devices in come platform of tank 'B' roof	40,13	83
85	3.1.4.7	Install instruments and F &G devices in Purge platform of tank 'B' roof	0,75	84
86	3.1.5	Pull instrument cables in tank 'B' roof	215,00	75
87	3.1.6	Pull F &G cables in tank 'B' roof	105,13	86
88	3.1.7	Terminate instrument cables in tank 'B' roof	97,50	75;76;85;86
89	3.1.8	Terminate F &G cables in Tank 'B' roof	25,25	75;76;85;88
90	3.2	**Tank 'B' Pit wall**		
91	3.2.1	Install instrument cable tray and supports in tank 'B' pit wall	129,55	75
92	3.2.2	Install junction boxes in tank 'B' pit wall	15,52	76
93	3.2.3	Install instruments in tank 'B' pit wall	1,38	85
94	3.2.4	Install F &G devices in tank 'B' pit wall	114,75	93
95	3.2.5	Pull instrument cables in tank 'B' pit wall	2,25	91;87
96	3.2.6	Pull F &G cables in tank 'B' pit wall	60,75	95
97	3.2.7	Terminate instrument cables in tank 'B' pit wall	0,50	91;92;93;95;89
98	3.2.8	Terminate F &G cables in tank 'B' pit wall	27,00	91;92;94;96;97
99	3.3	**Tank 'B' Base**	0,00	
100	3.3.1	Install instrument cable tray and supports in tank 'B' base	46,88	91
101	3.3.2	Install junction boxes in tank 'B' base	8,36	92
102	3.3.3	Install instruments in tank 'B' base	0,00	94
103	3.3.4	Install F &G devices in tank 'B' base	1,88	102
104	3.3.5	Pull instrument cables in tank 'B' base	27,50	96;102
105	3.3.6	Pull F &G cables in tank 'B' base	1,88	104
106	3.3.7	Terminate instrument cables in tank 'B' base	7,88	100;101;102;104;98
107	3.3.8	Terminate F &G cables in tank 'B' base	0,50	100;101;103;105;106
108	3.4	**Tank 'B' Inner**	0,00	
109	3.4.1	Weld RTD pads & blocks to tank floor (Mech.)	0,00	
110	3.4.2	Weld cable retaining paddles to tank floor (Mech.)	0,00	109
111	3.4.3	Weld RTD pads & blocks to tank shell (Mech.)	0,00	110
112	3.4.4	Weld support pads & angles to tank shell (Mech.)	0,00	111
113	3.4.5	Install support tubes to tank shell (Mech.)	0,00	112
114	3.4.6	Install temperature detectors to tank 'B' floor	24,88	103;113
115	3.4.7	Install temperature detectors to tank 'B' shell	19,88	114
116	3.4.8	Pull and clip cables to tank 'B' inner	0,00	
117	3.4.9	Terminate cables to tank 'B' inner	0,00	

ID	WBS	Περιγραφή	Διάρκεια	Προαπαιτούμενα
118	3.5	**Tank 'B' Suspended Deck**	0,00	
119	3.5.1	Install RTD pads & blocks on suspended deck (Mech.)	0,00	
120	3.5.2	Install cable straps on tank 'B' suspended deck (Mech.)	0,00	119
121	3.5.3	Install temperature detectors on tank 'B' suspended deck	19,88	115;120
122	3.5.4	Pull instrument cables on tank 'B' suspended deck	0,00	
123	3.5.5	Terminate instrument cables on tank 'B' suspended deck	0,00	
124	3.6	**Tank 'B' Inter-space**	0,00	
125	3.6.1	Weld RTD pads & blocks to outer tank wall Inner (Mech.)	0,00	
126	3.6.2	Install support tubes to outer tank wall (Mech.)	0,00	125
127	3.6.3	Install temperature detectors to tank 'B' outer wall	15,00	121;126
128	3.6.4	Install temperature detectors to tank 'B' inter-space	17,38	127
129	3.6.5	Pull instrument cables in tank 'B' inter-space	0,00	
130	3.6.6	Terminate instrument cables in tank 'B' inter-space	0,00	
131	3.7	**Tank 'B' Local Control House**	0,00	
132	3.7.1	Install Process Marshalling Cabinet in tank 'B' LCH	3,64	101
133	3.7.2	Install F &G Marshalling Cabinet in tank 'B' LCH	2,90	132
134	3.7.3	Install FAC Panel in tank 'B' L.CH	1,53	133
135	3.7.4	Install instrument cable tray and supports in tank 'B' LCH	41,63	100
136	3.7.5	Install junction boxes in tank 'B' LCH	0,84	134
137	3.7.6	Install instruments in tank 'B' LCH	8,13	128
138	3.7.7	Install F &G devices in tank 'B' LCH	20,63	137
139	3.7.8	Pull instrument cables in tank 'B' LCH	13,75	135;105
140	3.7.9	Pull F &G cables in tank 'B' LCH	24,00	139
141	3.7.10	Terminate instrument cables in tank 'B' LCH	4,88	135;136;137;139;107
142	3.7.11	Terminate F &G cables in tank 'B' LCH	9,63	135;136;138;140;141
143	3.8	Pre-commissioning activities in tank 'B'		142

Πίνακας N°8: Κατάλογος δραστηριοτήτων, χρονική διάρκεια και προαπαιτούμενες δραστηριότητες

Με την ολοκλήρωση των στοιχείων για την αλληλουχία, την χρονική διάρκεια και τις προαπαιτούμενες δραστηριότητες καταστρώνεται το διάγραμμα δικτύου για το έργο. Στο διάγραμμα δικτύου κάθε δραστηριότητα απεικονίζεται με έναν κύκλο ή τετράγωνο που ονομάζεται *κόμβος του δικτύου* ενώ η λογική συσχέτιση μεταξύ των δραστηριοτήτων απεικονίζεται με την μορφή βέλους που ξεκινά από την προηγούμενη και καταλήγει στην τρέχουσα δραστηριότητα.

Το διάγραμμα δικτύου του έργου παρουσιάζεται στη συνέχεια.



Διάγραμμα δικτύου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10ο : Επίλυση του δικτύου

Τον καταρτισμό του δικτύου ακολουθεί η επίλυση του, δηλαδή ο υπολογισμός της χρονικής στιγμής έναρξης κάθε δραστηριότητας.

10.1. Υπολογισμός ημέρας «νωρίτερης έναρξης» δραστηριοτήτων

Θεωρώντας ότι η έναρξη του έργου πραγματοποιείται την ημέρα μηδέν, η οποία αντιστοιχεί στην δραστηριότητα «receive drawings in approved for construction status», υπολογίζουμε την χρονική στιγμή «t΄» που αντιστοιχεί στην ημέρα έναρξης κάθε δραστηριότητας που ακολουθεί. Η χρονική στιγμή t΄ που υπολογίζεται για κάθε δραστηριότητα πρέπει να ικανοποιεί τις παρακάτω συνθήκες:

- ✦ ισχύει κάθε χρονικός περιορισμός που προκύπτει από την διάρκεια εκτέλεσης των προαπαιτούμενων δραστηριοτήτων και
- ✦ η τιμή που υπολογίζεται στο τέλος όλων των δραστηριοτήτων και οριοθετείται από την δραστηριότητα «Pre commissioning activities in tank» είναι η ελάχιστη δυνατή.

Ακολουθώντας την επίλυση δικτύου από την έναρξη προς το πέρας (forward pass) υπολογίζουμε σε κάθε κόμβο την χρονική στιγμή «t΄» η οποία εκφράζει το ελάχιστο χρονικό διάστημα, από την ημερομηνία έναρξης του έργου, που μπορεί να ξεκινήσει μία δραστηριότητα χωρίς να επηρεαστεί η συνολική διάρκεια του έργου. Ο υπολογισμός της «t΄» περιλαμβάνει τις παρακάτω προϋποθέσεις:

- υπολογίζονται όλες τις δυνατές τιμές «t΄+ χρονική διάρκεια» σε ένα κόμβο για κάθε *προηγούμενο κόμβο*, δηλαδή για κάθε κόμβο από τον οποίο ξεκινά βέλος προς τον κόμβο που εξετάζεται και
- η μεγαλύτερη τιμή που υπολογίζεται είναι η «t΄» του κόμβου.

Στην τελευταία περίπτωση επιλέγεται η μεγαλύτερη από τις τιμές παρόλο που αναζητούμε την ελάχιστη χρονική διάρκεια καθώς έτσι ικανοποιούνται οι συνθήκες που αναφέρονται για τον υπολογισμό της τιμής «t΄». Η τιμή «t΄» που υπολογίζεται σε κάθε κόμβο με αυτό τον τρόπο είναι η *ημέρα νωρίτερης έναρξης* (early start) της δραστηριότητας.[4]

10.2. Υπολογισμός ημέρας «αργότερης έναρξης» δραστηριοτήτων

Ακολουθώντας την επίλυση δικτύου από το πέρας προς την έναρξη (backward pass) υπολογίζουμε σε κάθε κόμβο τη χρονική στιγμή «t΄΄» η οποία εκφράζει το μέγιστο χρονικό διάστημα, από την ημερομηνία έναρξης του έργου, που μπορεί να ξεκινήσει μια δραστηριότητα χωρίς να επηρεαστεί η συνολική διάρκεια του έργου. Μία άλλη ερμηνεία για την χρονική στιγμή «t΄΄» είναι ότι εκφράζει το χρονικό διάστημα που μπορεί να

επιμηκυνθεί μια δραστηριότητα χωρίς να επηρεαστεί η συνολική διάρκεια του έργου. Ο υπολογισμός της «t΄΄» περιλαμβάνει τις παρακάτω προϋποθέσεις:

- υπολογίζονται όλες οι χρονικές στιγμές «t΄΄- χρονική διάρκεια» του κόμβου που εξετάζεται για κάθε *επόμενο κόμβο*, δηλαδή τον κόμβο που καταλήγει το βέλος που ξεκινά από τον κόμβο που εξετάζεται.

- η μικρότερη τιμή που υπολογίζεται είναι η «t΄΄» του κόμβου.

Η τιμή «t΄΄» που υπολογίζεται σε κάθε κόμβο με αυτό τον τρόπο, είναι η *ημέρα αργότερης έναρξης* (late start) της δραστηριότητας.[4]

Οι τιμές «t΄» και «t΄΄» που υπολογίστηκαν εκφράζονται σε ανθρωποημέρες (Mdays) και παρουσιάζονται στον πίνακα N°9 που ακολουθεί.

ID	WBS	Περιγραφή	t'	t"	t"-t'	free slack	total slack
1	1	Receive drawings in "approved for construction" status	0,00		0,00		
2	2	**Instrumentation activities in tank 'A'**					
3	2.1	**Tank 'A' Roof**					
4	2.1.1	Install instrument cable tray and supports in tank 'A' roof	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	2.1.2	Install junction boxes in tank 'A' roof	0,00	664,78	664,78	0,00	664,78
6	2.1.3	Instruments bench calibration	0,00	75,33	75,33	0,00	75,33
7	2.1.4	Install instruments in tank 'A' roof					
8	2.1.4.1	Install instruments and F &G devices in Pump platform of tank 'A' roof	30,00	105,33	75,33	0,00	75,33
9	2.1.4.2	Install instruments and F &G devices in Instrument platform of tank 'A' roof	302,00	377,33	75,33	0,00	75,33
10	2.1.4.3	Install instruments and F &G devices in Pit Vent platform of tank 'A' roof	352,50	427,83	75,33	0,00	75,33
11	2.1.4.4	Install instruments and F &G devices in Pressure Relief platform of tank 'A' roof	364,25	439,58	75,33	0,00	75,33
12	2.1.4.5	Install instruments and F &G devices in Fill platform of tank 'A' roof	441,25	516,58	75,33	0,00	75,33
13	2.1.4.6	Install instruments and F &G devices in dome platform of tank 'A' roof	498,13	573,46	75,33	0,00	75,33
14	2.1.4.7	Install instruments and F &G devices in Purge platform of tank 'A' roof	538,25	613,58	75,33	0,00	75,33
15	2.1.5	Pull instrument cables in tank 'A' roof	407,83	407,83	0,00	0,00	0,00
16	2.1.6	Pull F &G cables in tank 'A' roof	622,83	622,83	0,00	0,00	0,00
17	2.1.7	Terminate instrument cables in tank 'A' roof	622,83	694,58	71,75	7,63	71,75
18	2.1.8	Terminate F &G cables in tank 'A' roof	727,96	792,08	64,13	0,00	64,13
19	2.2	**Tank 'A' Pit wall**					
20	2.2.1	Install instrument cable tray and supports in tank 'A' pit wall	407,83	598,41	190,58	0,00	190,58
21	2.2.2	Install junction boxes in tank 'A' pit wall	29,81	801,82	772,01	0,00	772,01
22	2.2.3	Install instruments in tank 'A' pit wall	539,00	614,33	75,33	0,00	75,33
23	2.2.4	Install F &G devices in tank 'A' pit wall	540,38	615,71	75,33	0,00	75,33
24	2.2.5	Pull instrument cables in tank 'A' pit wall	727,96	727,96	0,00	0,00	0,00
25	2.2.6	Pull F &G cables in tank 'A' pit wall	730,21	730,21	0,00	0,00	0,00

ID	WBS	Περιγραφή	t'	t"	t"-t'	free slack	total slack
26	2.2.7	Terminate instrument cables in tank 'A' pit wall	753,21	817,33	64,13	37,25	64,13
27	2.2.8	Terminate F &G cables in tank 'A' pit wall	790,96	817,83	26,88	0,50	26,88
28	2.3	**Tank 'A' Base**					
29	2.3.1	Install instrument cable tray and supports in tank 'A' base	537,38	731,82	194,44	0,00	194,44
30	2.3.2	Install junction boxes in tank 'A' base	45,33	836,47	791,15	3,64	791,15
31	2.3.3	Install instruments in tank 'A' base	655,13	730,46	75,33	0,00	75,33
32	2.3.4	Install F &G devices in tank 'A' base	655,13	730,46	75,33	0,00	75,33
33	2.3.5	Pull instrument cables in tank 'A' base	790,96	790,96	0,00	0,00	0,00
34	2.3.6	Pull F &G cables in tank 'A' base	818,46	818,46	0,00	0,00	0,00
35	2.3.7	Terminate instrument cables in tank 'A' base	818,46	844,83	26,38	0,00	26,38
36	2.3.8	Terminate F&G cables in tank 'A' base	826,33	852,71	26,38	7,25	26,38
37	2.4	**Tank 'A' Inner**					
38	2.4.1	Weld RTD pads & blocks to tank floor (Mech.)					
39	2.4.2	Weld cable retaining paddles to tank floor (Mech.)					
40	2.4.3	Weld RTD pads & blocks to tank shell (Mech.)					
41	2.4.4	Weld support pads & angles to tank shell (Mech.)					
42	2.4.5	Install support tubes to tank shell (Mech.)					
43	2.4.6	Install temperature detectors to tank 'A' floor	657,00	732,33	75,33	0,00	75,33
44	2.4.7	Install temperature detectors to tank 'A' shell	681,88	757,21	75,33	0,00	75,33
45	2.4.8	Pull and clip cables to tank 'B' inner					
46	2.4.9	Terminate cables to tank 'B' inner					
47	2.5	**Tank 'A' Suspended Deck**					
48	2.5.1	Install RTD pads & blocks on suspended deck (Mech.)					
49	2.5.2	Install cable straps on tank 'B' suspended deck (Mech.)					
50	2.5.3	Install temperature detectors on tank 'A' suspended deck	701,75	777,08	75,33	0,00	75,33
51	2.5.4	Pull instrument cables on tank 'B' suspended deck					
52	2.5.5	Terminate instrument cables on tank 'B' suspended deck					
53	2.6	**Tank 'A' Inter space**					
54	2.6.1	Weld RTD pads & blocks to outer tank wall Inner (Mech.)					
55	2.6.2	Install support tubes to outer tank wall (Mech.)					
56	2.6.3	Install temperature detectors to tank 'A' outer wall	721,63	796,96	75,33	0,00	75,33
57	2.6.4	Install temperature detectors to tank 'A' inter space	736,63	811,96	75,33	0,00	75,33
58	2.6.5	Pull instrument cables in tank 'B' inter space					
59	2.6.6	Terminate instrument cables in tank 'B' inter space					
60	2.7	**Tank 'A' Local Control House**					
61	2.7.1	Install Process Marshalling Cabinet in tank 'A' LCH	53,69	770,63	716,95	0,00	716,95
62	2.7.2	Install F &G Marshalling Cabinet in tank 'A' LCH	57,33	774,27	716,95	0,00	716,95
63	7.5	Install FAC Panel in tank 'A' LCH	60,22	777,17	716,95	522,51	716,95
64	7.6	Install instrument cable tray and supports in tank 'A' LCH	584,26	778,70	194,44	194,44	194,44
65	2.7.5	Install junction boxes in tank 'A' LCH	57,33	852,37	795,05	775,92	795,05
66	7.7	Install instruments in tank 'A' LCH	754,00	829,33	75,33	0,00	75,33
67	2.7.7	Install F &G devices in tank 'A' LCH	762,13	837,46	75,33	75,33	75,33
68	2.7.8	Pull instrument cables in tank 'A' LCH	820,33	820,33	0,00	0,00	0,00
69	2.7.9	Pull F &G cables in tank 'A' LCH	834,08	834,08	0,00	0,00	0,00
70	7.8	Terminate instrument cables in tank 'A' LCH	834,08	853,21	19,13	19,13	19,13

ID	WBS	Περιγραφή	t'	t"	t"-t'	free slack	total slack
71	7.9	Terminate F &G cables in tank 'A' LCH	858,08	858,08	0,00	0,00	0,00
72	2.7.12	Pre commissioning activities in tank 'A'	867,71	867,71	0,00		
73	3	**Instrumentation activities in tank 'B'**					
74	3.1	**Tank 'B' Roof**					
75	3.1.1	Install instrument cable tray and supports in tank 'B' roof	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
76	3.1.2	Install junction boxes in tank 'B' roof	0,00	664,77	664,77	0,00	664,77
77	3.1.3	Instruments Bench Calibration	0,00	75,33	75,33	0,00	75,33
78	3.1.4	Install instruments in tank 'B' roof					
79	3.1.4.1	Install instruments and F &G devices in Pump platform of tank 'B' roof	30,00	105,33	75,33	0,00	75,33
80	3.1.4.2	Install instruments and F &G devices in instrument platform of tank 'B' roof	302,00	377,33	75,33	0,00	75,33
81	3.1.4.3	Install instruments and F &G devices in Pit Vent platform of tank 'B' roof	352,50	427,83	75,33	0,00	75,33
82	3.1.4.4	Install instruments and F &G devices in Pressure Relief platform of tank 'B' roof	364,25	439,58	75,33	0,00	75,33
83	3.1.4.5	Install instruments and F &G devices in Fill platform of tank 'B' roof	441,25	516,58	75,33	0,00	75,33
84	3.1.4.6	Install instruments and F &G devices in come platform of tank 'B' roof	498,13	573,46	75,33	0,00	75,33
85	3.1.4.7	Install instruments and F &G devices in Purge platform of tank 'B' roof	538,25	613,58	75,33	0,00	75,33
86	3.1.5	Pull instrument cables in tank 'B' roof	407,83	407,83	0,00	0,00	0,00
87	3.1.6	Pull F &G cables in tank 'B' roof	622,83	622,83	0,00	0,00	0,00
88	3.1.7	Terminate instrument cables in tank 'B' roof	622,83	694,58	71,75	7,63	71,75
89	3.1.8	Terminate F &G cables in Tank 'B' roof	727,96	792,08	64,13	0,00	64,13
90	3.2	**Tank 'B' Pit wall**					
91	3.2.1	Install instrument cable tray and supports in tank 'B' pit wall	407,83	598,41	190,58	0,00	190,58
92	3.2.2	Install junction boxes in tank 'B' pit wall	29,81	801,81	772,01	0,00	772,01
93	3.2.3	Install instruments in tank 'B' pit wall	539,00	614,33	75,33	0,00	75,33
94	3.2.4	Install F &G devices in tank 'B' pit wall	540,38	615,71	75,33	0,00	75,33
95	3.2.5	Pull instrument cables in tank 'B' pit wall	727,96	727,96	0,00	0,00	0,00
96	3.2.6	Pull F &G cables in tank 'B' pit wall	730,21	730,21	0,00	0,00	0,00
97	3.2.7	Terminate instrument cables in tank 'B' pit wall	753,21	817,33	64,13	37,25	64,13
98	3.2.8	Terminate F &G cables in tank 'B' pit wall	790,96	817,83	26,88	0,50	26,88
99	3.3	**Tank 'B' Base**					
100	3.3.1	Install instrument cable tray and supports in tank 'B' base	537,38	731,82	194,44	0,00	194,44
101	3.3.2	Install junction boxes in tank 'B' base	45,33	836,47	791,14	3,64	791,14
102	3.3.3	Install instruments in tank 'B' base	655,13	730,46	75,33	0,00	75,33
103	3.3.4	Install F &G devices in tank 'B' base	655,13	730,46	75,33	0,00	75,33
104	3.3.5	Pull instrument cables in tank 'B' base	790,96	790,96	0,00	0,00	0,00
105	3.3.6	Pull F &G cables in tank 'B' base	818,46	818,46	0,00	0,00	0,00
106	3.3.7	Terminate instrument cables in tank 'B' base	818,46	844,83	26,38	0,00	26,38
107	3.3.8	Terminate F &G cables in tank 'B' base	826,33	852,71	26,38	7,25	26,38
108	3.4	**Tank 'B' Inner**					
109	3.4.1	Weld RTD pads & blocks to tank floor (Mech.)					
110	3.4.2	Weld cable retaining paddles to tank floor (Mech.)					
111	3.4.3	Weld RTD pads & blocks to tank shell (Mech.)					
112	3.4.4	Weld support pads & angles to tank shell (Mech.)					
113	3.4.5	Install support tubes to tank shell (Mech.)					
114	3.4.6	Install temperature detectors to tank 'B' floor	657,00	732,33	75,33	0,00	75,33

ID	WBS	Περιγραφή	t'	t"	t"-t'	free slack	total slack
115	3.4.7	Install temperature detectors to tank 'B' shell	681,88	757,21	75,33	0,00	75,33
116	3.4.8	Pull and clip cables to tank 'B' inner					
117	3.4.9	Terminate cables to tank 'B' inner					
118	3.5	**Tank 'B' Suspended Deck**					
119	3.5.1	Install RTD pads & blocks on suspended deck (Mech.)					
120	3.5.2	Install cable straps on tank 'B' suspended deck (Mech.)					
121	3.5.3	Install temperature detectors on tank 'B' suspended deck	701,75	777,08	75,33	0,00	75,33
122	3.5.4	Pull instrument cables on tank 'B' suspended deck					
123	3.5.5	Terminate instrument cables on tank 'B' suspended deck					
124	3.6	**Tank 'B' Inter space**					
125	3.6.1	Weld RTD pads & blocks to outer tank wall Inner (Mech.)					
126	3.6.2	Install support tubes to outer tank wall (Mech.)					
127	3.6.3	Install temperature detectors to tank 'B' outer wall	721,63	796,96	75,33	0,00	75,33
128	3.6.4	Install temperature detectors to tank 'B' inter space	736,63	811,96	75,33	0,00	75,33
129	3.6.5	Pull instrument cables in tank 'B' inter space					
130	3.6.6	Terminate instrument cables in tank 'B' inter space					
131	3.7	**Tank 'B' Local Control House**					
132	3.7.1	Install Process Marshalling Cabinet in tank 'B' LCH	53,69	770,63	716,94	0,00	716,94
133	3.7.2	Install F &G Marshalling Cabinet in tank 'B' LCH	57,33	774,27	716,94	0,00	716,94
134	3.7.3	Install FAC Panel in tank 'B' LCH	60,22	777,17	716,94	522,51	716,94
135	3.7.4	Install instrument cable tray and supports in tank 'B' LCH	584,26	778,70	194,44	194,44	194,44
136	3.7.5	Install junction boxes in tank 'B' LCH	57,33	852,37	795,04	775,92	795,04
137	3.7.6	Install instruments in tank 'B' LCH	754,00	829,33	75,33	0,00	75,33
138	3.7.7	Install F &G devices in tank 'B' LCH	762,13	837,46	75,33	75,33	75,33
139	3.7.8	Pull instrument cables in tank 'B' LCH	820,33	820,33	0,00	0,00	0,00
140	3.7.9	Pull F &G cables in tank 'B' LCH	834,08	834,08	0,00	0,00	0,00
141	3.7.10	Terminate instrument cables in tank 'B' LCH	834,08	853,21	19,13	19,13	19,13
142	3.7.11	Terminate F &G cables in tank 'B' LCH	858,08	858,08	0,00	0,00	0,00
143	3.8	Pre commissioning activities in tank 'B'	867,71	867,71	0,00		

Πίνακας N°9: Χρονικά περιθώρια δραστηριοτήτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11ο : Υπολογισμός κρίσιμης διαδρομής

Το διάγραμμα δικτύου και η χρονική διάρκεια αποτελούν δύο από τους καθοριστικούς παράγοντες για τον προγραμματισμό των δραστηριοτήτων. Ο τρίτος καθοριστικός παράγοντας είναι το *χρονικό περιθώριο* (activity float)των δραστηριοτήτων το οποίο καλείται και *χαλαρός χρόνος* (slack). Αποτελεί ένα μέτρο της ευελιξίας του έργου και δηλώνει το πλεόνασμα χρόνου που υπάρχει στον προγραμματισμό της δραστηριότητας, καθώς προσδιορίζει το διάστημα που μπορεί να καθυστερήσει η έναρξη της ή να επεκταθεί η διάρκεια της χωρίς να επηρεάσει την ημερομηνία ολοκλήρωσης του έργου.

Η *κρίσιμη διαδρομή έργου* (project critical path) ορίζεται ως η σειρά των δραστηριοτήτων που έχουν μηδενικό περιθώριο και διατρέχει το έργο από την αρχική μέχρι την καταληκτική δραστηριότητα.[15]

11.1. Υπολογισμός χρονικών περιθωρίων

Το χρονικό περιθώριο έχει τις παρακάτω βασικές κατηγορίες:

- *συνολικό περιθώριο* (total float) που αφορά το σύνολο των δραστηριοτήτων που αποτελούν ένα κλάδο του δικτύου, δηλαδή αν κάποια δραστηριότητα «καταναλώσει» ένα μέρος του συνολικού περιθωρίου, τότε αφαιρείται αυτόματα από το περιθώριο των υπολοίπων δραστηριοτήτων του κλάδου.

- *ελεύθερο περιθώριο* (free float) είναι αυτό που μπορεί να «καταναλώσει» μία δραστηριότητα χωρίς να επηρεάσει τη νωρίτερη έναρξη οποιασδήποτε άλλης δραστηριότητας. Αυτό αφορά δραστηριότητες που συνδέονται σε κάποια διακλάδωση του δικτύου με κάποια κρίσιμη δραστηριότητα ή κάποια ενδιάμεση προθεσμία.

Το συνολικό περιθώριο σε ένα κόμβο δικτύου υπολογίζεται με τη βοήθεια του τύπου:

$\sigma.\pi. = t_{\kappa}^{''} - t_{\iota}^{''} - d(\iota,\kappa)$ (3), όπου

(ι,κ) δύο αλληλοεξαρτώμενες δραστηριότητες, $t_{\kappa}^{''}$, $t_{\iota}^{''}$ οι αντίστοιχες τιμές «t΄΄» και «t΄» για τις δραστηριότητες και $d(\iota,\kappa)$ η χρονική διάρκεια της δραστηριότητας (ι)

Το ελεύθερο περιθώριο σε ένα κόμβο δικτύου υπολογίζεται με τη βοήθεια του τύπου:

$\varepsilon.\pi. = t_{\kappa}^{'} - t_{\iota}^{'} - d(\iota,\kappa)$ (4), όπου

(ι,κ) δύο αλληλοεξαρτώμενες δραστηριότητες, $t_{\kappa}^{'}, t_{\iota}^{'}$ οι αντίστοιχες τιμές «t΄» για τις δραστηριότητες και $d(\iota,\kappa)$ η χρονική διάρκεια της δραστηριότητας (ι).

Η διαφορά $t^{''} - t^{'}$ (5) δίνει το χρονικό περιθώριο μιας δραστηριότητας

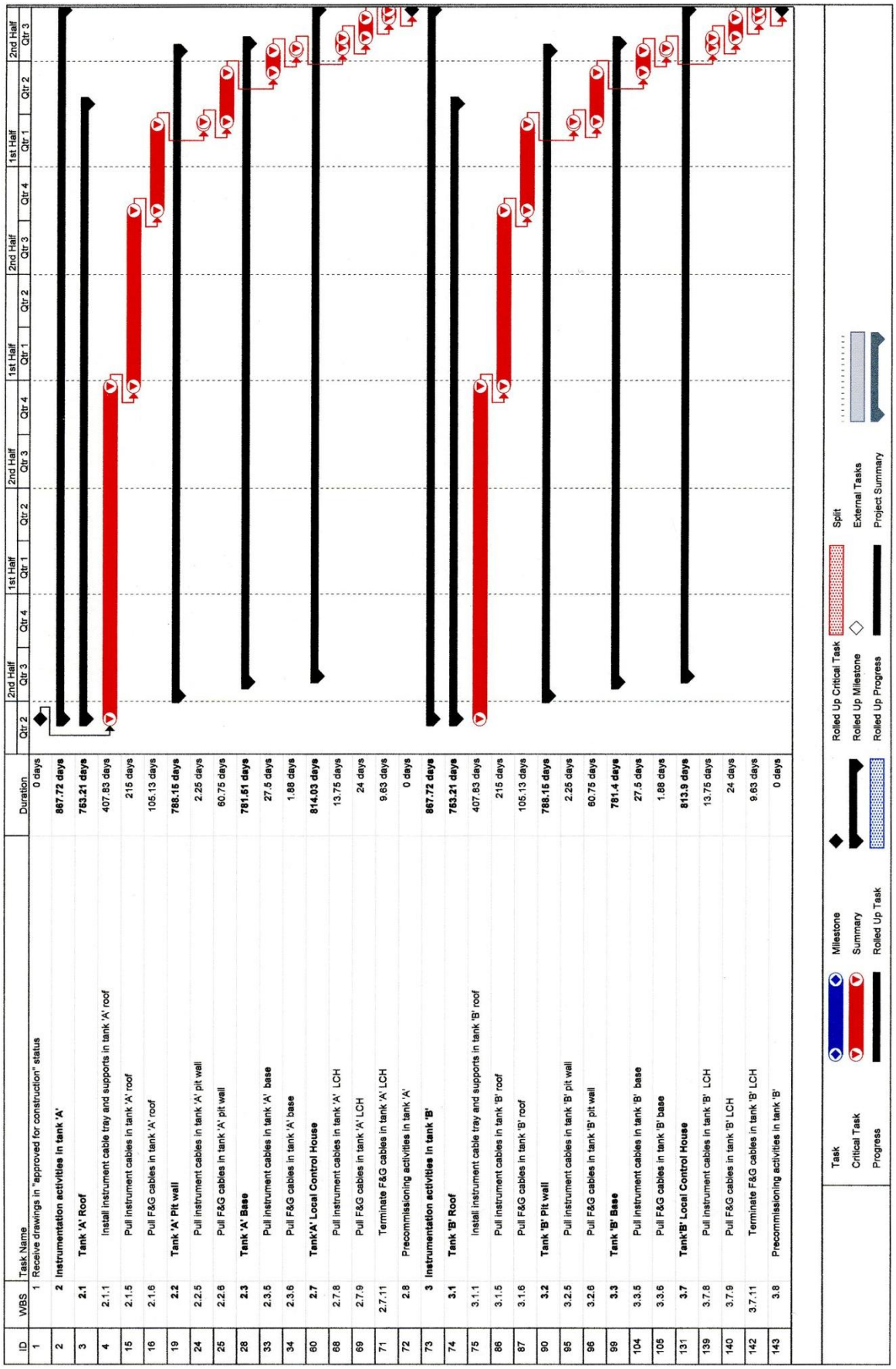
Οι δραστηριότητες με μηδενικά περιθώρια είναι οι κρίσιμες δραστηριότητες και είναι αυτές που αποτελούν την κρίσιμη διαδρομή.[4] Τα αποτελέσματα των υπολογισμών για την εύρεση των χρονικών περιθωρίων κάθε δραστηριότητας εκφράζονται σε ανθρωποημέρες (Mdays) και παρουσιάζονται στον πίνακα N°9.

11.2. Κρίσιμες δραστηριότητες

Οι δραστηριότητες που αποτελούν την κρίσιμη διαδρομή όπως προκύπτουν από τους υπολογισμούς των μεγεθών του πίνακα N°9 παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

α/α	*ID*	*Περιγραφή δραστηριότητας*
1	1	Receive drawings in approved for construction status
2	2.1.1	Install instrument cable tray and supports in tank 'A' roof
3	2.1.5	Pull instrument cables in tank 'A' roof
4	2.1.6	Pull F &G cables in tank 'A' roof
5	2.2.5	Pull instrument cables in tank 'A' pit wall
6	2.2.6	Pull F &G cables in tank 'A' pit wall
7	2.3.5	Pull instrument cables in tank 'A' base
8	2.3.6	Pull F &G cables in tank 'A' base
9	2.7.8	Pull instrument cables in tank 'A' LCH
10	2.7.9	Pull F &G cables in tank 'A' LCH
11	2.7.11	Terminate F &G cables in tank 'A' LCH
12	2.8	Pre commissioning activities in tank 'A'
13	3.1.1	Install instrument cable tray and supports in tank 'B' roof
14	3.1.5	Pull instrument cables in tank 'B' roof
15	3.1.6	Pull F &G cables in tank 'B' roof
16	3.2.5	Pull instrument cables in tank 'B' pit wall
17	3.2.6	Pull F &G cables in tank 'B' pit wall
18	3.3.5	Pull instrument cables in tank 'B' base
19	3.3.6	Pull F &G cables in tank 'B' base
20	3.7.8	Pull instrument cables in tank 'B' LCH
21	3.7.9	Pull F &G cables in tank 'B' LCH
22	3.7.11	Terminate F &G cables in tank 'B' LCH

Η απεικόνιση της κρίσιμης διαδρομής σε διάγραμμα Gantt παρουσιάζεται στη συνέχεια.



Διάγραμμα Gantt για την κρίσιμη διαδρομή

Από την μελέτη της κρίσιμης διαδρομής διαπιστώνουμε ότι αποτελείται από δύο ανεξάρτητα τμήματα, όμοια μεταξύ τους. Σε αυτά περιλαμβάνονται οι δραστηριότητες που αφορούν την εγκατάσταση σχάρας στην οροφή της δεξαμενής και την εγκατάσταση των καλωδίων σε ολόκληρη τη δεξαμενή. Η τελευταία δραστηριότητα στην κρίσιμη διαδρομή είναι και η τελευταία στην αλληλουχία των δραστηριοτήτων και αφορά την σύνδεση των καλωδίων στο LCH. Οι δραστηριότητες «Receive drawings in approved for construction status» και «Precommissioning activities in tank » οριοθετούν την έναρξη του έργου και την ολοκλήρωση των εργασιών σε κάθε δεξαμενή.

11.3. Υποκρίσιμες δραστηριότητες

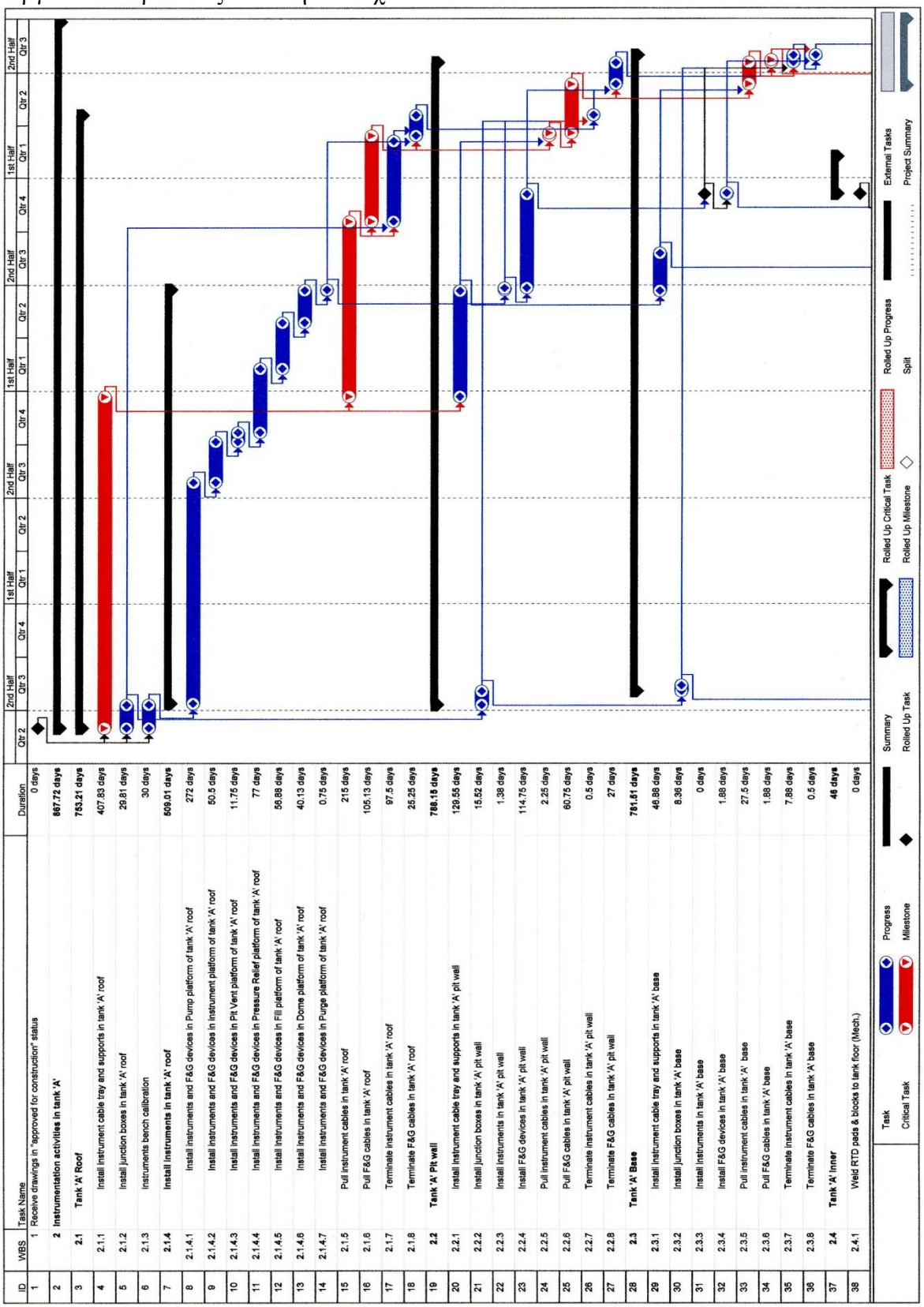
Επίσης ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στις *υποκρίσιμες δραστηριότητες*, δηλαδή αυτές που παρουσιάζουν μικρό χρονικό περιθώριο και δεν απέχουν πολύ από το να καταστούν κρίσιμες διαφοροποιώντας έτσι την κρίσιμη διαδρομή.[4] Η υποκρίσιμη διαδρομή περιλαμβάνει τις δραστηριότητες που το ελεύθερο περιθώριο είναι κοντά στο μηδέν. Για την συγκεκριμένη περίπτωση επιλέγονται οι δραστηριότητες με χρονικό περιθώριο μικρότερο από τριάντα ημέρες. Οι εργασίες της υποκρίσιμης διαδρομής παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

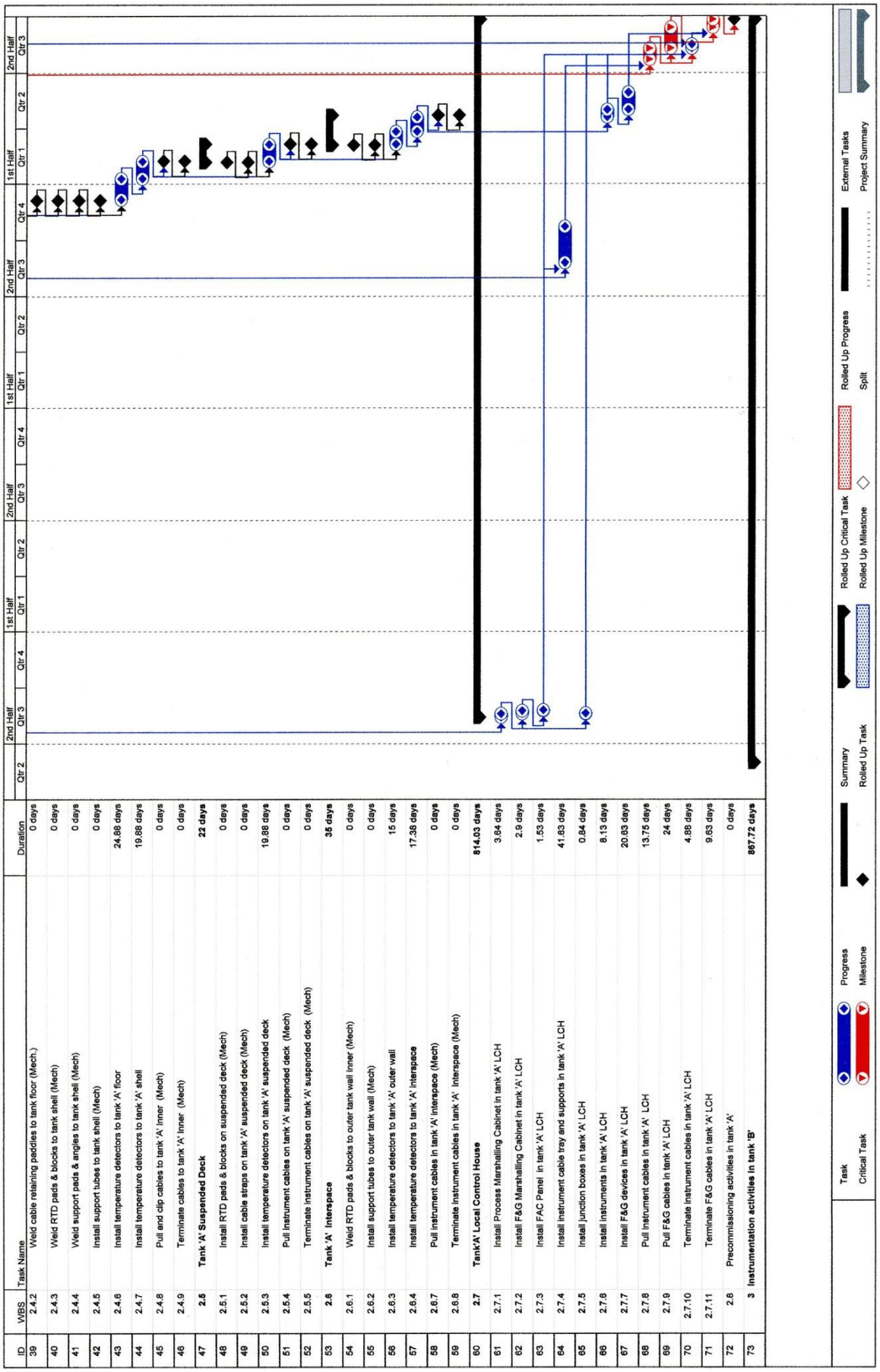
α/α	*ID*	*Περιγραφή δραστηριότητας*	*Free slack*	*Total slack*
1	2.2.8	Terminate F &G cables in tank 'A' pit wall	0,5	26,87
2	2.3.7	Terminate instrument cables in tank 'A' base	0	26,37
3	2.3.8	Terminate F &G cables in tank 'A' base	7,25	26,37
4	2.7.10	Terminate instrument cables in tank 'A' LCH	19,12	19,12
5	3.2.8	Terminate F &G cables in tank 'B' pit wall	0,5	26,87
6	3.3.7	Terminate instrument cables in tank 'B' base	0	26,37
7	3.3.8	Terminate F &G cables in tank 'B' base	7,25	26,37
8	3.7.10	Terminate instrument cables in tank 'B' LCH	19,12	19,12

Από την μελέτη της υποκρίσιμης διαδρομής διαπιστώνουμε ότι περιλαμβάνει όλες τις εργασίες σύνδεσης των καλωδίων, εκτός από τα καλώδια F&G στο LCH που ανήκουν στην κρίσιμη διαδρομή, γεγονός αναμενόμενο καθώς οι δραστηριότητες σύνδεσης βρίσκονται στο τέλος της αλληλουχίας των δραστηριοτήτων κάθε κύκλου .

Έχοντας καθορίσει την αλληλουχία των δραστηριοτήτων, τις προαπαιτούμενες δραστηριότητες, τα χρονικά περιθώρια, την κρίσιμη και τις υποκρίσιμες διαδρομές, μπορούμε να απεικονίσουμε σε διάγραμμα Gantt το πρόγραμμα δραστηριοτήτων του έργου. Η απεικόνιση γίνεται με την βοήθεια του λογισμικού διαχείρισης έργων MS Project. Οι παραδοχές που έγιναν κατά την διάρκεια των υπολογισμών οδηγούν στην

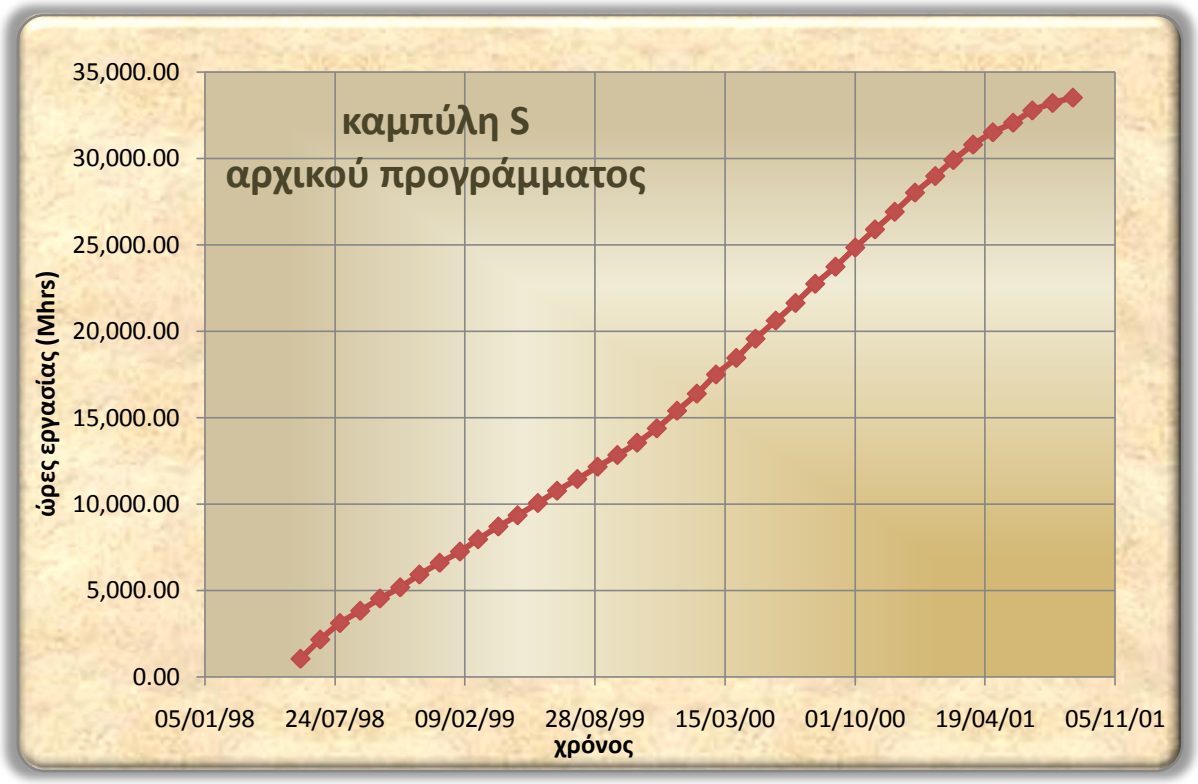
εύρεση της χρονικής διάρκειας που απαιτείται για την εκτέλεση του έργου χρησιμοποιώντας το ελάχιστο δυνατό προσωπικό σε κάθε δραστηριότητα, με την προοπτική το έργο να ολοκληρωθεί στον περισσότερο δυνατό χρόνο και κατ' επέκταση με το ελάχιστο δυνατό κόστος. Αποτελεί το «αρχικό» πρόγραμμα εκτέλεσης των δραστηριοτήτων του έργου και παρουσιάζεται στην συνέχεια.



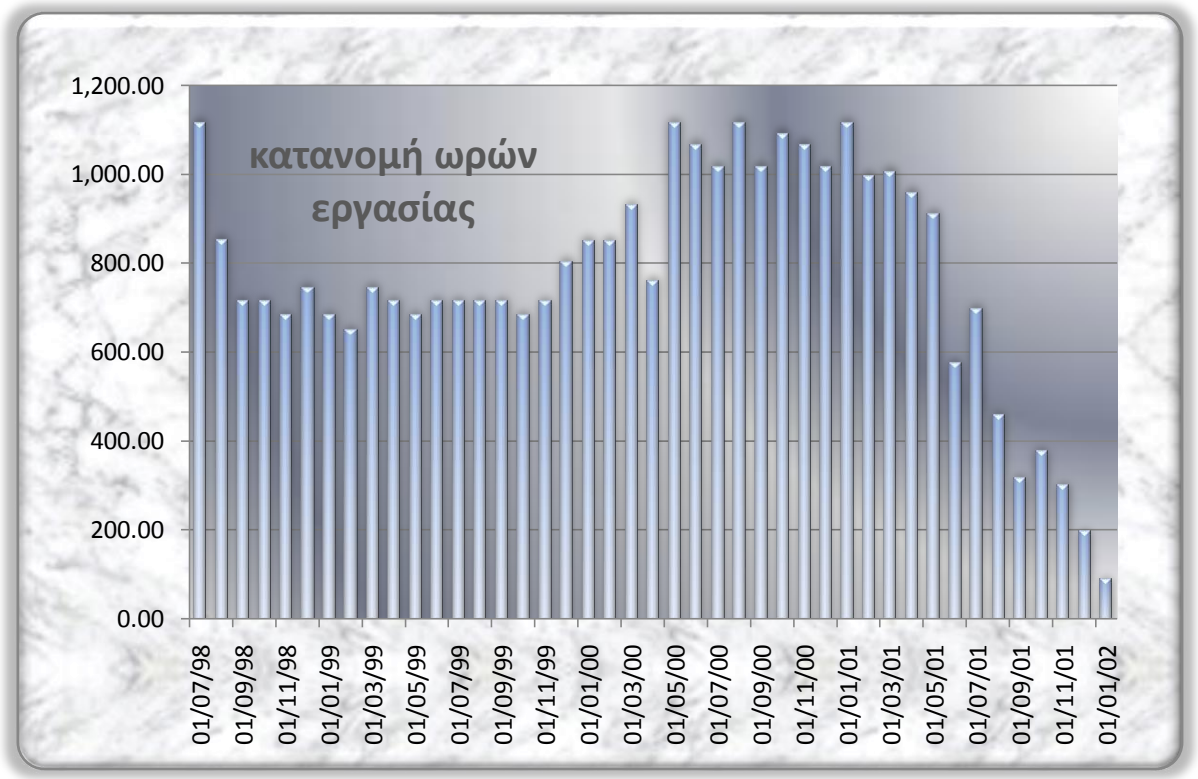


ID	WBS	Task Name	Duration
39	2.4.2	Weld cable retaining paddles to tank floor (Mech.)	0 days
40	2.4.3	Weld RTD pads & blocks to tank shell (Mech)	0 days
41	2.4.4	Weld support pads & angles to tank shell (Mech)	0 days
42	2.4.5	Install support tubes to tank shell (Mech)	0 days
43	2.4.6	Install temperature detectors to tank 'A' floor	24.88 days
44	2.4.7	Install temperature detectors to tank 'A' shell	19.88 days
45	2.4.8	Pull and clip cables to tank 'A' Inner (Mech)	0 days
46	2.4.9	Terminate cables to tank 'A' Inner (Mech)	0 days
47	2.5	**Tank 'A' Suspended Deck**	**22 days**
48	2.5.1	Install RTD pads & blocks on suspended deck (Mech)	0 days
49	2.5.2	Install cable straps on tank 'A' suspended deck (Mech)	0 days
50	2.5.3	Install temperature detectors on tank 'A' suspended deck	19.88 days
51	2.5.4	Pull instrument cables on tank 'A' suspended deck (Mech)	0 days
52	2.5.5	Terminate instrument cables on tank 'A' suspended deck (Mech)	0 days
53	2.6	**Tank 'A' Interspace**	**35 days**
54	2.6.1	Weld RTD pads & blocks to outer tank wall inner (Mech)	0 days
55	2.6.2	Install support tubes to outer tank wall (Mech)	0 days
56	2.6.3	Install temperature detectors to tank 'A' outer wall	15 days
57	2.6.4	Install temperature detectors to tank 'A' interspace	17.38 days
58	2.6.7	Pull instrument cables in tank 'A' interspace (Mech)	0 days
59	2.6.8	Terminate instrument cables in tank 'A' Interspace (Mech)	0 days
60	2.7	**Tank'A' Local Control House**	**814.03 days**
61	2.7.1	Install Process Marshalling Cabinet in tank 'A' LCH	3.64 days
62	2.7.2	Install F&G Marshalling Cabinet in tank 'A' LCH	2.9 days
63	2.7.3	Install FAC Panel in tank 'A' LCH	1.53 days
64	2.7.4	Install instrument cable tray and supports in tank 'A' LCH	41.83 days
65	2.7.5	Install junction boxes in tank 'A' LCH	0.84 days
66	2.7.6	Install instruments in tank 'A' LCH	8.13 days
67	2.7.7	Install F&G devices in tank 'A' LCH	20.63 days
68	2.7.8	Pull instrument cables in tank 'A' LCH	13.75 days
69	2.7.9	Pull F&G cables in tank 'A' LCH	24 days
70	2.7.10	Terminate instrument cables in tank 'A' LCH	4.88 days
71	2.7.11	Terminate F&G cables in tank 'A' LCH	9.63 days
72	2.8	Precommissioning activities in tank 'A'	0 days
73	3	**Instrumentation activities in tank 'B'**	**867.72 days**

Αρχικό πρόγραμμα



Καμπύλη S του αρχικού προγράμματος



Κατανομή ωρών εργασίας αρχικού προγράμματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12ο : Χρονοδιάγραμμα έργου

12.1. Καταρτισμός χρονοδιαγράμματος δραστηριοτήτων

Ο καταρτισμός του χρονοδιαγράμματος των δραστηριοτήτων ή «χρονοπρογραμματισμός» (time scheduling) ενός έργου περιλαμβάνει την διαδικασία προσαρμογής των μεγεθών που υπολογίστηκαν κατά τη φάση του προγραμματισμού, στις χρονικές απαιτήσεις για την εκτέλεση του οι οποίες καθορίζονται, κατά κανόνα, από τον κύριο του έργου ή από τις συνθήκες που διαμορφώνονται στην φάση της κατασκευής του. Πρόκειται, κατά μία έννοια, για την «συμπίεση» (compression) ή την «επιτάχυνση» (speed-up ή crash) της χρονικής διάρκειας που απαιτείται για την εκτέλεση του συνόλου των δραστηριοτήτων, με σκοπό την ολοκλήρωση ενός έργου μέσα στα χρονικά όρια υλοποίησης του.

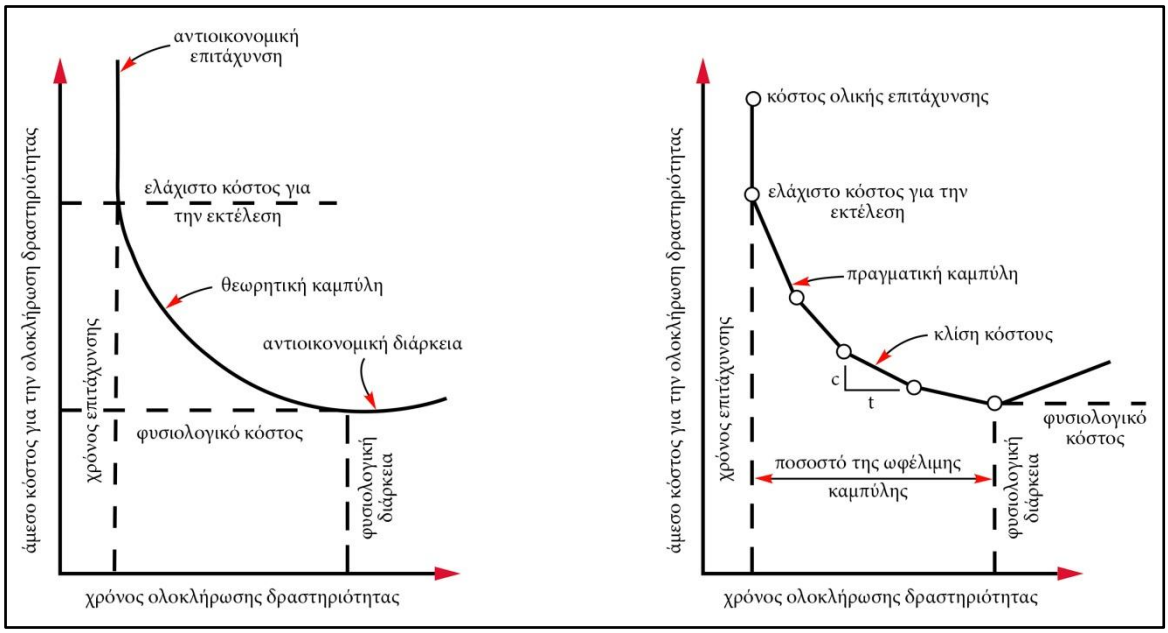
Για την προσαρμογή του προγράμματος σε συγκεκριμένα χρονικά περιθώρια έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές που εφαρμόζονται κατά περίπτωση, με πρώτιστο μέλημα τη διατήρηση του σκοπού του έργου εκτός από την έγκαιρη ολοκλήρωσή του. Η διαδικασία της «επιτάχυνσης» του προγράμματος περιλαμβάνει μια σειρά από υπολογισμούς, οι οποίοι οδηγούν στην προοδευτική μείωση της χρονικής διάρκειας εκτέλεσης των επιμέρους δραστηριοτήτων και κατ' επέκταση ολόκληρου του έργου. Εφαρμόζεται η λογική των στοιχειωδών μεταβολών στους διαθέσιμους πόρους, λαμβάνοντας πάντοτε υπόψη την μορφή του διαγράμματος δικτύου του, τις επιμέρους δραστηριότητες και τις ιδιαιτερότητες τους. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας είναι μια αναθεώρηση του αρχικού προγράμματος και αποτελεί την «συμπίεση του προγράμματος» (schedule compression).

Οι παράμετροι που εξετάσθηκαν κατά τη φάση του προγραμματισμού περιορίσθηκαν στον προσδιορισμό χρονικών μεγεθών, όμως για την μείωση της διάρκειας μιας δραστηριότητας είναι απαραίτητο να συνεκτιμηθεί και το κόστος, πιο συγκεκριμένα το «άμεσο κόστος», εκτέλεσης της το οποίο περιλαμβάνει την αμοιβή των εργαζομένων, την αξία κτήσης υλικών και του εξοπλισμού που απαιτείται για την πραγματοποίηση μιας εργασίας. Η λεπτομερής χρονική ανάλυση σε συνδυασμό με τις πληροφορίες που αφορούν το κόστος εκτέλεσης, όπως προκύπτουν κατά το στάδιο της εκτίμησης για την χρονική διάρκεια τους, αποτελούν τα «χρήσιμα δεδομένα» (utility data) για τον καταρτισμό ενός χρονοδιαγράμματος δραστηριοτήτων. Πρόκειται για τα δεδομένα που απαιτούνται για την εύρεση του τρόπου εκτέλεσης ενός έργου με γνώμονα είτε την χρονική διάρκεια του είτε το κόστος εκτέλεσης του, καθώς τις περισσότερες φορές οι δύο αυτοί τρόποι υλοποίησης δεν ταυτίζονται.

Ένα έργο μπορεί να πραγματοποιηθεί με πολλούς και διαφορετικούς τρόπους ξεκινώντας από τη εκτέλεση του με το *ελάχιστο δυνατό κόστος* (least cost solution), κατά την οποία όλες οι δραστηριότητες πραγματοποιούνται με το ελάχιστο δυνατό κόστος εκτέλεσης, αξιοποιώντας όλα τα διαθέσιμα χρονικά περιθώρια, έτσι ώστε να πραγματο-

ποιηθεί στη μέγιστη διάρκεια του και φθάνοντας μέχρι την εκτέλεση του στον *ελάχιστο δυνατό χρόνο* (least time solution) με το λιγότερο δυνατό κόστος για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Στην δεύτερη περίπτωση η μείωση του χρόνου απαιτεί κάποιες από τις δραστηριότητες να «επιταχυνθούν» (crashed) ώστε να επιτευχθεί η εκτέλεση του έργου σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα καθώς έχει αποδειχθεί ότι ακόμα και αν επιταχυνθούν όλες οι δραστηριότητες (all crash solution), δεν είναι βέβαιο ότι εξασφαλίζεται η βέλτιστη λύση, από την πλευρά του κόστους, για την εκτέλεση ενός έργου. Η εφαρμογή της λύσης του ελάχιστου δυνατού χρόνου περιλαμβάνει την επιλογή των κατάλληλων δραστηριοτήτων που η επιτάχυνση τους θα επιφέρει την βέλτιστη λύση, από την πλευρά του κόστους, για τις δεδομένες συνθήκες.

Αναγκαίο συμπλήρωμα για την προετοιμασία και την επιλογή των δραστηριοτήτων που θα επιταχυνθούν αποτελεί η καμπύλη «χρόνου-άμεσου κόστους». Το άμεσο κόστος για την εκτέλεση μιας δραστηριότητας με συγκεκριμένο τρόπο, σχεδιάζεται σε συνάρτηση με την εκτίμηση του χρόνου που απαιτείται, σχηματίζοντας την «πραγματική» καμπύλη χρόνου–άμεσου κόστους. Για κάθε δραστηριότητα υπάρχει, εκ φύσεως, ένας περιορισμένος αριθμός εναλλακτικών τρόπων εκτέλεσης της, με αποτέλεσμα η πραγματική καμπύλη να αποτελείται από πεπερασμένο αριθμό σημείων τα οποία ενώνονται μεταξύ τους με ευθύγραμμα τμήματα. Στην περίπτωση που υπάρχουν άπειροι τρόποι εκτέλεσης μιας δραστηριότητας η καμπύλη είναι συνεχής, σχηματίζοντας την «θεωρητική» καμπύλη χρόνου-άμεσου κόστους.



Καμπύλη χρόνου-άμεσου κόστους

Δύο είναι τα χαρακτηριστικά σημεία που οριοθετούν το «ωφέλιμο μήκος» της καθώς εκτός αυτού δεν μπορεί να επιτευχθεί αποδεκτή λύση. Το πρώτο είναι το σημείο ελαχίστου δυνατού κόστους (least cost solution), το οποίο βρίσκεται στη μεγαλύτερη απόσταση από την αρχή των αξόνων κατά τον οριζόντιο άξονα και απεικονίζει τον χρό-

νο που απαιτείται για να πραγματοποιηθεί μια εργασία με το ελάχιστο εφικτό άμεσο κόστος. Το δεύτερο είναι το σημείο που βρίσκεται πλησιέστερα στην αρχή των αξόνων, κοντά στον κατακόρυφο άξονα και απεικονίζει το ελάχιστο δυνατό άμεσο κόστος για την εκτέλεση της δραστηριότητας στον συντομότερο πρακτικά δυνατό χρόνο (crash cost for least time) με βάση τον τρόπο εκτέλεσης της. Τα ενδιάμεσα σημεία απεικονίζουν το κόστος για διάφορους χρόνους στους οποίους μπορεί να επιταχυνθεί μια δραστηριότητα, ακολουθώντας διαφορετικό τρόπο υλοποίησης ενώ ένα από αυτά αποτελεί την βέλτιστη οικονομική λύση που αποτελεί το ζητούμενο στις περισσότερες των περιπτώσεων. Η καμπύλη «χρόνου-άμεσου κόστους» μπορεί να αφορά μόνο μια δραστηριότητα, μια ομάδα δραστηριοτήτων ή και ένα ολόκληρο έργο. Σημαντικό χαρακτηριστικό της καμπύλης αποτελεί η «κλίση κόστους» (cost slope), η οποία ορίζεται σε κάθε σημείο της ως το πηλίκο του κόστους προς τον χρόνο

$$\text{κλίση κόστους} = \frac{\textit{άμεσο κόστος εκτέλεσης}}{\textit{χρονική διάρκεια που απαιτείται}}$$

Η κλίση κόστους εκφράζει τη στοιχειώδη μεταβολή του κόστους ανά μονάδα χρόνου και φανερώνει το βαθμό μεταβολής του άμεσου κόστους μιας δραστηριότητας, σε συνάρτηση με την μείωση της χρονικής διάρκειας που απαιτείται για την εκτέλεσή της, δηλαδή το κόστος που συνεπάγεται η μείωση της χρονικής διάρκειας μιας δραστηριότητας κατά μια μονάδα χρόνου. Μια δραστηριότητα με μεγάλη κλίση κόστους έχει υψηλό κόστος εκτέλεσης ενώ μικρή κλίση συνεπάγεται χαμηλό κόστος υλοποίησης.

Το χρονικό διάστημα εκτέλεσης μιας δραστηριότητας και η έγκαιρη ολοκλήρωσή της εξαρτάται κατά βάση από την διαθεσιμότητα των πόρων. Με τους ελάχιστους πόρους και τη μέγιστη χρονική διαθεσιμότητα μια δραστηριότητα ολοκληρώνεται στην «φυσιολογική» της διάρκεια (normal duration), με το «φυσιολογικό» κόστος (normal cost). Εκτός από την διαθεσιμότητα των πόρων, καθοριστικό ρόλο έχει και η μορφή της καμπύλης κόστους.

Η πρώτη προσέγγιση για τον καταρτισμό ενός χρονοδιαγράμματος εργασιών, επιχειρείται ακολουθώντας την κρίσιμη διαδρομή που σχηματίζεται από την λύση του ελάχιστου δυνατού κόστους, χρησιμοποιώντας την χρονική διάρκεια που απαιτείται για την επίτευξη της. Η διαδικασία επιτάχυνσης πραγματοποιείται ξεκινώντας από την δραστηριότητα της κρίσιμης διαδρομής με την μικρότερη κλίση κόστους για την συγκεκριμένη χρονική διάρκεια. Αυξάνοντας σταδιακά τους διαθέσιμους πόρους με στοιχειώδεις μεταβολές, μειώνεται η χρονική διάρκεια της δραστηριότητας, μέχρις ότου η αύξηση των πόρων να μην επιφέρει ουσιαστική μείωση του χρόνου εκτέλεσης της δραστηριότητας ή στο διάγραμμα δικτύου του έργου να εμφανισθούν μια ή περισσότερες νέες κρίσιμες διαδρομές. Το σημείο αυτό αποτελεί το όριο επιτάχυνσης της δραστηριότητας (crash limit) για τον συγκεκριμένο τρόπο εκτέλεσης της. Στην πρώτη περίπτωση η διαδικασία της επιτάχυνσης του έργου συνεχίζεται με την δραστηριότητα εκείνη που διαθέτει την αμέσως μικρότερη κλίση κόστους από την αρχική, ακολουθώντας την ίδια μέθοδο συμπίεσης. Στην δεύτερη περίπτωση οι δραστηριότητες που περιλαμβάνονται σε κά-

θε νέα κρίσιμη διαδρομή μπορούν με την σειρά τους να επιταχυνθούν, ακολουθώντας την ίδια διαδικασία, φθάνοντας μέχρι ένα σημείο όπου περαιτέρω επιτάχυνση δεν επιφέρει ουσιαστική μείωση στη χρονική διάρκεια,. Το σημείο αυτό αποτελεί μια βέλτιστη λύση εκφράζοντας ένα σημείο εκτέλεσης του έργου με το ελάχιστο δυνατό κόστος για τον συγκεκριμένο τρόπο εκτέλεσης. Με τον τρόπο αυτό πραγματοποιείται η συμπίεση των δραστηριοτήτων ενός έργου με το χαμηλότερο κόστος για τον συγκεκριμένο τρόπο εκτέλεσης. Οι υπολογισμοί που πραγματοποιούνται σε κάθε ενδιάμεση φάση, αποτελούν τις συντεταγμένες ενός σημείου πάνω στην καμπύλη χρόνου-άμεσου κόστους.[9]

12.2. Χρονοδιάγραμμα έργου

Η περίπτωση που εξετάζεται στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αφορά τις δραστηριότητες εγκατάστασης οργάνων πεδίου στις Δεξαμενές Αποθήκευσης Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου στον τερματικό σταθμό Ρεβυθούσας. Το συμβατικό χρονικό διάστημα για την ολοκλήρωση των δραστηριοτήτων ορίσθηκε σε έξι μήνες από την ημερομηνία έναρξης τους.

Για τον καταρτισμό του χρονοδιαγράμματος δραστηριοτήτων του έργου, εφαρμόζεται η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε με την χρησιμοποίηση του δείκτη κόστους. Η εφαρμογή της μεθόδου αναπτύσσεται για το χρονοδιάγραμμα της πρώτης δεξαμενής καθώς λόγω της ομοιότητας των δύο δεξαμενών, είναι ακριβώς ίδιο και για την δεύτερη. Οι βασικές παραδοχές αφορούν την διαθεσιμότητα πόρων και το ωράριο εργασίας. Οι απαραίτητοι πόροι είναι διαθέσιμοι χωρίς περιορισμό σε ολόκληρη την διάρκεια του έργου ενώ η απασχόληση του εμπλεκόμενου προσωπικού είναι οκτώ ώρες ημερησίως για πέντε ημέρες εργασίας την εβδομάδα. Όπου απαιτείται οικονομική προσέγγιση των εργασιών, αυτή πραγματοποιείται με το άμεσο κόστος εργασίας το οποίο εκτιμάται, με μια μέση τιμή, στα οκτώ ευρώ ανά ώρα. Όσον αφορά τον τρόπο εκτέλεσης των εργασιών, θεωρείται ότι κάθε εργασία πραγματοποιείται με ένα μόνο τρόπο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η κλίση κόστους να είναι μηδενική καθώς τα δύο ακραία σημεία στην καμπύλη χρόνου-άμεσου κόστους ταυτίζονται. Όμως και στην περίπτωση αυτή ο λόγος του κόστους προς την χρονική διάρκεια αποτελεί αξιόπιστο δείκτη κόστους για την εφαρμογή της μεθόδου. Τα υπόλοιπα στοιχεία που αφορούν την χρονική διάρκεια των εργασιών, την αλληλουχία των δραστηριοτήτων, την κρίσιμη διαδρομή και τα χρονικά περιθώρια, είναι αυτά που έχουν παρουσιασθεί μέχρι τώρα.

Λόγω της μεγάλης συμπίεσης που απαιτείται σε σχέση με το αρχικό πρόγραμμα, για ορισμένες δραστηριότητες οργανώνεται η κατανομή του προσωπικού σε ομάδες εργασίας (working groups). Έτσι η δραστηριότητα εγκατάστασης σχάρας πραγματοποιείται από μία ομάδα τεσσάρων ατόμων όπως και η δραστηριότητα εγκατάστασης οργάνων, η δραστηριότητα εγκατάστασης καλωδίων πραγματοποιείται από μία ομάδα εννέα ατόμων και η δραστηριότητα σύνδεσης των καλωδίων πραγματοποιείται από μία ομάδα τριών ατόμων. Με τον τρόπο αυτό, απλά επιταχύνονται τα πρώτα στάδια της συμπίεσης του προγράμματος χωρίς να αλλοιώνεται η φιλοσοφία της μεθόδου. Η χρονική διάρκεια

για την εκτέλεση των δραστηριοτήτων εκφράζεται σε εργατοημέρες (Wdays) και παρουσιάζεται, μαζί με τους αναθεωρημένους δείκτες κόστους, στον πίνακα Ν^{o} 10 που ακολουθεί. Σύμφωνα με όσα έχουν αναφερθεί οι τιμές που παρουσιάζονται στον πίνακα αποτελούν την «φυσιολογική» διάρκεια ενώ το κόστος είναι το «φυσιολογικό» για κάθε δραστηριότητα.

ID	WBS	Περιγραφή	Διάρκεια (Wdays)	Δείκτης κό-στους
1	1	Receive drawings in "approved for construction" status		
2	2	**Instrumentation activities in tank 'A'**		
3	2.1	**Tank 'A' Roof**		
4	2.1.1	Install instrument cable tray and supports in tank 'A' roof	101,96	224,00
5	2.1.2	Install junction boxes in tank 'A' roof	29,81	64,00
6	2.1.3	Instruments bench calibration	7,50	256,00
7	2.1.4	Install instruments in tank 'A' roof		
8	2.1.4.1	Install instruments and F&G devices in Pump platform of tank 'A' roof	68,00	256,00
9	2.1.4.2	Install instruments and F&G devices in Instrument platform of tank 'A' roof	12,63	256,00
10	2.1.4.3	Install instruments and F&G devices in Pit Vent platform of tank 'A' roof	2,94	256,00
11	2.1.4.4	Install instruments and F&G devices in Pressure Relief platform of tank 'A' roof	19,25	256,00
12	2.1.4.5	Install instruments and F&G devices in Fill platform of tank 'A' roof	14,22	256,00
13	2.1.4.6	Install instruments and F&G devices in Dome platform of tank 'A' roof	10,03	256,00
14	2.1.4.7	Install instruments and F&G devices in Purge platform of tank 'A' roof	0,19	256,00
15	2.1.5	Pull instrument cables in tank 'A' roof	23,89	384,00
16	2.1.6	Pull F&G cables in tank 'A' roof	11,68	384,00
17	2.1.7	Terminate instrument cables in tank 'A' roof	97,50	64,00
18	2.1.8	Terminate F&G cables in tank 'A' roof	25,25	64,00
19	2.2	**Tank 'A' Pit wall**		
20	2.2.1	Install instrument cable tray and supports in tank 'A' pit wall	32,39	224,00
21	2.2.2	Install junction boxes in tank 'A' pit wall	15,52	64,00
22	2.2.3	Install instruments in tank 'A' pit wall	0,34	256,00
23	2.2.4	Install F&G devices in tank 'A' pit wall	28,69	256,00
24	2.2.5	Pull instrument cables in tank 'A' pit wall	0,25	384,00
25	2.2.6	Pull F&G cables in tank 'A' pit wall	6,75	384,00
26	2.2.7	Terminate instrument cables in tank 'A' pit wall	0,50	64,00
27	2.2.8	Terminate F&G cables in tank 'A' pit wall	27,00	64,00
28	2.3	**Tank 'A' Base**		
29	2.3.1	Install instrument cable tray and supports in tank 'A' base	11,72	224,00
30	2.3.2	Install junction boxes in tank 'A' base	8,36	64,00
31	2.3.3	Install instruments in tank 'A' base	0,00	
32	2.3.4	Install F&G devices in tank 'A' base	0,47	256,00
33	2.3.5	Pull instrument cables in tank 'A' base	3,06	384,00
34	2.3.6	Pull F&G cables in tank 'A' base	0,21	384,00
35	2.3.7	Terminate instrument cables in tank 'A' base	7,88	64,00
36	2.3.8	Terminate F&G cables in tank 'A' base	0,50	64,00

ID	WBS	Περιγραφή	Διάρκεια (Wdays)	Δείκτης κό-στους
37	2.4	**Tank 'A' Inner**		
38	2.4.1	Weld RTD pads & blocks to tank floor (Mech.)		
39	2.4.2	Weld cable retaining saddles to tank floor (Mech.)		
40	2.4.3	Weld RTD pads & blocks to tank shell (Mech)		
41	2.4.4	Weld support pads & angles to tank shell (Mech)		
42	2.4.5	Install support tubes to tank shell (Mech)		
43	2.4.6	Install temperature detectors to tank 'A' floor	6,22	256,00
44	2.4.7	Install temperature detectors to tank 'A' shell	4,97	256,00
45	2.4.8	Pull and clip cables to tank 'A' Inner		
46	2.4.9	Terminate cables to tank 'A' Inner		
47	2.5	**Tank 'A' Suspended Deck**		
48	2.5.1	Install RTD pads & blocks on suspended deck (Mech)		
49	2.5.2	Install cable straps on tank 'A' suspended deck (Mech)		
50	2.5.3	Install temperature detectors on tank 'A' suspended deck	4,97	256,00
51	2.5.4	Pull instrument cables on tank 'A' suspended deck		
52	2.5.5	Terminate instrument cables on tank 'A' suspended deck		
53	2.6	**Tank 'A' Interspace**		
54	2.6.1	Weld RTD pads & blocks to outer tank wall Inner (Mech)		
55	2.6.2	Install support tubes to outer tank wall (Mech)		
56	2.6.3	Install temperature detectors to tank 'A' outer wall	3,75	256,00
57	2.6.4	Install temperature detectors to tank 'A' interspace	4,34	256,00
58	2.6.5	Pull instrument cables in tank 'A' interspace		
59	2.6.6	Terminate instrument cables in tank 'A' Interspace		
60	2.7	**Tank'A' Local Control House**		
61	2.7.1	Install Process Marshalling Cabinet in tank 'A' LCH	0,61	64,00
62	2.7.2	Install F&G Marshalling Cabinet in tank 'A' LCH	0,48	64,00
63	7.5	Install FAC Panel in tank 'A' LCH	0,26	64,00
64	7.6	Install instrument cable tray and supports in tank 'A' LCH	10,41	224,00
65	2.7.5	Install junction boxes in tank 'A' LCH	0,84	64,00
66	7.7	Install instruments in tank 'A' LCH	2,03	256,00
67	2.7.7	Install F&G devices in tank 'A' LCH	5,16	256,00
68	2.7.8	Pull instrument cables in tank 'A' LCH	1,53	384,00
69	2.7.9	Pull F&G cables in tank 'A' LCH	2,67	384,00
70	7.8	Terminate instrument cables in tank 'A' LCH	4,88	64,00
71	7.9	Terminate F&G cables in tank 'A' LCH	9,63	64,00
72	2.7.12	Precommissioning activities in tank 'A'		

Πίνακας N° 10: Αναθεωρημένη χρονική διάρκεια δραστηριοτήτων και δείκτης κόστους.

Η κρίσιμη διαδρομή που προέκυψε με την αναδιάρθρωση του προσωπικού σε ομάδες εργασίας, περιλαμβάνει τις παρακάτω δραστηριότητες και τους αντίστοιχους δείκτες κόστους:

ID	WBS	Περιγραφή	Δείκτης κόστους
4	2.1.1	Install instrument cable tray and supports in tank 'A' roof	224
6	2.1.3	Instruments bench calibration	256
8	2.1.4.1	Install instruments and F&G devices in Pump platform of tank 'A' roof	256
9	2.1.4.2	Install instruments and F&G devices in Instrument platform of tank 'A' roof	256
10	2.1.4.3	Install instruments and F&G devices in Pit Vent platform of tank 'A' roof	256
11	2.1.4.4	Install instruments and F&G devices in Pressure Relief platform of tank 'A' roof	256
12	2.1.4.5	Install instruments and F&G devices in Fill platform of tank 'A' roof	256
13	2.1.4.6	Install instruments and F&G devices in Dome platform of tank 'A' roof	256
14	2.1.4.7	Install instruments and F&G devices in Purge platform of tank 'A' roof	256
23	2.2.4	Install F&G devices in tank 'A' pit wall	256
31	2.3.3	Install instruments in tank 'A' base	256
32	2.3.4	Install F&G devices in tank 'A' base	256
38	2.4.1	Install temperature detectors to tank 'A' floor	256
39	2.4.2	Install temperature detectors to tank 'A' shell	256
41	2.5.1	Install temperature detectors on tank 'A' suspended deck	256
43	2.6.1	Install temperature detectors to tank 'A' outer wall	256
44	2.6.2	Install temperature detectors to tank 'A' interspace	256
51	2.7.6	Install instruments in tank 'A' LCH	256
52	2.7.7	Install F&G devices in tank 'A' LCH	256
56	2.7.11	Terminate F&G cables in tank 'A' LCH	64

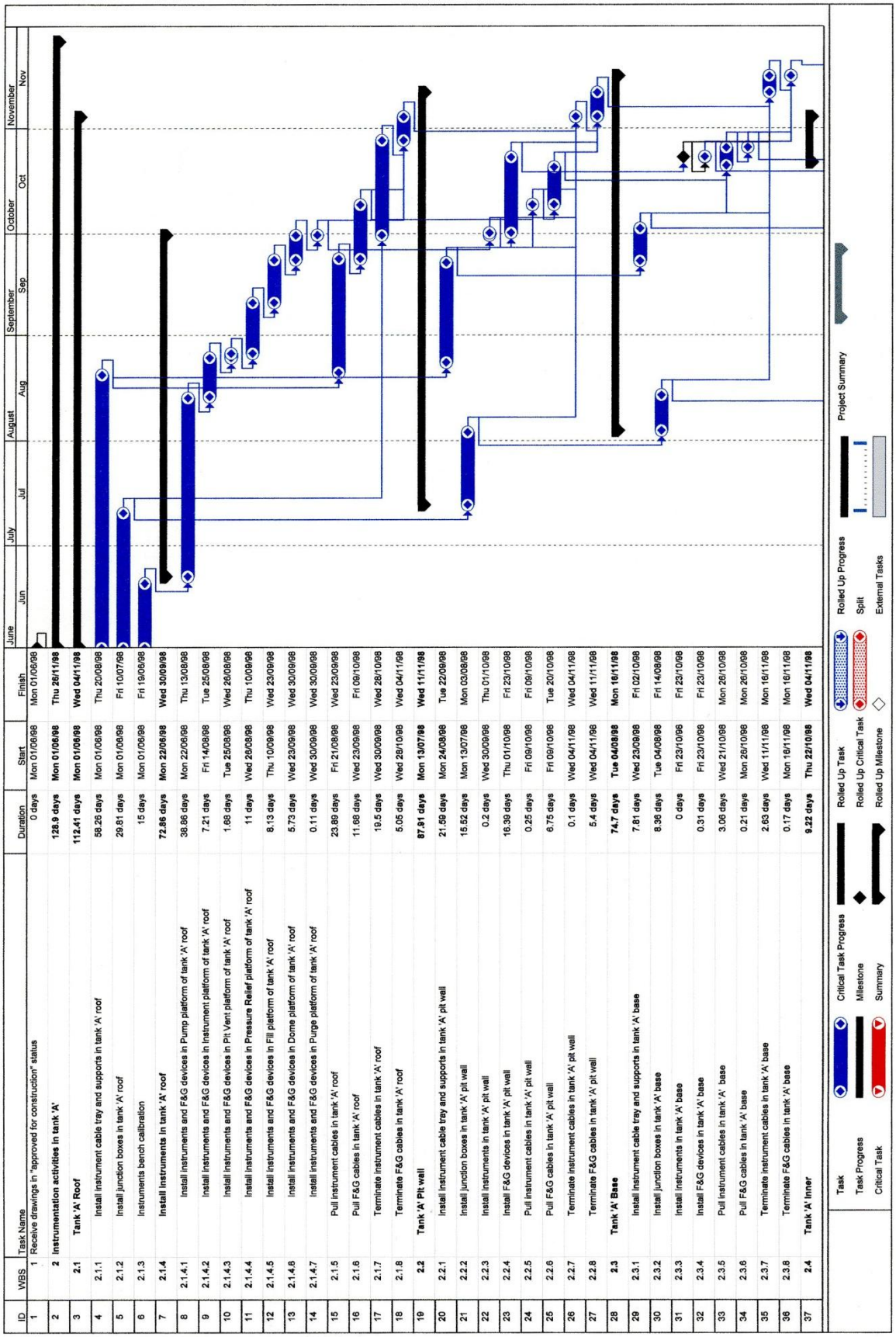
Η εφαρμογή της μεθόδου προβλέπει την έναρξη της αύξησης των πόρων από την «φυσιολογική» δραστηριότητα με τον μικρότερο δείκτη κόστους, δηλαδή την δραστηριότητα «terminate F&G cables in tank A LCH». Η αύξηση των πόρων από τρεις σε πέντε, οδηγεί σε μείωση της ολικής διάρκειας και την εμφάνιση μιας νέας κρίσιμης διαδρομής. Με βάση τον καινούργιο δείκτη κόστους για κάθε δραστηριότητα, επιλέγεται η δραστηριότητα με τον μικρότερο και πραγματοποιείται η επιτάχυνση της, δηλαδή η μεταβολή των πόρων της με στοιχειώδεις αυξήσεις, μέχρις ότου η μείωση του χρόνου εκτέλεσης να παρουσιάζει μικρή μεταβολή ή να εμφανισθεί μια νέα κρίσιμη διαδρομή. Οι μεταβολές των πόρων ανά ομάδα εργασίας, σε κάθε στάδιο εφαρμογής και η επίδραση τους στην χρονική διάρκεια ολοκλήρωσης του έργου σε κάθε βήμα της μεθόδου συμπίεσης του χρονοδιαγράμματος, παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον πίνακα που ακολουθεί.

Working group	normal	step 1	step 2	step 3	step 4	step 5
cable tray installation	4	4	6	6	7	7
junction box installation	1	1	1	1	1	1
instrument installation	4	4	4	6	6	7
cable installation	9	9	9	9	10	9
cable connection	3	5	5	5	6	7
project duration	206,4	205,59	205,11	163,53	160,06	128,9

Στο πέμπτο βήμα επιτυγχάνεται η ολοκλήρωση των δραστηριοτήτων μέσα στο συμβατικό χρονικό διάστημα, οριοθετώντας έτσι την ολοκλήρωση της επιτάχυνσης του χρονοδιαγράμματος. Υπενθυμίζεται ότι ο αριθμός των ημερών που προέκυψε αφορά ημέρες εργασίας και όχι «ημερολογιακές» ημέρες. Ο αριθμός των ατόμων που απαρτίζουν τις ομάδες εργασίας είναι αυτός που απαιτείται για την υλοποίηση του χρονοδιαγράμματος με το ελάχιστο δυνατό κόστος.

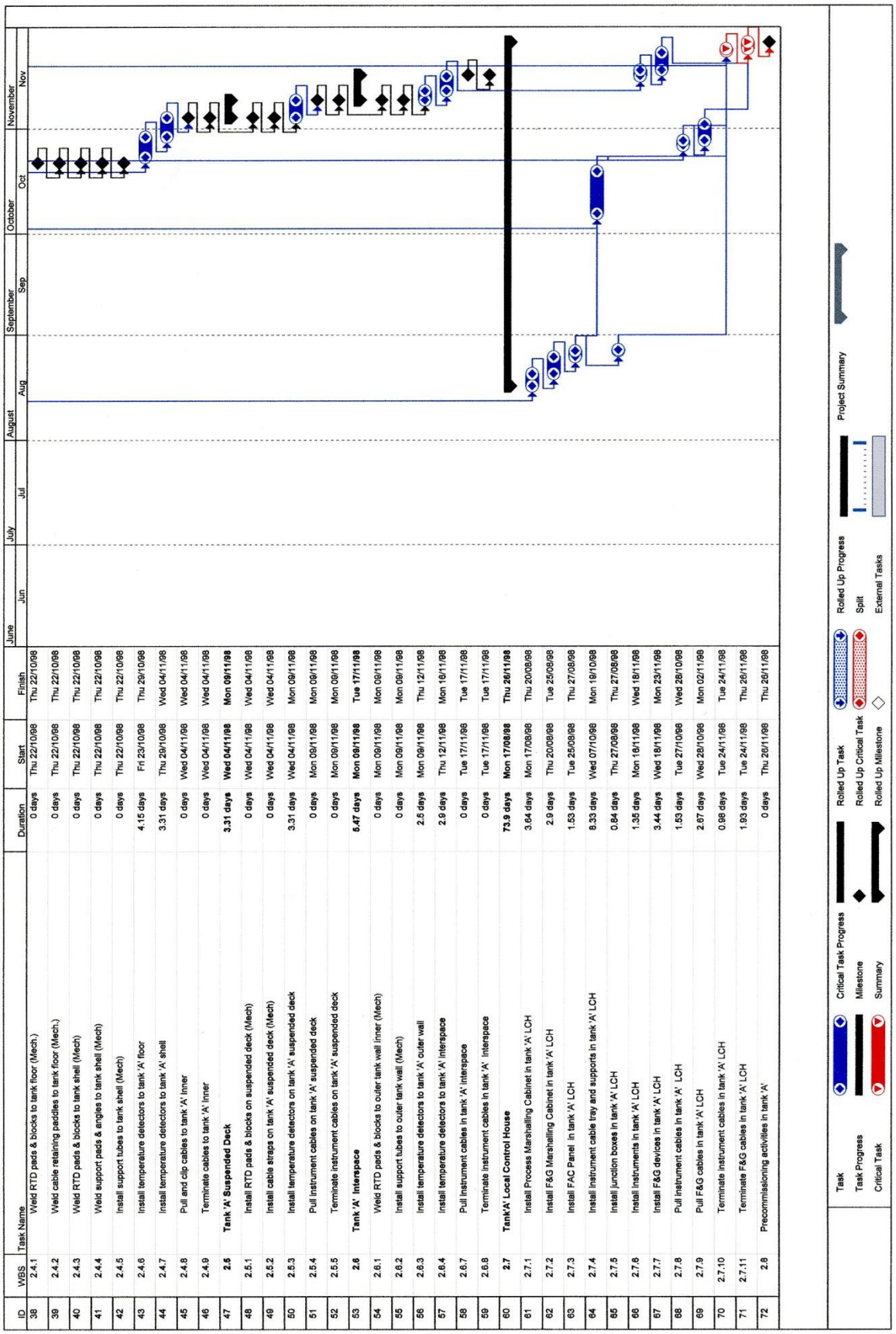
Τον καθορισμό των ατόμων που αποτελούν τις ομάδες εργασίας για την εκτέλεση του έργου στο επιθυμητό χρονικό διάστημα, ακολουθεί ο έλεγχος της κατανομής του χρόνου εργασίας μέσα στο χρονοδιάγραμμα δραστηριοτήτων. Στο τελικό στάδιο επεξεργασίας του χρονοδιαγράμματος πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα ώστε να μην δημιουργούνται διαστήματα αργίας του προσωπικού που απασχολείται σε μια δραστηριότητα. Για τον λόγο αυτό μερικές φορές είναι απαραίτητη μια μεταβολή στον αριθμό των ατόμων που αποτελούν μια ομάδα εργασίας ώστε να μεταβληθεί αντίστοιχα και η χρονική διάρκεια εκτέλεσης μιας δραστηριότητας. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, αυτό κρίθηκε απαραίτητο για την δραστηριότητα της εγκατάστασης των καλωδίων όπου ο αριθμός των ατόμων στο τελευταίο στάδιο μειώθηκε κατά έναν, ώστε να αποφευχθούν κενά διαστήματα στην απασχόληση του προσωπικού. Ένας ακόμη έλεγχος που είναι απαραίτητος στο τελικό στάδιο επεξεργασίας του χρονοδιαγράμματος, είναι αυτός της κατανομής του φόρτου εργασίας κάθε ομάδας μέσα στο χρονοδιάγραμμα. Συνήθως επιδιώκεται η αύξηση του φόρτου εργασίας στα αρχικά στάδια του χρονοδιαγράμματος ώστε να υπάρχουν περιθώρια διορθωτικών ενεργειών κατά την εξέλιξη του έργου.

Με βάση τις παραπάνω παραμέτρους, το χρονοδιάγραμμα των δραστηριοτήτων του έργου για την πρώτη δεξαμενή στην τελική του μορφή, παρουσιάζεται στη συνέχεια.



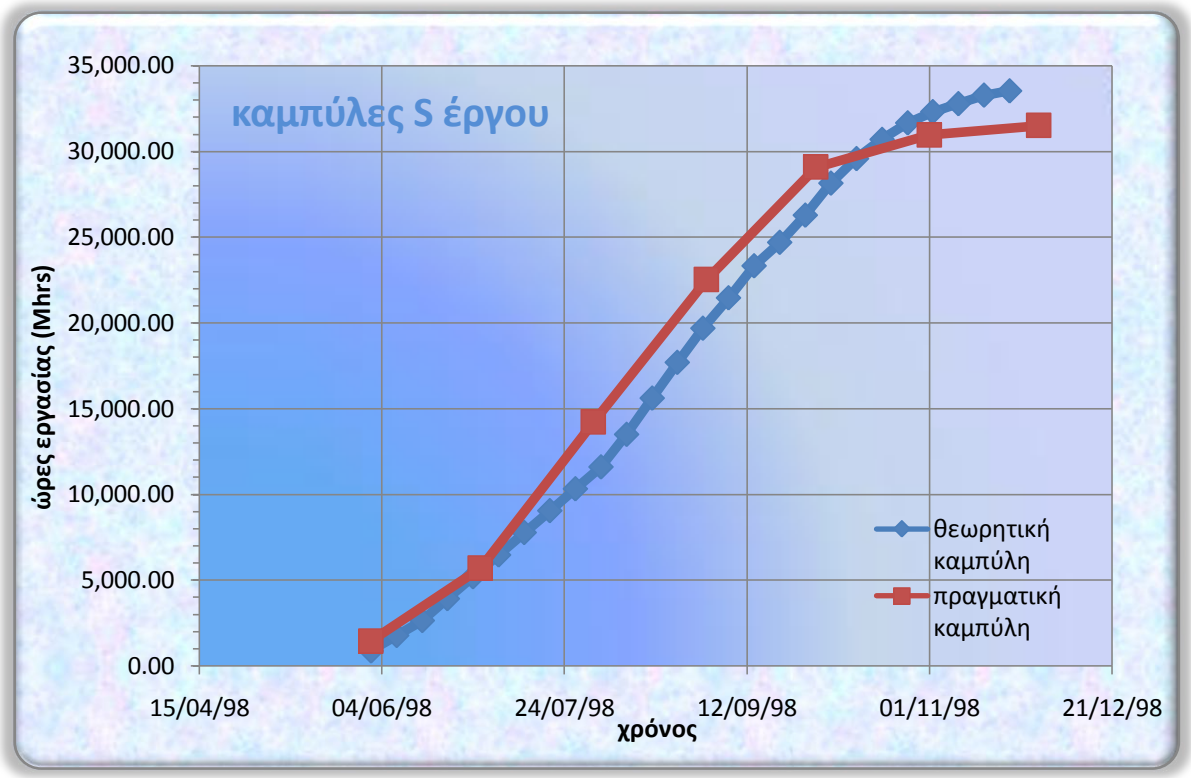
ID	WBS	Task Name	Duration	Start	Finish
1	1	Receive drawings in "approved for construction" status	0 days	Mon 01/06/98	Mon 01/06/98
2	2	**Instrumentation activities in tank 'A'**	**128.9 days**	**Mon 01/06/98**	**Thu 26/11/98**
3	2.1	**Tank 'A' Roof**	**112.41 days**	**Mon 01/06/98**	**Wed 04/11/98**
4	2.1.1	Install instrument cable tray and supports in tank 'A' roof	58.26 days	Mon 01/06/98	Thu 20/08/98
5	2.1.2	Install junction boxes in tank 'A' roof	29.81 days	Mon 01/06/98	Fri 10/07/98
6	2.1.3	Instruments bench calibration	15 days	Mon 01/06/98	Fri 19/06/98
7	2.1.4	**Install Instruments in tank 'A' roof**	**72.86 days**	**Mon 22/06/98**	**Wed 30/09/98**
8	2.1.4.1	Install instruments and F&G devices in Pump platform of tank 'A' roof	38.86 days	Mon 22/06/98	Thu 13/08/98
9	2.1.4.2	Install instruments and F&G devices in Instrument platform of tank 'A' roof	7.21 days	Fri 14/08/98	Tue 25/08/98
10	2.1.4.3	Install instruments and F&G devices in Pit Vent platform of tank 'A' roof	1.68 days	Tue 25/08/98	Wed 26/08/98
11	2.1.4.4	Install instruments and F&G devices in Pressure Relief platform of tank 'A' roof	11 days	Wed 26/08/98	Thu 10/09/98
12	2.1.4.5	Install instruments and F&G devices in Fill platform of tank 'A' roof	8.13 days	Thu 10/09/98	Wed 23/09/98
13	2.1.4.6	Install instruments and F&G devices in Dome platform of tank 'A' roof	5.73 days	Wed 23/09/98	Wed 30/09/98
14	2.1.4.7	Install instruments and F&G devices in Purge platform of tank 'A' roof	0.11 days	Wed 30/09/98	Wed 30/09/98
15	2.1.5	Pull instrument cables in tank 'A' roof	23.89 days	Fri 21/08/98	Wed 23/09/98
16	2.1.6	Pull F&G cables in tank 'A' roof	11.68 days	Wed 23/09/98	Fri 09/10/98
17	2.1.7	Terminate instrument cables in tank 'A' roof	19.5 days	Wed 30/09/98	Wed 28/10/98
18	2.1.8	Terminate F&G cables in tank 'A' roof	5.05 days	Wed 28/10/98	Wed 04/11/98
19	2.2	**Tank 'A' Pit wall**	**87.91 days**	**Mon 13/07/98**	**Wed 11/11/98**
20	2.2.1	Install instrument cable tray and supports in tank 'A' pit wall	21.59 days	Mon 24/08/98	Tue 22/09/98
21	2.2.2	Install junction boxes in tank 'A' pit wall	15.52 days	Mon 13/07/98	Mon 03/08/98
22	2.2.3	Install instruments in tank 'A' pit wall	0.2 days	Wed 30/09/98	Thu 01/10/98
23	2.2.4	Install F&G devices in tank 'A' pit wall	16.39 days	Thu 01/10/98	Fri 23/10/98
24	2.2.5	Pull instrument cables in tank 'A' pit wall	0.25 days	Fri 09/10/98	Fri 09/10/98
25	2.2.6	Pull F&G cables in tank 'A' pit wall	6.75 days	Fri 09/10/98	Tue 20/10/98
26	2.2.7	Terminate instrument cables in tank 'A' pit wall	0.1 days	Wed 04/11/98	Wed 04/11/98
27	2.2.8	Terminate F&G cables in tank 'A' pit wall	5.4 days	Wed 04/11/98	Wed 11/11/98
28	2.3	**Tank 'A' Base**	**74.7 days**	**Tue 04/08/98**	**Mon 16/11/98**
29	2.3.1	Install instrument cable tray and supports in tank 'A' base	7.81 days	Wed 23/09/98	Fri 02/10/98
30	2.3.2	Install junction boxes in tank 'A' base	8.36 days	Tue 04/08/98	Fri 14/08/98
31	2.3.3	Install instruments in tank 'A' base	0 days	Fri 23/10/98	Fri 23/10/98
32	2.3.4	Install F&G devices in tank 'A' base	0.31 days	Fri 23/10/98	Fri 23/10/98
33	2.3.5	Pull instrument cables in tank 'A' base	3.06 days	Wed 21/10/98	Mon 26/10/98
34	2.3.6	Pull F&G cables in tank 'A' base	0.21 days	Mon 26/10/98	Mon 26/10/98
35	2.3.7	Terminate instrument cables in tank 'A' base	2.63 days	Wed 11/11/98	Mon 16/11/98
36	2.3.8	Terminate F&G cables in tank 'A' base	0.17 days	Mon 16/11/98	Mon 16/11/98
37	2.4	**Tank 'A' Inner**	**9.22 days**	**Thu 22/10/98**	**Wed 04/11/98**

Χρονοδιάγραμμα δραστηριοτήτων δεξαμενής Α-σελίδα 1

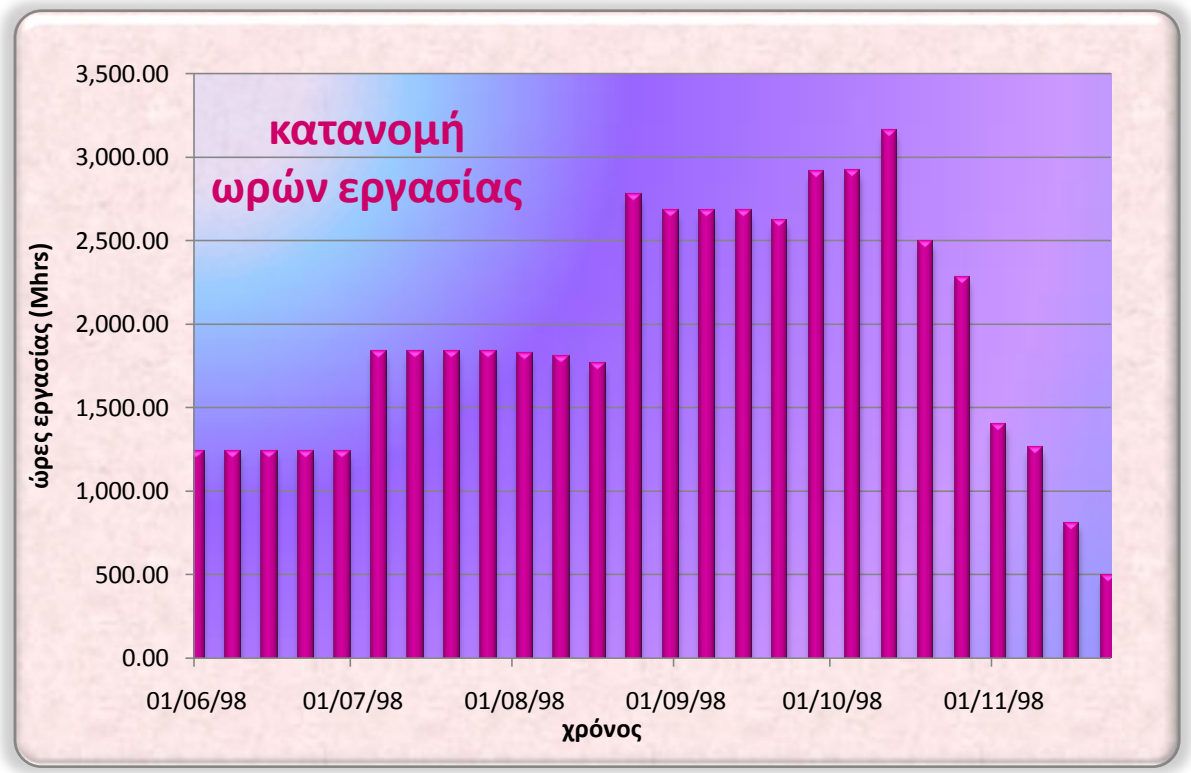


ID	WBS	Task Name	Duration	Start	Finish
38	2.4.1	Weld RTD pads & blocks to tank floor (Mech.)	0 days	Thu 22/10/98	Thu 22/10/98
39	2.4.2	Weld cable retaining paddles to tank floor (Mech.)	0 days	Thu 22/10/98	Thu 22/10/98
40	2.4.3	Weld RTD pads & blocks to tank shell (Mech)	0 days	Thu 22/10/98	Thu 22/10/98
41	2.4.4	Weld support pads & angles to tank shell (Mech)	0 days	Thu 22/10/98	Thu 22/10/98
42	2.4.5	Install support tubes to tank shell (Mech)	0 days	Thu 22/10/98	Thu 22/10/98
43	2.4.6	Install temperature detectors to tank 'A' floor	4.15 days	Fri 23/10/98	Thu 29/10/98
44	2.4.7	Install temperature detectors to tank 'A' shell	3.31 days	Thu 29/10/98	Wed 04/11/98
45	2.4.8	Pull and clip cables to tank 'A' Inner	0 days	Wed 04/11/98	Wed 04/11/98
46	2.4.9	Terminate cables to tank 'A' Inner	0 days	Wed 04/11/98	Wed 04/11/98
47	**2.5**	**Tank 'A' Suspended Deck**	**3.31 days**	**Wed 04/11/98**	**Mon 09/11/98**
48	2.5.1	Install RTD pads & blocks on suspended deck (Mech)	0 days	Wed 04/11/98	Wed 04/11/98
49	2.5.2	Install cable straps on tank 'A' suspended deck (Mech)	0 days	Wed 04/11/98	Wed 04/11/98
50	2.5.3	Install temperature detectors on tank 'A' suspended deck	3.31 days	Wed 04/11/98	Mon 09/11/98
51	2.5.4	Pull instrument cables on tank 'A' suspended deck	0 days	Mon 09/11/98	Mon 09/11/98
52	2.5.5	Terminate instrument cables on tank 'A' suspended deck	0 days	Mon 09/11/98	Mon 09/11/98
53	**2.6**	**Tank 'A' Interspace**	**5.47 days**	**Mon 09/11/98**	**Tue 17/11/98**
54	2.6.1	Weld RTD pads & blocks to outer tank wall inner (Mech)	0 days	Mon 09/11/98	Mon 09/11/98
55	2.6.2	Install support tubes to outer tank wall (Mech)	0 days	Mon 09/11/98	Mon 09/11/98
56	2.6.3	Install temperature detectors to tank 'A' outer wall	2.5 days	Mon 09/11/98	Thu 12/11/98
57	2.6.4	Install temperature detectors to tank 'A' interspace	2.9 days	Thu 12/11/98	Mon 16/11/98
58	2.6.7	Pull instrument cables in tank 'A' interspace	0 days	Tue 17/11/98	Tue 17/11/98
59	2.6.8	Terminate instrument cables in tank 'A' Interspace	0 days	Tue 17/11/98	Tue 17/11/98
60	**2.7**	**Tank'A' Local Control House**	**73.9 days**	**Mon 17/08/98**	**Thu 26/11/98**
61	2.7.1	Install Process Marshalling Cabinet in tank 'A' LCH	3.64 days	Mon 17/08/98	Thu 20/08/98
62	2.7.2	Install F&G Marshalling Cabinet in tank 'A' LCH	2.9 days	Thu 20/08/98	Tue 25/08/98
63	2.7.3	Install FAC Panel in tank 'A' LCH	1.53 days	Tue 25/08/98	Thu 27/08/98
64	2.7.4	Install instrument cable tray and supports in tank 'A' LCH	8.33 days	Wed 07/10/98	Mon 19/10/98
65	2.7.5	Install junction boxes in tank 'A' LCH	0.84 days	Thu 27/08/98	Thu 27/08/98
66	2.7.6	Install instruments in tank 'A' LCH	1.35 days	Mon 16/11/98	Wed 18/11/98
67	2.7.7	Install F&G devices in tank 'A' LCH	3.44 days	Wed 18/11/98	Mon 23/11/98
68	2.7.8	Pull instrument cables in tank 'A' LCH	1.53 days	Tue 27/10/98	Wed 28/10/98
69	2.7.9	Pull F&G cables in tank 'A' LCH	2.67 days	Wed 28/10/98	Mon 02/11/98
70	2.7.10	Terminate instrument cables in tank 'A' LCH	0.98 days	Tue 24/11/98	Tue 24/11/98
71	2.7.11	Terminate F&G cables in tank 'A' LCH	1.93 days	Tue 24/11/98	Thu 26/11/98
72	2.8	Precommissioning activities in tank 'A'	0 days	Thu 26/11/98	Thu 26/11/98

Χρονοδιάγραμμα δραστηριοτήτων δεξαμενής Α-σελίδα 2



Καμπύλες S έργου



Κατανομή ωρών εργασίας θεωρητικού χρονοδιαγράμματος

Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάστηκε ο καταρτισμός του χρονοδιαγράμματος των δραστηριοτήτων για την εγκατάσταση οργάνων πεδίου, βασισμένος στην μέθοδο της κρίσιμης διαδρομής χρησιμοποιώντας την καμπύλη κόστους. Πρόκειται για μια εύχρηστη μέθοδο η οποία οδηγεί στη μείωση της χρονικής διάρκειας του αρχικού προγράμματος με την εύρεση της βέλτιστης λύσης για τον συγκεκριμένο τρόπο εκτέλεσης των δραστηριοτήτων. Η λύση που προκύπτει είναι μία βέλτιστη λύση από τις πολλές που διαμορφώνονται σύμφωνα με τις εκάστοτε συνθήκες.

Τα βήματα της επιτάχυνσης πραγματοποιούνται με συστηματικό τρόπο και ο δείκτης κόστους διευκολύνει τον έλεγχο των αποτελεσμάτων κάθε βήματος. Το κομμάτι των υπολογισμών που απαιτούνται δεν περιλαμβάνει πολύπλοκες πράξεις ενώ με την βοήθεια ενός υπολογιστικού φύλλου η διαδικασία διευκολύνεται σημαντικά. Η συμπύκνωση της χρονικής διάρκειας του έργου αν και τροποποιεί την κρίσιμη διαδρομή εν τούτοις δεν αλλοιώνει την φυσιογνωμία της· απλά μετατρέπει τις αρχικές κρίσιμες δραστηριότητες σε υποκρίσιμες την στιγμή που εμφανίζονται καινούργιες. Με τον κατάλληλο χειρισμό ενός λογισμικού διαχείρισης έργων, όπως για παράδειγμα ο καθορισμός των χρονικών ορίων που χαρακτηρίζουν μια δραστηριότητα ως κρίσιμη, δύσκολα διαφεύγουν της προσοχής. Όπως φαίνεται στην πραγματική καμπύλη του έργου που παρουσιάστηκε στο τέλος της προηγούμενης παραγράφου, η λύση που προκύπτει από την εφαρμογή της μεθόδου προσεγγίζει την πραγματικότητα.

Η διαδικασία του προγραμματισμού ενός έργου αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο αρχικά για την εκτίμηση των απαιτήσεων του και στην συνέχεια για την ολοκλήρωσή του στις προβλεπόμενες συμβατικές ημερομηνίες. Στις περιπτώσεις όπου ο προγραμματισμός δεν αφορά το σύνολο του έργου αλλά ένα τμήμα του, όπως στην περίπτωση που εξετάζεται, οι δυσκολίες για την υλοποίηση του είναι αρκετές καθώς η εξέλιξη των δραστηριοτήτων εξαρτάται από πολλούς και διαφορετικούς παράγοντες πέρα από αυτούς που καθορίζουν την ομαλή εξέλιξη του χρονοδιαγράμματος. Η έγκαιρη πρόβλεψη των κινδύνων όχι μόνο κατά την φάση του προγραμματισμού αλλά κυρίως στην εξέλιξη του έργου αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία στην διαχείριση του χρονοδιαγράμματος αλλά και του έργου γενικότερα. Ο τρόπος που «παρακολουθείται» το έργο αποτελεί μια ακόμη παράμετρο της διαχείρισης του, πολύ περισσότερο στις περιπτώσεις όπου τα χρονικά περιθώρια είναι μικρά. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να καταγράφεται η πρόοδος των εργασιών σε τακτά χρονικά διαγράμματα, με σαφή και συγκεκριμένο τρόπο. Η αποτύπωση της προόδου του έργου μέσα από τα έγγραφα Διασφάλισης Ποιότητας αποτελεί έναν ενδεδειγμένο τρόπο. Η τήρηση του χρονοδιαγράμματος των δραστηριοτήτων εκτός όλων των άλλων είναι μια συνεχής διαδικασία αξιολόγησης.

Βιβλιογραφία

1. Εισαγωγή στον Αυτόματο Έλεγχο, δεύτερη έκδοση, Ν. Ι. Κρικέλη, εκδόσεις Ε.Μ.Π, Αθήνα 1985

2. Μετρήσεις Τεχνικών Μεγεθών, δεύτερη έκδοση, Σ. Ε. Σιμόπουλου, εκδόσεις Ε.Μ.Π, Αθήνα 1989

3. Μηχανική των Ρευστών, Σ. Τσαγγάρης, εκδόσεις Συμεών, Αθήνα 2005

4. Προγραμματισμός και Διοίκηση Έργων, Βοήθημα για το μάθημα, Β. Λεώπουλος, Σ. Πρωτοσύγγελος, Κ. Κηρυττόπουλος, εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 2005

5. Applied Instrumentation in the Process Industry Vol. I, second edition, W. G. Andrew, H. B. Williams, Gulf Publishing Company,

6. Applied Instrumentation in the Process Industry Vol. II, second edition, W. G. Andrew, H. B. Williams, Gulf Publishing Company

7. British Standard Instrumentation cables, BS 5308:1986

8. Computer Controlled Systems Theory and Design, third edition,Karl J. Astrom, Bjorn Wittenmark,Prentice Hall information and System Sciences Series, 2011

9. CPM in Construction Practices, J.M.Antill, R.W.Woodhead, fourth edition, John Wiley & Sons Ltd, 1990

10. Maintenance Engineering Handbook, sixth edition, Lindley Higgins, R.Keith Mobley, McGraw-Hill, 2002

11. Measurement and Instrumentation principles, third edition, Alan S. Morris, Butterworth-Heinemann, 2004

12. Instrumentation and Control Systems, Reed’s marine engineering services, Leslie Jackson,Reed Educational and Professional Publishing Ltd,

13. Project Management Body of Knowledge, third edition, PMI publications,2000

14. Project Management for Engineering and Construction, G.D. Oberlender, McGraw-Hill, 1993

15. Project Management, Planning and Control Techniques, third edition, Rory Burke, John Wiley & Sons Ltd, 1999

Ιστοσελίδες

16. www.cavicel.com

17. www.fundinguniverse.com

18. www.keller america.com

19. www.magnetrol.com

20. www.peppercableglands.com

21. www.uteco.gr