



Σχολή Θετικών Επιστημών

Τμήμα Διαχείρισης και Τεχνολογίας Ποιότητας

Διπλωματική Εργασία

Διεξαγωγή πειραμάτων για τη διασφάλιση ποιότητας σε
βιομηχανική μονάδα παραγωγής πλαστικών σωλήνων

Δήμητρα Ευαγγέλου

A.M. 154743

Επιβλέπων καθηγητής: Γεώργιος Γιαννόπουλος

Θεσσαλονίκη, Ιούλιος 2024

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή/της φοιτήτριας («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο/η συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του/της συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του/της συγγραφέα/δημιουργού. Ο/Η συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

Διεξαγωγή πειραμάτων για τη διασφάλιση ποιότητας σε
βιομηχανική μονάδα παραγωγής πλαστικών σωλήνων

Δήμητρα Ευαγγέλου

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Γεώργιος Γιαννόπουλος

Αναπληρωτής Καθηγητής

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου

Συν-Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Βασιλική Καρυώτη

Επίκουρος Καθηγήτρια

Τμήμα Διοίκησης Τουρισμού

Πανεπιστήμιο Πατρών

Θεσσαλονίκη, Ιούλιος 2024

Ευχαριστίες

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος «Διαχείριση και Τεχνολογία Ποιότητας» του Ελληνικού Ανοικτού Πανεπιστημίου της Πάτρας. Η εκπόνησή της συντελέστηκε το διάστημα μεταξύ Οκτωβρίου 2023 και Ιουλίου 2024.

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία ολοκληρώθηκε μετά από το πέρας πολύωρης εργασίας, μελέτης και επιμονής και είναι πολύ σημαντικό για εμένα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που συνέβαλαν στην εκπόνησή της. Για το λόγο αυτό, πριν την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τους ανθρώπους με τους οποίους συνεργάστηκα και με βοήθησαν να την ολοκληρώσω.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριο Γεώργιο Γιαννόπουλο για την πολύτιμη καθοδήγησή του, την εμπιστοσύνη που έδειξε προς το πρόσωπό μου, την επιμονή του, την υποστήριξη και το αμείωτο ενδιαφέρον που μου έδειξε από την αρχή μέχρι το τέλος. Ακόμη, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για το πολύ καλό κλίμα συνεργασίας που διαμόρφωσε καθ' όλη τη διάρκεια, συμβάλλοντας τα μέγιστα στην περάτωση της Μεταπτυχιακής Διπλωματικής μου Εργασίας.

Ακόμη, είναι πολύ σημαντικό για εμένα να ευχαριστήσω την καθηγήτρια, κυρία Βασιλική Καρυώτη που είναι μέλος της επιτροπής αξιολόγησης της Μεταπτυχιακής Διπλωματικής μου Εργασίας και τον Διευθυντή του Τμήματος, κύριο Γεώργιο Μπαλωμένο.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την βιομηχανία που μου παρείχε όλα τα δεδομένα για την διεξαγωγή της Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας, καθώς ακόμη και τους συναδέλφους που με βοήθησαν καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησής της.

Τέλος, οφείλω να δώσω το μεγαλύτερο ευχαριστώ, στην αγαπημένη οικογένειά μου Νέστορα, Στυλιάνα και Φωτεινή, καθώς στάθηκαν δίπλα μου με την αγάπη τους, την υποστήριξη και εμπύχλωσή τους, καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς τις φίλες μου Νεφέλη και Κατερίνα, οι οποίες ήταν πάντα δίπλα μου, με υποστήριζαν και μου έδιναν δύναμη και τον Δημήτρη μου που έκανε αυτό το ταξίδι πιο όμορφο και ουσιώδες.

Περίληψη

Η εφαρμογή ποιοτικού ελέγχου στις βιομηχανικές μονάδες κρίνεται αναγκαία και καθοριστική για την βιώσιμη ανάπτυξή τους. Πρόκειται για ένα σύνολο διαδικασιών που έχουν στόχο την εξασφάλιση της ποιότητας του τελικού προϊόντος. Ο ποιοτικός έλεγχος και τα αυστηρά βιομηχανικά πρότυπα που εφαρμόζονται δημιουργούν ένα αίσθημα εμπιστοσύνης στο καταναλωτικό κοινό και εδραιώνουν τη θέση της επιχείρησης στο ανταγωνιστικό περιβάλλον.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή παρουσιάζεται ένα ολοκληρωμένο σύστημα διασφάλισης της ποιότητας πλαστικών σωλήνων άρδευσης, ύδρευσης και θέρμανσης, βασιζόμενο σε τυποποιημένες πειραματικές διαδικασίες οι οποίες παρουσιάζονται και αναλύονται λεπτομερώς. Για τις ανάγκες της διατριβής μετρούνται σημαντικές ιδιότητες των παραγόμενων προϊόντων, όπως είναι ο δείκτης ροής τήγματος, η επιμήκυνση στη θραύση, η συρρίκνωση, η δικτύωση και η υδροστατική πίεση. Επιπρόσθετα, επιδιώκεται ο εντοπισμός, η καταγραφή και η παρακολούθηση άλλων σημαντικών παραμέτρων της παραγωγικής διαδικασίας που πιθανώς επηρεάζουν την ποιότητα του τελικού προϊόντος.

Εν συνεχεία, παρουσιάζεται μια ολοκληρωμένη διαδικασία ελέγχου και διασφάλισης της ποιότητας της παραγωγής αξιοποιώντας τα πειραματικά δεδομένα και τις μετρήσεις από την παραγωγική διαδικασία των πλαστικών σωλήνων και χρησιμοποιώντας διάφορα εργαλεία της ποιότητας όπως οι μέθοδοι Στατιστικού Ελέγχου Διεργασίας, Ανάλυσης Πειραμάτων, κ.α. Τέλος, πραγματοποιείται διεξοδική συζήτηση γύρω από τις παρατηρούμενες διακυμάνσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών των πλαστικών σωλήνων και επιχειρείται η συσχέτισή τους με πραγματικά αίτια, ώστε να ανιχνευθούν και να προταθούν μέθοδοι βελτίωσης των εμπλεκόμενων διεργασιών για την διασφάλιση παραγωγής πλαστικών σωλήνων υψηλής ποιότητας.

Λέξεις – Κλειδιά

Πολυμερή, πλαστικοί σωλήνες, στατιστικός έλεγχος διεργασίας, ανάλυση πειραμάτων, εργαλεία ποιότητας, τεχνικές ελέγχου ποιότητας, άρδευση, ύδρευση, θέρμανση

Conducting experiments for quality assurance in a plastic pipe production industrial unit

Dimitra Evangelou

Abstract

The implementation of quality control in industrial units is deemed necessary and decisive for their sustainable development. It is a set of procedures aimed at ensuring the quality of the final product. The quality control and strict industry standards applied create a feeling of trust in the consumer public and consolidate the company's position in the competitive environment.

In this master's thesis, an integrated quality assurance system for plastic irrigation, water supply and heating pipes is presented, based on standardized experimental procedures which are presented and analyzed in detail. For the needs of the thesis, important properties of the produced products are measured, such as melt flow index, elongation at break, shrinkage, crosslinking and hydrostatic pressure. In addition, it seeks to identify, record and monitor other important parameters of the production process that possibly affect the quality of the final product.

Subsequently, an integrated process of control and assurance of production quality is presented, utilizing the experimental data and measurements from the production process and using various quality tools such as the methods of Statistical Process Control, Experiment Analysis, etc. Finally, a thorough discussion around the observed variations in the quality characteristics of plastic pipes and an attempt is made to correlate them with real causes in order to detect and propose methods of improvement of the processes involved to ensure the production of high quality plastic pipes.

Keywords

Polymers, plastic pipes, statistical process control, analysis of experiments, quality tools, quality control techniques, irrigation, water supply, heating

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	iv
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	vi
ABSTRACT	viii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	x
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ / ΣΧΗΜΑΤΩΝ	xiii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	xvi
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ & ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ	xix
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΔΕ	1
1.2 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΜΔΕ	2
2. ΠΟΛΥΜΕΡΗ.....	3
2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	3
2.2 ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ	3
2.2.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ	4
2.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ.....	7
2.3.1 ΚΥΚΛΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ	7
2.3.2 ΣΧΕΣΕΙΣ ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΗ – ΠΕΛΑΤΗ: ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ.....	8
2.3.3 ΣΥΝΕΧΗΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗ	9
3. ΠΟΙΟΤΗΤΑ.....	11
3.1 ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΟΛΙΚΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ	11
3.1.1 Η ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΟΥ DEMING.....	13
3.1.2 Η ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΟΥ JURAN.....	16
3.1.3 Η ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΟΥ CROSBY.....	17
3.1.4 Η ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΟΥ ISHIWAKA	17
3.1.5 Η ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΟΥ TAGUCHI.....	18
3.1.6 Η ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΟΥ FEIGENBAUM	18
3.2 ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΟΠ: ΠΡΟΤΥΠΟ ISO 9000	19
3.3 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ: Η ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ SIX SIGMA (6σ)20	
3.3.1 ΟΡΙΑ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ ΚΑΙ Η ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ 6σ.....	21

3.3.2 ΟΙ ΦΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ 6σ.....	23
3.3.3 ΤΑ ΕΠΙΠΕΔΑ (ΖΩΝΕΣ) ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ 6σ – ΒΑΘΜΟΣ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ	25
3.4 ΔΟΠ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ 6σ.....	26
4. ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ	29
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	29
4.2 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ	29
4.2.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ.....	29
4.2.2 ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ.....	30
4.2.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ.....	31
4.2.4 ΦΥΛΛΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ	33
4.2.5 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΙΤΙΟΥ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΟΣ	33
4.2.6 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ PARETO	34
4.2.7 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	35
4.2.7.1 ΜΟΡΦΗ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ	36
4.2.7.2 ΒΑΣΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	37
4.2.7.3 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΒΑΣΙΚΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ	38
4.3 ΔΕΙΚΤΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ	39
4.3.1 ΔΕΙΚΤΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ C_p	39
4.3.2 ΔΕΙΚΤΕΣ ΤΡΕΧΟΥΣΑΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ C_{pu}, C_{pl}	40
4.3 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MINITAB	41
5. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ	43
5.1 ΒΙ.ΠΑ.Σ. Α.Ε.	43
5.1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	43
5.1.2 ΜΗΧΑΝΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΣΤΗ ΒΙ.ΠΑ.Σ.: ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	43
5.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ	50
5.2.1 ΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ	50
5.2.2 ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΙΕΣΗ (Ε.Υ.Π.).....	50
5.2.2.1 ΘΡΑΥΣΗ	55
5.2.3 ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ	55
5.2.4 MASS FLOW INTEX (M.F.I.)	59

5.2.5 ΔΙΚΤΥΩΣΗ.....	60
5.2.6 ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ	61
6. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	63
6.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ LDPE: ΣΩΛΗΝΑΣ (Α)ΡΔΕΥΣΗΣ.....	63
6.1.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ.....	67
6.1.2 ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ.....	70
6.1.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ PARETO	74
6.1.4 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	76
6.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ HDPE: ΣΩΛΗΝΑΣ (Υ)ΔΡΕΥΣΗΣ	84
6.2.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ.....	88
6.2.2 ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ.....	98
6.2.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ PARETO	104
6.2.4 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	106
6.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ PEX: ΣΩΛΗΝΑΣ (Θ)ΕΡΜΑΝΣΗΣ	121
6.3.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ.....	124
6.3.2 ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ.....	127
6.3.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ PARETO	130
6.3.4 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	132
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	143
7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	143
7.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	143
7.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	148
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	151

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ / ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 4.1 ΚΥΡΙΟ ΜΕΝΟΥ MINITAB – ΚΑΡΤΕΛΑ GRAPH	41
ΕΙΚΟΝΑ 4.2 ΚΥΡΙΟ ΜΕΝΟΥ MINITAB – ΚΑΡΤΕΛΑ STAT	42
ΕΙΚΟΝΑ 5.1 ΔΟΚΙΜΙΟ ΣΩΛΗΝΑ ΕΤΟΙΜΟ ΓΙΑ Ε.Υ.Π. (ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΕΙΚΟΝΑ), ΔΟΚΙΜΙΟ ΣΩΛΗΝΑ ΜΕΣΑ ΣΤΗΝ ΔΕΞΑΜΕΝΗ (ΔΕΞΙΑ ΕΙΚΟΝΑ).....	52
ΕΙΚΟΝΑ 5.2 ΔΟΚΙΜΙΟ ΣΩΛΗΝΑ ΠΟΥ ΥΠΕΣΤΗ ΘΡΑΥΣΗ	55
ΕΙΚΟΝΑ 5.3 ΔΙΑΤΑΞΗ ΜΗΧΑΝΗΣ CNC ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΟΥ ΚΟΨΙΜΑΤΟΣ ΣΩΛΗΝΑ ΣΕ ΜΟΡΦΗ «ΚΛΕΨΥΔΡΑΣ».....	56
ΕΙΚΟΝΑ 5.4 ΔΟΚΙΜΙΟ ΣΩΛΗΝΑ ΣΕ ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ	58
ΕΙΚΟΝΑ 5.5 ΔΟΚΙΜΙΟ ΣΩΛΗΝΑ ΣΕ ΔΙΑΤΑΞΗ Μ.Φ.Ι.....	59
ΕΙΚΟΝΑ 5.6 ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΙΚΤΥΩΣΗΣ	60
ΕΙΚΟΝΑ 5.7 ΔΟΚΙΜΙΟ ΣΩΛΗΝΑ ΣΕ ΕΙΔΙΚΑ ΠΙΑΤΑΚΙΑ ΜΕΤΑ ΤΟ ΠΕΡΑΣ ΤΩΝ 3 ΩΡΩΝ ΣΕ ΦΟΥΡΝΟ ΣΤΟΥΣ 140°C	61
ΕΙΚΟΝΑ 5.8 ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΩΛΗΝΑ	62
 ΣΧΗΜΑ 2.1 ΚΥΚΛΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ	8
ΣΧΗΜΑ 2.2 ΣΥΝΕΧΗΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗ.....	10
ΣΧΗΜΑ 3.1 ΕΠΙΠΕΔΑ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ.....	13
ΣΧΗΜΑ 3.2 ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ DEMING (PDCA, PLAN-DO-CHECK-ACT)	14
ΣΧΗΜΑ 3.3 ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ (ΚΑΤΑΝΟΜΗ GAUSS)	22
ΣΧΗΜΑ 3.4 ΟΙ ΦΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ 6Σ.....	24
ΣΧΗΜΑ 4.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ.....	30
ΣΧΗΜΑ 4.2 ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ.....	31
ΣΧΗΜΑ 4.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΙΤΙΟΥ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΟΣ.....	34
ΣΧΗΜΑ 4.4 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ PARETO	34
ΣΧΗΜΑ 4.5 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	37
ΣΧΗΜΑ 5.1 ΔΙΑΤΑΞΗ ΜΗΧΑΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΩΛΗΝΑ.....	44
ΣΧΗΜΑ 5.2 ΔΙΑΤΑΞΗ ΜΗΧΑΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΩΛΗΝΑ.....	45
ΣΧΗΜΑ 5.2Α ΠΡΩΤΟ ΤΜΗΜΑ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΩΛΗΝΑ..	46
ΣΧΗΜΑ 5.2Β ΔΕΥΤΕΡΟ ΤΜΗΜΑ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΩΛΗΝΑ	46

ΣΧΗΜΑ 5.2Γ ΤΡΙΤΟ ΤΜΗΜΑ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΩΛΗΝΑ	46
ΣΧΗΜΑ 5.2Δ ΤΕΤΑΡΤΟ ΤΜΗΜΑ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΩΛΗΝΑ	47
ΣΧΗΜΑ 5.2Ε ΠΡΩΤΟ ΤΜΗΜΑ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΣΩΛΗΝΩΝ	47
ΣΧΗΜΑ 5.2ΣΤ ΔΕΥΤΕΡΟ ΤΜΗΜΑ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΣΩΛΗΝΩΝ	48
ΣΧΗΜΑ 5.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΓΙΑ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΙΚΟΥΣ ΣΩΛΗΝΕΣ	48
ΣΧΗΜΑ 5.4 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ	49
ΣΧΗΜΑ 5.5Α ΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΩΛΗΝΑ TYPE 1 ΓΙΑ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ	56
ΣΧΗΜΑ 5.5Β ΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΩΛΗΝΑ TYPE 2 ΓΙΑ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ	57
ΣΧΗΜΑ 6.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΘΡΑΥΣΗΣ - Μ.Φ.Ι. ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Α)	68
ΣΧΗΜΑ 6.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΘΡΑΥΣΗΣ - Μ.Φ.Ι. ΜΕ ΤΟΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Α)	68
ΣΧΗΜΑ 6.3 ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ ΘΡΑΥΣΗΣ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Α).....	71
ΣΧΗΜΑ 6.4 ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ Μ.Φ.Ι. ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Α)	73
ΣΧΗΜΑ 6.5 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ PARETO ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Α).....	75
ΣΧΗΜΑ 6.6 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΘΡΑΥΣΗΣ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Α)	79
ΣΧΗΜΑ 6.7 ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕ ΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ ΟΡΙΑ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Α)	80
ΣΧΗΜΑ 6.8 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ Μ.Φ.Ι ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Α).....	83
ΣΧΗΜΑ 6.9 ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕ ΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ ΟΡΙΑ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Α)	84
ΣΧΗΜΑ 6.10 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗΣ - Μ.Φ.Ι. ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Υ)	89
ΣΧΗΜΑ 6.11 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗΣ - Μ.Φ.Ι. ΜΕ ΤΟΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ.....	89
ΣΧΗΜΑ 6.12 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗΣ – ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΣΤΗ ΘΡΑΥΣΗ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Υ)	92
ΣΧΗΜΑ 6.13 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗΣ – ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΣΤΗ ΘΡΑΥΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ	93
ΣΧΗΜΑ 6.14 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ Μ.Φ.Ι. – ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΣΤΗ ΘΡΑΥΣΗ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Υ)	96

ΣΧΗΜΑ 6.15 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ Μ.Φ.Ι. – ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΣΤΗ ΘΡΑΥΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ	96
ΣΧΗΜΑ 6.16 ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗΣ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Υ)	99
ΣΧΗΜΑ 6.17 ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ Μ.Φ.Ι. ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Υ)	101
ΣΧΗΜΑ 6.18 ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΣΤΗ ΘΡΑΥΣΗ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Υ) .	103
ΣΧΗΜΑ 6.19 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ PARETO ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Υ)	105
ΣΧΗΜΑ 6.20 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗΣ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Υ)	109
ΣΧΗΜΑ 6.21 ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕ ΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ ΟΡΙΑ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Υ)	110
ΣΧΗΜΑ 6.22 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ Μ.Φ.Ι. ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Υ)	114
ΣΧΗΜΑ 6.23 ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕ ΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ ΟΡΙΑ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Υ)	115
ΣΧΗΜΑ 6.24 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΣΤΗ ΘΡΑΥΣΗ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Υ)	119
ΣΧΗΜΑ 6.25 ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕ ΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ ΟΡΙΑ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Υ)	120
ΣΧΗΜΑ 6.26 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗΣ – ΒΑΘΜΟΥ ΔΙΚΤΥΩΣΗΣ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Θ)	125
ΣΧΗΜΑ 6.27 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗΣ – ΒΑΘΜΟΥ ΔΙΚΤΥΩΣΗΣ ΜΕ ΤΟΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Θ)	125
ΣΧΗΜΑ 6.28 ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗΣ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Θ)	128
ΣΧΗΜΑ 6.29 ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ ΒΑΘΜΟΥ ΔΙΚΤΥΩΣΗΣ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Θ)	129
ΣΧΗΜΑ 6.30 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ PARETO ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Θ)	131
ΣΧΗΜΑ 6.31 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗΣ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Θ)	135
ΣΧΗΜΑ 6.32 ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕ ΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ ΟΡΙΑ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Θ)	136
ΣΧΗΜΑ 6.31 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΔΙΚΤΥΩΣΗΣ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Θ)	140
ΣΧΗΜΑ 6.34 ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕ ΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ ΟΡΙΑ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Θ)	141

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1 ΣΥΜΒΟΛΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΡΟΗΣ	32
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2 ΦΥΛΛΟ ΕΛΕΓΧΟΥ	33
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3 ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ ΒΑΣΕΙ ΤΗΣ ΤΙΜΗΣ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ C_p	41
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1 ΠΙΕΣΕΙΣ ΔΟΚΙΜΩΝ ΣΕ Ε.Υ.Π. ΣΩΛΗΝΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ HDPE (PE 100) ΓΙΑ 165Η ΣΤΟΥΣ 80°C ΚΑΤΑ EN 12201-2.....	53
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2 ΠΙΕΣΕΙΣ ΔΟΚΙΜΩΝ ΣΕ Ε.Υ.Π. ΣΩΛΗΝΩΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ HDPE (PE80) ΓΙΑ 1Η ΣΤΟΥΣ 20°C ΚΑΤΑ EN 12201-2 & AGROPAL ISO 8779.....	53
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3 ΠΙΕΣΕΙΣ ΔΟΚΙΜΩΝ ΣΕ Ε.Υ.Π. ΣΩΛΗΝΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ PEX ΚΑΤΑ ISO 15875	54
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4 ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΣΩΛΗΝΩΝ ΚΑΙ Η ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗ ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ ΡΟΗ ΒΑΣΕΙ ΤΟΥ ISO 1133:2011	60
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.5 ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ ΤΙΜΗ ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ ΒΑΣΕΙ ΤΟΥ ISO 2505:2005	62
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1Α ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Α)	64
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1Β ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Α)	65
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΘΡΑΥΣΗΣ – M.F.I. ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Α)	66
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΙΑ ΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΘΡΑΥΣΗΣ – M.F.I. ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Α).....	67
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΘΡΑΥΣΗΣ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Α)	70
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ M.F.I. ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Α)	72
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.6 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΣΩΛΗΝΑ (Α)	74
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.6Α ΤΕΛΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ PARETO ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΩΛΗΝΑ (Α)	74
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.7 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΘΡΑΥΣΗΣ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Α).....	76
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.8Α ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΥΠΟΟΜΑΔΑΣ 77	

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.9 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ Μ.Φ.Ι. ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Α)	80
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.10 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Υ)	85
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.11Α ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗΣ – Μ.Φ.Ι. – ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗΣ ΣΤΗ ΘΡΑΥΣΗ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Υ)	86
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.11Β ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗΣ – Μ.Φ.Ι. – ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗΣ ΣΤΗ ΘΡΑΥΣΗ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Υ)	87
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.12 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗΣ – Μ.Φ.Ι ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Υ)	88
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.13 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΙΑ ΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗΣ – ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗΣ ΣΤΗ ΘΡΑΥΣΗ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Υ).....	92
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.14 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΙΑ ΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ Μ.Φ.Ι. – ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗΣ ΣΤΗ ΘΡΑΥΣΗ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Υ)	95
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.15 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗΣ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Υ)	98
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.16 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ Μ.Φ.Ι. ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Υ)	100
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.17 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗΣ ΣΤΗ ΘΡΑΥΣΗ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Υ)	102
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.18 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Υ).....	104
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.18Α ΤΕΛΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ PARETO ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Υ)	104
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.19 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗΣ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Υ)	106
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.8Β ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΥΠΟΟΜΑΔΑΣ107	
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.20 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ Μ.Φ.Ι ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Υ)	111
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.21 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗΣ ΣΤΗ ΘΡΑΥΣΗ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Υ)	116
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.22 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Θ)	122
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.23 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗΣ – ΒΑΘΜΟΥ ΔΙΚΤΥΩΣΗΣ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Θ).....	123

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.24 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΙΑ ΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗΣ – ΒΑΘΜΟΥ ΔΙΚΤΥΩΣΗΣ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Θ)	124
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.25 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Θ)	130
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.25Α ΤΕΛΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ PARETO ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Θ)	130
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.26 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗΣ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Θ)	132
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.27 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΔΙΚΤΥΩΣΗΣ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (Θ)	137

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ & ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

ΑΟΠ	ΑΝΩ ΟΡΙΟ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ
ΔΟΠ	ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΟΛΙΚΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ
ΕΥΠ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΙΕΣΗ
ΚΟΠ	ΚΑΤΩ ΟΡΙΟ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ
ΜΔΕ	ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΣΕΔ	ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΈΛΕΓΧΟΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ
ΣΔΠ	ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ
CL	CENTER LINE
DMAIC	DEFINE, MEASURE, ANALYZE, IMPROVE, CONTROL
DMADV	DEFINE, MEASURE, ANALYZE, DESIGN, VERIFY
DPMO	DEFECTS PER MILLION OPPORTUNITIES
HDPE	HIGH-DENSITY POLYETHYLENE
LCL	LOWER CONTROL LIMIT
LDPE	LOW-DENSITY POLYETHYLENE
M.F.I.	MASS FLOW INDEX
PEX	CROSS-LINKED POLYETHYLENE
PN	PRESSURE NOMINAL
PVC	POLYVINYL CHLORIDE
PDCA	PLAN-DO-CHECK-ACT
QFD	QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT
SPC	STATISTICAL PROCESS CONTROL
UCL	UPPER CONTROL LIMIT

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η έννοια της Ποιότητας βρίσκεται σε κάθε πτυχή της ζωής. Μπορεί να εκφραστεί μέσω διαφορετικών παραμέτρων, όπως η λειτουργικότητα, η αποτελεσματικότητα, η αξιοπιστία, η ικανοποίηση των απαιτήσεων και των αναγκών κ.α. Κάθε παράμετρος έχει έναν κοινό παράγοντα, την αναζήτηση και διατήρηση της υψηλής ποιότητας, είτε αφορά υπηρεσίες, είτε προϊόντα, είτε ακόμη προσωπική ευημερία.

Η έννοια της ποιότητας για μια επιχείρηση ή οργανισμό αποτελεί μία από τις σημαντικότερες έννοιες και παίζει καίριο ρόλο για την επιβίωσή τους στο σύγχρονο ανταγωνιστικό περιβάλλον, όπου στόχος είναι η ικανοποίηση των αναγκών των καταναλωτών μέσω της μέγιστης χρήσης του προϊόντος ή της υπηρεσίας που παρέχουν.

1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο σκοπός της παρούσας Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας (ΜΔΕ) είναι η ανάλυση της σημασίας της ποιότητας μέσω διεξαγωγής πειραμάτων και παρουσίασης των αποτελεσμάτων σε βιομηχανία παραγωγής πλαστικών σωλήνων ύδρευσης, άρδευσης και θέρμανσης για την επίτευξη της συνεχούς βελτίωσης. Τελικό ζητούμενο είναι η υλοποίηση ενός ολοκληρωμένου συστήματος ποιοτικού ελέγχου για την διασφάλιση της ποιότητας των πλαστικών σωλήνων.

Η παραγωγή πλαστικών προϊόντων αποτελεί ένα σημαντικό τομέα βιομηχανικής και οικονομικής δραστηριότητας τόσο στην εγχώρια όσο και στη διεθνή αγορά. Η ανάγκη για μέγιστη αξιοπιστία ειδικά των πλαστικών σωλήνων στη διάρκεια του χρόνου αποτελεί σημαντικό ανταγωνιστικό πλεονέκτημα για μια βιομηχανική επιχείρηση που δραστηριοποιείται στον συγκεκριμένο τομέα. Ακόμη, έχοντας ως δεδομένο ότι οι περισσότερες ιδιωτικές και δημόσιες υποδομές βασίζονται στην ομαλή, συνεχή και ασφαλή λειτουργία δικτύων από σωλήνες (άρδευσης, ύδρευσης και θέρμανσης), καθίσταται σαφές ότι η παρουσίαση μιας ολοκληρωμένης μεθόδου ελέγχου ποιότητας μιας τυπικής βιομηχανικής μονάδας παραγωγής πλαστικών σωλήνων αποτελεί ένα εξαιρετικά ελκυστικό επιστημονικό και ερευνητικό αντικείμενο τόσο για τους παραγωγούς όσο και για τους τελικούς χρήστες των εν λόγω προϊόντων.

1.2 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα ΜΔΕ αρχίζει με μια παρουσίαση του σκοπού και του τρόπου με τον οποίο αναπτύσσεται το υλικό στα επόμενα κεφάλαια. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα πολυμερικά υλικά και στη χρήση τους στην βιομηχανία, ενώ παράλληλα αναπτύσσονται σημαντικές έννοιες του Συστήματος Διαχείρισης Ποιότητας (ΣΔΠ), όπως, παραδείγματος χάριν, η έννοια της συνεχούς βελτίωσης. Στο τρίτο κεφάλαιο διεξάγεται λεπτομερής αναδρομή σε έννοιες της ποιότητας, ενώ δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην ανάλυση των πρωτοπόρων θεωριών από τους πατέρες – φιλόσοφους της ποιότητας και της μεθόδου 6σ. Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα εργαλεία ποιότητας που χρησιμοποιήθηκαν για την διεξαγωγή των αποτελεσμάτων και γίνεται αναφορά στους δείκτες ικανότητας διεργασίας. Εν συνεχεία, στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις τεχνικές ελέγχου ποιότητας και των προτύπων που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας ΜΔΕ. Στο έκτο κεφάλαιο αναλύονται τα πειραματικά δεδομένα για τους τρεις σωλήνες, άρδευσης, ύδρευσης και θέρμανσης, καθώς ακόμη προκύπτουν τα αντίστοιχα διαγράμματα/ αποτελέσματα μέσω χρήσης του στατιστικού προγράμματος Minitab. Στο τέλος του έκτου κεφαλαίου γίνεται υπολογισμός των δεικτών ικανότητας διεργασίας και η κάθε διεργασία χαρακτηρίζεται ικανή ή μη και εξετάζεται αν πρέπει να υποβληθεί σε προσαρμογές και διορθώσεις. Στο έβδομο κεφάλαιο προκύπτουν τα συμπεράσματα βάσει των αποτελεσμάτων που έχουν προκύψει στο προηγούμενο κεφάλαιο, ενώ προτείνονται διορθωτικές ενέργειες με σκοπό τη συνεχή βελτίωσης της ποιότητας. Στο τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζεται η βιβλιογραφία βάσει της οποίας αναπτύχθηκε η θεωρία της παρούσας ΜΔΕ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2. ΠΟΛΥΜΕΡΗ

2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Σύμφωνα με τους Καραγιαννίδη Γ. Π., Σιδερίδου Ε. Δ. (2010) τα πολυμερή κατέχουν πολύ σημαντικό ρόλο για όλους τους ζωντανούς οργανισμούς, καθώς η βάση της δομής τους αποτελείται από αυτά. Το 1926, ο Herman Staudinger κατάφερε να αποδείξει πως τα πολυμερή αποτελούνται από μακριές και οργανωμένες αλυσίδες, τα μακρομόρια. Ύστερα από την κατανόηση της δομής τους, παρασκευάστηκαν συνθετικά πολυμερή με ιδιότητες που είχαν προκαθοριστεί προκειμένου να δημιουργηθούν νέα υλικά που θα ικανοποιούσαν τις απαιτήσεις της αγοράς. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα, τον κατακλυσμό της αγοράς από διάφορες μορφές συνθετικών πολυμερών, όπως ίνες, ελαστομερή, κόλλες και πλαστικά. Δέκα χρόνια αργότερα, το 1936, πραγματοποιήθηκε ένα συνέδριο στο Cambridge, όπου το μεγαλύτερο μέρος των ομιλιών αναφερόταν στη μελέτη και σύνθεση νέων πολυμερών και το πεδίο εφαρμογής τους. Το 1947, η IUPAC διεξήγαγε το πρώτο διεθνές συνέδριο πολυμερών στο Βέλγιο, όπου εκεί η Χημεία των Πολυμερών καθιερώθηκε ως νέος ξεχωριστός κλάδος της Χημείας. Σήμερα ο όρος «πολυμερές», κατά IUPAC, αναφέρεται σε «κάθε ουσία, που τα μόριά της χαρακτηρίζονται από την επανάληψη ενός ή περισσότερων ατόμων ή ομάδων ατόμων που αποκαλούνται δομικές μονάδες, ενωμένων μεταξύ τους με ομοιοπολικό δεσμό, σε ένα ικανοποιητικό βαθμό, ώστε η ουσία να παρουσιάζει ένα σύνολο ιδιοτήτων που δεν μεταβάλλεται πρακτικά με την προσθήκη ή αφαίρεση μιας ή περισσότερων τέτοιων δομικών μονάδων». Μάλιστα, πλέον είναι γνωστό πως τα πολυμερή δεν είναι απλώς χημικές ουσίες, αλλά και υλικά τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη βιομηχανία.

2.2 ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

Στις αρχές του 1930, ύστερα από την ανακάλυψη του σελοφάν από τους Γάλλους και την χρήση του Nylon από τον Carothers, αναπτύχθηκε μία τεράστια αγορά πλαστικών που εισήχθη πολύ γρήγορα σε όλους τους τομείς στις ζωές των καταναλωτών. Πολυμερή σε μορφή πλαστικών σφαιριδίων και σκόνης συναντώνται σε κάθε είδους σχήματα, όπως παιχνίδια, ανταλλακτικά αυτοκινήτων, οικιακά είδη, σωλήνες κ.α. Ακόμη υπάρχει στη μορφή των πλαστικών μεμβρανών, σε διάφορα αντικείμενα όπως βιντεοκασέτες, πυκνωτές, ως υλικά συσκευασίας και κασέτες ήχου. Πολυμερή ως πλαστικές ίνες βρίσκουν εφαρμογή σε βιομηχανίες που

αφορούν τόσο την ένδυση και τα υφάσματα, όσο τα χαλιά και τα λευκά είδη (Seymour, R. B., & Mark, H. F., 1988).

Σύμφωνα με τους Seymour, R. B., & Mark, H. F. (1988), η χρήση των πολυμερών σε όλους τους παραπάνω τομείς, αύξησε τη ζήτηση και τελικά την ανάγκη για προμήθεια αυτών, καθιστώντας την βιομηχανία των πολυμερών απαραίτητη σε παγκόσμιο επίπεδο, κάνοντας παράλληλα τους καταναλωτές πιο επιλεκτικούς στα προϊόντα που θα διαλέξουν, απαιτώντας από τους προμηθευτές προϊόντα ποιοτικά, χαμηλού κόστους που να ικανοποιούν τις ανάγκες τους. Για να μπορέσουν οι προμηθευτές να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις των πελατών τους έπρεπε να υιοθετήσουν ένα Σύστημα Διαχείρισης Ποιότητας (ΣΔΠ) που είχε ως βάση τον στατιστικό έλεγχο των διαδικασιών και τις σχέσεις πελάτη – προμηθευτή σε πρώτο πλάνο.

2.2.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ

Σύμφωνα με τους Καραγιαννίδη Γ. Π., Σιδερίδου Ε. Δ. (2010), το πολυαιθυλένιο είναι ένα θερμοπλαστικό πολυμερές, το οποίο έχει το μεγαλύτερο όγκο παραγωγής σε παγκόσμιο επίπεδο, σε διάφορες μορφές, χάρη στις διαφορετικές ιδιότητές του. Στην παρούσα ΜΔΕ, γίνεται μελέτη τριών σωλήνων, άρδευσης, ύδρευσης και θέρμανσης, οι οποίοι ανήκουν στην κατηγορία των LDPE, HDPE και PEX αντίστοιχα.

Κατά τη διάρκεια του 1989, τα θερμοπλαστικά χρησιμοποιούνταν σε πάνω από το 95% από τα περίπου 3,75 εκατομμύρια τόνους πλαστικών που εισήχθησαν σε σωλήνες, αγωγούς και εξαρτήματα. Το πιο διαδεδομένο ήταν το πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC / Polyvinyl Chloride), το οποίο συνιστούσε περίπου τα τρία τέταρτα του συνόλου των θερμοπλαστικών σωλήνων (McGrath, T. J., & Mruk, S. A., 1999). Σύμφωνα με τον Walsh, T. (2011), το πολυαιθυλένιο είναι το δεύτερο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο θερμοπλαστικό σε σωληνώσεις, καθώς έχει εξαιρετικές ιδιότητες, μπορεί να επεξεργαστεί εύκολα και έχει χαμηλό κόστος. Κάποιες από τις ιδιότητές του είναι η ευκαμψία του, η οποία βοηθάει το τελικό προϊόν στο να τυλιχτεί σε κουλούρες, ιδιαίτερα όταν η διάμετρος του σωλήνα είναι μικρή. Ακόμη, λόγω του ότι το πολυαιθυλένιο έχει ουδέτερες/ χαμηλές ιδιότητες όσον αφορά την γεύση και την οσμή, το καθιστά κατάλληλο για σωλήνες πόσιμου νερού.

Ωστόσο, το πολυαιθυλένιο απαιτεί τη χρήση σταθεροποιητών, ώστε να αποφευχθούν τυχόν ζημιές κατά την επεξεργασία και τη λειτουργία. Επίσης, απαραίτητα είναι τα αντιοξειδωτικά και οι σταθεροποιητές θερμότητας κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας και της προσθήκης των χρωστικών, ενώ παράλληλα απαιτούνται σταθεροποιητές αιθάλης ή/και φωτός, η χρήση των

οποίων έχουν ως αποτέλεσμα την προστασία από τις καιρικές συνθήκες κατά την αποθήκευσή τους (Walsh, T., 2011)

Πιο συγκεκριμένα, οι Καραγιαννίδης Γ. Π., Σιδερίδου Ε. Δ. (2010) αναφέρουν πως το πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (LDPE / Low-density polyethylene), το οποίο χρησιμοποιείται για σωλήνες άρδευσης, έγινε γνωστό από το 1940 και διαθέτει μικρές και μεγάλες διακλαδώσεις οι οποίες συσφαιρώνονται και εμφανίζονται σε συμπαγή μορφή. Το LDPE έχει καλή χημική σταθερότητα και εμφανίζει ανθεκτικότητα σε υδατικά διαλύματα οξέων, αλκαλίων και αλάτων, ενώ παράλληλα αντέχει χωρίς να υποστεί ζημιά σε χαμηλές θερμοκρασίες έως -70°C . Ακόμη, η κατεργασία του είναι εύκολη, είναι χημικώς αδρανές, αντέχει στην κρούση, θερμοσυγκολλάται και έχει εξαιρετικά καλές ηλεκτρομονωτικές ιδιότητες. Όμως, η μηχανική του αντοχή, η αντοχή στην υγρασία, σε διάφορους διαλύτες, στη θερμότητα και στη γήρανση είναι χαμηλή, με αποτέλεσμα οι LDPE σωλήνες να «γερνάνε» πιο εύκολα, να αποσυντίθενται υπό το φως του ήλιου ή σε υψηλές θερμοκρασίες, ακόμη και να αλλάζει το χρώμα τους, παράγοντες που υποβαθμίζουν την ποιότητά τους (Chen, L., & Lin, Z., 2021).

Από την άλλη πλευρά, οι Καραγιαννίδης Γ. Π., Σιδερίδου Ε. Δ. (2010) αναφέρουν ότι το πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE / High-density polyethylene), το οποίο χρησιμοποιείται για σωλήνες ύδρευσης, διατίθεται στην αγορά από το 1956 και είναι ένα θερμοπλαστικό πολυμερές μη πολικό, με υψηλή κρυσταλλικότητα και με εξαιρετική αντοχή στα χημικά αντιδραστήρια. Είναι μη τοξικό, άγευστο, άοσμο και έχει καλή αντοχή τόσο στη θερμότητα όσο και στο κρύο, καλή μηχανική αντοχή, εξαιρετική αντοχή στους περισσότερους διαλύτες, καλή αντοχή στην υγρασία και υψηλή ακαμψία και σκληρότητα. Ωστόσο, όπως και το LDPE, έχει χαμηλή αντοχή στη γήρανση και στην εμφάνιση ρηγμάτων, μπορεί να αποχρωματιστεί και να γίνει εύθραυστο κάτω από την επίδραση του ήλιου, παράγοντες που υποβαθμίζουν την ποιότητα των σωλήνων (Chen, L., & Lin, Z., 2021).

Τέλος, το δικτυωμένο πολυαιθυλένιο PEX (Cross-linked polyethylene), το οποίο χρησιμοποιείται για σωλήνες θέρμανσης, είναι δικτυωμένο πολυαιθυλένιο, το οποίο έχει πολύ καλή απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες, υψηλή χημική αντοχή, καλή αντοχή στην τριβή και στην κρούση και καθίσταται κατάλληλο για εφαρμογές όπως επικαλύψεις ηλεκτρικών καλωδίων, αφρώδη υλικά για μονώσεις σωλήνων, σωλήνες μεταφοράς θερμού νερού (π.χ. ενδοδαπέδια θέρμανση κτηρίων) κ.α. (Chen, L., & Lin, Z., 2021). Ωστόσο, αν ο σωλήνας PEX είναι δικτυωμένος σε χαμηλότερο ποσοστό από το 65%, αυτό θα τον μετατρέψει σε έναν πιο

εύκαμπτο σωλήνα, ενώ αν είναι δικτυωμένος σε μεγαλύτερο ποσοστό από 85% αυτό θα τον μετατρέψει σε έναν σωλήνα με υψηλή ψαθυρότητα. Και στις δύο περιπτώσεις επηρεάζονται οι ιδιότητές του και υποβαθμίζεται η ποιότητα των σωλήνων (McGrath, T. J., & Mruk, S. A., 1999).

Όμως, η τεχνολογία συνεχώς εξελίσσεται και πολυμερή, πιο φιλικά προς το περιβάλλον με καλύτερα χαρακτηριστικά, αρχίζουν να κερδίζουν έδαφος στην βιομηχανία. Ο Adebawale, S. (2024) υποστηρίζει ότι επειδή οι άνθρωποι επιδιώκουν να μειώσουν το αποτύπωμα άνθρακα και να ελαχιστοποιήσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, αρχίζουν να χρησιμοποιούν σωλήνες που προέρχονται από βιοπλαστικά. Τα φιλικά προς το περιβάλλον βιοπλαστικά που χρησιμοποιούνται, συμβάλλουν στη μείωση της ρύπανσης από την πληθώρα πλαστικών που χρησιμοποιούνται στον κόσμο, χωρίς να βλάπτουν το οικοσύστημα αφού είναι βιοδιασπώμενα και ανακυκλώσιμα, ενώ παράλληλα παρουσιάζουν συγκρίσιμη αντοχή και ανθεκτικότητα με τα παραδοσιακά πολυμερή που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία. Ακόμη, αν και αυτού του είδους τα πολυμερή είναι πιο κοστοβόρα στην αρχή, με την πάροδο του χρόνου, λόγω των μειωμένων κοστών συντήρησης, την διάρκεια ζωής που είναι εκτεταμένη και τα περιβαλλοντικά κίνητρα που τίθενται, καθιστούν τα βιοπλαστικά μια οικονομικά βιώσιμη επιλογή.

Τέλος, εκτός από τα οφέλη της εφαρμογής των βιοπλαστικών, υπάρχουν και διάφορες προκλήσεις που προκύπτουν με τη χρήση τους στους σωλήνες. Κάποιες από αυτές είναι η περιορισμένη διαθεσιμότητά τους, η αμφισβητούμενη απόδοσή τους σε κλίματα που είναι πλούσια σε υγρασία ή σε ακραίες κλιματικές συνθήκες, χωρίς να επηρεάζει την βιοδιάσπασή τους και ο προβληματισμός που δημιουργείται όσον αφορά την συμβατότητά τους σε υπάρχοντα συστήματα που μπορεί να δημιουργήσουν υλικοτεχνικά προβλήματα. Παρ' όλα αυτά τα βιοπολυμερή προσφέρουν μία πολλά υποσχόμενη λύση για την προώθηση φιλικών προς το περιβάλλον πρακτικών, στις οποίες όμως πρέπει να γίνει προσεκτική μελέτη για την περαιτέρω χρήση τους στη βιομηχανία.

2.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

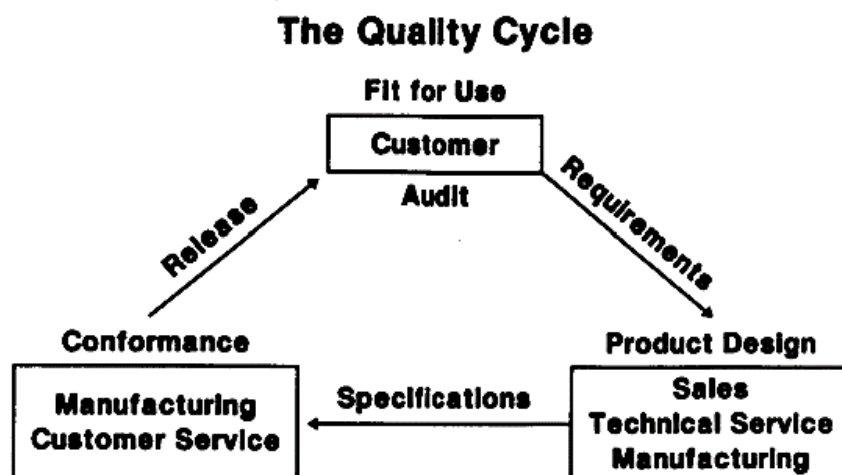
Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η υιοθέτηση ενός ΣΔΠ είναι απαραίτητη για την ικανοποίηση των αναγκών των πελατών. Ένα ΣΔΠ που λειτουργεί σωστά, αποτελείται από το τρίπτυχο του Κύκλου Ποιότητας, τις Γενικές Έννοιες του προμηθευτή και του πελάτη και την Συνεχή Βελτίωση.

2.3.1 ΚΥΚΛΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

Ο Κύκλος Ποιότητας παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα (**Σχήμα 2.1**). Ο όρος *Fit for Use* παραπέμπει στην καταλληλότητα του τελικού προϊόντος για χρήση, δηλαδή ένα υλικό θεωρείται κατάλληλο για χρήση, όταν προσφέρει υψηλού επιπέδου ικανοποίηση στον πελάτη (Customer), έχει υψηλή αποδοτικότητα, παρέχει κέρδος στον πελάτη και τέλος ο προμηθευτής θα επιτυγχάνει υψηλή απόδοση χωρίς να έρχεται αντιμέτωπος με σημαντικά προβλήματα (Seymour, R. B., & Mark, H. F., 1988).

Με τον όρο *Requirements*, οι Seymour, R. B., & Mark, H. F. (1988), αναφέρονται στις απαιτήσεις που έχουν οι πελάτες σύμφωνα με τις ανάγκες και τις προσδοκίες τους, οι οποίες μεταφράζονται στις προδιαγραφές που πρέπει να έχει ένα τελικό προϊόν. Όσον αφορά τις προδιαγραφές, περιλαμβάνονται κάποιες μέσες τιμές και ένα αποδεκτό εύρος τιμών για κάθε ιδιότητα του προϊόντος με σκοπό την εξασφάλιση της ποιότητάς του. Αφότου οι απαιτήσεις των πελατών καθοριστούν, ο κατασκευαστής (*Manufacturing Customer Service*) φέρει την ευθύνη συμμόρφωσης (*Conformance*) του προϊόντος με αυτές τις απαιτήσεις πριν την αποστολή του στους πελάτες. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός «συστήματος απελευθέρωσης προϊόντος» (*Product Release System*) που εγγυάται την συμμόρφωση των προϊόντων με τις προδιαγραφές που καθορίζονται από τις απαιτήσεις/ ανάγκες των πελατών, εξασφαλίζοντας με τον τρόπο αυτό την ικανοποίησή τους με την αποδέσμευση προϊόντων υψηλής ποιότητας.

Στον Κύκλο Ποιότητας των Seymour, R. B., & Mark, H. F. (1988), περιλαμβάνεται και ο τελικός έλεγχος (*Audit*) που γίνεται από τον πελάτη όταν το προϊόν βρίσκεται στην κατοχή του και είναι προς χρήση. Εάν ικανοποιούνται οι απαιτήσεις του, τότε το προϊόν θεωρείται κατάλληλο, καθώς οι προδιαγραφές πληρούνται. Σε περίπτωση, όμως, που δεν ικανοποιούνται οι απαιτήσεις του πελάτη, τότε ο Κύκλος Ποιότητας συνεχίζεται αναλύοντας το πρόβλημα και επιλύοντάς τα, έως ότου το προϊόν να πληροί τις προδιαγραφές και τελικά να ολοκληρωθεί ο Έλεγχος.



Σχήμα 2.1. Κύκλος Ποιότητας.
Πηγή: Seymour, R. B., & Mark, H. F. (1988)

2.3.2 ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΗ – ΠΕΛΑΤΗ

Ένα ΣΔΠ για να είναι έγκυρο και ισχυρό πρέπει να εισάγει τις έννοιες της συνεργασίας προμηθευτή – πελάτη με αμοιβαίο τόσο το ρίσκο όσο και το κέρδος, δηλαδή η σχέση προμηθευτή – πελάτη πρέπει να είναι αμοιβαία επωφελής, ώστε να επιτυγχάνεται η ομαλή συνεργασία τους. Επιπροσθέτως, ένα πετυχημένο ΣΔΠ πρέπει να περιλαμβάνει τη σωστή κατασκευή του προϊόντος από την πρώτη φορά, δηλαδή τα προϊόντα που θα παραχθούν να είναι προσεκτικά και σωστά κατασκευασμένα εξαρχής, έχοντας ως στόχο τη μείωση των ατελειών και των πιθανών προβλημάτων, ώστε να επιτευχθεί η υψηλή ποιότητα του προϊόντος από τα πρώτα στάδια παραγωγής του. Η χρήση εργαλείων στατιστικού ελέγχου δεν μπορεί να λείπει από ένα ΣΔΠ, καθώς μέσω αυτών πραγματοποιείται η παρακολούθηση και τελικά η βελτίωση των διαδικασιών που ακολουθούνται (Seymour, R. B., & Mark, H. F., 1988).

Οι Seymour, R. B., & Mark, H. F. (1988), υποστηρίζουν ότι μια ποιοτική συνεργασία μεταξύ προμηθευτή και πελάτη επιτυγχάνεται όταν και τα δύο μέλη της γνωρίζουν τις προσδοκίες, τις απαιτήσεις και τη φιλοσοφία που κατέχει ο άλλος. Ακόμη, η συνεργασία αυτή λειτουργεί προς το συμφέρον και των δύο μελών που την αποτελούν, καθώς ο προμηθευτής και ο πελάτης συνθέτουν δύο σημαντικά κομμάτια σε μία συνεχή αλυσίδα συνεργασίας που σχετίζεται με την παραγωγή, την παροχή και τη αποδέσμευση προϊόντων από τον προμηθευτή στον πελάτη. Τέλος, αναφέρεται πως το ιδανικό σενάριο είναι ο τελικός έλεγχος του προϊόντος να γίνεται από τον προμηθευτή προτού το προϊόν αποδεσμευτεί προς τον πελάτη, έτσι ώστε να

αποφευχθούν επιπλέον κόστη και καθυστερήσεις που μπορεί να δημιουργηθούν μέσω ελέγχου των υλικών από τον ίδιο τον πελάτη.

2.3.3 ΣΥΝΕΧΗΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗ

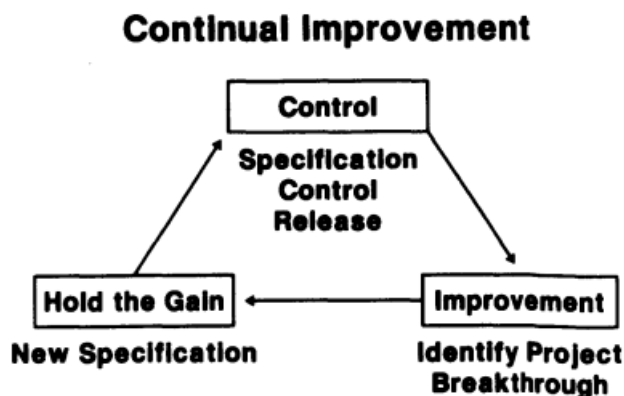
Μόλις ολοκληρωθεί ο Κύκλος Ποιότητας και πλέον γίνεται η παραγωγή ενός προϊόντος σε τακτικό χρονικό διάστημα, πρέπει να ξεκινήσει η Διαδικασία Βελτίωσης του προϊόντος. Από την μία πλευρά, ο πελάτης έχοντας στην διάθεσή του πληθώρα προϊόντων, γίνεται πιο απαιτητικός και επιλεκτικός, καθώς η αγορά εξελίσσεται και τα προϊόντα αποκτούν υψηλή ποιότητα. Από την άλλη πλευρά, ο προμηθευτής αναγκάζεται να παράγει προϊόντα εξελιγμένα και ποιοτικώς υψηλά, ενώ ταυτόχρονα πρέπει να τα παρέχει σε χαμηλό κόστος, λόγω του υψηλού ανταγωνισμού που αναπτύσσεται (Seymour, R. B., & Mark, H. F., 1988). Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 2.2), ο όρος *Continual Improvement*, αναφέρεται στην Συνεχή Βελτίωση.

Στη φάση του Ελέγχου (*Control*), χρησιμοποιούνται στατιστικές μέθοδοι ελέγχου για την παρακολούθηση της ικανοποίησης των Προδιαγραφών βάσει των Απαιτήσεων που υπάρχουν στην αγορά, με σκοπό την υψηλή ποιότητα του προϊόντος. Η παρακολούθηση πλήρωσης των Προδιαγραφών επιτυγχάνεται, όταν οι αποκλίσεις του προϊόντος από τις τιμές – στόχους εντοπίζονται απευθείας, όταν είναι στατιστικά σημαντικές, και γίνονται οι κατάλληλες διορθωτικές ενέργειες, ώστε το προϊόν να επανέλθει εντός των ορίων των επιθυμητών τιμών – στόχων. Τέλος, ο όρος *Release*, αναφέρεται στην αποδέσμευση του προϊόντος στον πελάτη, ύστερα από τη διασφάλιση της συμμόρφωσης του προϊόντος με τις απαιτήσεις, μέσω χρήσης στατιστικών μεθόδων (Seymour, R. B., & Mark, H. F., 1988).

Εν συνεχεία, οι Seymour, R. B., & Mark, H. F. (1988), υποστηρίζουν πως αφότου ολοκληρωθεί ο Έλεγχος, το προϊόν που θα παραχθεί, πληροί τις προδιαγραφές και ικανοποιεί τις προσδοκίες και απαιτήσεις των πελατών, έως ότου αυτές αλλάξουν. Σε μία σωστή συνεργασία μεταξύ του προμηθευτή και του πελάτη, πρέπει να ληφθούν υπόψιν διάφορες πτυχές που μπορεί μελλοντικά να τους επηρεάσουν, όπως οι τιμές των προϊόντων, τα καινοτόμα προϊόντα (*Breakthrough Project*) και οι υπηρεσίες που προσφέρονται.

Τέλος, η διατήρηση του κέρδους (*Hold the Gain*) είναι ένα κομβικό σημείο για τους προμηθευτές, καθώς αν και μπορεί να έχουν καταφέρει την υψηλή ποιότητα του προϊόντος, θα πρέπει να τη διατηρήσουν με το πέρασμα του χρόνου, διατηρώντας παράλληλα και το κέρδος τους. Για να επιτευχθεί αυτό, θα πρέπει το κέρδος πλέον να καθοριστεί ως Νέα Προδιαγραφή

(*New Specification*) και να εφαρμοστεί εκ νέου στον έλεγχο του προϊόντος, για να γίνει η αποδέσμευσή του στους πελάτες (Seymour, R. B., & Mark, H. F., 1988).



Σχήμα 2.2. Συνεχής Βελτίωση.
Πηγή: Seymour, R. B., & Mark, H. F. (1988)

Φυσικά, για να μπορέσει ένας προμηθευτής και κατ' επέκταση μία επιχείρηση να επιτύχει όλα τα παραπάνω θα πρέπει να είναι γνώστης των εννοιών της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας (ΔΟΠ), των Τεχνικών και Ελέγχων Ποιότητας (Μέθοδος 6σ), των Εργαλείων Ποιότητας και των Προτύπων που εφαρμόζονται για την επίτευξη της υψηλής ποιότητας προϊόντων και υπηρεσιών. Αυτές οι έννοιες αναλύονται εκτενώς στα επόμενα κεφάλαια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3. ΠΟΙΟΤΗΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η ανάλυση των εννοιών της ΔΟΠ, της Συνεχούς Βελτίωσης, των Προτύπων Ποιότητας και άλλων σημαντικών παραμέτρων. Εν συνεχεία, αναλύεται η μεθοδολογία Έξι Σίγμα και το πεδίο εφαρμογής της στις επιχειρήσεις. Στο τέλος του κεφαλαίου θα αναλυθούν ζητήματα όπως η συσχέτιση της ΔΟΠ με την Μεθοδολογία 6σ και η σημασία της εφαρμογής τους για την Διασφάλιση της Ποιότητας στη βιομηχανία. Τα βασικά στοιχεία των προσεγγίσεων που παρουσιάζονται παρακάτω συγκεράζονται στα πλαίσια της παρούσας ΜΔΕ προκειμένου να εφαρμοστεί ένα σύστημα ποιότητας σε πραγματική βιομηχανία.

3.1 ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΟΛΙΚΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ (ΔΟΠ)

Η έννοια της ποιότητας είναι πολύ σημαντική για την επιβίωση, εξέλιξη και πρόοδο μίας επιχείρησης. Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, η ποιότητα ορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τις απαιτήσεις του πελάτη (φωνή του πελάτη), δηλαδή από την ικανοποίηση των αναγκών του από το συγκεκριμένο προϊόν ή υπηρεσία που παρέχει ο προμηθευτής. Δηλαδή, η φιλοσοφία της ΔΟΠ εστιάζεται στον πελάτη και η εκπλήρωση των απαιτήσεών του γίνεται μέσω της συνεργασίας όλων των τμημάτων μιας επιχείρησης με τα υπόλοιπα τμήματα (Τσαρούχας Π., Ντέλιου Κ., 2018).

Σύμφωνα με τους Τσαρούχας Π., Ντέλιου Κ. (2018), η ολική ποιότητα περιλαμβάνει έξι βασικές αρχές:

- Περιορισμό της ηγεσίας.
- Σημασία του εξωτερικού και εσωτερικού καταναλωτή.
- Ικανοποίηση του πελάτη.
- Φιλοσοφία των μηδενικών λαθών/ ελαττωματικών.
- Διαρκή κατάρτιση.
- Διαρκή βελτίωση.

Οι Τσαρούχας Π., Ντέλιου Κ. (2018), υπογραμμίζουν πως η έννοια της ποιότητας δεν ορίζεται με απόλυτη ακρίβεια, καθώς πολλοί «Γκουρού» της Ποιότητας έχουν δώσει διαφορετικούς ορισμούς γι' αυτήν, όμως ακολουθώντας κάποια εξελικτικά στάδια καταλήγει στην ΔΟΠ που

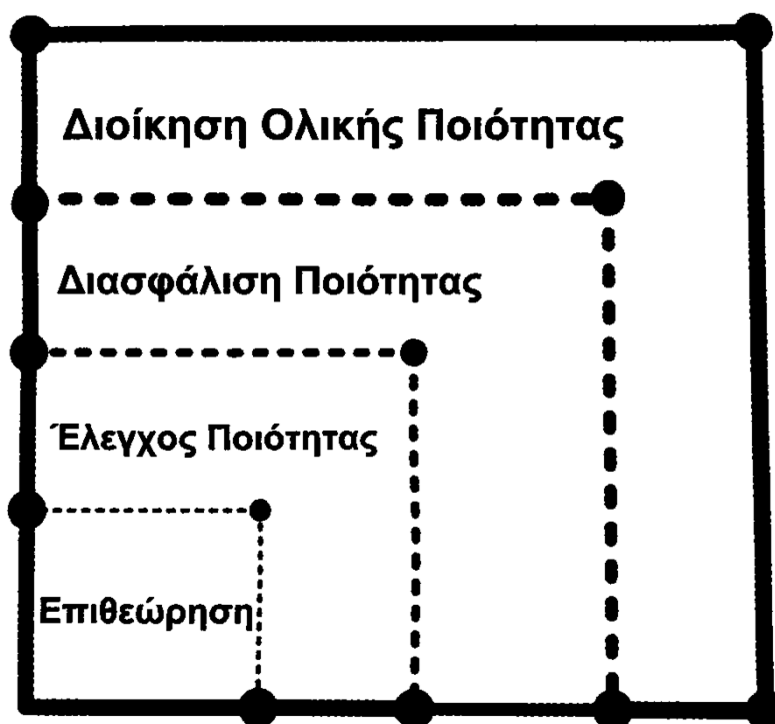
παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα (**Σχήμα 3.1**). Τα στάδια αυτά είναι τρία και περιλαμβάνουν:

1. Την Επιθεώρηση Ποιότητας (Quality Inspection)
2. Τον Έλεγχο Ποιότητας (Quality Control)
3. Τη Διασφάλιση Ποιότητας (Quality Assurance)

Όσον αφορά την Επιθεώρηση Ποιότητας, αναφέρεται σε μια διαδικασία ελέγχου, επισκόπησης και αξιολόγησης των διαδικασιών που ακολουθούνται, ώστε να εξασφαλισθεί η συμμόρφωση των προϊόντων ή υπηρεσιών με τις προδιαγραφές και τα Πρότυπα Ποιότητας. Οι κύριοι στόχοι της είναι ο εντοπισμός προβλημάτων και πιθανών κινδύνων, ώστε να επιτύχει την μείωση ή την εξάλειψή τους, η διασφάλιση της συμμόρφωσης με τις προδιαγραφές και τέλος, η εξασφάλιση συνεχούς βελτίωσης των διαδικασιών που ακολουθούνται (Τσαρούχας Π., Ντέλιου Κ., 2018).

Εν συνεχεία, ο Έλεγχος Ποιότητας σχετίζεται με την παραγωγή των προϊόντων με άμεσο τρόπο. Είτε πραγματοποιείται οπτικά, είτε με μετρήσεις και δοκιμές και στη συνέχεια με την αναφορά των αποτελεσμάτων και την διεξαγωγή συμπερασμάτων. Στόχος του ελέγχου είναι η συμμόρφωση των προϊόντων με τις προδιαγραφές μέσω της διαλογής τους από τα μη συμμορφούμενα προϊόντα. Ύστερα από την προετοιμασία των σχεδίων ελέγχου, γίνεται διεξαγωγή του ελέγχου, εντοπίζοντας τις αποκλίσεις των παραμέτρων από τις προδιαγραφές. Στη συνέχεια, πραγματοποιούνται διορθωτικές ενέργειες για να αντιμετωπιστούν οι αποκλίσεις και οι παράμετροι αυτοί να είναι τελικά εντός των καθορισμένων προδιαγραφών (Τσαρούχας Π., Ντέλιου Κ., 2018).

Τέλος, για τη Διασφάλιση Ποιότητας, οι Τσαρούχας Π., Ντέλιου Κ. (2018), αναφέρουν πως στόχος της είναι η διασφάλιση ότι τα προϊόντα/ υπηρεσίες είναι σύμφωνα με τις απαιτήσεις της επιχείρησης. Στο στάδιο αυτό γίνεται η ανάλυση των αιτιών των αστοχιών της παραγωγικής διαδικασίας, αναπτύσσονται πρότυπα ποιότητας και συστήματα διασφάλισης ποιότητας. Ακόμη, περιλαμβάνει όλες τις δραστηριότητες και διαδικασίες που ακολουθεί μία επιχείρηση, από τον σχεδιασμό του προϊόντος/ υπηρεσίας που παρέχει μέχρι την υποστήριξη μετά την πώληση. Για να μπορέσουν να γίνουν αυτά, πρέπει να καθοριστεί η πολιτική της εταιρείας, να αναπτυχθεί εγχειρίδιο ποιότητας, να διασφαλιστεί η επαγγελματική επάρκεια του προσωπικού, να εξαλειφθούν οι αποκλίσεις και να διεξαχθούν εσωτερικές επιθεωρήσεις και ανασκοπήσεις από τη διοίκηση.



Σχήμα 3.1. Επίπεδα εξέλιξης συστημάτων ποιότητας.
Πηγή: Τσαρούχας Π., Ντέλιου Κ. (2018)

Η ανάγκη, λοιπόν, της βιομηχανικής ανάπτυξης και βελτίωσης των προϊόντων που είχε ως γνώμονα την ικανοποίηση των αναγκών των πελατών οδήγησε τους «Γκουρού» της Ποιότητας να δημιουργήσουν πρακτικές και τυποποιημένες μεθόδους που θα εκπλήρωναν τον στόχο αυτό, ενώ παράλληλα θα ελαχιστοποιούσαν το κόστος παραγωγής (Τσαρούχας Π., Ντέλιου Κ., 2018). Παρακάτω παρουσιάζονται οι κυριότεροι πατέρες της ποιότητας.

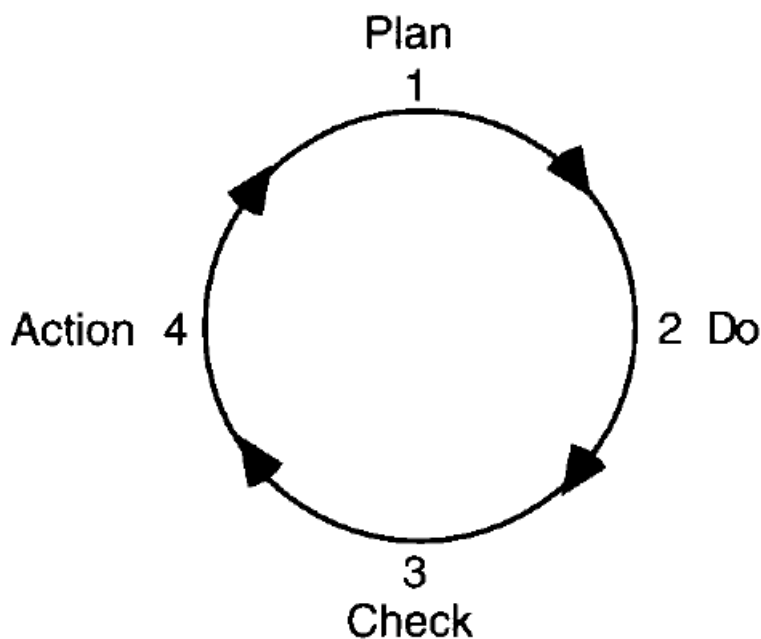
3.1.1 Η ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΟΥ DEMING

Ο Beckford, J. (2016), υποστηρίζει πως ως αρχική προσέγγιση του William Edwards Deming, ήταν θεωρίες περί στατιστικού ελέγχου των διεργασιών, οι οποίες, όμως, απορρίφθηκαν, αρχικά, από την αμερικανική βιομηχανία και για τον λόγο αυτό ο Deming, στράφηκε προς την ιαπωνική βιομηχανία, όπου και βρήκε ανταπόκριση. Η μέθοδος που χρησιμοποιούσε παρείχε μια συστηματική και αυστηρή προσέγγιση της ποιότητας. Το έργο του ήταν τόσο σημαντικό με αποτέλεσμα το 1951 να κυκλοφορήσει το «Βραβείο Deming» για τη συμβολή του στην ποιότητα και την αξιοπιστία.

Ο τρόπος σκέψης των θεωριών του για την ΔΟΠ είναι γνωστός και ως κύκλος του Deming (PDCA, Plan-Do-Check-Act) και παρατίθεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 3.2). Ο κύκλος

του Deming, αποτελείται από μια συνεχή και επαναλαμβανόμενη σειρά ενεργειών (τέσσερα στάδια) που έχει ως στόχο τη βελτίωση μιας διαδικασίας ή ενός προϊόντος (Τσαρούχας Π., Ντέλιου Κ., 2018). Τα στάδια αυτά είναι τα εξής:

1. **Σχεδιάσε (Plan):** Σε αυτό το στάδιο πρέπει να γίνει ο προσδιορισμός των στόχων και των διαδικασιών, ώστε να μπορέσουν να προκύψουν αποτελέσματα με τις αναμενόμενες αποδόσεις, εστιάζοντας στις προδιαγραφές, διότι είναι μέρος της βελτίωσης.
2. **Κάνε (Do):** Εφαρμογή νέων διαδικασιών που αντικατοπτρίζουν τις προτάσεις για βελτίωση.
3. **Έλεγχε (Check):** Ανάλυση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν με τις νέες διαδικασίες και σύγκριση με τα αναμενόμενα αποτελέσματα, για τυχόν αποκλίσεις από τις καθορισμένες προδιαγραφές.
4. **Δράσε (Act):** Ανάλυση των αποκλίσεων για να γίνει ο προσδιορισμός της αιτίας τους, καθορίζοντας το πού θα εφαρμοστούν οι διορθωτικές ενέργειες οι οποίες θα περιέχουν τις απαραίτητες βελτιώσεις.



Σχήμα 3.2. Κύκλος του Deming (PDCA, Plan-Do-Check-Act).

Πηγή: Beckford, J. (2016)

Επιπρόσθετα, ο Deming διατύπωσε την λεγόμενη «αλυσίδα αντίδρασης του Deming», η οποία συνδέει την ποιότητα, την παραγωγικότητα, το μερίδιο αγοράς και την εργασία και αποτελείται από 14 σημεία. Τα 14 σημεία του Deming είναι τα εξής (Beckford, J., 2016):

1. Στόχος είναι η συνεχής βελτίωση των προϊόντων και των υπηρεσιών.
2. Υιοθέτηση καινούριας φιλοσοφίας.
3. Ανεξαρτητοποίηση από την τελική επιθεώρηση, καθώς η ποιότητα αφορά όλα τα στάδια της παραγωγής.
4. Μείωση του κόστους και συνεργασία μόνο με έναν προμηθευτή που θα εγγυάται την ποιότητα.
5. Συνεχής βελτίωση του σχεδιασμού, της παραγωγής και του συστήματος εξυπηρέτησης για τη βελτίωση της παραγωγικότητας και της ποιότητας και την παράλληλη μείωση του κόστους.
6. Συνεχής εκπαίδευση του προσωπικού.
7. Θέσπιση ηγεσίας, για την αποτελεσματικότερη παραγωγικότητα των συνεργατών.
8. Απομάκρυνση του φόβου και της επίρριψης ευθυνών, ώστε η συνεργασία να είναι αποτελεσματική.
9. Κατάρριψη των εμποδίων μεταξύ των τμημάτων μιας επιχείρησης και ενθάρρυνση στη συνεργασία τους.
10. Κατάργηση των συνθημάτων (slogan).
11. Κατάργηση προτύπων που θέτουν αριθμητικούς στόχους και έμφαση στην ποιότητα.
12. Εξάλειψη εμποδίων που μπορούν να μετατρέψουν την δουλειά των εργαζομένων, από υπερηφάνεια των επιτευγμάτων τους σε υποχρέωση.
13. Δημιουργία ενός δυναμικού προγράμματος εκπαίδευσης και αυτοβελτίωσης.
14. Ενεργή συμμετοχή όλων των εργαζομένων για την επίτευξη συνεχούς βελτίωσης της ποιότητας και της παραγωγικότητας.

Τη δεκαετία του 1950, παράλληλα με τον Deming, ο Joseph Juran εργάστηκε για την ιαπωνική βιομηχανία, ο οποίος είχε ως επίκεντρο εργασίας τα σεμινάρια σε μεσαία και ανώτατα στελέχη επιχειρήσεων.

3.1.2 Η ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΟΥ JURAN

Ο Beckford, J. (2016), επισημαίνει πως η έμφαση της εργασίας του Juran είναι ο σχεδιασμός, τα οργανωτικά θέματα, η ευθύνη της διοίκησης για την επίτευξη της ποιότητας, με τον προσανατολισμό στην ικανοποίηση του πελάτη. Πιο συγκεκριμένα, στις πεποιθήσεις του ήταν δύο ζητήματα. Πρώτον, ότι υπεύθυνη σε μεγάλο βαθμό για την ποιότητα είναι η διοίκηση και δεύτερον ότι δεν μπορεί να υπάρχει συνεχής σταθερή βελτίωση της ποιότητας, εάν αυτή δεν είναι ορθά προγραμματισμένη. Ως τρίτη πεποίθηση, είχε ότι η προγραμματισμένη βελτίωση πρέπει να είναι συγκεκριμένη και μετρήσιμη. Στον προγραμματισμό της ποιότητας διακρίνονται 4 σημεία, τα οποία είναι τα εξής:

1. Καθορισμός συγκεκριμένων στόχων που πρέπει να επιτευχθούν, προσδιορισμός των πελατών και των αναγκών τους, καθώς ακόμη και προσδιορισμός των ενεργειών που πρέπει να γίνουν.
2. Καθορισμός σχεδίων για την επίτευξη των στόχων και ανάπτυξη προϊόντων/ υπηρεσιών που ανταποκρίνονται στις ανάγκες των πελατών.
3. Ανάθεση ευθυνών και βελτιστοποίηση διεργασιών με σκοπό την τελειοποίηση του προϊόντος/ υπηρεσίας.
4. Μεταφορά των βελτιστοποιημένων διεργασιών στις λειτουργίες και ανατροφοδότηση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τις διεργασίες.

Το τελικό βασικό σκέλος στην προσέγγιση του Juran είναι η τριλογία της ποιότητας που αποτελείται από (Beckford, J., 2016):

1. Τον Προγραμματισμό της Ποιότητας (Quality Planning), δηλαδή ο προσδιορισμός των στόχων και ο καθορισμός των διαδικασιών που θα ακολουθηθούν για την ικανοποίηση των πελατών.
2. Τον Έλεγχο Ποιότητας (Quality Control), δηλαδή η σύγκριση των αποτελεσμάτων με τους στόχους που έχουν οριστεί και ο εντοπισμός πιθανών αστοχιών/αποκλίσεων και ελαχιστοποίηση αυτών.
3. Τη Βελτίωση της Ποιότητας (Quality Improvement), δηλαδή η μείωση του κόστους, η αύξηση του κέρδους, η συνεχής βελτίωση της ποιότητας και η συνεχής ικανοποίηση των πελατών.

Ύστερα από το έργο των Deming και Juran κι άλλοι μελετητές όρισαν την έννοια της ποιότητας. Κάποιοι από τους μελετητές ήταν ο Crosby, ο Ishiwaka, ο Taguchi και ο Feigenbaum.

3.1.3 Η ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΟΥ CROSBY

Η φιλοσοφία του Phillip B. Crosby βασιζόταν στο εξής «*Κάνε το σωστά από την πρώτη φορά*». Σύμφωνα με τον Crosby υπάρχουν τέσσερις अपαραβάταες αρχές της ποιότητας οι οποίες είναι οι εξής (Beckford, J., 2016):

1. Η ποιότητα ορίζεται ως συμμόρφωση με τις απαιτήσεις, όχι ως κάτι καλό που πρέπει να γίνει.
2. Για να διασφαλιστεί η ποιότητα πρέπει να γίνει η σωστή και συστηματική εφαρμογή της διαχείρισης ποιότητας, δηλαδή η πρόληψη, όχι η επιθεώρηση.
3. Η μόνη μέτρηση απόδοσης είναι το κόστος ποιότητας, δηλαδή το κόστος της μη συμμόρφωσης στις απαιτήσεις του πελάτη.
4. Η επίτευξη ποιότητας πρέπει να είναι η εξάλειψη των ελαττωματικών.

3.1.4 Η ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΟΥ ISHIWAKA

Ο Kaoru Ishiwaka είχε επικεντρωθεί στο να εισάγει στατιστικές τεχνικές σε όλους τους τομείς της βιομηχανίας, με σκοπό την συλλογή των δεδομένων, την παρουσίαση των προβλημάτων, την ανάλυσή τους και τελικά την επίλυσή τους. Τα επτά κλασσικά εργαλεία για τη βελτίωση της ποιότητας, μείωση των δαπανών, αύξηση της παραγωγικότητας και την ασφάλεια είναι τα εξής (Beckford, J., 2016):

1. **Διαγράμματα Pareto.** Τα διαγράμματα αυτά χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση των κύριων αιτιών των προβλημάτων που προκύπτουν.
2. **Διαγράμματα Ishiwaka ή διαγράμματα αιτίου – αποτελέσματος.** Με τα διαγράμματα αυτά γίνεται η απεικόνιση των πιθανών αιτιών, οι οποίες μπορεί να είναι οι πιθανότερες ρίζες ενός προβλήματος.
3. **Φύλλα ελέγχου.** Τα διαγράμματα χρησιμοποιούνται για τη συστηματική συλλογή και καταγραφή δεδομένων, με σκοπό την αντικειμενική αποτύπωση των γεγονότων.
4. **Διαγράμματα ροής.** Στα διαγράμματα αυτά γίνεται ο σχεδιασμός ή περιγραφή της διαδικασίας απεικονίζοντας μια συγκεκριμένη ροή ενεργειών, με χρήση τυποποιημένων συμβόλων, με σκοπό των σημείων που χρειάζονται βελτίωση.
5. **Ιστογράμματα.** Τα διαγράμματα αυτά χρησιμοποιούνται για την εμφάνιση της συχνότητας των διαφόρων εύρους τιμών μίας παραμέτρου.
6. **Διαγράμματα διασποράς.** Τα διαγράμματα αυτά χρησιμοποιούνται για να φανεί αν υπάρχει συσχέτιση ή όχι μεταξύ δύο μεταβλητών.

7. **Διαγράμματα ελέγχου.** Τα διαγράμματα αυτά χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση ειδικών αιτιών μεταβλητότητας μιας διεργασίας, έτσι ώστε να εφαρμοστούν οι απαραίτητες διορθωτικές ενέργειες και η διαδικασία να βρίσκεται «εντός στατιστικού ελέγχου».

Ο Ishikawa πίστευε πως η ποιότητα ξεκινάει με τον πελάτη και οι ενέργειες βελτίωσης έπρεπε να βασίζονται στην κατανόηση, στις ανάγκες, στις προσδοκίες και απαιτήσεις των πελατών.

3.1.5 Η ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΟΥ TAGUCHI

Η φιλοσοφία του Genichi Taguchi ήταν ότι «*Η απώλεια που μεταδίδεται από το προϊόν στην κοινωνία από το χρόνο που το προϊόν στέλνεται στην αγορά*». Η ποιοτική απώλεια, αφορά τόσο την απώλεια της επιχείρησης λόγω των δαπανών συντήρησης, όσο και την απώλεια λόγω χρόνου διακοπής εξαιτίας των αστοχιών του εξοπλισμού, συνδυάζοντας τις δαπάνες λόγω κακής απόδοσης και αξιοπιστίας των προϊόντων προς τον πελάτη, οι οποίες οδηγούν σε περαιτέρω απώλειες για τον κατασκευαστή (Τσαρούχας Π., Ντέλιου Κ., 2018). Ο Taguchi χωρίζει τον, off-line (εκτός γραμμής), ποιοτικό έλεγχο σε τρία στάδια τα οποία είναι τα εξής:

1. Στάδιο σχεδίου συστημάτων (System Design). Το στάδιο αυτό είναι μη στατιστικό, για την εφαρμοσμένη μηχανική, το μάρκετινγκ και τη γνώση πελατών.
2. Στάδιο σχεδίου παραμέτρου (Parameter Design). Το στάδιο αυτό αφορά την απόδοση του προϊόντος έναντι στις καθορισμένες παραμέτρους.
3. Στάδιο σχεδίου ανοχής (Tolerance Design). Το στάδιο αυτό αναφέρεται στην ανοχή γύρω από τις επιθυμητές τοποθετήσεις και στην εύρεση ισορροπίας ανάμεσα στο κόστος παραγωγής και της απώλειας.

Οι Τσαρούχας Π., Ντέλιου Κ. (2018), υπογραμμίζουν πως η μεθοδολογία Taguchi είναι απόλυτα, μια μέθοδος διαμόρφωσης πρωτοτύπου μέσω της οποίας προσδιορίζονται τα βέλτιστα χαρακτηριστικά από τον μηχανικό ή σχεδιαστή για την παραγωγή ανθεκτικών προϊόντων, τα οποία παρέχουν την λειτουργία που ο πελάτης επιθυμεί.

3.1.6 Η ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΟΥ FEIGENBAUM

Σύμφωνα με τον Beckford, J. (2016), ο Armand Feigenbaum υποστήριζε πως η ποιότητα θα πρέπει να ενσωματώνεται σε όλα τα στάδια και λειτουργίες της επιχείρησης και να μην αντιμετωπίζεται ως μια επιπλέον διαδικασία ελέγχου. Πιο συγκεκριμένα ο Feigenbaum θεωρούσε πως η ποιότητα είναι: «*Μια αποτελεσματική μέθοδος για τον συντονισμό των προσπαθειών συντήρησης και βελτίωσης της ποιότητας των διαφόρων ομάδων σε έναν*

οργανισμό, ώστε η παραγωγή και οι υπηρεσίες να παρέχουν πλήρη ικανοποίηση στους πελάτες με το λιγότερο δυνατό κόστος». Ακόμη, είχε υιοθετήσει την άποψη ότι η ποιότητα αποτελείται από τέσσερα βήματα, τα οποία είναι τα εξής:

1. Ορισμός προτύπων ποιότητας.
2. Αξιολόγηση συμμόρφωσης με τα πρότυπα.
3. Δράση όταν δεν τηρούνται τα πρότυπα.
4. Σχεδιασμός για ενέργειες βελτίωσης.

Όπως είναι αντιληπτό, στην φιλοσοφία του καθενός μελετητή, υπάρχουν τα δυνατά σημεία, τα αδύναμα σημεία και η διαφορετική οπτική του. Αν και έχουν πολλά κοινά η μία οπτική με την άλλη, υπάρχουν σημαντικές διαφορές στις απόψεις τους όσον αφορά την ποιότητα. Αυτό δεν σημαίνει πως κάποια άποψη που αφορά την ποιότητα, είναι λανθασμένη, είναι απλώς διαφορετική βάσει των γνώσεων, του υπόβαθρου και των εμπειριών που έχει ο κάθε μελετητής. Σίγουρα, όμως, οι απόψεις τους συνέβαλαν, συμβάλλουν και θα συμβάλλουν στις πρακτικές της ποιότητας.

Εν συνεχεία, στα πλαίσια της συνεχούς βελτίωσης της ποιότητας πρέπει να αναφερθεί πως η ανάγκη για συνεχή βελτίωση οδήγησε στην τυποποίηση των προδιαγραφών και των τεχνικών που πρέπει να χρησιμοποιηθούν, με σκοπό τον έλεγχο της προόδου των διαδικασιών που ακολουθεί μία επιχείρηση. Έτσι δημιουργήθηκε το Πρότυπο ISO 9000, για τη διασφάλιση της ποιότητας των προϊόντων/ υπηρεσιών.

3.2 ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΣΦΑΛΙΣΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ: ΠΡΟΤΥΠΟ ISO 9000

Σύμφωνα με τους Shi, Y., Lin, W., Chen, P. K., & Su, C. H. (2019), το Πρότυπο ISO 9000 είναι ένα μοντέλο ποιότητας που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της συστηματικής βελτίωσης των προϊόντων και των υπηρεσιών που παρέχει μία επιχείρηση για την ικανοποίηση των απαιτήσεων των πελατών της. Το 1987 κυκλοφόρησε η πρώτη έκδοση του προτύπου, η οποία παρείχε ένα μοντέλο για τη βελτίωση της ποιότητας και των λειτουργιών μιας επιχείρησης. Όμως, ύστερα από την ευρεία χρήση του σε διάφορους κλάδους, επεκτάθηκε το πλαίσιο μοντέλων από το οποίο αποτελείται, ώστε να μπορέσει να αντιμετωπιστεί το εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον κάθε επιχείρησης. Παραδείγματος χάριν, το ISO 9001:2018 επικεντρώθηκε στις πρακτικές απαιτήσεις του ΣΔΠ και εν συνεχεία ακολούθησε το ISO 9004:2009 μέσω του οποίου αντιμετωπίστηκαν θέματα που αφορούσαν τη βιώσιμη ανάπτυξη. Το ISO 9001:2015 επικεντρώθηκε σε τρεις βασικούς τομείς, οι οποίοι ήταν: η κατεύθυνση της

διαδικασίας, ο συλλογισμός βάσει κινδύνου και ο κύκλος Plan-Do-Check-Act του συστήματος διαχείρισης.

Αν και τα διαφορετικά μοντέλα του ISO 9000 διαφέρουν ως προς το πού εστιάζουν, όλες οι εκδοχές του περιλαμβάνουν τέσσερα στοιχεία τα οποία είναι τα εξής (Shi, Y., et al., 2019):

1. **Ευθύνη διαχείρισης.** Αφορά τη δέσμευση που έχει η διοίκηση, την πολιτική ποιότητας που εφαρμόζει η επιχείρηση, την εστίαση στις απαιτήσεις του πελάτη, τις ευθύνες, την εξουσία κάθε μέλους και την επικοινωνία.
2. **Διαχείριση πόρων.** Στον όρο αυτόν περιλαμβάνονται οι ανθρώπινοι πόροι (Human Resources), οι υποδομές και το περιβάλλον εργασίας.
3. **Ανάπτυξη προϊόντων/ υπηρεσιών.** Περιλαμβάνει τις διαδικασίες που σχετίζονται με τον πελάτη, από τον σχεδιασμό ενός προϊόντος μέχρι την ανάπτυξή του.
4. **Μέτρηση, ανάλυση και βελτίωση.** Αφορά τη συνεχή παρακολούθηση των διαδικασιών, προϊόντων και υπηρεσιών ώστε να επιτυγχάνεται η συνεχής βελτίωσή τους.

Οι Shi, Y., et al. (2019), υποστηρίζουν ότι λόγω της εφαρμογής των διαφορετικών μοντέλων του ISO 9000 από πολλές επιχειρήσεις, έχει αυξηθεί ο ανταγωνισμός στην βιομηχανία, έχοντας μία ισχυρή και θετική επίδραση στην αποδοτικότητα των επιχειρήσεων.

3.3 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ: Η ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ SIX SIGMA (6σ)

Σύμφωνα με τους Tannady, H., & Purwanto, E. (2021), ποιοτικός έλεγχος είναι η χρήση τεχνικών και μεθόδων για να επιτευχθεί, διατηρηθεί και βελτιωθεί η ποιότητα των προϊόντων/ υπηρεσιών που παρέχει μία επιχείρηση, σύμφωνα με τις ανάγκες των πελατών της. Η βελτίωση της ποιότητας μπορεί να είναι επωφελής στην δημιουργία δικτύων όσον αφορά το μάρκετινγκ των προϊόντων. Μέσω του ελέγχου, παρακολουθούνται οι διαδικασίες που ακολουθούνται με σκοπό τη διασφάλιση ότι η παραγωγή και οι διαδικασίες γίνονται σύμφωνα με τον προγραμματισμό που έχει γίνει και σε περίπτωση αποκλίσεων από τον προγραμματισμό πρέπει να γίνουν οι απαραίτητες διορθωτικές ενέργειες για να αντιμετωπιστούν. Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν τον έλεγχο ποιότητας, κάποιοι από τους οποίους είναι: η ικανότητα διεργασίας, οι προδιαγραφές, το αποδεκτό επίπεδο μη συμμόρφωσης και το κόστος ποιότητας.

Η μεθοδολογία Six Sigma φέρει το πλεονέκτημα ότι αξιοποιεί και ενισχύει τα δυνατά σημεία του ανθρώπινου δυναμικού και τη δύναμη των διαδικασιών μιας επιχείρησης, συνδυάζοντάς τα. Με τον όρο σίγμα εννοείται η τυπική απόκλιση, δηλαδή η μεταβλητότητα, η οποία

συμβολίζεται με το ελληνικό γράμμα «σ» ή δσ. Το σίγμα χρησιμοποιείται πολλές φορές και ως δείκτης απόδοσης, όπου όσο υψηλότερο είναι τόσο καλύτερη είναι η απόδοση και τόσο μικρότερη είναι η πιθανότητα εμφάνισης ελαττωματικών σε μια διεργασία. Η απόδοση επηρεάζει τον βαθμό ανταγωνιστικότητας της επιχείρησης στην βιομηχανία και η ποιότητα αποτελεί βασικό παράγοντα για το πόσο υψηλή είναι η απόδοση αυτή (Tannady, H., & Purwanto, E., 2021).

3.3.1. ΟΡΙΑ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ ΚΑΙ Η ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ 6σ

Για να παρουσιαστεί η μέθοδος 6σ στατιστικά πρέπει να προσδιοριστούν διάφορες έννοιες. Μία από τις έννοιες που πρέπει να προσδιοριστεί είναι αυτή της μέσης τιμής. Σύμφωνα με τους Dasgupta, A., & Wahed, A. (2013), η μέση τιμή ορίζεται ως:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_i}{n} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (3.1)$$

Όπου \bar{x} είναι η μέση τιμή (μ ή mean), x_1, x_2, \dots, x_i είναι μεμονωμένες τιμές και n είναι το πλήθος των παρατηρήσεων (μέγεθος δείγματος).

Εν συνεχεία, μετά τον υπολογισμό της μέσης τιμής, υπολογίζεται η τυπική απόκλιση μέσω του τύπου:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (3.2)$$

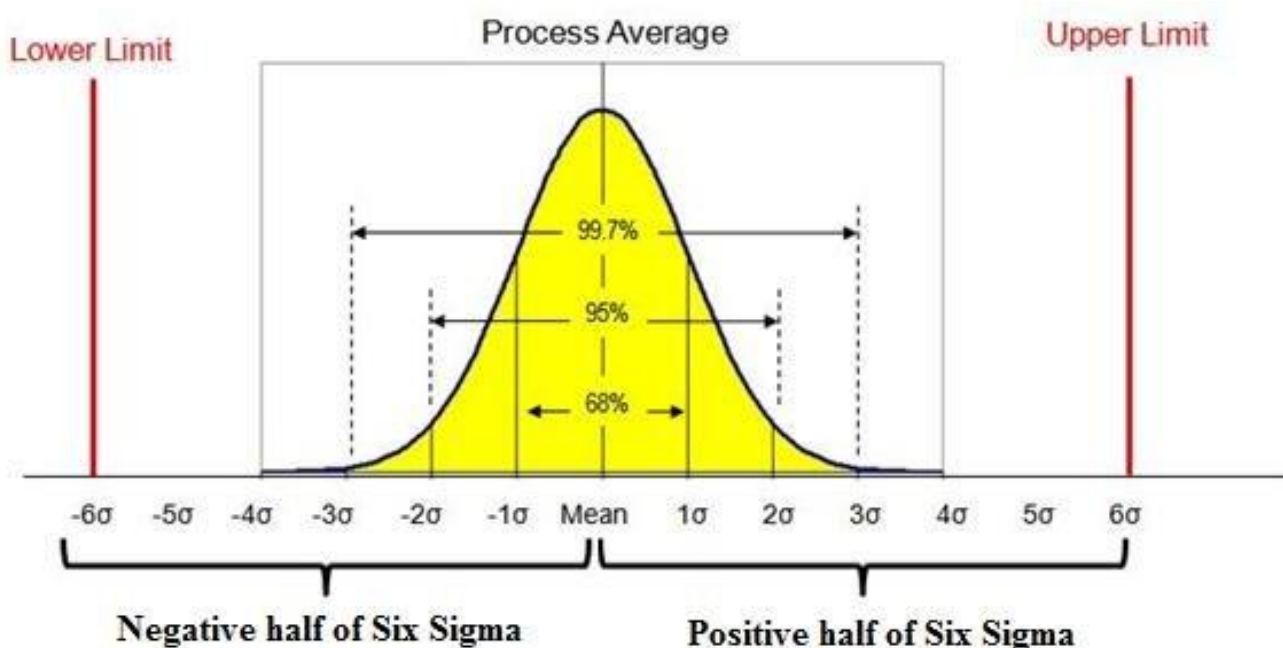
Όπου x_i είναι οι μεμονωμένες τιμές από το δείγμα και n είναι το πλήθος των παρατηρήσεων.

Δηλαδή, η τυπική απόκλιση αντιπροσωπεύει την μέση απόκλιση μιας μεμονωμένης τιμής από την μέση τιμή, ενώ παράλληλα μετριέται το ποσοστό των ελαττωμάτων ανά εκατομμύριο ευκαιρίες (Defects Per Million Opportunities, DPMO), δηλαδή ο αριθμός των μετρήσεων ανά εκατομμύριο που θα βρίσκονταν εκτός προδιαγραφών των ορίων 6σ, εάν τα δεδομένα είχαν κεντροθετηθεί μέσα σε αυτά τα όρια και είχαν διάφορες σταθερές αποκλίσεις.

Στο παρακάτω σχήμα (**Σχήμα 3.3**), απεικονίζεται η κατανομή Gauss, γνωστή και ως κανονική κατανομή, η οποία είναι μια καμπύλη σε σχήμα καμπάνας που διαμορφώνεται συμμετρικά και επεκτείνεται από το $-\infty$ στο $+\infty$ στον άξονα x . Πιο συγκεκριμένα, παρατηρούμε ότι:

- $\mu \pm 1\sigma$: καταλαμβάνει το 68,27% των τιμών, που σημαίνει ότι η απόδοση διεργασίας είναι 30,9% ή 690.000 DPMO.

- $\mu \pm 2\sigma$: καταλαμβάνει το 95,45% των τιμών, που σημαίνει ότι η απόδοση διεργασίας είναι 69,2% ή 308.000 DPMO.
- $\mu \pm 3\sigma$: καταλαμβάνει το 99,73% των τιμών, που σημαίνει ότι η απόδοση διεργασίας είναι 93,3% ή 66.807 DPMO.
- $\mu \pm 4\sigma$: καταλαμβάνει το 99,9937% των τιμών, που σημαίνει ότι η απόδοση διεργασίας είναι 99,4% ή 6210 DPMO.
- $\mu \pm 5\sigma$: καταλαμβάνει το 99,999943% των τιμών, που σημαίνει ότι η απόδοση διεργασίας είναι 99,98% ή 233 DPMO.
- $\mu \pm 6\sigma$: καταλαμβάνει το 99,9999998% των τιμών, που σημαίνει ότι η απόδοση διεργασίας είναι 99,9997% ή 3.4 DPMO.



Σχήμα 3.3. Κανονική καμπύλη κατανομής (κατανομή Gauss).
Πηγή: Hussain, A., & Paharia, A. K. (2017)

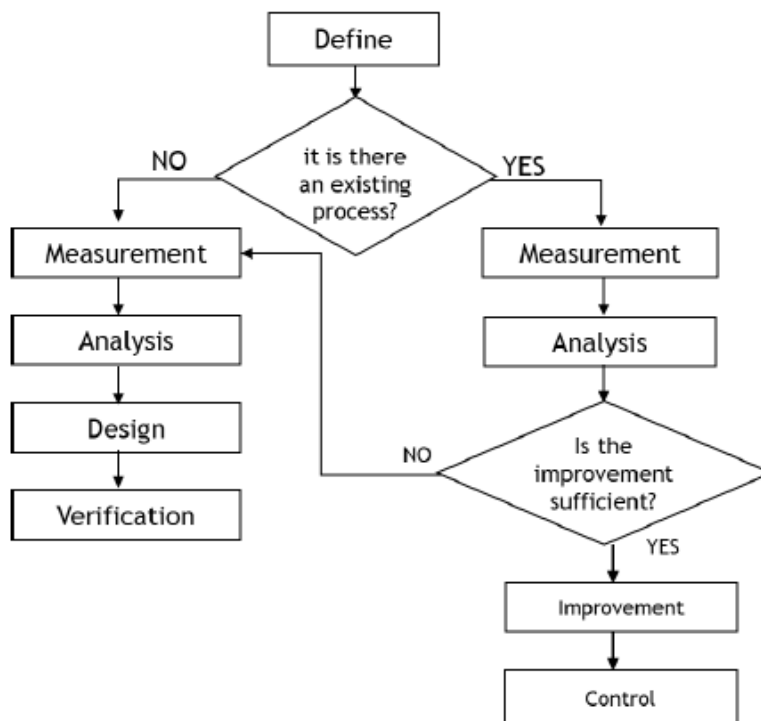
3.3.2 ΟΙ ΦΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ 6σ

Προκειμένου να τεθεί σε εφαρμογή η μεθοδολογία 6σ, πρέπει να ακολουθηθεί ένα πλάνο βελτίωσης πέντε βημάτων, το λεγόμενο D.M.A.I.C., τα ακρωνύμια του οποίου σημαίνουν (Hsiao, C. T., Lin, C. P., & Fan, P. H., 2023):

- **D: Define.** Στη φάση αυτή γίνεται ο καθορισμός του προβλήματος, των αναγκών/ απαιτήσεων που έχουν οι πελάτες και του στόχου του έργου, μέσω χρήσης διαγραμμάτων συνάφειας, καταίγισμου ιδεών, μέσω ερευνών, συνεντεύξεων, ανάλυσης διεργασιών, μέσω της μεθόδου ανάπτυξης ποιότητας (Quality Function Deployment, QFD) και του βασικού εργαλείου της, το γνωστό «σπίτι της ποιότητας» (House of Quality).
- **M: Measure.** Στη φάση αυτή γίνεται μέτρηση των σφαλμάτων και προσδιορισμός των διαδικασιών που ακολουθεί η επιχείρηση και συλλέγονται δεδομένα, μέσω χρήσης λιστών ελέγχου, ιστογραμμάτων, διαγραμμάτων Pareto, δεικτών απόδοσης και μέσω της μελέτης αστοχίας (Failure Mode & Effect Analysis, FMEA).
- **A: Analyze.** Σε αυτό το στάδιο γίνεται η ανάλυση των δεδομένων και ο προσδιορισμός της σχέσης αιτίου – αποτελέσματος, μέσω ανάλυσης της μεταβλητότητας, ελέγχου υποθέσεων, ανάλυσης παλινδρόμησης και με χρήση του συντελεστή συσχέτισης.
- **I: Improve.** Στη φάση αυτή γίνεται η βελτίωση των διαδικασιών μέσω εξάλειψης των σημαντικότερων αιτιών και αστοχιών, μέσω χρήσης της μεθόδου Taguchi, της μεθοδολογίας DOE (Design Of Experiments) που είναι ένα εργαλείο συλλογής και ανάλυσης δεδομένων και μέσω της κριτικής σκέψης.
- **C: Control.** Ύστερα από την εφαρμογή των ενεργειών βελτίωσης, στο στάδιο του ελέγχου επιβεβαιώνονται τα αποτελέσματα και καθιερώνονται οι βελτιώσεις ποιότητας μέσω χρήσης διαγραμμάτων ελέγχου, δεικτών απόδοσης και της μελέτης αστοχίας.

Σύμφωνα με τους Hsiao, C. T., et al. (2023), εάν το αντικείμενο που επιφέρει βελτίωση είναι μια διεργασία που εκτελείται την παρούσα στιγμή, τότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα βήματα του πλάνου βελτίωσης που αναφέρθηκαν παραπάνω, όμως σε περίπτωση που το αντικείμενο που χρήζει βελτίωσης είναι ο σχεδιασμός ενός νέου προϊόντος/ υπηρεσίας ή ο επανασχεδιασμός του, τότε η διαδικασία μπορεί να ακολουθήσει τα βήματα καθορισμού, μέτρησης, ανάλυσης, σχεδίασης και επαλήθευσης (Define, Measure, Analyze, Design, Verify, DMADV). Η DMADV, χρησιμοποιείται με σκοπό την εξασφάλιση ότι το αποτέλεσμα θα

πληροί τις απαιτήσεις του πελάτη χωρίς διακυμάνσεις και παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 3.4).



Σχήμα 3.4. Οι φάσεις της μεθόδου 6σ.
Πηγή: Hsiao, C. T., Lin, C. P., & Fan, P. H. (2023)

Δηλαδή, οι φάσεις της DMADV είναι οι εξής (Τσαρούχας Π., Ντέλιου Κ., 2018):

1. **D: Define.** Στη φάση αυτή γίνεται ο καθορισμός των στόχων.
2. **M: Measure.** Στη φάση αυτή γίνεται η μέτρηση και ο καθορισμός των απαιτήσεων και προσδοκιών των πελατών.
3. **A: Analyze.** Στη φάση αυτή γίνεται η ανάλυση της διαδικασίας που πρέπει να γίνει για την ικανοποίηση των αναγκών των πελατών.
4. **D: Design.** Στη φάση αυτή γίνεται λεπτομερής σχεδιασμός της διαδικασίας για την ικανοποίηση των αναγκών των πελατών.
5. **V: Verify.** Στη φάση αυτή γίνεται η επαλήθευση της απόδοσης του σχεδιασμού της διαδικασίας και της ικανότητας να ικανοποιήσουν τις ανάγκες των πελατών.

3.3.3 ΤΑ ΕΠΠΕΔΑ (ΖΩΝΕΣ) ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ 6σ – ΒΑΘΜΟΣ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

Υπάρχει ένα σύστημα πιστοποίησης για τη μεθοδολογία 6σ, το οποίο αντικατοπτρίζει το βαθμό εκπαίδευσης που μπορεί να λάβει κάποιος για τη χρήση της μεθοδολογίας 6σ και αναλογεί στο βαθμό πιστοποίησης που θα αποκτήσει. Το σύστημα πιστοποίησης του 6σ αποτελείται από τις εξής ζώνες (Setter, C., 2018):

- **Λευκή Ζώνη (White Belt).** Η εκπαίδευση στη λευκή ζώνη περιλαμβάνει μια εισαγωγή στο 6σ για τα μέλη μιας επιχείρησης, παρέχοντας τις απαραίτητες πληροφορίες. Μέσω της εκπαίδευσης οι εργαζόμενοι εξετάζουν τις διαδικασίες που ακολουθούνται, κατανοούν τις πληροφορίες που παρουσιάζονται σε συναντήσεις που πραγματοποιούνται από την επιχείρηση και συμμετέχουν ενεργά σε όλες διαδικασίες που ακολουθεί η επιχείρηση. Η εκπαίδευση στη λευκή ζώνη, συνήθως παρέχει μόνο μια πολύ βασική εισαγωγή και επισκόπηση του 6σ.
- **Κίτρινη Ζώνη (Yellow Belt).** Η πιστοποίηση της κίτρινης ζώνης, εξακολουθεί να θεωρείται μια βασική εισαγωγή στο 6σ, αν και είναι ένα βήμα πάνω από τη λευκή ζώνη. Όμως στην κίτρινη ζώνη, η εκπαίδευση περιλαμβάνει και βασικές πληροφορίες σχετικά με τη μέθοδο DMAIC που αναφέρθηκε προηγουμένως. Βασικές έννοιες που περιλαμβάνονται στην εκπαίδευση της κίτρινης ζώνης είναι οι εξής: ανάθεση ρόλων, διαχείριση ομάδας, συλλογή δεδομένων και ανάλυση διαγραμμάτων. Σε αυτό το επίπεδο, κατανοείται η συνολική μεθοδολογία και συλλέγονται βασικά δεδομένα.
- **Πράσινη Ζώνη (Green Belt).** Στην πράσινη ζώνη, η εκπαίδευση περιλαμβάνει τεχνικές στατιστική ανάλυσης, αναλαμβάνοντας το μεγαλύτερο μέρος της συλλογής και ανάλυσης στατιστικών δεδομένων υπό την καθοδήγηση μέλους πιστοποίησης επιπέδου μαύρης ζώνης.
- **Μαύρη Ζώνη (Black Belt).** Στη μαύρη ζώνη, τα μέλη της επιχείρησης είναι πλέον γνώστες των τεχνικών στατιστικής ανάλυσης και οι κάτοχοί της έχουν μεγάλη εμπειρία όσον αφορά τη χρήση κατάλληλων για την επιχείρηση εργαλείων, λειτουργώντας ως επικεφαλής σε έργα βελτίωσης διαδικασιών. Μπορεί επίσης να κατέχουν ρόλους διαχείρισης, αναλυτών ή σχεδιασμού.
- **Κύρια Μαύρη Ζώνη (Master Black Belt).** Η κύρια μαύρη ζώνη είναι το υψηλότερο επίπεδο εκπαίδευσης/ πιστοποίησης για τη μεθοδολογία 6σ. Οι κάτοχοι της ζώνης αυτής απασχολούνται με ιδιαίτερα δύσκολα ζητήματα έργων, δίνουν συμβουλές και εκπαιδεύουν τα άλλα μέλη στη μεθοδολογία 6σ.

3.4 ΔΟΠ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ 6σ

Οι Klefsjö, B., Wiklund, H., & Edgeman, R. L. (2001), υποστηρίζουν πως η μεθοδολογία 6σ είναι ένα σωστά δομημένο μέσο που προωθεί την συνεχή βελτίωση προϊόντων και διαδικασιών και δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται ως εναλλακτική λύση στην ΔΟΠ. Αντιθέτως, πρέπει να τοποθετηθεί σε ένα ευρύτερο πλαίσιο. Η ΔΟΠ θεωρείται ένα σύστημα διαχείρισης, αποτελούμενο από αξίες, μεθοδολογίες και εργαλεία, έχοντας ως στόχο την συνεχή ικανοποίηση των πελατών με μειωμένο κόστος. Οι αξίες της ΔΟΠ συμβάλλουν στη δημιουργία οργανωσιακής κουλτούρας και είναι οι εξής:

- Εστίαση στους πελάτες.
- Εστίαση στις διαδικασίες.
- Οι αποφάσεις λαμβάνονται βάσει γεγονότων.
- Δέσμευση από όλα τα μέλη του οργανισμού.
- Συνεχής βελτίωση.
- Δέσμευση ανώτατης διοίκησης.

Για να επιτευχθεί η οργανωσιακή κουλτούρα, δηλαδή η οργανωσιακή νοοτροπία με κοινά μοτίβα, νοήματα, αξίες και στόχους, θα πρέπει οι αξίες να υποστηρίζονται, συνέχεια και συστηματικά, με τις κατάλληλες μεθοδολογίες και τα κατάλληλα εργαλεία. Επιπρόσθετα, οι αξίες, όπως η «δέσμευση όλων» μπορούν να ενσωματωθούν στον οργανωτικό ιστό μέσω χρήσης κατάλληλων μεθοδολογιών και πρακτικών που προωθούν τη συμμετοχή και συνεργασία όλων των μελών του οργανισμού. Παραδείγματος χάριν, τα διαγράμματα Ishikawa και Pareto, είναι εργαλεία που συνήθως χρησιμοποιούνται από ομάδες βελτίωσης για την ανάλυση και την επίλυση προβλημάτων (Klefsjö, B., et. al., 2001).

Επιπλέον, οι Klefsjö, B., et al. (2001), αναφέρουν πως η εστίαση στις διαδικασίες που ακολουθεί μία επιχείρηση προσθέτει αξία σε μια οργανωσιακή κουλτούρα μέσω χρήσης εργαλείων μεθοδολογίας, όπως τα διαγράμματα ελέγχου που επιτρέπουν τον έλεγχο βασικών οργανωτικών διαδικασιών. Αν μια επιχείρηση θέλει να υιοθετήσει την οργανωσιακή κουλτούρα, θα πρέπει να προσδιορίσει τις αξίες που επιθυμεί και να επιλέξει στη συνέχεια τις κατάλληλες μεθοδολογίες που υποστηρίζουν αυτές τις αξίες και τελικά τα εργαλεία που αντιστοιχούν σε αυτές τις μεθοδολογίες.

Επιπροσθέτως, οι Klefsjö, B., et al. (2001), υπογραμμίζουν πως η μεθοδολογία 6σ είναι μια μεθοδολογία εντός της ΔΟΠ και ο λόγος που είναι επιτυχημένη είναι γιατί είναι σωστά

δομημένη, χρησιμοποιεί αποτελεσματικά εργαλεία και υιοθετεί όλες τις αξίες της ΔΟΠ που προαναφέρθηκαν. Η μεθοδολογία δσ αντιλαμβάνεται την οργάνωση ως ένα δυναμικό και εξελισσόμενο σύστημα διαχείρισης που υφίσταται συνεχείς αλλαγές με σκοπό τη συνεχή βελτίωση.

Τέλος, γίνεται αντιληπτό πως η ΔΟΠ βασίζεται στην εφαρμογή απλών εργαλείων και στατιστικών τεχνικών, ενώ η μεθοδολογία δσ χρησιμοποιεί πιο προηγμένες στατιστικές μεθόδους, έχοντας όμως κοινούς στόχους και αξίες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

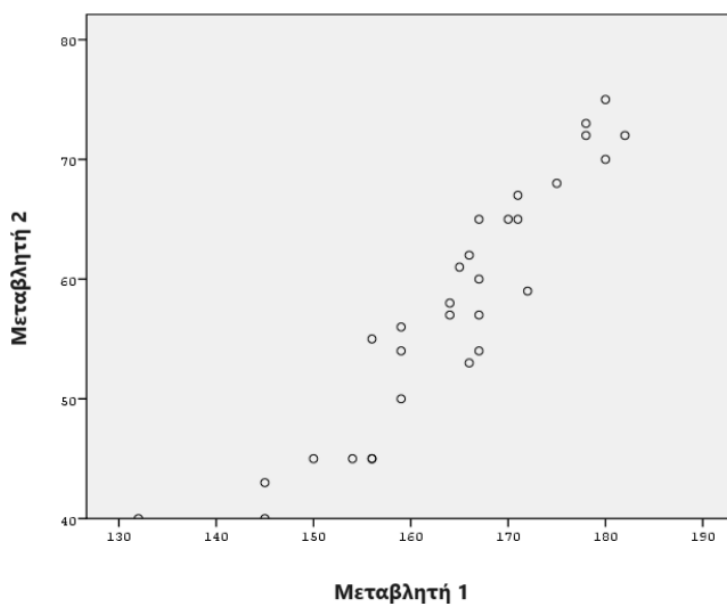
Στην παρούσα ΜΔΕ, διεξήχθησαν πειράματα και χρησιμοποιήθηκαν στατιστικά εργαλεία προκειμένου να διασφαλιστεί η ποιότητα σε εργοστάσιο παραγωγής πλαστικών σωλήνων. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται περιγραφή της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε, καθώς ακόμη και των εργαλείων ποιότητας και των τεχνικών που χρησιμοποιήθηκαν.

4.2 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

Μέσω της συλλογής δεδομένων και ύστερα από την διεξαγωγή πειραμάτων, χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα στατιστικά εργαλεία για την διεξαγωγή συμπερασμάτων και τη διασφάλιση ποιότητας των παραγόμενων σωλήνων.

4.2.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ

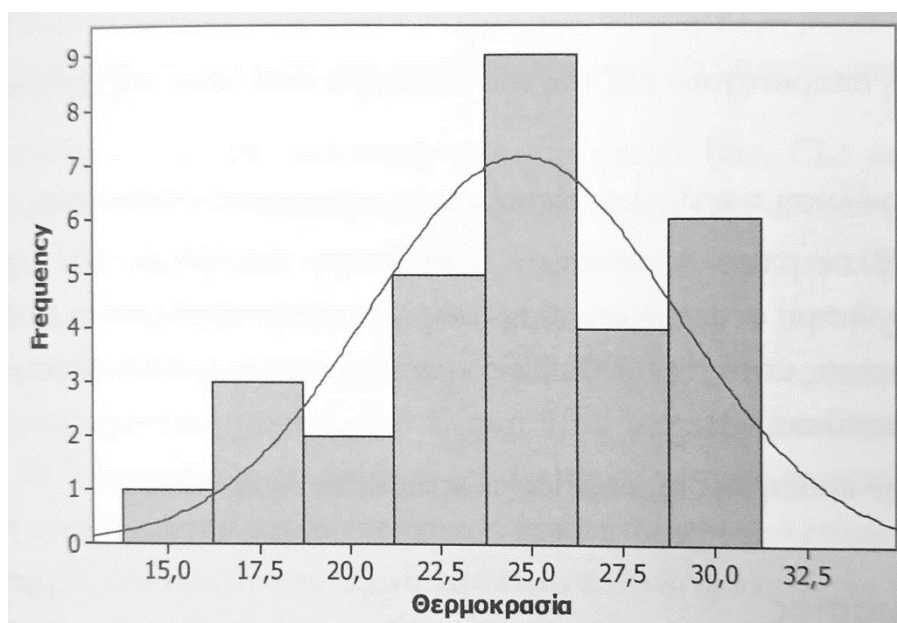
Μέσω χρήσης του διαγράμματος διασποράς, γίνεται η διαγραμματική απεικόνιση της σχέσης δύο μεταβλητών, με σκοπό την διεξαγωγή συμπεράσματος για το αν υπάρχει, και σε ποιο βαθμό, συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών. Το διάγραμμα διασποράς αποτελείται από ένα «νέφος» σημείων, στο οποίο κάθε σημείο του είναι ένα ζεύγος σημείων των δύο μεταβλητών. Δηλαδή, στα ζεύγη σημείων (x_i, y_i) , όπου $i = 1, 2, \dots, n$ το x_i αντιστοιχίζεται στο y_i . Από το διάγραμμα διασποράς καταλαβαίνουμε αν υπάρχει ισχυρή ή ασθενή, θετική ή αρνητική συσχέτιση ή απουσία συσχέτισης μεταξύ των δύο μεταβλητών, μέσω χρήσης του συντελεστή συσχέτισης r , που κυμαίνεται μεταξύ των τιμών -1 και $+1$ (Τσαρούχας Π., Ντέλιου Κ., 2018). Στο παρακάτω σχήμα (**Σχήμα 4.1**) παρουσιάζεται ένα διάγραμμα διασποράς.



Σχήμα 4.1. Διάγραμμα διασποράς.
Πηγή: Συμεωνάκη Μ. (2021)

4.2.2 ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ


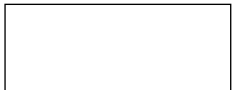
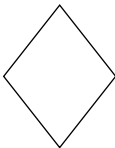
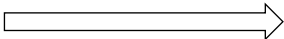
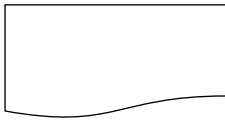
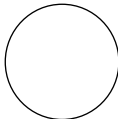
Μέσω του ιστογράμματος γίνεται η γραφική απεικόνιση ποσοτικών κατανομών αποτελούμενο από διαδοχικές στήλες, στις οποίες το ύψος της καθεμιάς επιλέγεται με τέτοιο τρόπο ώστε το να είναι ίδιο με τη συχνότητα της τιμής στην οποία αναφέρεται. Ακόμη, μέσω του ιστογράμματος μπορεί να φανεί μια ασυμμετρία μιας κατανομής που είναι το μέτρο συμμετρίας της. Δηλαδή, αν μια κατανομή είναι συμμετρική, η αριστερή πλευρά της λειτουργεί σας «καθρέφτης» με την δεξιά πλευρά. Αν οι τιμές μιας κατανομής συσσωρεύονται στις μικρές τιμές, η κατανομή είναι θετικά ασύμμετρη, ενώ αν συσσωρεύονται στο άλλο άκρο της κλίμακας, η κατανομή είναι αρνητικά συμμετρική (Τσαρούχας Π., Ντέλιου Κ., 2018). Στο παρακάτω σχήμα (**Σχήμα 4.2**) παρουσιάζεται ένα παράδειγμα ιστογράμματος.



Σχήμα 4.2. Ιστόγραμμα.
Πηγή: Τσαρούχας Π., Ντέλιου Κ. (2018)

4.2.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ

Η χρήση ενός διαγράμματος ροής είναι για την απεικόνιση μιας συγκεκριμένης ροής ενεργειών (σταδίων μιας διεργασίας) με διάφορα τυποποιημένα σύμβολα, τα οποία δείχνουν τις διάφορες μορφές λειτουργίας με έναν δομημένο τρόπο. Μέσω των συμβόλων προσδιορίζονται: η αρχή, το τέλος, η σειρά των ενεργειών, υλικών ή υπηρεσιών που είτε εισέρχονται είτε εξέρχονται της διαδικασίας, οι αποφάσεις της διεργασίας και οι εμπλεκόμενοι άνθρωποι (Τσαρούχας Π., Ντέλιου Κ., 2018). Τα κύρια σύμβολα που χρησιμοποιούνται, καθώς ακόμη και η επεξήγησή τους παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (**Πίνακας 4.1**).

ΣΥΜΒΟΛΟ	ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ
	Αρχή ή Τέλος διεργασίας
	Δραστηριότητα
	Απόφαση
	Ροή διεργασίας
	Έγγραφο
	Παραπομπή

**Πίνακας 4.1. Σύμβολα διαγράμματος ροής.
Πηγή: Γραφανάκης Δ. (2000)**

4.2.4 ΦΥΛΛΟ ΕΛΕΓΧΟΥ

Με το φύλλο ελέγχου γίνεται η συλλογή και η καταγραφή δεδομένων με τρόπο συστηματικό, για την ξεκάθαρη και αντικειμενική αποτύπωση των διεργασιών. Κατά την κατασκευή ενός φύλλου ελέγχου, συγκεντρώνονται και αναλύονται στοιχεία που παρατηρήθηκαν άμεσα ή για την μέτρηση κάποιων χαρακτηριστικών σε μια διαδικασία (Τσαρούχας Π., Ντέλιου Κ., 2018). Στον παρακάτω πίνακα (**Πίνακας 4.2**) παρατίθεται ένα φύλλο ελέγχου στο οποίο γίνεται η καταγραφή των ελέγχων που πρόκειται να πραγματοποιηθούν κατά την παραλαβή παρτίδων υλικών.

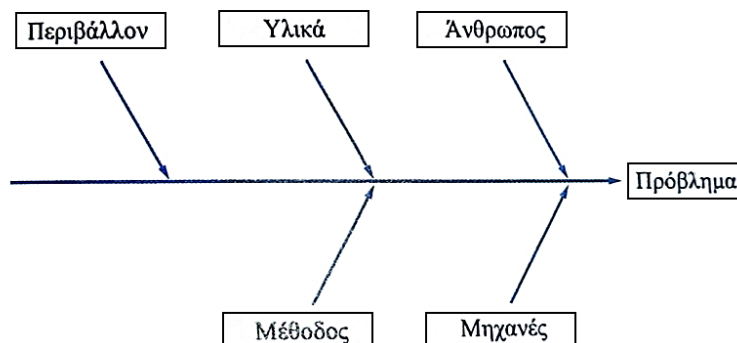
Κωδικός υλικού:.....	Προμηθευτής:.....	
Ημερομηνία:.....	Ποσότητα:.....	
	ΝΑΙ	ΟΧΙ
Έντυπο παραγγελίας πάνω στη συσκευασία.		
Συμφωνία με παραγγελία.		
Ετικέτες σε κάθε κουτί.		
Καλή κατάσταση συσκευασίας.		
Απαίτηση για ειδικές συνθήκες φύλαξης.		
Εύφλεκτο, διαβρωτικό, καυστικό υλικό.		

Πίνακας 4.2. Φύλλο ελέγχου.
Πηγή: Γραφανάκης Δ. (2000)

4.2.5 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΙΤΙΟΥ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΟΣ

Στο διάγραμμα αιτίου αποτελέσματος γίνεται η απεικόνιση των πιθανών στοιχείων (αιτιών) που συνεισφέρουν στην δημιουργία ενός προβλήματος (αποτέλεσμα) (Τσαρούχας Π., Ντέλιου Κ., 2018). Η επινόηση του διαγράμματος αυτού προήλθε από τον Kaoru Ishiwaka το 1943, γι' αυτό μία ακόμη ονομασία του είναι το «διάγραμμα Ishiwaka». Η απεικόνισή του βοηθάει την ανίχνευση των αιτιών του προβλήματος σε πολλά επίπεδα. Η διατύπωση του προβλήματος γράφεται στα δεξιά του διαγράμματος, ενώ στο σκελετό του υπάρχουν οι κύριοι κλάδοι που αντιστοιχούν στις γενικές κατηγορίες των παραγόντων του προβλήματος. Ανάλογα της φύσεως του προβλήματος προστίθενται ή αφαιρούνται και άλλες κατηγορίες. Τέλος, οι αιτίες μπορούν να προστεθούν σε περισσότερα από ένα επίπεδα, τα οποία προκύπτουν ως απάντηση στην

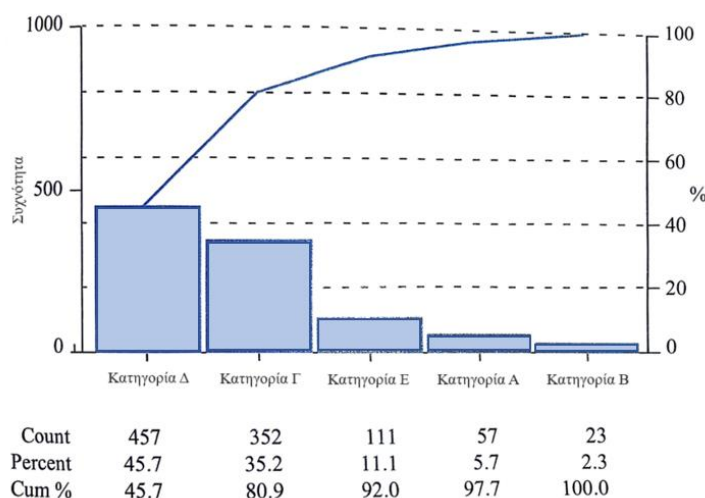
ερώτηση «γιατί» και παριστάνονται με υποκλάδους (Γραφανάκης Δ., 2000). Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4.3) παρουσιάζεται ένα ενδεικτικό διάγραμμα αιτίου – αποτελέσματος.



Σχήμα 4.3. Διάγραμμα αιτίου – αποτελέσματος.
Πηγή: Γραφανάκης Δ. (2000)

4.2.6 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ PARETO

Ο Ιταλός οικονομολόγος Pareto Vilfredo, παρατήρησε ότι σε μεγάλο ποσοστό ζητημάτων στη καθημερινή ζωή (και όχι μόνο) παρατηρείται μια σχέση 80/20. Ο Joseph Juran στη συνέχεια επέκτεινε την φιλοσοφία αυτή με τη διατύπωση ότι το 80% των προβλημάτων σε έναν οργανισμό οφείλεται στο 20% των αιτιών και έγινε γνωστή ως «κανόνας 80/20». Σκοπός του διαγράμματος αυτού είναι ο διαχωρισμός των σημαντικών πλευρών ενός προβλήματος από αυτές που είναι λιγότερο σημαντικές, με σκοπό τον περιορισμό και την αντιμετώπισή τους. Το διάγραμμα Pareto αποτελείται από ορθογώνια παραλληλόγραμμα, τα υψηλότερα εκ των οποίων υποδεικνύουν τις πιο σημαντικές πτυχές ενός προβλήματος, ενώ τα χαμηλότερα τις λιγότερο σημαντικές (Γραφανάκης Δ., 2000). Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4.4) παρουσιάζεται ένα διάγραμμα Pareto.



Σχήμα 4.4. Διάγραμμα Pareto.
Πηγή: Γραφανάκης Δ. (2000)

4.2.7 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

Ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία ποιότητας για τις μεταβολές που συμβαίνουν στην παραγωγική διαδικασία σε πραγματικό χρόνο, αλλά και για την εξάλειψη των ενεργειών που προκαλούν αυτές τις μεταβολές είναι το διάγραμμα ελέγχου. Μέσω του διαγράμματος αυτού μπορούν να αναγνωριστούν οι ειδικές αιτίες μεταβλητότητας, προκειμένου να γίνουν οι κατάλληλες διορθωτικές ενέργειες που θα φέρουν την διεργασία «εντός στατιστικού ελέγχου» (Τσαρούχας Π., Ντέλιου Κ., 2018). Κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης μιας διεργασίας υπάρχουν πέντε κύριοι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν το προς μέτρηση ποιοτικό χαρακτηριστικό, οι οποίοι είναι: ο μηχανολογικός εξοπλισμός, οι πρώτες ύλες, το περιβάλλον, η μέθοδος που χρησιμοποιείται και ο ανθρώπινος παράγοντας (Γραφανάκης Δ., 2000).

Επιπροσθέτως, σύμφωνα με τον Γραφανάκη Δ. (2000) σημαντικό σημείο, που είναι απαραίτητο να τονιστεί στις διεργασίες, είναι ότι τα προϊόντα στην έξοδο (output), ποτέ δεν θα είναι τα ίδια όσον αφορά κάποιο συγκεκριμένο τους χαρακτηριστικό και για τον λόγο αυτό γίνεται αντιληπτό πως προκύπτει μια μεταβλητότητα (variation) του παραγόμενου προϊόντος σε σχέση με το χαρακτηριστικό που μελετάται. Η μεταβλητότητα ενός προϊόντος χωρίζεται σε δύο μέρη:

- Τη μεταβλητότητα που οφείλεται σε κοινές ή τυχαίες αιτίες, δηλαδή επιδράσεις παραγόντων που επηρεάζουν με τρόπο τυχαίο και μη ελεγχόμενο τη διεργασία, η οποία θεωρείται αναπόφευκτη.
- Τη μεταβλητότητα που οφείλεται σε συγκεκριμένες αιτίες, οι οποίες είναι αναγνωρίσιμες, προσδιορίσιμες και ελέγξιμες.

Όταν η μεταβλητότητα ενός προϊόντος οφείλεται σε συγκεκριμένες αιτίες που είναι προσδιορίσιμες, τότε η μεταβλητότητα είναι μεγαλύτερη από τη φυσική του και έτσι η διεργασία δεν συμβαίνει με τον βέλτιστο τρόπο. Τότε η διεργασία βρίσκεται εκτός στατιστικού ελέγχου. Από την άλλη πλευρά, μία διεργασία που λειτουργεί με βέλτιστο τρόπο και βρίσκεται υπό στατιστικό έλεγχο επηρεάζεται μόνο από τυχαίες αιτίες (Γραφανάκης Δ., 2000).

Σύμφωνα με τους Hadiyanto, H., & Sitepu, E. (2023), μέσω των διαγραμμάτων ελέγχου απεικονίζεται είτε μια κατάσταση που είναι εντός ελέγχου, όπου όλα τα σημεία βρίσκονται εντός των ορίων ελέγχου είτε μια κατάσταση εκτός ελέγχου όπου τουλάχιστον ένα σημείο είναι εκτός των ορίων ελέγχου, χρησιμοποιώντας το διάγραμμα μέσου όρου και το διάγραμμα εύρους. Τα διάφορα μοτίβα των διαγραμμάτων ελέγχου, δίνουν συγκεκριμένες πληροφορίες για την παραγωγική διαδικασία ενός προϊόντος, με αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση ή

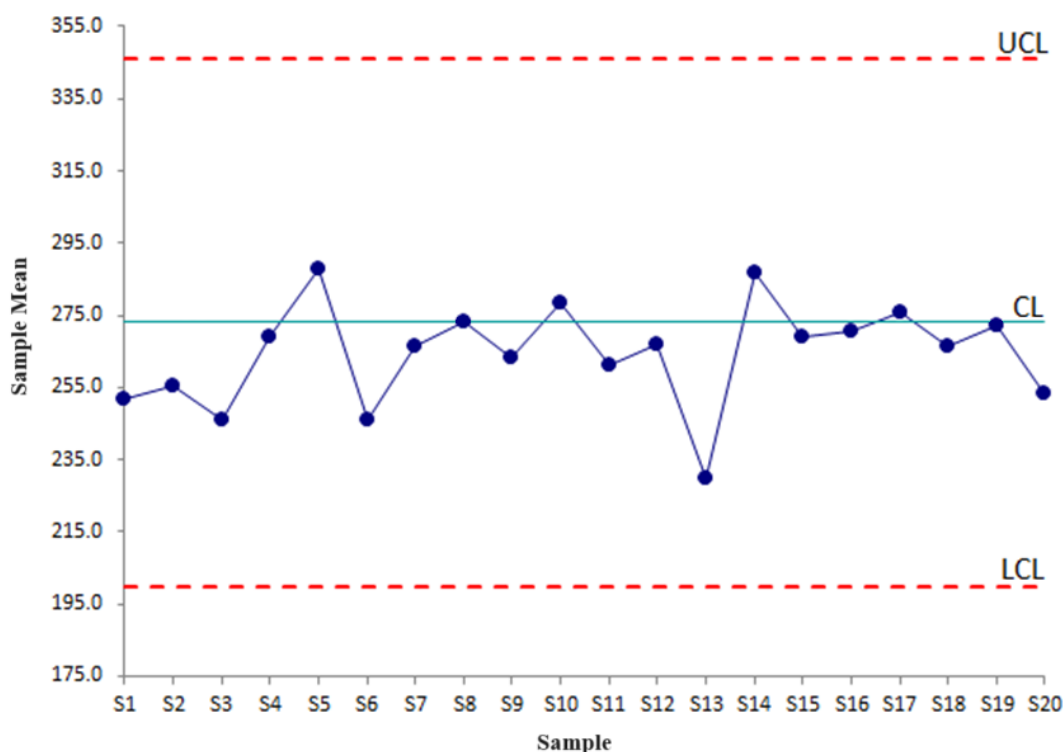
εξάλειψη ενδεχόμενων προβλημάτων ή αστοχιών μέσω εφαρμογής διορθωτικών ενεργειών και τελικά οδηγούν την διεργασία εντός στατιστικού ελέγχου.

Οι Τσαρούχας Π., Ντέλιου Κ. (2018), υποστηρίζουν πως μέσω χρήσης των διαγραμμάτων ελέγχου προκύπτουν πολλά οφέλη, τα οποία είναι τα εξής:

- Βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας.
- Βελτίωση απόδοσης διεργασίας.
- Αποφυγή παρεμβάσεων στην παραγωγική διαδικασία που δεν είναι απαραίτητες.
- Συνεχής επίβλεψη της διεργασίας, μέσω καταγραφής μετρήσεων.
- Πρόληψη για την παραγωγή προϊόντων εκτός προδιαγραφών.

4.2.7.1 ΜΟΡΦΗ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

Τα διαγράμματα ελέγχου αποτελούνται από τρεις παράλληλες γραμμές. Την κεντρική γραμμή (Center Line, CL), το ανώτερο όριο ελέγχου/ ανώτατο όριο προδιαγραφών (Upper Control Limit, UCL) και το κατώτερο όριο ελέγχου/ κατώτερο όριο προδιαγραφών (Lower Control Limit, LCL). Ο οριζόντιος άξονας αντικατοπτρίζει τον χρόνο, ενώ πάνω στο διάγραμμα υπάρχουν σημεία που αφορούν τις τιμές του υπό εξέταση χαρακτηριστικού σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές, τα οποία ενώνονται μεταξύ τους με μία τεθλασμένη γραμμή. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα όρια ελέγχου συνήθως βρίσκονται \pm τρεις τυπικές αποκλίσεις από την κεντρική γραμμή (Γραφανάκης Δ., 2000). Στο παρακάτω σχήμα (**Σχήμα 4.5**) παρουσιάζεται ένα διάγραμμα ελέγχου.



Σχήμα 4.5. Διάγραμμα ελέγχου.

Πηγή: <https://www.qimacros.com/control-chart/fixed-limit-control-chart/>

Σύμφωνα με τον Γραφανάκη Δ. (2000), όταν μία διεργασία είναι υπό στατιστικό έλεγχο, τότε τα σημεία της τεθλασμένης γραμμής του διαγράμματος ελέγχου εμφανίζονται κατά τρόπο τυχαίο, με το μεγαλύτερό τους μέρος να είναι σχετικά κοντά στην κεντρική γραμμή, αλλά και από τις δύο πλευρές. Με τη χρήση ενός διαγράμματος ελέγχου εντοπίζονται γρήγορα οι ειδικές αιτίες και με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η παραγωγή ελαττωματικών προϊόντων, ενώ ταυτόχρονα λαμβάνονται διορθωτικές ενέργειες για την εξάλειψη των ειδικών αιτιών και την εξασφάλιση τελικά ότι η διεργασία λειτουργεί με τη φυσική της μεταβλητότητα. Με τον τρόπο αυτό η διεργασία μπορεί να παράγει προϊόντα εντός συγκεκριμένων προδιαγραφών, υπό στατιστικό έλεγχο που τελικά ικανοποιεί τις απαιτήσεις του πελάτη.

4.2.7.2 ΒΑΣΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

Τα διαγράμματα ελέγχου χωρίζονται σε δύο κατηγορίες που αναλύονται παρακάτω.

- Διαγράμματα ελέγχου μεταβλητών, όταν το υπό εξέταση χαρακτηριστικό της ποιότητας είναι συνεχές και μετρήσιμο (διαγράμματα μέσου όρου και εύρους).
- Διαγράμματα ελέγχου χαρακτηριστικών ή ιδιοτήτων, όταν το υπό εξέταση χαρακτηριστικό της ποιότητας είναι απαριθμητό (διαγράμματα p, np, c, u).

Εφόσον χρησιμοποιηθεί το διάγραμμα ελέγχου μεταβλητών, τότε η περαιτέρω επιλογή σχετίζεται με το μέγεθος (n) της υποομάδας, δηλαδή του δείγματος, που συλλέγεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Στην παρούσα ΜΔΕ μας ενδιαφέρει η περίπτωση όπου $1 < n < 10$ και τότε χρησιμοποιείται το διάγραμμα ελέγχου μέσου όρου – εύρους ($\bar{X} - R$), όπου ο μέσος όρος είναι η μέση τιμή του δείγματος μεγέθους n και το εύρος είναι η διαφορά μεταξύ της μέγιστης και ελάχιστης τιμής του δείγματος μεγέθους n , δηλαδή ισχύει ότι: $R = X_{max} - X_{min}$ (Γραφανάκης Δ., 2000).

Στα διαγράμματα ελέγχου ιδιοτήτων, η περαιτέρω επιλογή βασίζεται στο αν το χαρακτηρισμό που ελέγχεται αποτελεί ελάττωμα ή ελαττωματική (μη συμμορφούμενη) μονάδα και αν το δείγμα είναι σταθερού μεγέθους ή όχι. Σε περίπτωση που μελετάται ο αριθμός των ελαττωματικών, επιλέγεται το διάγραμμα c , όταν είναι σταθερό το μέγεθος του δείγματος και το διάγραμμα u , όταν είναι μεταβλητό. Σε περίπτωση που μελετάται ο αριθμός των ελαττωματικών μονάδων, επιλέγεται το διάγραμμα np , όταν είναι σταθερό το μέγεθος του δείγματος και το διάγραμμα p , όταν είναι μεταβλητό (Γραφανάκης Δ., 2000).

4.2.7.3 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΒΑΣΙΚΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ

Σύμφωνα με τον Γραφανάκη Δ. (2000), για την ερμηνεία των διαγραμμάτων ελέγχου, χρησιμοποιούνται κάποια κριτήρια τα οποία δείχνουν την ύπαρξη μοτίβων που θέτουν την διεργασία εκτός στατιστικού ελέγχου. Τα συνηθέστερα κριτήρια που δείχνουν ότι η διεργασία είναι εκτός στατιστικού ελέγχου είναι τα εξής:

- Ένα ή παραπάνω σημεία βρίσκονται εκτός των ορίων ελέγχου.
- Έξι ή περισσότερα συνεχή σημεία εμφανίζουν ανοδική ή καθοδική τάση.
- Ύπαρξη επαναλαμβανόμενων μορφών (περιοδικότητα).
- Επτά ή περισσότερα συνεχή σημεία βρίσκονται από την ίδια πλευρά της κεντρικής γραμμής.
- Δέκα από έντεκα συνεχόμενα σημεία βρίσκονται από την ίδια πλευρά της κεντρικής γραμμής.
- Δύο συνεχή σημεία βρίσκονται πολύ κοντά στα όρια ελέγχου.
- Πολλά σημεία βρίσκονται κοντά στα όρια ελέγχου.
- Όλα σχεδόν τα σημεία βρίσκονται κοντά στην κεντρική γραμμή (έλλειψη μεταβλητότητας) και τέλος,
- Οποιοδήποτε μοτίβα σημείων δείχνουν ότι οι καταστάσεις δεν είναι τυχαίες.

Τα παραπάνω εργαλεία ποιότητας αποτελούν τον πυλώνα του ελέγχου ποιότητας, καθώς μέσω της χρήσης τους εξασφαλίζεται η ποιότητα των προϊόντων και των υπηρεσιών ενός οργανισμού και η συνεχής βελτίωση της απόδοσης μέσω ανάλυσης των δεδομένων, παρακολούθησης των διαδικασιών και διεξαγωγής των αποτελεσμάτων.

4.3 ΔΕΙΚΤΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σύμφωνα με τους Wu, C. W., Pearn, W. L., & Kotz, S. (2009), απαραίτητοι παράγοντες για να επιτευχθεί η βελτίωση της ποιότητας είναι τόσο να γίνει κατανοητή η δομή μιας διεργασίας, όσο και ο ποσοτικός προσδιορισμός της απόδοσής της. Η ανάλυση ικανότητας διεργασίας αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά εργαλεία σε εφαρμογές του στατιστικού ελέγχου διεργασιών (Statistical Process Control, SPC) για την επίτευξη της συνεχούς βελτίωσης της ποιότητας και της παραγωγικότητας. Η σχέση που αφορά την πραγματική απόδοση της διαδικασίας και τα όρια προδιαγραφών (ή ανοχής) μπορεί να ποσοτικοποιηθεί μέσω των κατάλληλων δεικτών ικανότητας διεργασίας. Οι δείκτες ικανότητας διεργασιών δείχνουν εάν μια διεργασία είναι ικανή - ή όχι, για να ανταποκριθεί σε ένα προκαθορισμένο επίπεδο ανοχής. Αυτοί οι δείκτες είναι οι εξής: C_p , C_{pu} και C_{pl} .

4.3.1 ΔΕΙΚΤΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ C_p

Ο πρώτος δείκτης ικανότητας διεργασιών που εμφανίστηκε στη βιβλιογραφία της μηχανικής είναι ο δείκτης C_p ο οποίος ορίζεται ως το πηλίκο του εύρους των προδιαγραφών προς το εύρος της διεργασίας (6σ) και δίνεται από την παρακάτω εξίσωση (Εξίσωση 4.1).

$$C_p = \frac{\text{ΕΥΡΟΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ}}{6\sigma} = \frac{ΑΟΠ - ΚΟΠ}{6\sigma} \quad (4.1)$$

Όπου ΑΟΠ: Ανώτατο Όριο Προδιαγραφών

ΚΟΠ: Κατώτατο Όριο Προδιαγραφών

σ : τυπική απόκλιση διεργασίας

Όσον αφορά την τυπική απόκλιση, αυτή αντικαθίσταται από τον λόγο $\frac{\bar{R}}{d_2}$, όπου \bar{R} είναι το μέσο εύρος της υποομάδας του δείγματος και d_2 είναι μία σταθερά που εξαρτάται από το μέγεθος του δείγματος (Montgomery, 2009).

Λόγω της απλότητάς του, ο δείκτης αυτός δείχνει τη σχέση του εύρους των προδιαγραφών με το εύρος 6 σίγμα της διεργασίας χωρίς να μας υποδεικνύει την πραγματική της απόδοση. Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιούνται οι λεγόμενοι Δείκτες Τρέχουσας Επίδοσης Διεργασίας (C_{pu} , C_{pl}) που εισάγουν τη μέση τιμή στους τύπους τους.

4.3.2 ΔΕΙΚΤΕΣ ΤΡΕΧΟΥΣΑΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ C_{pu} , C_{pl}

Σύμφωνα με τον Κούτρα (2008), ο δείκτης C_{pu} εκφράζει πόσο ικανή είναι η διεργασία στην παραγωγή προϊόντων που πληρούν το άνω όριο προδιαγραφών, ενώ αντίστοιχα ο δείκτης C_{pl} εκφράζει πόσο ικανή είναι η διεργασία στην παραγωγή προϊόντων που πληρούν το κάτω όριο προδιαγραφών και δίνονται από τις παρακάτω εξισώσεις (Εξίσωση 4.2) και (Εξίσωση 4.3) αντίστοιχα.

$$C_{pu} = \frac{AOP - \mu}{3\sigma} \quad (4.2)$$

$$C_{pl} = \frac{\mu - KOP}{3\sigma} \quad (4.3)$$

Δηλαδή, με πιο απλά λόγια, οι δείκτες αυτοί δείχνουν το πόσο απέχει η μέση τιμή μιας διεργασίας από τα όρια προδιαγραφής κατά τρεις τυπικές αποκλίσεις. Ο δείκτης C_p σε σχέση με τους C_{pu} και C_{pl} , συγκρίνει το εύρος των προδιαγραφών ως προς το εύρος της διεργασίας, χωρίς να λαμβάνεται υπόψιν η θέση της μέσης τιμής της διεργασίας (Κούτρας, 2008).

Οι Arcidiacono, G., & Nuzzi, S. (2017) υποστηρίζουν ότι μια διεργασία μπορεί να χαρακτηριστεί εξαιρετική ή ακόμα ανεπαρκής βάσει της τιμής του δείκτη C_p όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.3).

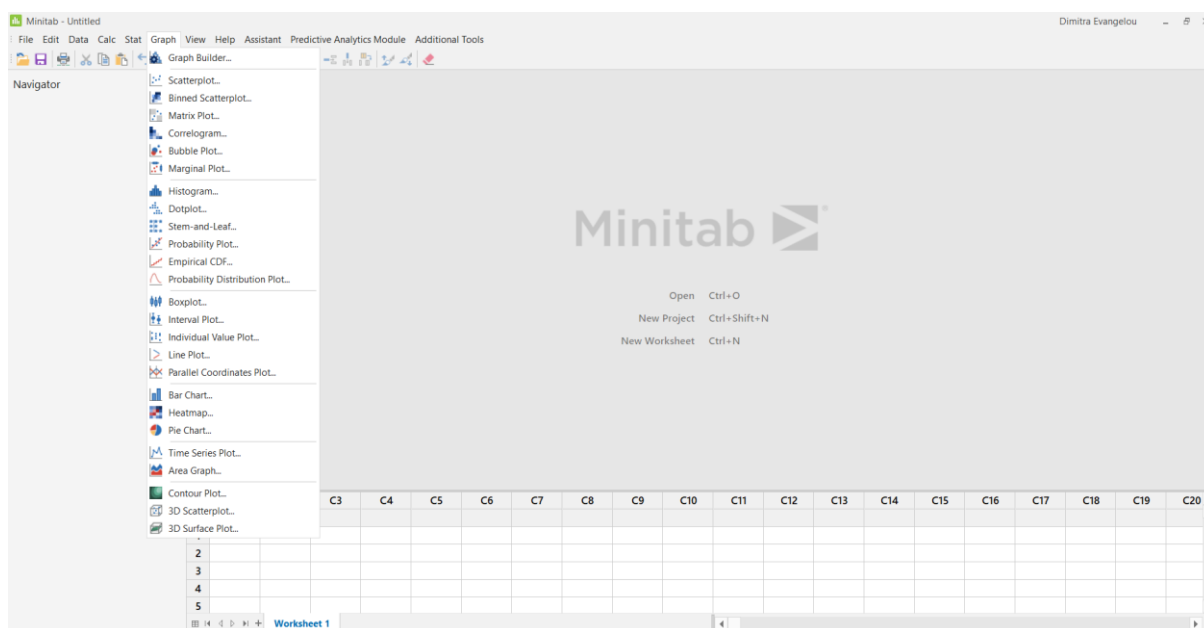
Κατάσταση Ποιότητας Διεργασίας	C_p
Τέλεια	$C_p \geq 2,00$
Εξαιρετική	$1,67 \leq C_p < 2,00$
Ικανοποιητική	$1,33 \leq C_p < 1,67$
Ικανή	$1,00 \leq C_p < 1,33$
Ανεπαρκής	$0,67 \leq C_p < 1,00$
Φτωχή	$C_p < 0,67$

Πίνακας 4.3. Κατάσταση Ποιότητας Διεργασίας βάσει της τιμής του Δείκτη Ικανότητας Διεργασίας C_p .

Πηγή: Arcidiacono, G., & Nuzzi, S. (2017)

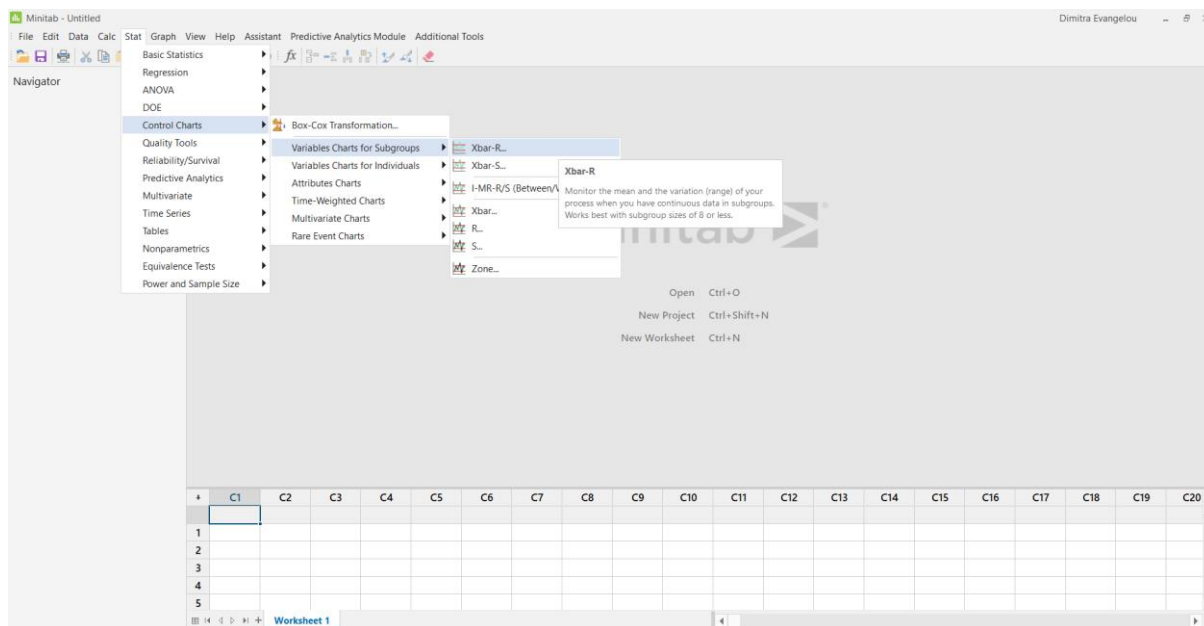
4.4 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MINITAB

Στην παρούσα ΜΔΕ χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πρόγραμμα Minitab για την ανάλυση των δεδομένων και την εφαρμογή των εργαλείων ποιότητας με σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας των υπό εξέταση σωλήνων. Η επιλογή του λογισμικού αυτού έγινε λόγω της απλής και γρήγορης χρήσης του και της πληθώρας εντολών που μπορεί κάποιος να εκτελέσει. Μέσω της χρήσης του Minitab, διεξήχθησαν ουσιαστικά συμπεράσματα και μέσω των διαγραμμάτων που προέκυψαν προτάθηκαν βελτιώσεις για την ποιότητα των σωλήνων. Στις παρακάτω εικόνες (Εικόνα 4.1, Εικόνα 4.2) παρουσιάζεται το κύριο μενού του λογισμικού. Στο κάτω μέρος φαίνονται οι στήλες $C1 \dots Cn$ στις οποίες εισάγονται τα δεδομένα και στο πάνω μέρος φαίνονται οι εντολές που μπορούν να επιλεγθούν.



Εικόνα 4.1. Κύριο μενού Minitab – Καρτέλα Graph.

Πηγή: Minitab, LLC. (2021). Minitab. Retrieved from <https://www.minitab.com>



Εικόνα 4.2. Κύριο μενού Minitab – Καρτέλα Stat.
Πηγή: Minitab, LLC. (2021). Minitab. Retrieved from <https://www.minitab.com>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

5.1 ΒΙ.ΠΑ.Σ. Α.Ε.

5.1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Στην παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία έγινε μελέτη σε βιομηχανία παραγωγής πλαστικών σωλήνων ύδρευσης, άρδευσης και θέρμανσης, όπου καθεξής θα αναφέρεται στην ΜΔΕ ως ΒΙ.ΠΑ.Σ. Η ΒΙ.ΠΑ.Σ. ιδρύθηκε το 1980, ως μηχανουργείο καλουπιών και πλέον είναι εγκατεστημένη σε ιδιόκτητες σύγχρονες κτηριακές εγκαταστάσεις που περατώθηκαν το 2003, σύμφωνα με τις ανάγκες των δραστηριοτήτων της. Τα προϊόντα της ξεπερνούν τους 4000 κωδικούς και η παραγωγική της δυναμικότητα τους 20.000 τόνους το χρόνο, ενώ απασχολεί πάνω από 350 άτομα σε διάφορους κλάδους της. Οι εγκαταστάσεις παραγωγής φτάνουν τα 182000 m^2 . Ακόμη, εξάγει τα προϊόντα της σε περισσότερες από 70 χώρες, ξεχωρίζοντας για την καινοτομία της και τη δυναμικότητά της.

Η ΒΙ.ΠΑ.Σ. έχει ως στόχο την διάκριση των μεταβαλλόμενων τάσεων που διαμορφώνονται και την προσαρμογή στις εξελίξεις του επιχειρηματικού και φυσικού περιβάλλοντος. Οι αρχές της είναι η παραγωγή προϊόντων υψηλής ποιότητας, η εξυπηρέτηση και ικανοποίηση των πελατών, η καλλιέργεια σχέσεων εμπιστοσύνης και αμοιβαίας εκτίμησης τόσο με τους συνεργάτες, όσο και με τους πελάτες και τους προμηθευτές. Ακόμη, η ΒΙ.ΠΑ.Σ. συγκαταλέγει στις αρχές της την καινοτομία και τη δημιουργικότητα που αναπτύσσονται σε ένα άριστο εργασιακό περιβάλλον με απώτερο σκοπό την συνεχή βελτίωση και ανάπτυξή της.

Τέλος, όραμα της ΒΙ.ΠΑ.Σ. είναι η συνεισφορά στη βελτίωση των σοβαρών προβλημάτων επάρκειας του πολυτιμότερου αγαθού, του νερού, μέσω της αδιάληπτης αναβάθμισης των μεθόδων διοίκησης των ανθρώπινων, φυσικών και οικονομικών της πόρων και μέσω χρήσης της πλέον σύγχρονης τεχνολογίας.

5.1.2 ΜΗΧΑΝΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΣΤΗΝ ΒΙ.ΠΑ.Σ.: ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Σύμφωνα με τους Kumar, S., Park, H. S., & Lee, C. M. (2020), η μέθοδος «injection molding» (έγχυση σε καλούπια) αποτελεί την δημοφιλέστερη μέθοδο που χρησιμοποιείται εκτενώς για την παραγωγή ποικίλων βιομηχανικών προϊόντων. Η πολυπλοκότητα των σύγχρονων μηχανημάτων και τεχνολογίας και τα σχήματα των προϊόντων γίνονται ολοένα και περιπλοκότερα. Αυτή η πολυπλοκότητα μπορεί να οδηγήσει σε επιφανειακά ελαττώματα και

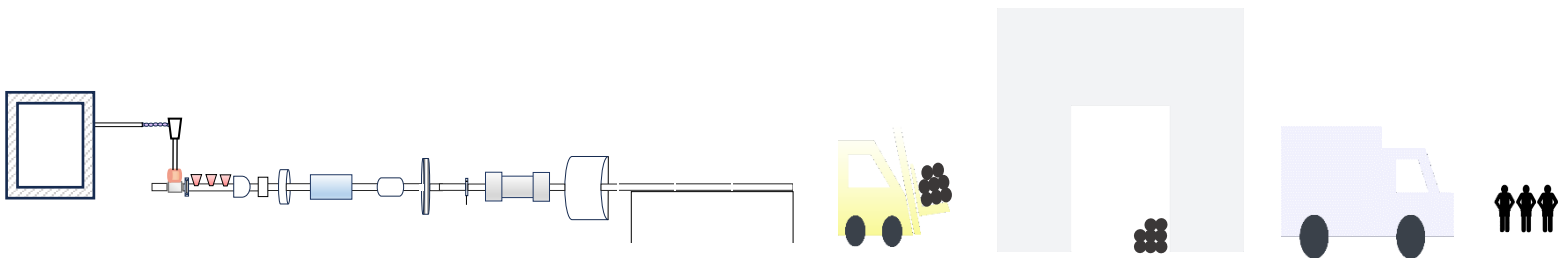
σε θερμικές βλάβες. Κατά την παραγωγή των προϊόντων, υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν τόσο την παραγωγική διαδικασία, όσο και την ποιότητα του τελικού προϊόντος, οι οποίοι μπορεί να είναι οι συνθήκες της μηχανής/ εξοπλισμού που χρησιμοποιείται, τα χαρακτηριστικά του προϊόντος, η πρώτη ύλη και άλλοι παράμετροι. Η ΒΙ.ΠΑ.Σ. χρησιμοποιεί εξελιγμένα μηχανήματα και σύγχρονες τεχνολογίες τόσο για την παραγωγή σωλήνων, όσο και για τον έλεγχο της ποιότητάς τους. Ο μηχανολογικός εξοπλισμός περιλαμβάνει αυτόματες μηχανές έγχυσης πλαστικού υλικού (injection molding) και γραμμές εξέλασης (extruders) πλαστικού σωλήνα, ο οποίος υποστηρίζεται από πλήθος βοηθητικών μηχανημάτων όπως φαίνεται παρακάτω.

Στο παρακάτω σχήμα (**Σχήμα 5.1**) παρουσιάζεται μία διάταξη μηχανής παραγωγής σωλήνα.



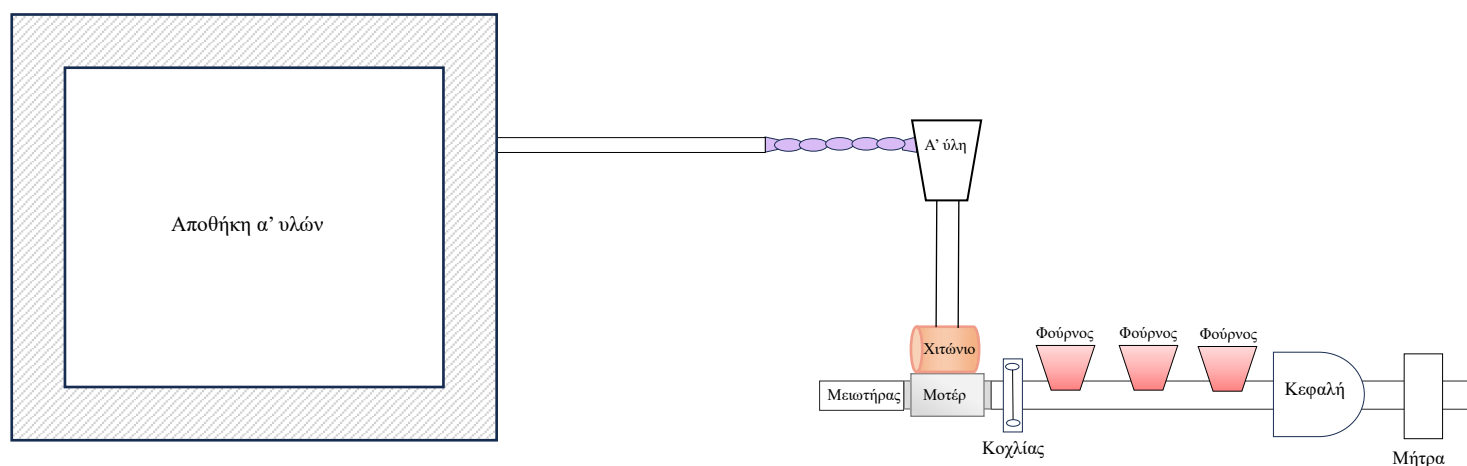
Σχήμα 5.1. Διάταξη μηχανής παραγωγής σωλήνα.
Πηγή: www.battenfeld-cincinnati.com

Στο παρακάτω σχήμα (**Σχήμα 5.2**) αναπαρίσταται η διάταξη μηχανής παραγωγής σωλήνων, ενώ στα παρακάτω σχήματα (**Σχήμα 5.2α, 5.2β, 5.2γ, 5.2δ, 5.2ε, 5.2στ**) παρουσιάζονται εκτενέστερα τα μέρη από τα οποία αποτελείται η μηχανή και οι λειτουργίες τους.

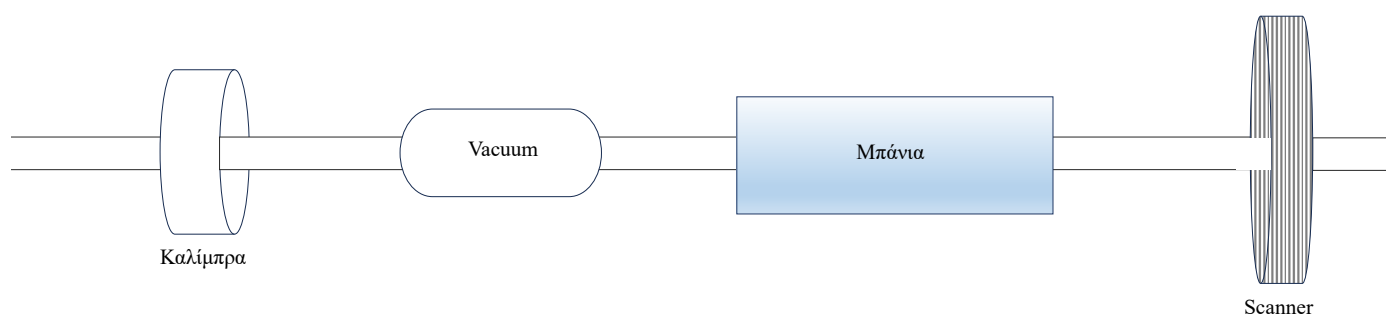


Σχήμα 5.2. Διάταξη μηχανής παραγωγής σωλήνα.

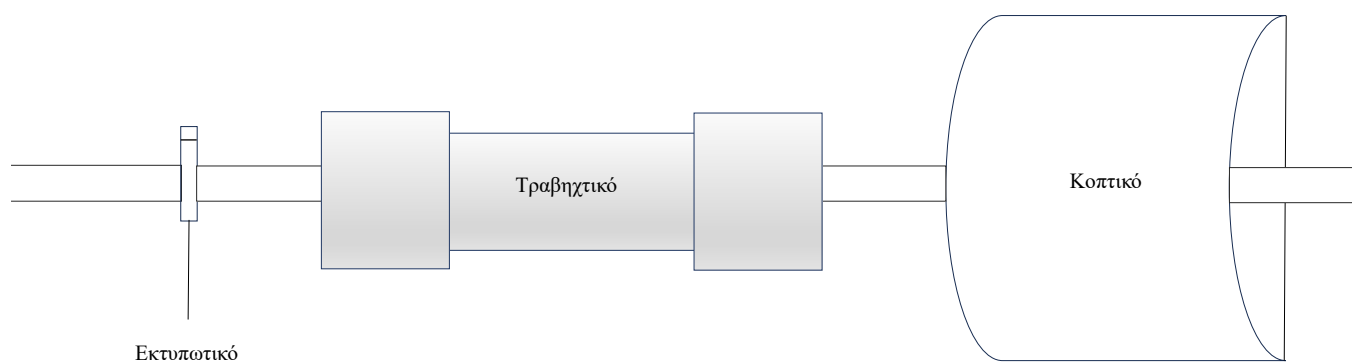
Στη συνέχεια γίνεται η περιγραφή του σχήματος 5.2. Αρχικά, η α' ύλη αποθηκεύεται στην αποθήκη α' υλών και μεταφέρεται μέσω σωληνώσεων στον πρώτο extruder, ο οποίος φέρει ένα χωνί με ζυγιστικό για τη μεταφορά της α' ύλης. Στη συνέχεια, η α' ύλη μεταφέρεται μέσω του χωνιού στο χιτόνιο και το μοτέρ, όπου πραγματοποιείται η περιστροφή της. Ο ρόλος του μειωτήρα είναι να μειώνει τις στροφές και να ωθεί από πίσω προς τα μπροστά την α' ύλη στον κοχλία. Εν συνεχεία, η α' ύλη μεταφέρεται προς τους φούρνους όπου εκεί θερμαίνεται σε θερμοκρασία 230-240 βαθμούς Κελσίου. Στη συνέχεια, εισέρχεται στην κεφαλή και μετά στην μήτρα όπου γίνεται το «καλούπωμα» του σωλήνα. Στο στάδιο αυτό πραγματοποιείται η πλαστικοποίηση και το γυάλισμα του σωλήνα (**Σχήμα 5.2α**). Στην καλίμπρα, γίνεται η ρύθμιση των νερών. Στη συνέχεια, ο σωλήνας περνάει από το vacuum όπου γίνεται η μορφοποίηση του σωλήνα υπό πίεση και μετά έρχεται το στάδιο των «μπάνιων», όπου ο σωλήνας ψύχεται μέσω υποβύθισής του σε νερό, ενώ παρακάτω συνεχίζεται η ροή του σωλήνα μέσω ραούλων όπου μεταφέρεται στο scanner για να γίνει έλεγχος διαμέτρου και πάχους (**Σχήμα 5.2β**). Ο ρόλος του εκτυπωτικού είναι η εκτύπωση της σήμανσης που φέρει τις απαραίτητες πληροφορίες, ενώ στο στάδιο του τραβηχτικού γίνεται η ώθηση του σωλήνα προς το κοπτικό, όπου ανάλογα με το πόσα μέτρα χρειάζονται, δηλαδή με τις ανάγκες του πελάτη, δίνονται και οι αντίστοιχες εντολές για να κοπεί ο σωλήνας (**Σχήμα 5.2γ, δ**). Τέλος, μέσω κλαρκ οι σωλήνες μεταφέρονται στην αποθήκη (**Σχήμα 5.2ε**) έως ότου σταλθούν στους τελικούς πελάτες (**Σχήμα 5.2στ**).



Σχήμα 5.2α. Πρώτο τμήμα διάταξης μηχανής παραγωγής σωλήνων.

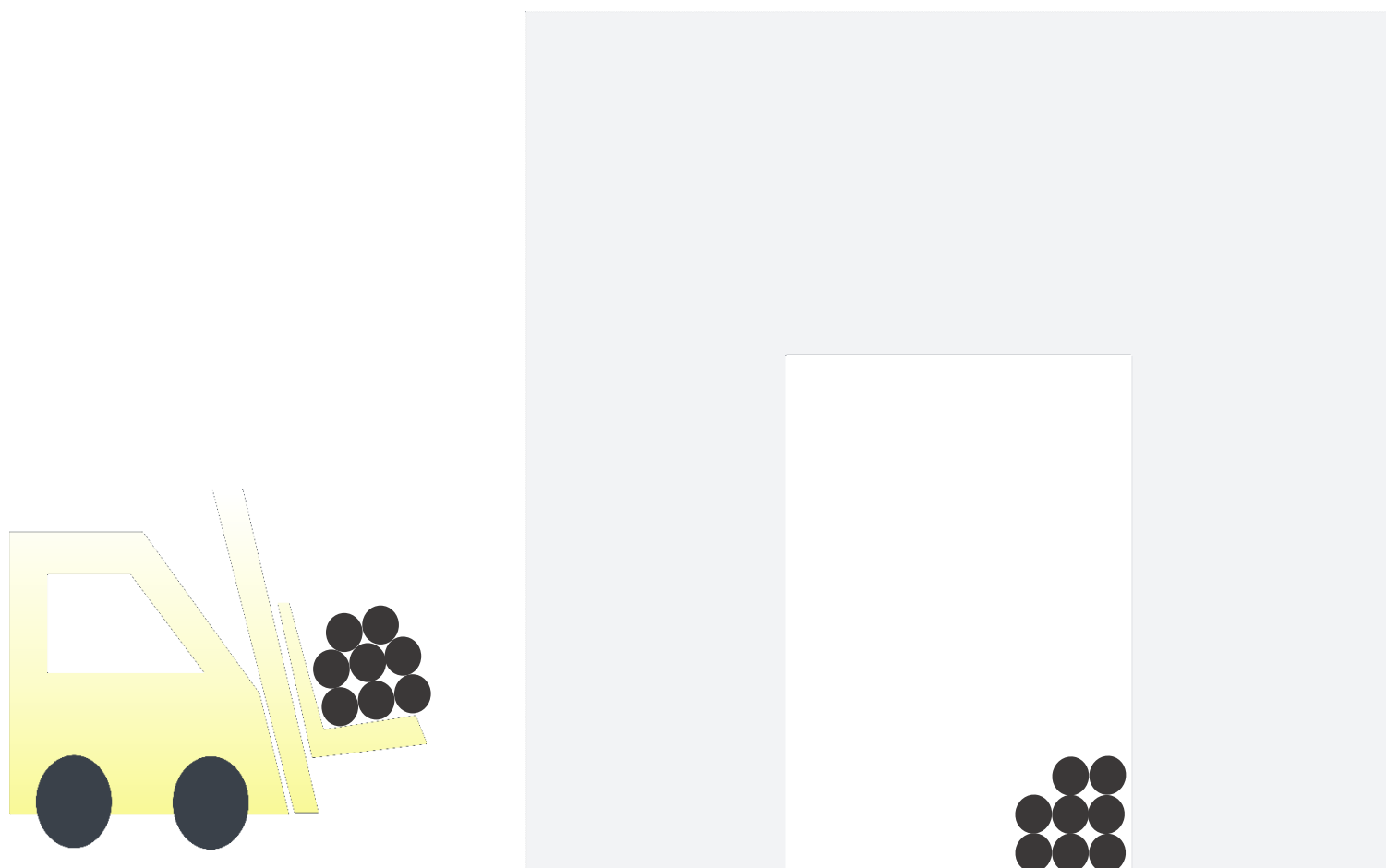


Σχήμα 5.2β. Δεύτερο τμήμα διάταξης μηχανής παραγωγής σωλήνων

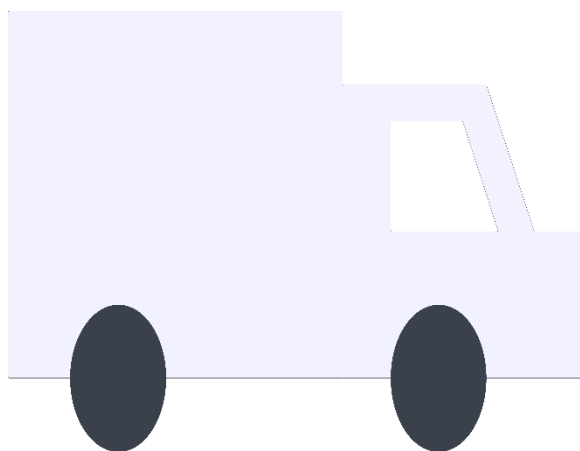


Σχήμα 5.2γ. Τρίτο τμήμα διάταξης μηχανής παραγωγής σωλήνων.

Σχήμα 5.2δ. Τέταρτο τμήμα διάταξης μηχανής παραγωγής σωλήνων.



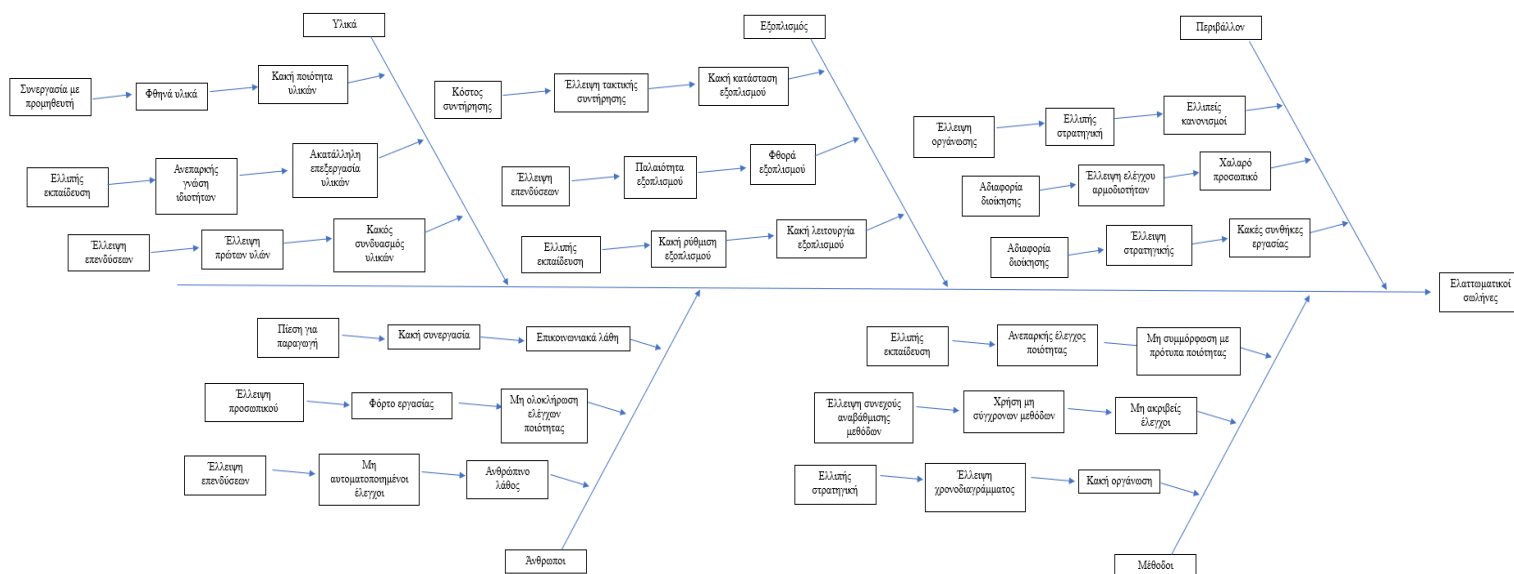
Σχήμα 5.2ε. Πρώτο τμήμα διεργασίας μεταφοράς σωλήνων.



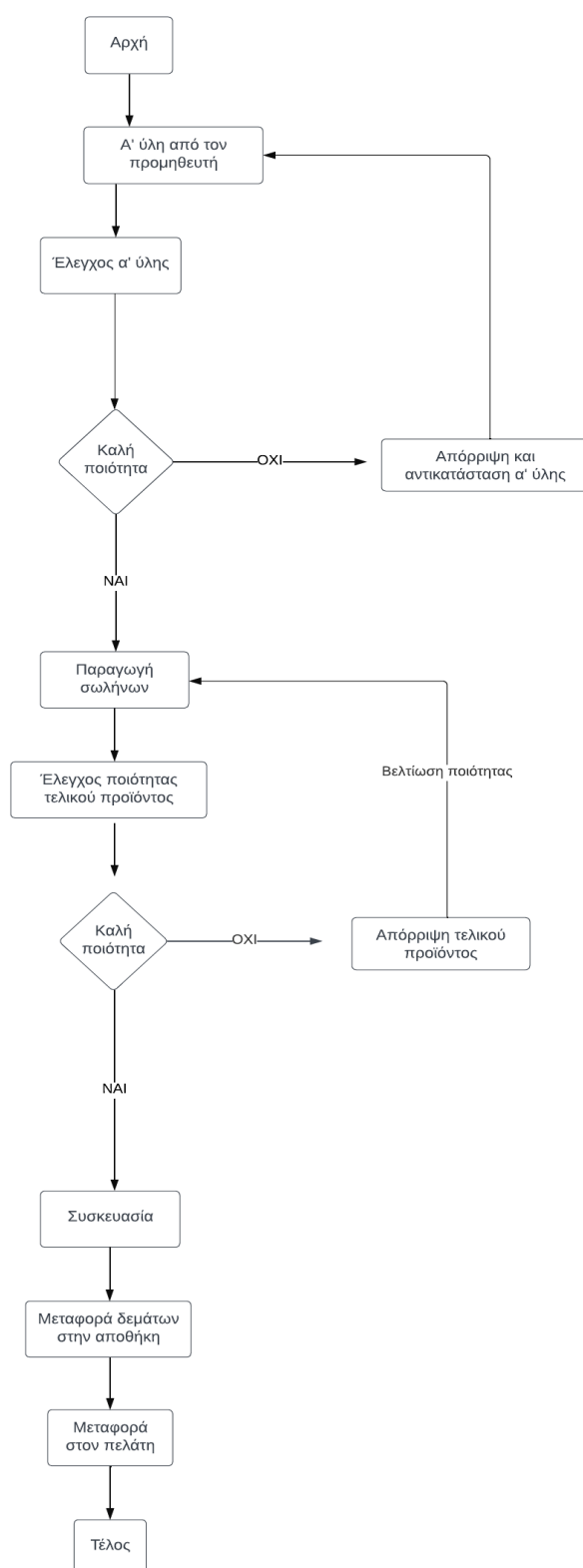
Πελάτες

Σχήμα 5.2στ. Δεύτερο τμήμα διεργασίας μεταφοράς σωλήνων.

Εν συνεχεία, στο παρακάτω σχήμα (**Σχήμα 5.3**) παρουσιάζεται ένα διάγραμμα αιτίου – αποτελέσματος που αφορά ελαττωματικούς σωλήνες, ενώ ακόμη μέσω του διαγράμματος ροής του σχήματος 5.4, γίνεται η περιγραφή της παραγωγικής διαδικασίας των σωλήνων από το στάδιο της παραγωγής έως και το στάδιο της αποδέσμευσής τους στους πελάτες, καθώς παρουσιάζονται και βήματα που ακολουθούνται στην περίπτωση παραγωγής σωλήνων κακής ποιότητας.



Σχήμα 5.3. Διάγραμμα αιτίου - αποτελέσματος για ελαττωματικούς σωλήνες.



Σχήμα 5.4 Διάγραμμα ροής παραγωγικής διαδικασίας των σωλήνων.

5.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

Ο ρόλος ενός ελεγκτή ποιότητας σε μονάδα παραγωγής πλαστικών σωλήνων, είναι η διεξαγωγή ελέγχων κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας, η εφαρμογή των τεχνικών ποιότητας ελέγχου βάσει προτύπων και η εφαρμογή των κατάλληλων διορθωτικών ενεργειών, ώστε το τελικό προϊόν να είναι υψηλής ποιότητας.

Αφότου παρθεί το δείγμα με τις κατάλληλες διαστάσεις από την παραγωγή, εφαρμόζονται οι παρακάτω τεχνικές:

- Οπτικός έλεγχος
- Εσωτερική Υδραυλική Πίεση (Ε.Υ.Π.)
 - Θραύση
- Εφελκυσμός
- Mass Flow Index (M.F.I.)
- Δικτύωση
- Συρρίκνωση

5.2.1. ΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Στις τεχνικές ελέγχου ποιότητας συγκαταλέγεται ο οπτικός έλεγχος του πλαστικού σωλήνα, με σκοπό την ανίχνευση ελαττωμάτων κατά την παραγωγική διαδικασία. Πιθανά ελαττώματα που μπορεί να προκύπτουν είναι χρωματικές ανωμαλίες, μικρο - εγκοπές, φυσαλίδες, ύπαρξη ξένου σώματος κ.α., καθώς ακόμη ελέγχονται οι διαστάσεις και η μορφολογία των σωλήνων. Σε περίπτωση ύπαρξης κάποιας ατέλειας δίνονται οι κατάλληλες εντολές για την μείωση ή εξάλειψή της.

5.2.2. ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΙΕΣΗ (Ε.Υ.Π.)

Για να μπορέσει να γίνει ένας έλεγχος ποιότητας πλαστικού σωλήνα σωστά, πρέπει να πραγματοποιηθεί έλεγχος εσωτερικής υδραυλικής πίεσης, δηλαδή έλεγχος αντοχής του σωλήνα σε υψηλές υδραυλικές πιέσεις. Η τεχνική αυτή πραγματοποιείται βάσει του προτύπου ISO 1167:2006.

Αφότου ληφθεί το δείγμα από την παραγωγή και ολοκληρωθεί ο οπτικός έλεγχος του σωλήνα, πρέπει να γίνει η προετοιμασία του. Η προετοιμασία περιλαμβάνει το κόψιμο του σωλήνα, ανάλογα το μέγεθος της εξωτερικής του διάμετρος. Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 1167:2006, μετά την προετοιμασία των δοκιμών, αυτά υπόκεινται σε μια σταθερή εσωτερική υδροστατική

πίεση που έχει οριστεί, για συγκεκριμένη χρονική περίοδο ή έως ότου το δοκίμιο αστοχήσει. Κατά τη διάρκεια της δοκιμής, τα δοκίμια διατηρούνται σε ένα περιβάλλον με καθορισμένη σταθερή θερμοκρασία. Το περιβάλλον αυτό είναι είτε νερό, είτε κάποιο άλλο υγρό, είτε πρόκειται για αέρα. Στην συγκεκριμένη ΜΔΕ, η Ε.Υ.Π. αφορά τη δοκιμή σε νερό.

Στο πρότυπο ISO 1167:2006, αναφέρεται ότι στα δύο άκρα του σωλήνα εφαρμόζονται κλείστρα που επιτρέπουν την σφράγιση και τη σύνδεσή του με τον εξοπλισμό που θα προκαλέσει την συμπίεση του σωλήνα και ταυτόχρονα επιτρέπουν την εξαέρωση του σωλήνα πριν την δοκιμή. Τα κλείστρα αυτά μπορεί να είναι είτε α) άκαμπτα εξαρτήματα που έχουν τέτοια διάμετρο όση η εξωτερική διάμετρος του σωλήνα, όπου η διάταξη περιλαμβάνει από τη μία πλευρά του σωλήνα ένα o-ring, έναν οδηγό, ένα δαχτυλίδι σύσφιξης, ένα περικόχλιο και ένα τερματικό και από την άλλη πλευρά ένα o-ring, έναν οδηγό, ένα δαχτυλίδι σύσφιξης, ένα περικόχλιο και το κλείστρο που φέρει μία υποδοχή, ώστε να γίνει η προφόρτισή του με νερό, είτε β) μεταλλικές κατασκευές με αρμούς που εξασφαλίζουν την σφράγιση στην εξωτερική επιφάνεια του δοκιμίου, όπου η διάταξη περιλαμβάνει από την μία πλευρά ένα o-ring, έναν οδηγό και το τερματικό μεταλλικό κλείστρο και από την άλλη πλευρά ένα o-ring, έναν οδηγό και το μεταλλικό κλείστρο που φέρει μία υποδοχή, ώστε να γίνει η προφόρτισή του με νερό. Για να γίνει η στεγανοποίηση των δοκιμίων, προστίθεται σιλικόνη στα δύο άκρα του σωλήνα πριν συνδεθεί στο τερματικό και στο κλείστρο που φέρει την υποδοχή. Στη συνέχεια, αφότου περαστούν το περικόχλιο και το δαχτυλίδι σύσφιξης στο ένα άκρο του σωλήνα μαζί με τον οδηγό και το o-ring, ο σωλήνας μπαίνει στο τερματικό, είτε χειροκίνητα είτε με το γερανό – σε περίπτωση που ο σωλήνας είναι μεγάλης εξωτερικής διαμέτρου και αντίστοιχη διαδικασία ακολουθείται στο άλλο άκρο. Εν συνεχεία, αφότου γίνει η εξαέρωση, ο σωλήνας προφορτίζεται με νερό με ένα μεταλλικό μαρκούτσι. Το στάδιο της εξαέρωσης είναι πολύ σημαντικό προκειμένου ο σωλήνας να γεμίσει πλήρως με νερό, χωρίς την ύπαρξη αέρα. Μόλις γίνει η πλήρωση του δοκιμίου με νερό, εισάγεται στις δεξαμενές. Υπάρχουν τρεις δεξαμενές με νερό: η 1^η) 1 hour ($T = 20^{\circ}\text{C}$), η 2^η) 22 hours ($T = 95^{\circ}\text{C}$) και 3^η) 165 hours ($T = 80^{\circ}\text{C}$). Το δοκίμιο εισάγεται στην κατάλληλη δεξαμενή, ανάλογα την κατηγορία στην οποία ανήκει, την εξωτερική του διάμετρο και την ονομαστική του πίεση (Pressure Nominal, PN). Στην παρακάτω εικόνα (**Εικόνα 5.1**) παρουσιάζεται ένα δοκίμιο σωλήνα αφότου έγινε το μοντάρισμά του και εισήχθη στην δεξαμενή.



Εικόνα 5.1. Δοκίμιο σωλήνα έτοιμο για Ε.Υ.Π. (αριστερή εικόνα), δοκίμιο σωλήνα μέσα στην δεξαμενή (δεξιά εικόνα).

Στη συνέχεια, μέσω του προγράμματος SQITEC δίνεται εντολή, για την εφαρμογή των κατάλληλων πιέσεων και των ορίων βάσει του αντίστοιχου προτύπου. Τα πρότυπα που χρησιμοποιούνται είναι τα: α) EN ISO 12201-2 για τους σωλήνες ύδρευσης (PE-100), β) DIN 8074/8075 και ISO 8779 για σωλήνες άρδευσης (PE-80) και γ) EN ISO 15875 για σωλήνες θέρμανσης (PEX).

Παρακάτω παρουσιάζονται οι πίνακες (**Πίνακας 5.1, 5.2, 5.3**) με τις πιέσεις δοκιμών σύμφωνα με το πρότυπο, τη διάρκεια δοκιμής, την εξωτερική διάμετρο, το πάχος και το PN, ανάλογα τον τύπο του δοκιμίου του κάθε σωλήνα.

ΠΙΕΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	PN 6		PN 8		PN 10		PN 12,5		PN 16		PN 20		PN 25		PN 32	
ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΠΑΧΟΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ	ΠΙΕΣΗ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΠΑΧΟΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ	ΠΙΕΣΗ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΠΑΧΟΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ	ΠΙΕΣΗ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΠΑΧΟΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ	ΠΙΕΣΗ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΠΑΧΟΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ	ΠΙΕΣΗ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΠΑΧΟΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ	ΠΙΕΣΗ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΠΑΧΟΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ	ΠΙΕΣΗ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΠΑΧΟΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ	ΠΙΕΣΗ ΔΟΚΙΜΗΣ
mm	mm	BAR	mm	BAR	mm	BAR	mm	BAR	mm	BAR	mm	BAR	mm	BAR	mm	BAR
Ø16											2	15,43	2,5	18,13	3	24,9
Ø18											2	13,5	2,5	17,42	3	21,6
Ø20									2	12	2,3	14,03	3	19,06	3,4	22,3
Ø22									2	10,8	2,5	13,85	3	17,05	3,6	21,1
Ø25							2	9,39	2,3	10,94	3	14,73	3,5	17,58	4,2	21,8
Ø28							2,1	8,76	2,6	11,06	3,1	13,45	3,8	16,96	4,6	21,2
Ø32					2	7,2	2,4	8,76	3	11,17	3,6	13,69	4,4	17,22	5,4	21,9
Ø40			2	5,68	2,4	6,89	3	8,76	3,7	11,01	4,5	13,69	5,5	17,22	6,7	21,7
Ø50	2	4,5	2,4	5,45	3	6,89	3,7	8,63	4,6	10,94	5,6	13,62	6,9	17,29	8,3	21
Ø63	2,5	4,46	3	5,4	3,8	6,93	4,7	8,71	5,8	10,95	7,1	13,72	8,6	17,07	10,5	21
Ø75	2,9	4,34	3,6	5,45	4,5	6,89	5,6	8,71	6,8	10,77	8,4	13,62	10,3	17,19	12,5	21,6
Ø90	3,5	4,37	4,3	5,42	5,4	6,89	6,7	8,69	8,2	10,83	10,1	13,65	12,3	17,1	15	21,6
Ø110	4,2	4,29	5,3	5,47	6,6	6,89	8,1	8,58	10	10,8	12,3	13,6	15,1	17,18	18,3	21,5
Ø125	4,8	4,31	6	5,45	7,4	6,8	9,2	8,58	11,4	10,84	14	13,62	17,1	17,12	20,8	21,5
Ø140	5,4	4,33	6,7	5,43	8,3	6,81	10,3	8,58	12,7	10,77	15,7	13,64	19,2	17,17	23,3	21,5
Ø160	6,2	4,35	7,7	5,46	9,5	6,82	11,8	8,6	14,6	10,84	17,9	13,6	21,9	17,13	26,6	21,5
Ø180	6,9	4,31	8,6	5,42	10,7	6,83	13,3	8,62	16,4	10,83	20,1	13,58	24,6	17,1	29,9	21,5
Ø200	7,7	4,32	9,6	5,45	11,9	6,83	14,7	8,57	18,2	10,81	22,4	13,62	27,4	17,14	33,2	21,5
Ø225	8,6	4,29	10,8	5,45	13,4	6,84	16,6	8,6	20,5	10,83	25,2	13,62	30,8	17,13	37,4	21,5
Ø250	9,6	4,31	11,9	5,4	14,8	6,8	18,4	8,58	22,7	10,79	27,9	13,57	34,2	17,12	41,5	21,5
Ø280	10,7	4,29	13,4	5,43	16,6	6,81	20,6	8,58	25,4	10,77	31,3	13,59	38,3	17,11	46,5	21,5
Ø315	12,1	4,31	15	5,4	18,7	6,82	23,2	8,59	28,6	10,78	35,2	13,59	43,1	17,12	52,3	21,5
Ø355	13,6	4,3	16,9	5,4	21,1	6,82	26,1	8,57	32,2	10,77	39,7	13,6	48,5	17,09		21,5
Ø400	15,3	4,3	19,1	5,42	23,7	6,8	29,4	8,57	36,3	10,78	44,7	13,59	54,7	17,11		
Ø450	17,2	4,29	21,5	5,42	26,7	6,81	33,1	8,57	40,9	10,8	50,3	13,59	61,5	17,1		
Ø500	19,1	4,29	23,9	5,42	29,7	6,82	36,8	8,58	45,4	10,79	55,8	13,57				
Ø560	21,4	4,29	26,7	5,41	33,2	6,81	41,2	8,58	50,8	10,57	62,5	13,57				

Πίνακας 5.1. Πιέσεις δοκιμών σε Ε.Υ.Π. σωλήνων ύδρευσης HDPE (PE 100) για 165h/80°C κατά EN 12201-2.

ΠΙΕΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	PN 6		PN 10		PN 12,5		PN 16		PN 20	
ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΠΑΧΟΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ	ΠΙΕΣΗ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΠΑΧΟΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ	ΠΙΕΣΗ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΠΑΧΟΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ	ΠΙΕΣΗ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΠΑΧΟΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ	ΠΙΕΣΗ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΠΑΧΟΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ	ΠΙΕΣΗ ΔΟΚΙΜΗΣ
mm	mm	BAR	mm	BAR	mm	BAR	mm	BAR	mm	BAR
Ø16							2	12,86	2,3	15,11
Ø18							2	11,25	2,5	14,52
Ø20					2	10	2,3	11,69	3	15,88
Ø22					2,1	9,5	2,5	11,54	3	14,21
Ø25			2	7,83	2,3	9,12	3	12,27	3,5	14,65
Ø28			2,1	7,3	2,5	8,82	3,1	11,2	3,8	14,13
Ø32			2,4	7,3	3	9,31	3,6	11,41	4,4	14,35
Ø40	2	4,74	3	7,3	3,7	9,17	4,5	11,41	5,5	14,35
Ø50	2,4	4,54	3,7	7,19	4,6	9,12	5,6	11,35	6,9	14,41
Ø63	3	4,5	4,7	7,26	5,8	9,13	7,1	11,43	8,6	14,23
Ø75	3,6	4,54	5,6	7,26	6,8	8,97	8,4	11,35	10,3	14,33
Ø90	4,3	4,52	6,7	7,24	8,2	9,02	10,1	11,38	12,3	14,25
Ø110	5,3	4,56	8,1	7,15	10	9	12,3	11,33	15,1	14,32
Ø125	6	4,54	9,2	7,15	11,4	9,03	14	11,35	17,1	14,26
Ø140	6,7	4,52	10,3	7,15	12,7	8,98	15,7	11,37	19,2	14,3
Ø160	7,7	4,55	11,8	7,17	14,6	9,04	17,9	11,34	21,9	14,27
Ø180	8,6	4,52	13,3	7,18	16,4	9,02	20,1	11,31	24,6	14,25
Ø200	9,6	4,54	14,7	7,14	18,2	9,01	22,4	11,35	27,4	14,29
Ø225	10,8	4,54	16,6	7,17	20,5	9,02	25,2	11,35	30,8	14,27
Ø250	11,9	4,5	18,4	7,15	22,7	8,99	27,9	11,31	34,2	14,26
Ø280	13,4	4,52	20,6	7,15	25,4	8,98	31,3	11,33	38,3	14,26
Ø315	15	4,5	23,2	7,16	28,6	8,99	35,2	11,32	43,1	14,27

Πίνακας 5.2. Πιέσεις δοκιμών σε Ε.Υ.Π. σωλήνων άρδευσης HDPE (PE80) για 1h στους 20°C κατά EN 12201-2 & AGROPAL ISO 8779.

	1 ΩΡΑ		22 ΩΡΕΣ	165 ΩΡΕΣ	1000 ΩΡΕΣ
ΔΙΑΣΤΑΣΗΣ ΣΩΛΗΝΑ	20°C	95°C	95°C	95°C	95°C
mm	BAR	BAR	BAR	BAR	BAR
Ø15x2,5	45,71	18,29	17,9	17,52	16,76
Ø16x2,0	34,29	13,71	13,43	13,14	12,57
Ø16x2,2	38,26	15,3	14,99	14,67	14,03
Ø18x2,0	30	12	11,75	11,5	11
Ø18x2,5	36,92	14,77	14,46	14,15	13,54
Ø20x2,0	26,67	10,67	10,44	10,22	9,78
Ø20x2,3	31,19	12,47	12,21	11,95	11,44
Ø20x2,8	39,07	15,63	15,3	14,98	14,32
Ø22x3,0	36,44	14,58	14,27	13,97	13,36
Ø25x2,3	31,19	9,73	9,52	9,32	8,92
Ø25x2,8	30,27	12,11	11,86	11,6	11,1
Ø25x3,5	39,07	15,63	15,3	14,98	14,33
Ø28x3,0	28,8	11,52	11,28	11,04	10,56
Ø32 X3,0	24,83	9,93	9,72	9,52	9,1
Ø32x3,6	30,42	12,17	11,92	11,66	11,15
Ø32x4,4	38,26	15,3	15,15	14,77	14,03

Πίνακας 5.3. Πιέσεις δοκιμών σε Ε.Υ.Π. σωλήνων ύδρευσης PEX κατά ISO 15875.

5.2.2.1 ΘΡΑΥΣΗ (BURST)

Οι σωλήνες που εισάγονται σε δοκιμή Ε.Υ.Π. στη συνθήκη της 1 hour ($T = 20^{\circ}\text{C}$), υπάγονται σε θραύση για να μπορέσει ο ελεγκτής να παρατηρήσει στα πόσα bar, θα γίνει η θραύση του σωλήνα, δηλαδή στα πόσα bar θα σπάσει. Στην παρακάτω εικόνα (**Εικόνα 5.2**), παρουσιάζεται η θραύση ενός δοκιμίου σωλήνα ύστερα από το πέρας μιας ώρας στη δεξαμενή.



Εικόνα 5.2. Δοκίμιο σωλήνα που υπέστη θραύση.

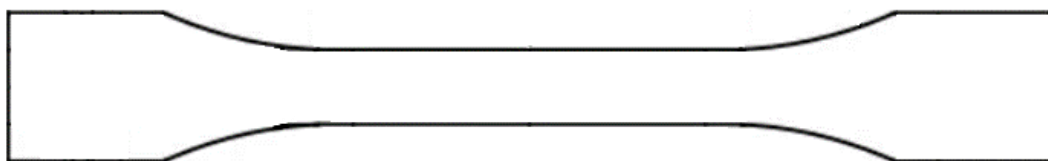
5.2.3 ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ

Όταν ένα δοκίμιο είναι HDPE, τότε υπόκειται σε εφελκυσμό προκειμένου να ελεγχθεί η επιμήκυνση στη θραύση. Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 6259:2015, για να εισαχθεί το δοκίμιο στο μηχάνημα του εφελκυσμού, πρέπει να έχει τη μορφή της «κλεψύδρας». Για τον σκοπό αυτό, το δοκίμιο κόβεται στα 20cm και εισάγεται στη διάταξη του CNC (Computerized Numerical Control). Αφότου δοθούν οι κατάλληλες εντολές στη μηχανή του CNC, ανάλογα το πάχος του, η μηχανή κόβει με ένα μεταλλικό εργαλείο το δοκίμιο στις κατάλληλες διαστάσεις. Στην παρακάτω εικόνα (**Εικόνα 5.3**), φαίνεται η διάταξη της μηχανής CNC και το αποτέλεσμα μετά το κόψιμο του σωλήνα σε μορφή «κλεψύδρας».

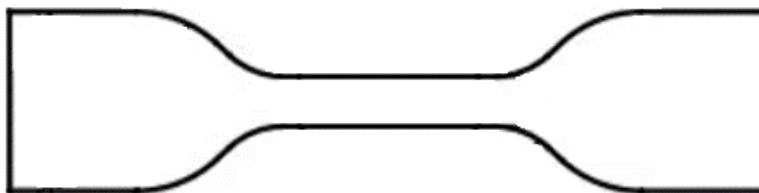


Εικόνα 5.3. Διάταξη μηχανής CNC και αποτέλεσμα του κοψίματος σωλήνα σε μορφή «κλεψύδρας».

Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 6259:2015, το δοκίμιο σε μορφή «κλεψύδρας» εισάγεται στη διάταξη του εφελκυσμού και συγκεκριμένα στις αρπάγες της μηχανής, προκειμένου να μετρηθεί η επιμήκυνση στη θραύση. Ανάλογα με το πάχος του, ο σωλήνας κατατάσσεται στην κατηγορία Type 1 ή στην κατηγορία Type 2. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι σωλήνες που έχουν πάχος μεταξύ 5mm έως 12mm και από 12mm έως 25mm. Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν σωλήνες που έχουν πάχος μικρότερο από 5mm. Στο πρότυπο ISO 6259:2015, αναφέρεται πως σωλήνες Type 1 και Type 2 πρέπει να κόβονται σε μορφή κλεψύδρας όπως φαίνεται στα παρακάτω σχήματα (Σχήμα 5.5α, 5.5β).



Σχήμα 5.5α. Μορφή δοκιμίου σωλήνα Type 1 για εφελκυσμό.
Πηγή: ISO 6259:2015



Σχήμα 5.5β. Μορφή δοκιμίου σωλήνα Type 2 για εφελκυσμό.
Πηγή: ISO 6259:2015

Στην καταστρεπτική αυτή δοκιμή, ένα φορτίο, η τιμή του οποίου αυξάνεται με αργό και βαθμιαίο ρυθμό σε σχέση με το χρόνο, εφαρμόζεται κάθετα στην επιφάνεια και κατά μήκος του μεγαλύτερου άξονα του εξεταζόμενου δοκιμίου. Δηλαδή, μέσω εντολών στο κατάλληλο πρόγραμμα, το δοκίμιο υποβάλλεται σε εφελκυστική καταπόνηση με σκοπό να καταγραφεί η προκαλούμενη επιμήκυνσή του. Η επιμήκυνση του δοκιμίου γίνεται κάτω από καθορισμένες συνθήκες, σταθερού ρυθμού παραμόρφωσης, σταθερού ρυθμού φορτίου κ.α. Το εφαρμοζόμενο φορτίο και η αντίστοιχη επιμήκυνση καταγράφονται και αφότου γίνει η μετατροπή τους σε τάση και παραμόρφωση, σχεδιάζεται η αντίστοιχη καμπύλη τάσης – παραμόρφωσης. Ύστερα, μέσω της καμπύλης αυτής και ανάλογα την συμπεριφορά του υλικού του δοκιμίου (ψαθυρή ή όλκιμη συμπεριφορά) εξάγονται πληροφορίες για το μέτρο ελαστικότητας, το όριο διαρροής, το όριο αναλογίας, την αντοχή σε εφελκυσμό, την επιμήκυνση στη θραύση, την όλκιμότητα, τον λόγο Poisson ν , την ανάλπαση και τη δυθραυστότητα (ISO 6259:2015).

Στην παρακάτω εικόνα (**Εικόνα 5.4**), παρουσιάζεται η τεχνική του εφελκυσμού ενός Type 1 δοκιμίου.



Εικόνα 5.4. Δοκίμιο σωλήνα σε διάταξη εφελκυσμού.

5.2.4 MASS FLOW INDEX (M.F.I.)

Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 1133:2011, το M.F.I. είναι ο ρυθμός εξώθησης τετηγμένης ρητίνης μέσω ενός καλουπιού που έχει καθορισμένο μήκος και διάμετρο σε προκαθορισμένες συνθήκες θερμοκρασίας, φορτίου και θέσης του εμβόλου, ενός μέτρου εξώθησης πλαστικού. Μέσω αυτής της τεχνικής γίνεται η μέτρηση της ροής («ρευστότητας») του σωλήνα, η οποία είναι αντιστρόφως ανάλογη με το ιξώδες του. Ο ρυθμός αυτός προσδιορίζεται ως η μάζα που εξωθείται σε καθορισμένο χρόνο. Στην τεχνική αυτή εφαρμόζεται συνδυασμένη δύναμη φορτίου που ασκείται από το σώμα του εμβόλου και το πρόσθετο βάρος που τοποθετείται πάνω από το έμβολο.

Το δοκίμιο του σωλήνα κόβεται με τη βοήθεια ειδικού κοπιδιού σε μικρά κομμάτια για να εισαχθεί μέσα στη διάταξη της μεθόδου. Η μέτρηση της ροής γίνεται, αφότου εισαχθεί το δοκίμιο στη μηχανή, μέσω θέρμανσης του δοκιμίου σε σταθερή θερμοκρασία και σταθερό ρυθμό, αφότου το δοκίμιο εισέλθει μέσα από την οπή που βρίσκεται στο κάτω μέρος της μηχανής. Στην παρακάτω εικόνα (**Εικόνα 5.5**), παρουσιάζεται η τεχνική του M.F.I. ενός πλαστικού σωλήνα.



Εικόνα 5.5. Δοκίμιο σωλήνα σε διάταξη M.F.I.

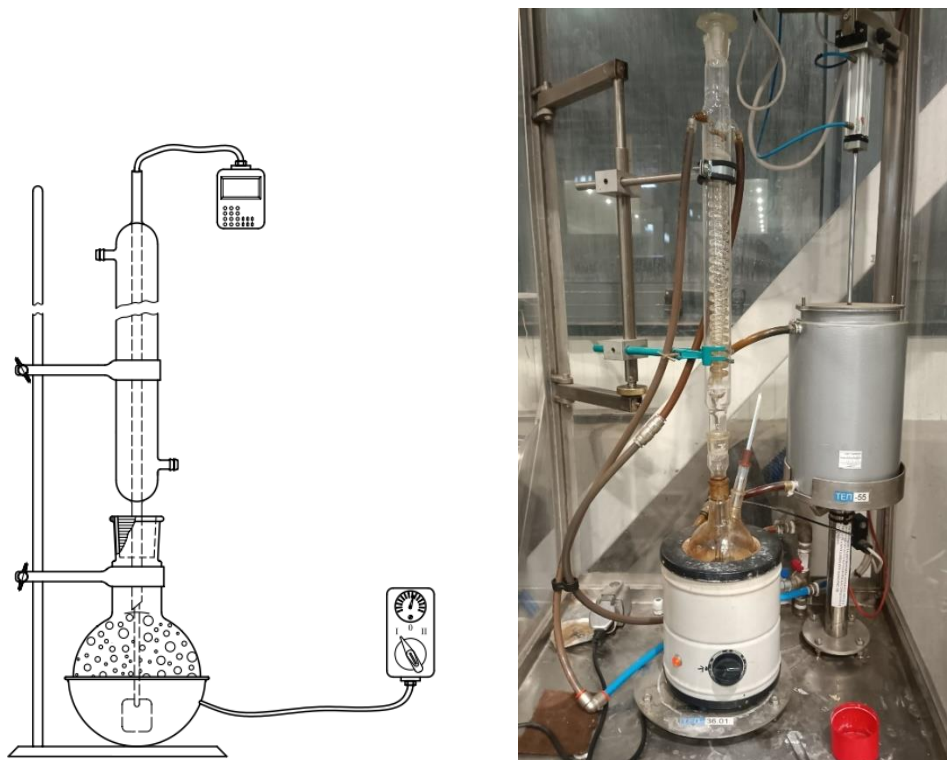
Στον παρακάτω πίνακα (**Πίνακας 5.4**) παρουσιάζονται οι επιθυμητές ροές M.F.I., ανάλογα τον τύπο του πλαστικού σωλήνα, βάσει προτύπου.

Είδος (κατηγορία) σωλήνα	Επιθυμητή ροή (M.F.I.)
PE-100	0,2-0,6
PE-80	0,2-1,0
LDPE	0,2-1,4

Πίνακας 5.4. Κατηγορία σωλήνων και η αντίστοιχη επιθυμητή ροή βάσει του ISO 1133:2011.

5.2.5. ΔΙΚΤΥΩΣΗ

Η τεχνική της δικτύωσης πραγματοποιείται μόνο για τους σωλήνες θέρμανσης PEX. Σύμφωνα με το ISO 10147:2011, κατά την δικτύωση γίνεται η οργάνωση των πολυμερικών αλυσίδων του πλαστικού σωλήνα, αυξάνοντας την αντοχή του. Κατά την τεχνική αυτή, ο σωλήνας τοποθετείται σε ειδικό φούρνο για 22 ώρες και αφότου παρθεί το δείγμα από τον φούρνο, κόβεται σε μικρά κομμάτια, ζυγίζεται (~20g) και τοποθετείται στο χημείο υπό την επίδραση ενός διαλύτη, του εξυλενίου, για 8 ώρες, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (**Εικόνα 5.6**).



Εικόνα 5.6. Διάταξη δικτύωσης.

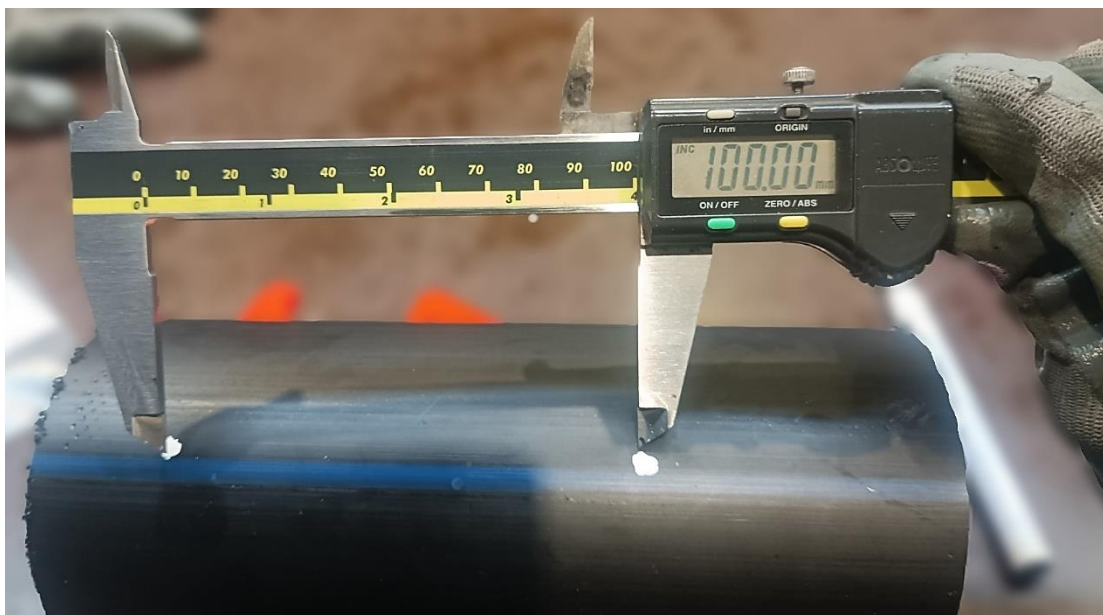
Σύμφωνα με το ISO 10147:2011, μετά το πέρας των 8 ωρών, το δείγμα σωλήνα παίρνεται από το χημείο και τοποθετείται σε τέσσερα ειδικά πιατάκια σε φούρνο, για 3 ώρες στους 140°C. Αφότου περάσουν οι 3 ώρες, το δείγμα απομακρύνεται από το φούρνο και ζυγίζεται εκ νέου, ώστε να γίνει η σύγκριση του τελικού βάρους του σε σχέση με το αρχικό του βάρος. Η επιτυχής δικτύωση του σωλήνα πραγματοποιείται όταν το ποσοστό δικτύωσης είναι μεταξύ 65-85%. Στην παρακάτω εικόνα (**Εικόνα 5.7**) παρουσιάζεται δείγμα σωλήνα στα ειδικά πιατάκια ύστερα από το πέρας των 3 ωρών στο φούρνο στους 140°C.



Εικόνα 5.7. Δοκίμιο σωλήνα σε ειδικά πιατάκια μετά το πέρας των 3 ωρών σε φούρνο στους 140°C.

5.2.6. ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ

Σύμφωνα με το ISO 2505:2005, μέσω της συρρίκνωσης, γίνεται ο προσδιορισμός επαναφοράς κατά μήκος, δηλαδή παρατηρείται το πόσο έχει μεταβληθεί το μήκος του σωλήνα. Για την πραγματοποίηση της τεχνικής, κόβεται δοκίμιο σωλήνα μήκους 20cm και στη συνέχεια χαράζονται δύο περιφερειακά σημάδια σε απόσταση 10cm, τα οποία αντιστοιχούν στην περιοχή δοκιμής, σε ίσες αποστάσεις από τα δύο άκρα του δείγματος, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (**Εικόνα 5.8**).



Εικόνα 5.8. Συρρίκνωση δοκιμίου σωλήνα.

Στη συνέχεια το δείγμα τοποθετείται στον φούρνο για 4 ώρες στους 110°C όταν ο σωλήνας ανήκει στην κατηγορία PE 80 ή PE 100 και στους 120°C όταν ο σωλήνας ανήκει στην κατηγορία PEX. Αφότου περάσουν οι 4 ώρες μέσα στον φούρνο, το δείγμα μένει εκτός φούρνου σε θερμοκρασία δωματίου ($23 \pm 2^\circ\text{C}$) για 3 ώρες. Τέλος, μετρούνται τα σημάδια που είχαν χαραχθεί για να παρατηρηθεί η συρρίκνωση του σωλήνα (ISO 2505:2005).

Στον παρακάτω πίνακα (**Πίνακας 5.5**) παρουσιάζεται η επιθυμητή τιμή της συρρίκνωσης (ποσοστό %) σύμφωνα με το πρότυπο ISO 2505:2005.

Thermoplastics material	Reversion %
PE	≤ 3
PE-X	≤ 3

Πίνακας 5.5. Επιθυμητή τιμή συρρίκνωσης πλαστικών σωλήνων βάσει του ISO 2505:2005.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Στην παρούσα ΜΔΕ έγινε η μελέτη τριών πλαστικών σωλήνων: α) σωλήνας άρδευσης (σωλήνας (Α)), β) σωλήνας ύδρευσης (σωλήνας (Υ)) και γ) σωλήνας θέρμανσης ((σωλήνας (Θ))), τα πειραματικά δεδομένα και αποτελέσματα των οποίων αναλύονται στο παρόν κεφάλαιο.

6.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ LDPE: ΣΩΛΗΝΑΣ (Α)ΡΔΕΥΣΗΣ

Ο σωλήνας (Α) είναι σωλήνας άρδευσης. Ανήκει στην κατηγορία των LDPE. Παρακάτω παρουσιάζονται τα πειραματικά δεδομένα, τα εργαλεία ποιότητας και τα αντίστοιχα αποτελέσματα που αφορούν αυτόν τον σωλήνα.

Στους παρακάτω πίνακες (**Πίνακας 6.1α, 6.1β, 6.2**) βρίσκονται τα πειραματικά δεδομένα βάσει των οποίων προέκυψαν τα διαγράμματα για τον έλεγχο της ποιότητας του σωλήνα.

ΣΩΛΗΝΑΣ (Α)						
LOT: 222311010 ΜΗΧΑΝΗ 22						
ΕΝΑΡΞΗ: 01/11/2023 18:51 ΛΗΞΗ: 17/11/2023 20:19						
ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ Βάρος (kg): 117 d_{min} (mm): 24,9 d_{max} (mm): 25,1 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$ (mm): 1,6 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$ (mm): 1,8	06/11/2023	07/11/2023	08/11/2023	09/11/2023	10/11/2023	13/11/2023
ΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ	OK	OK	OK	OK	OK	OK
ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΗΜΑΝΣΗΣ	OK	OK	OK	OK	OK	OK
ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΙΕΣΗ	1hr/20oC	1hr/20oC	1hr/20oC	1hr/20oC	1hr/20oC	1hr/20oC
ΠΙΕΣΗ ΔΟΚΙΜΗΣ (Bar)	10,6	10,6	10,6	10,6	10,6	10,6
ΘΡΑΥΣΗ/BURST (Bar)	18,32	16,08	13,2	15,75	12,74	14,26
M.F.I. (g/10min)	0,564	0,589	0,551	0,589	0,715	0,693
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ	Βάρος: 118 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 1,58 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 1,75 d : 25,1	Βάρος: 118 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 1,62 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 1,72 d : 25,2	Βάρος: 118 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 1,62 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 1,7 d : 25,2	Βάρος: 120 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 1,7 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 1,8 d : 25,1	Βάρος: 117 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 1,63 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 1,81 d : 25,1	Βάρος: 117 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 1,62 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 1,72 d : 25
ΒΑΡΔΙΑ 1						
ΒΑΡΔΙΑ 2	Βάρος: 119 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 1,62 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 1,76 d : 25,1	Βάρος: 118 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 1,7 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 1,73 d : 25	Βάρος: 118 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 1,55 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 1,71 d : 25,1	Βάρος: 120 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 1,58 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 1,74 d : 25,1	Βάρος: 118 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 1,54 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 1,70 d : 25,1	Βάρος: 118 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 1,63 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 1,74 d : 25
ΒΑΡΔΙΑ 3	Βάρος: 118 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 1,6 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 1,76 d : 25,1	Βάρος: 119 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 1,71 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 1,75 d : 25,1	Βάρος: 118 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 1,61 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 1,71 d : 25,1	Βάρος: 119 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 1,64 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 1,8 d : 25,1	Βάρος: 118 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 1,62 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 1,81 d : 25	Βάρος: 117 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 1,61 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 1,7 d : 25
ΒΛΑΒΕΣ						
ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΥΠΩΤΙΚΟΥ ΕΝΑΡΞΗ: 01/11/2023 21:02 ΛΗΞΗ: 01/11/2023 21:34	OK	OK	OK	OK	OK	OK
ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΣΤΟ ΣΩΛΗΝΑ ΕΝΑΡΞΗ: 02/11/2023 15:05 ΛΗΞΗ: 02/11/2023 15:40	OK	OK	OK	OK	OK	OK

Πίνακας 6.1α. Μετρήσεις του σωλήνα (Α).

ΣΩΛΗΝΑΣ (Α)				
LOT: 222311010				
ΜΗΧΑΝΗ 22				
ΕΝΑΡΞΗ: 01/11/2023 18:51				
ΛΗΞΗ: 17/11/2023 20:19				
ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ Βάρος (kg): 117 d_{min} (mm): 24,9 d_{max} (mm): 25,1 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$ (mm): 1,6 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$ (mm): 1,8	14/11/2023	15/11/2023	16/11/2023	17/11/2023
ΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ	OK	OK	OK	OK
ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΗΜΑΝΣΗΣ	OK	OK	OK	OK
ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΙΕΣΗ	1hr/20oC	1hr/20oC	1hr/20oC	1hr/20oC
ΠΙΕΣΗ ΔΟΚΙΜΗΣ (Bar)	10,6	10,6	10,6	10,6
ΘΡΑΥΣΗ/ BURST (Bar)	15,89	15,67	15,2	16,44
M.F.I. (g/10min)	0,715	0,6	0,6	0,593
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ	Βάρος: 118 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 1,61 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 1,73 d : 25	Βάρος: 117 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 1,6 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 1,73 d : 24,9	Βάρος: 118 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 1,59 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 1,69 d : 25	Βάρος: 117 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 1,57 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 1,71 d : 25,2
ΒΑΡΔΙΑ 1				
ΒΑΡΔΙΑ 2	Βάρος: 118 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 1,59 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 1,66 d : 25,1	Βάρος: 117 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 1,51 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 1,66 d : 25,1	Βάρος: 117 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 1,61 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 1,72 d : 25	Βάρος: 117 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 1,68 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 1,79 d : 25
ΒΑΡΔΙΑ 3	Βάρος: 118 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 1,66 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 1,78 d : 25,1	Βάρος: 118 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 1,62 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 1,73 d : 25,1	Βάρος: 118 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 1,67 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 1,8 d : 25,1	Βάρος: 117 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 1,61 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 1,73 d : 25
ΒΛΑΒΕΣ				
ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΥΠΩΤΙΚΟΥ ΕΝΑΡΞΗ: 01/11/2023 21:02 ΛΗΞΗ: 01/11/2023 21:34	OK	OK	OK	OK
ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΣΤΟ ΣΩΛΗΝΑ ΕΝΑΡΞΗ: 02/11/2023 15:05 ΛΗΞΗ: 02/11/2023 15:40	OK	OK	OK	OK

Πίνακας 6.1β. Μετρήσεις του σωλήνα (Α).

α/α	ΕΤΟΣ 2023					α/α	ΕΤΟΣ 2022				
	ΘΡΑΥΣΗ (Bar)	M.F.I. (g/10min)		ΘΡΑΥΣΗ (Bar)	M.F.I. (g/10min)		ΘΡΑΥΣΗ (Bar)	M.F.I. (g/10min)		ΘΡΑΥΣΗ (Bar)	M.F.I. (g/10min)
1	18,32	0,564	28	16,27	0,7	1	18,2	0,81	28	15,85	0,6
2	16,08	0,589	29	14,88	0,7	2	15,98	0,53	29	15,63	0,589
3	13,2	0,551	30	16,58	0,663	3	15,53	0,665	30	14,37	0,693
4	15,75	0,589	31	14,97	0,663	4	15,75	0,55	31	15,98	0,58
5	12,74	0,715	32	17,73	0,6	5	19	0,615	32	16,32	0,774
6	14,26	0,693	33	16,86	0,6	6	15,53	0,665	33	16,96	0,663
7	15,89	0,715	34	16,24	0,66	7	17,74	0,743	34	15,8	0,6
8	15,67	0,6	35	11,15	0,686	8	19,2	0,564	35	15,84	0,589
9	15,2	0,6	36	16,24	0,67	9	18,3	0,564	36	16,14	0,671
10	16,44	0,593	37	15,97	0,668	10	13,82	0,6	37	15,48	0,6
11	18,31	0,65	38	16,05	0,671	11	15,45	0,671	38	15,89	0,6
12	20,18	0,697	39	16,22	0,703	12	16,56	0,663	39	16,06	0,564
13	15,28	0,743	40	16,49	0,671	13	15,98	0,715	40	15,69	0,702
14	18,72	0,852	41	11,15	0,67	14	14,47	0,702	41	16,77	0,734
15	15,52	0,665	42	17,23	0,684	15	16,96	0,5	42	16,19	0,55
16	18,11	0,615	43	17,37	0,671	16	18,7	0,743	43	16,53	0,66
17	17,91	0,725	44	17,31	0,673	17	17,9	0,725	44	15,48	0,686
18	16,72	0,66	45	16,49	0,7	18	17,6	0,686	45	16,14	0,7
19	15,41	0,66	46	15,51	0,68	19	16,14	0,671	46	16,82	0,703
20	16,63	0,81	47	21,38	0,734	20	14,47	0,702	47	17	0,668
21	14,97	0,8	48	16,88	0,682	21	15,67	0,6	48	17,6	0,551
22	17,47	0,7	49	15,76	0,55	22	15,65	0,67	49	18,8	0,725
23	14,82	0,71	50	16,82	0,5	23	16,53	0,663	50	15,48	0,743
24	10,87	0,743	51	15,89	0,53	24	16,32	0,702	51	13,1	0,555
25	15,78	0,74	52	15,69	0,74	25	16,66	0,593	52	15,76	0,78
26	17,73	0,743	53	16,06	0,743	26	15,5	0,671	53	15,56	0,7
27	15,63	0,702	54	13,82	0,715	27	17,15	0,684	54	15,78	0,663
			55	13,1	0,686				55	18,3	0,671

Πίνακας 6.2. Δεδομένα πειραματικών δοκιμών θραύσης – M.F.I. του σωλήνα (Α).

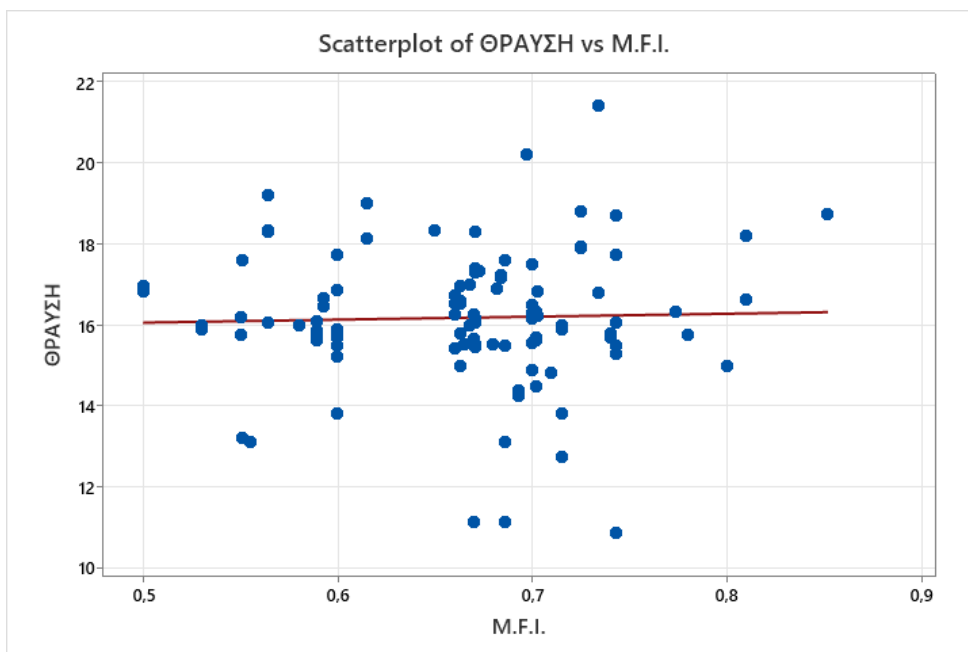
6.1.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ

Για τη δημιουργία του διαγράμματος διασποράς χρησιμοποιήθηκαν τα πειραματικά δεδομένα του Πίνακα 6.3.

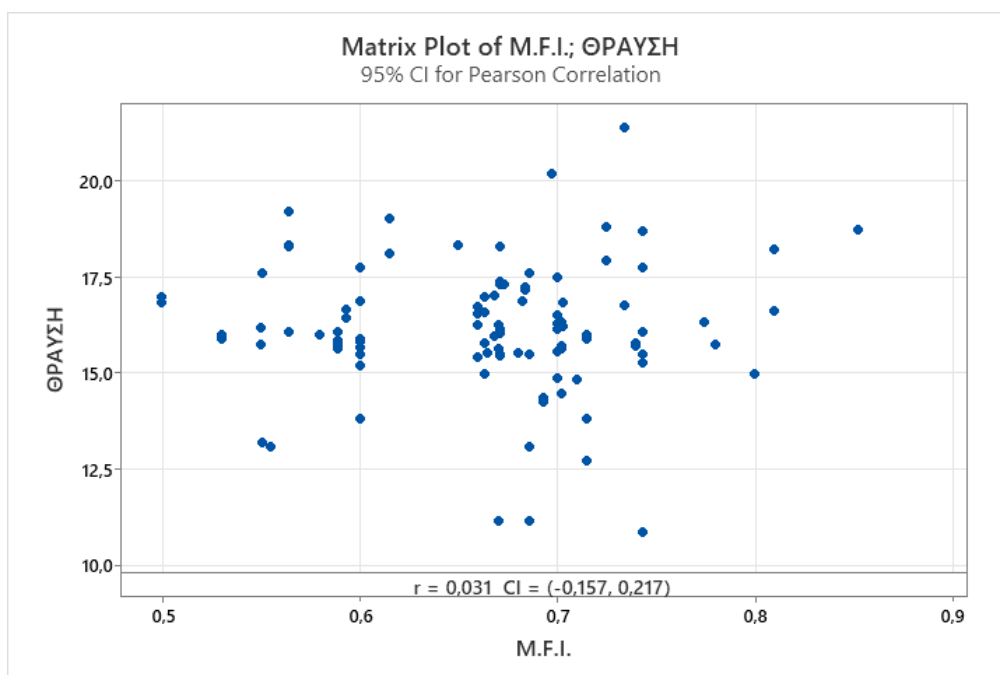
α/α	ΘΡΑΥΣΗ (Bar)	M.F.I. (g/10min)	α/α	ΘΡΑΥΣΗ (Bar)	M.F.I. (g/10min)	α/α	ΘΡΑΥΣΗ (Bar)	M.F.I. (g/10min)	α/α	ΘΡΑΥΣΗ (Bar)	M.F.I. (g/10min)
1	18,32	0,564	28	16,27	0,7	56	18,2	0,81	83	15,85	0,6
2	16,08	0,589	29	14,88	0,7	57	15,98	0,53	84	15,63	0,589
3	13,20	0,551	30	16,58	0,663	58	15,53	0,665	85	14,37	0,693
4	15,75	0,589	31	14,97	0,663	59	15,75	0,55	86	15,98	0,58
5	12,74	0,715	32	17,73	0,6	60	19	0,615	87	16,32	0,774
6	14,26	0,693	33	16,86	0,6	61	15,53	0,665	88	16,96	0,663
7	15,89	0,715	34	16,24	0,66	62	17,74	0,743	89	15,8	0,6
8	15,67	0,600	35	11,15	0,686	63	19,2	0,564	90	15,84	0,589
9	15,20	0,600	36	16,24	0,67	64	18,3	0,564	91	16,14	0,671
10	16,44	0,593	37	15,97	0,668	65	13,82	0,6	92	15,48	0,6
11	18,31	0,650	38	16,05	0,671	66	15,45	0,671	93	15,89	0,6
12	20,18	0,697	39	16,22	0,703	67	16,56	0,663	94	16,06	0,564
13	15,28	0,743	40	17,3	0,671	68	15,98	0,715	95	15,69	0,702
14	18,72	0,852	41	11,15	0,67	69	14,47	0,702	96	16,77	0,734
15	15,52	0,665	42	17,23	0,684	70	16,96	0,5	97	16,19	0,55
16	18,11	0,615	43	17,37	0,671	71	18,7	0,743	98	16,53	0,66
17	17,91	0,725	44	17,31	0,673	72	17,9	0,725	99	15,48	0,686
18	16,72	0,660	45	16,49	0,7	73	17,6	0,686	100	16,14	0,7
19	15,41	0,660	46	15,51	0,68	74	16,14	0,671	101	16,82	0,703
20	16,63	0,810	47	21,38	0,734	75	14,47	0,702	102	17	0,668
21	14,97	0,800	48	16,88	0,682	76	15,67	0,6	103	17,6	0,551
22	17,47	0,700	49	15,76	0,55	77	15,65	0,67	104	18,8	0,725
23	14,82	0,710	50	16,82	0,5	78	16,53	0,663	105	15,48	0,743
24	10,87	0,743	51	15,89	0,53	79	16,32	0,702	106	13,1	0,555
25	15,78	0,740	52	15,69	0,74	80	16,66	0,593	107	15,76	0,78
26	17,73	0,743	53	16,06	0,743	81	15,5	0,671	108	15,56	0,7
27	15,63	0,702	54	13,82	0,715	82	17,15	0,684	109	15,78	0,663
			55	13,1	0,686				110	18,3	0,671

Πίνακας 6.3. Πειραματικά δεδομένα για το διάγραμμα διασποράς θραύσης – M.F.I. του σωλήνα (Α).

Προκύπτουν τα παρακάτω διαγράμματα μέσω χρήσης του στατιστικού προγράμματος Minitab.



Σχήμα 6.1. Διάγραμμα διασποράς θραύσης – M.F.I. του σωλήνα (Α).



Σχήμα 6.2. Διάγραμμα διασποράς θραύσης – M.F.I. με τον συντελεστή συσχέτισης του σωλήνα (Α).

Προκύπτουν τα παρακάτω δεδομένα από το στατιστικό πρόγραμμα Minitab:

Method					
Correlation type		Pearson			
Number of rows used		110			
ρ : pairwise Pearson correlation					
Correlations					
		M.F.I.			
ΘPAYΣH		0,031			
Pairwise Pearson Correlations					
Sample 1	Sample 2	N	Correlation	95% CI for ρ	P-Value
ΘPAYΣH	M.F.I.	110	0.031	(-0.157; 0.217)	0.750

Από τα δεδομένα προκύπτει ότι ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης του Pearson ισούται με: $r = 0,031$. Αυτό υποδηλώνει μία πολύ μικρή θετική σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών (Θραύση – M.F.I.). Όμως, η κλίση είναι τόσο μικρή που μπορεί να θεωρηθεί ότι δεν υπάρχει πρακτικά συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών. Δηλαδή, είτε αυξηθεί είτε μειωθεί η τιμή του M.F.I., δεν επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό την αντοχή του σωλήνα. Επομένως, οι δύο μεταβλητές είναι ουσιαστικά ανεξάρτητες ή μία από την άλλη στην παρούσα περίπτωση.

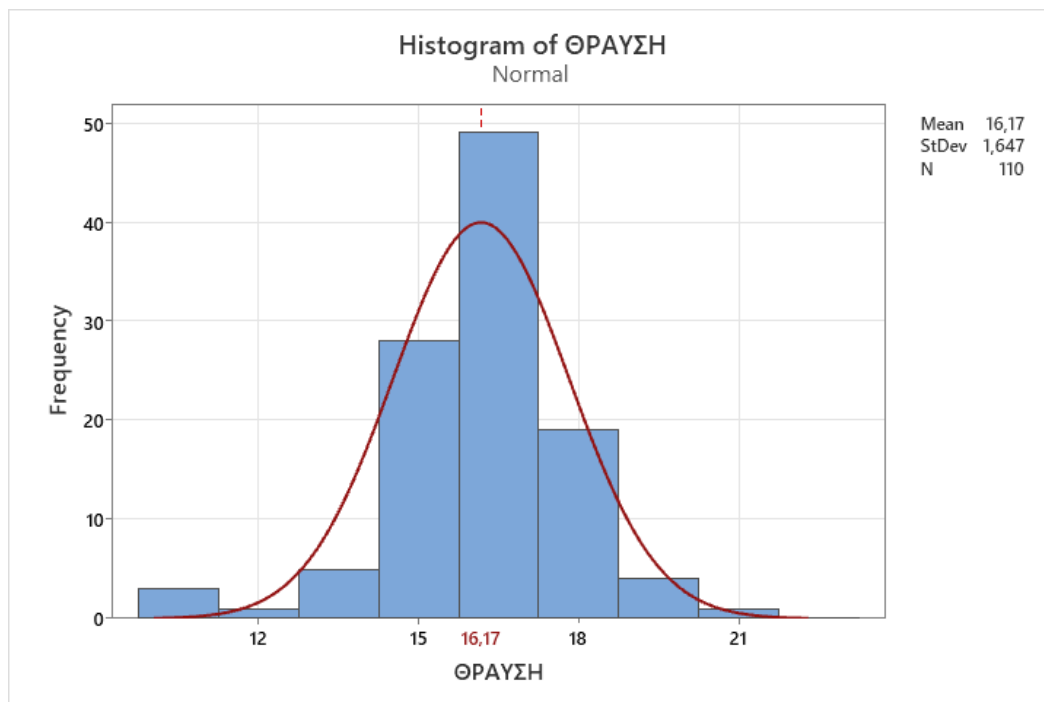
6.1.2 ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ

Για τη δημιουργία του ιστογράμματος της θραύσης χρησιμοποιήθηκαν τα πειραματικά δεδομένα του Πίνακα 6.4.

α/α	ΘΡΑΥΣΗ (Bar)	α/α	ΘΡΑΥΣΗ (Bar)	α/α	ΘΡΑΥΣΗ (Bar)	α/α	ΘΡΑΥΣΗ (Bar)
1	18,32	28	16,27	56	18,2	83	15,85
2	16,08	29	14,88	57	15,98	84	15,63
3	13,20	30	16,58	58	15,53	85	14,37
4	15,75	31	14,97	59	15,75	86	15,98
5	12,74	32	17,73	60	19	87	16,32
6	14,26	33	16,86	61	15,53	88	16,96
7	15,89	34	16,24	62	17,74	89	15,8
8	15,67	35	11,15	63	19,2	90	15,84
9	15,20	36	16,24	64	18,3	91	16,14
10	16,44	37	15,97	65	13,82	92	15,48
11	18,31	38	16,05	66	15,45	93	15,89
12	20,18	39	16,22	67	16,56	94	16,06
13	15,28	40	17,3	68	15,98	95	15,69
14	18,72	41	11,15	69	14,47	96	16,77
15	15,52	42	17,23	70	16,96	97	16,19
16	18,11	43	17,37	71	18,7	98	16,53
17	17,91	44	17,31	72	17,9	99	15,48
18	16,72	45	16,49	73	17,6	100	16,14
19	15,41	46	15,51	74	16,14	101	16,82
20	16,63	47	21,38	75	14,47	102	17
21	14,97	48	16,88	76	15,67	103	17,6
22	17,47	49	15,76	77	15,65	104	18,8
23	14,82	50	16,82	78	16,53	105	15,48
24	10,87	51	15,89	79	16,32	106	13,1
25	15,78	52	15,69	80	16,66	107	15,76
26	17,73	53	16,06	81	15,5	108	15,56
27	15,63	54	13,82	82	17,15	109	15,78
		55	13,10			110	18,3

Πίνακας 6.4. Πειραματικά δεδομένα ιστογράμματος θραύσης του σωλήνα (Α).

Προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα μέσω χρήσης του στατιστικού προγράμματος Minitab.



Σχήμα 6.3. Ιστόγραμμα θραύσης του σωλήνα (Α).

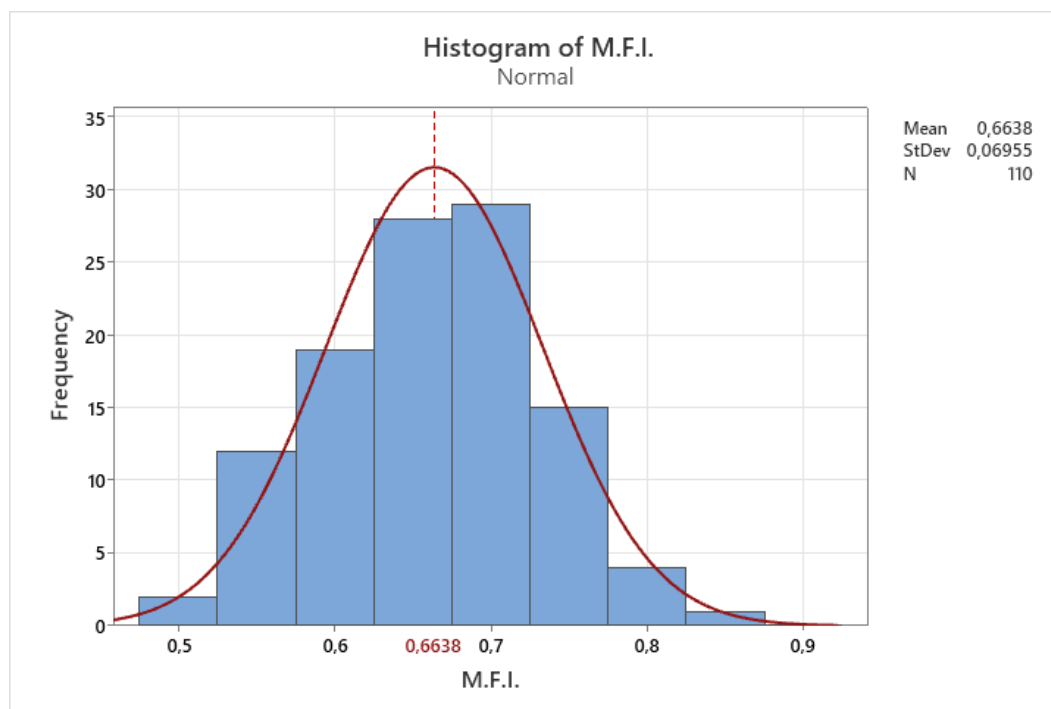
Το ιστόγραμμα της θραύσης είναι φυσιολογικό και η μορφή καμπάνας υποδηλώνει ότι η διαδικασία βαίνει φυσιολογικά.

Για τη δημιουργία του ιστογράμματος του M.F.I. χρησιμοποιήθηκαν τα πειραματικά δεδομένα του Πίνακα 6.5.

α/α	M.F.I. (g/10min)	α/α	M.F.I. (g/10min)	α/α	M.F.I. (g/10min)	α/α	M.F.I. (g/10min)
1	0,564	28	0,7	56	0,81	83	0,6
2	0,589	29	0,7	57	0,53	84	0,589
3	0,551	30	0,663	58	0,665	85	0,693
4	0,589	31	0,663	59	0,55	86	0,58
5	0,715	32	0,6	60	0,615	87	0,774
6	0,693	33	0,6	61	0,665	88	0,663
7	0,715	34	0,66	62	0,743	89	0,6
8	0,600	35	0,686	63	0,564	90	0,589
9	0,600	36	0,67	64	0,564	91	0,671
10	0,593	37	0,668	65	0,6	92	0,6
11	0,650	38	0,671	66	0,671	93	0,6
12	0,697	39	0,703	67	0,663	94	0,564
13	0,743	40	0,671	68	0,715	95	0,702
14	0,852	41	0,67	69	0,702	96	0,734
15	0,665	42	0,684	70	0,5	97	0,55
16	0,615	43	0,671	71	0,743	98	0,66
17	0,725	44	0,673	72	0,725	99	0,686
18	0,660	45	0,7	73	0,686	100	0,7
19	0,660	46	0,68	74	0,671	101	0,703
20	0,810	47	0,734	75	0,702	102	0,668
21	0,800	48	0,682	76	0,6	103	0,551
22	0,700	49	0,55	77	0,67	104	0,725
23	0,710	50	0,5	78	0,663	105	0,743
24	0,743	51	0,53	79	0,702	106	0,555
25	0,740	52	0,74	80	0,593	107	0,78
26	0,743	53	0,743	81	0,671	108	0,7
27	0,702	54	0,715	82	0,684	109	0,663
		55	0,686			110	0,671

Πίνακας 6.5. Πειραματικά δεδομένα ιστογράμματος M.F.I. του σωλήνα (Α).

Προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα μέσω χρήσης του στατιστικού προγράμματος Minitab.



Σχήμα 6.4. Ιστόγραμμα M.F.I. του σωλήνα (Α).

Το ιστόγραμμα του M.F.I. είναι φυσιολογικό και η μορφή καμπάνας υποδηλώνει ότι η διαδικασία βαίνει φυσιολογικά.

6.1.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ PARETO

Για τη δημιουργία του διαγράμματος Pareto χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του παρακάτω πίνακα (Πίνακας 6.6).

Κωδικός προβλήματος	Πρόβλημα	Συχνότητα
A	Κακή επιφάνεια	96
B	Κόψιμο σωλήνα	48
C	Πρόβλημα τυπωτικού	192
D	Σχισίματα στο σωλήνα	40
E	Πρόβλημα στη διάμετρο	34
F	Τρύπα	28
G	Εσωτερική γραμμή	24
H	Έλλειψη υλικού	22
I	Μικρο-εγκοπές	10
J	Βρωμιά	32
K	Πρόβλημα στο σύστημα τροφοδοσίας	20
L	Άλλα	4

Πίνακας 6.6. Κατηγοριοποίηση προβλημάτων του σωλήνα (Α).

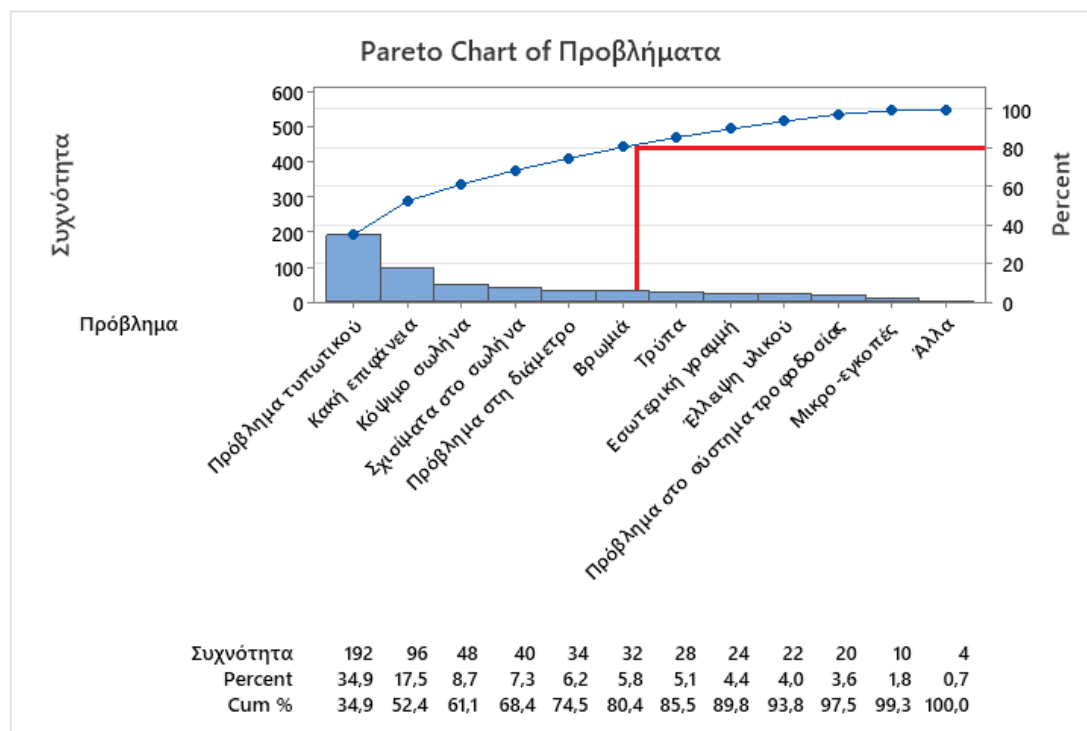
Ο τροποποιημένος πίνακας, του οποίου τα στοιχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα για την κατασκευή του διαγράμματος Pareto είναι ο πίνακας 6.6α.

Διάταξη προβλημάτων ως προς τη συχνότητα	Συχνότητα προβλημάτων	Ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα προβλημάτων	Αθροιστικό ποσοστό
C	192	34,9	192	34,9
A	96	17,45	288	52,36
B	48	8,72	336	61,09
D	40	7,27	376	68,36
E	34	6,18	410	74,54
J	32	5,81	442	80,36
F	28	5,09	470	85,45
G	24	4,36	494	89,81
H	22	4,00	516	93,81
K	20	3,63	536	97,45

I	10	1,81	546	99,27
L	4	0,72	550	100
Σύνολο	550	100		

Πίνακας 6.6α. Τελικά δεδομένα ανάλυσης Pareto για τον σωλήνα (Α).

Προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα μέσω χρήσης του στατιστικού προγράμματος Minitab.



Σχήμα 6.5. Διάγραμμα Pareto προβλημάτων του σωλήνα (Α).

Όπως γίνεται αντιληπτό, οι κατηγορίες προβλημάτων που θα πρέπει να δοθεί μεγαλύτερη βαρύτητα, ώστε η Β.Ι.Π.Α.Σ. να βελτιώσει την ποιότητα του σωλήνα είναι οι κατηγορίες C, A, B, D, E, J που αφορούν το πρόβλημα τυπωτικού, την κακή επιφάνεια, το κόψιμο του σωλήνα, τα σχισίματα στο σωλήνα, το πρόβλημα στη διάμετρο και την βρωμιά αντίστοιχα και καταλαμβάνουν το 80,4% των συνολικών προβλημάτων.

6.1.4 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

Για τη δημιουργία του διαγράμματος ελέγχου θραύσης χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του Πίνακα 6.7.

ΘΡΑΥΣΗ (Bar)												
ΜΗΝΑΣ											ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΕΥΡΟΣ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	18,32	16,08	13,2	15,75	12,74	18,2	15,98	15,53	15,75	19,0	16,055	6,26
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	14,26	15,89	15,67	15,2	16,44	15,53	17,74	19,2	18,3	13,82	16,205	5,38
ΜΑΡΤΙΟΣ	18,31	20,18	15,28	18,72	15,52	15,45	16,56	15,98	14,47	16,96	16,743	5,71
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	18,11	17,91	16,72	15,41	16,63	18,7	17,9	17,6	16,14	14,47	16,959	4,23
ΜΑΙΟΣ	14,97	17,47	14,82	10,87	15,78	15,67	15,65	16,53	16,32	16,66	15,474	6,6
ΙΟΥΝΙΟΣ	17,73	15,63	16,27	14,88	16,58	15,5	17,15	15,85	15,63	14,37	15,959	3,36
ΙΟΥΛΙΟΣ	16,86	15,7	20,8	16,1	17,57	15,98	16,32	16,96	15,8	15,84	16,793	5,1
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	16,24	15,97	16,05	16,22	17,30	16,14	15,48	15,89	16,06	15,69	16,104	1,82
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	11,15	17,23	17,37	17,31	16,49	16,77	16,19	16,53	15,48	16,14	16,066	6,22
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	15,51	21,38	16,88	15,76	16,82	16,82	17	17,6	18,8	15,48	17,205	5,9
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	15,89	15,69	16,06	13,82	13,1	13,1	15,76	15,56	15,78	18,3	15,306	5,2
											16,261	5,071

Πίνακας 6.7. Πειραματικά δεδομένα διαγράμματος ελέγχου θραύσης του σωλήνα (Α).

Σύμφωνα με τον Γραφανάκη Δ. (2008), το καταλληλότερο διάγραμμα για τον έλεγχο της ποιότητας μίας διεργασίας είναι το διάγραμμα ελέγχου, καθώς αποτελεί μια γραφική μέθοδο αναγνώρισης για το αν μια διεργασία βρίσκεται υπό στατιστικό έλεγχο ή όχι. Συγκεκριμένα θα χρησιμοποιηθεί διάγραμμα ελέγχου μεταβλητών, καθώς το χαρακτηριστικό που μας ενδιαφέρει είναι συνεχές και μετρήσιμο, δηλαδή η θραύση του πολυμερικού σωλήνα. Επομένως, θα χρησιμοποιηθεί διάγραμμα ελέγχου μέσου όρου – εύρους $\bar{X}-R$, εφόσον το μέγεθος (n) της υποομάδας (δείγματος) είναι $n > 1$ και $n \leq 10$.

Αρχικά υπολογίζω τον μέσο όρο (μέση τιμή) της εκάστοτε υποομάδας και στη συνέχεια υπολογίζω τη μέση τιμή των μέσων τιμών και προκύπτει ότι $\bar{\bar{X}} = 16,261$. Μετά υπολογίζω το εύρος της εκάστοτε υποομάδας και εν συνεχεία, βρίσκω την μέση τιμή του εύρους των υποομάδων και προκύπτει ότι $\bar{R} = 5,071$.

Μέσω χρήσης του παρακάτω πίνακα (Πίνακας 6.8α) βρίσκονται οι συντελεστές που αντιστοιχούν στην υποομάδα με $n = 10$.

n	A	A ₂	A ₃	d ₂	d ₃	c ₄	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆
2	2.1213	1.88	2.6587	1.1284	0.8525	0.7979	0.	3.6859	0.	3.2665	0.	3.2665	0.	2.6063
3	1.7321	1.0233	1.9544	1.6926	0.8884	0.8662	0.	4.3577	0.	2.5746	0.	2.5682	0.	2.276
4	1.5	0.7286	1.6281	2.0538	0.8798	0.9213	0.	4.6982	0.	2.2821	0.	2.266	0.	2.0877
5	1.3416	0.5768	1.4273	2.3259	0.8641	0.94	0.	4.9182	0.	2.1145	0.	2.089	0.	1.9636
6	1.2247	0.4932	1.2871	2.5344	0.848	0.9515	0.	5.0785	0.	2.0038	0.0304	1.9696	0.0289	1.8742
7	1.1339	0.4193	1.1819	2.7044	0.8332	0.9594	0.2047	5.204	0.0757	1.9243	0.1177	1.8823	0.1129	1.8059
8	1.0607	0.3725	1.0991	2.8472	0.8198	0.965	0.3877	5.3067	0.1362	1.8638	0.1851	1.8149	0.1786	1.7514
9	1.	0.3367	1.0317	2.97	0.8078	0.9693	0.5465	5.3935	0.184	1.816	0.2391	1.7609	0.2318	1.7068
10	0.9487	0.3083	0.9754	3.0775	0.7971	0.9727	0.6664	5.4687	0.223	1.777	0.2837	1.7163	0.2759	1.6694
11	0.9045	0.2851	0.9274	3.1729	0.7873	0.9754	0.8109	5.5348	0.2556	1.7444	0.3213	1.6787	0.3134	1.6373
12	0.866	0.2658	0.8859	3.2585	0.7785	0.9776	0.923	5.5939	0.2833	1.7167	0.3535	1.6465	0.3456	1.6095
13	0.8321	0.2494	0.8495	3.336	0.7704	0.9794	1.0247	5.6472	0.3072	1.6928	0.3816	1.6184	0.3737	1.5851
14	0.8018	0.2354	0.8173	3.4068	0.763	0.981	1.1177	5.6958	0.3281	1.6719	0.4062	1.5938	0.3985	1.5634
15	0.7746	0.2231	0.7885	3.4718	0.7562	0.9823	1.2031	5.7404	0.3465	1.6535	0.4282	1.5718	0.4206	1.544
16	0.75	0.2123	0.7626	3.532	0.7499	0.9835	1.2823	5.7817	0.363	1.637	0.4479	1.5521	0.4405	1.5265
17	0.7276	0.2028	0.7391	3.5879	0.7441	0.9845	1.3557	5.82	0.3779	1.6221	0.4657	1.5343	0.4585	1.5106
18	0.7071	0.1943	0.7176	3.6401	0.7386	0.9854	1.4243	5.8558	0.3913	1.6087	0.4818	1.5182	0.4748	1.496
19	0.6882	0.1866	0.6979	3.689	0.7335	0.9862	1.4885	5.8894	0.4035	1.5965	0.4966	1.5034	0.4898	1.4826
20	0.6708	0.1796	0.6797	3.7349	0.7287	0.9869	1.5489	5.921	0.4147	1.5853	0.5102	1.4898	0.5036	1.4703
21	0.6547	0.1733	0.6629	3.7783	0.7242	0.9876	1.6058	5.9509	0.425	1.575	0.5228	1.4772	0.5163	1.4589
22	0.6396	0.1675	0.6473	3.8194	0.7199	0.9882	1.6596	5.9791	0.4345	1.5655	0.5344	1.4656	0.5281	1.4483
23	0.6255	0.1621	0.6327	3.8583	0.7159	0.9887	1.7107	6.006	0.4434	1.5566	0.5452	1.4548	0.5391	1.4383
24	0.6124	0.1572	0.6191	3.8953	0.7121	0.9892	1.7591	6.0316	0.4516	1.5484	0.5553	1.4447	0.5493	1.4291
25	0.6	0.1526	0.6063	3.9306	0.7084	0.9896	1.8053	6.056	0.4593	1.5407	0.5648	1.4352	0.5589	1.4203
26	0.5883	0.1484	0.5943	3.9643	0.705	0.9901	1.8494	6.0793	0.4665	1.5335	0.5737	1.4263	0.568	1.4121
27	0.5774	0.1445	0.5829	3.9965	0.7017	0.9904	1.8914	6.1016	0.4733	1.5267	0.582	1.418	0.5765	1.4044
28	0.5669	0.1408	0.5722	4.0274	0.6986	0.9908	1.9318	6.1231	0.4797	1.5203	0.5899	1.4101	0.5845	1.3971
29	0.5571	0.1373	0.5621	4.057	0.6955	0.9911	1.9704	6.1437	0.4857	1.5143	0.5974	1.4026	0.592	1.3902
30	0.5477	0.1341	0.5525	4.0855	0.6927	0.9914	2.0075	6.1635	0.4914	1.5086	0.6044	1.3956	0.5992	1.3836

Πίνακας 6.8α. Συντελεστές συναρτήσεων του μεγέθους υποομάδας.

Πηγή: Γραφανάκης Α. (2008), Βασικά Εργαλεία και Μέθοδοι για τον Έλεγχο της Ποιότητας

Διάγραμμα μέσου όρου:

Για να βρω το άνω όριο ελέγχου (UCL) χρησιμοποιώ τον τύπο:

$$(\bar{\bar{X}}) + A_2 \cdot (\bar{R}) \quad (6.1)$$

όπου για $n = 10$:

$$A_2 = 0,3083 \quad (6.2)$$

Άρα, από τις εξισώσεις (6.1) και (6.2) προκύπτει ότι:

$$UCL = 16,261 + 0,3083 \cdot 5,071 = 17.824 \quad (6.3)$$

Για το κάτω όριο ελέγχου (LCL) χρησιμοποιώ τον τύπο:

$$(\bar{\bar{X}}) - A_2 \cdot (\bar{R}) \quad (6.4)$$

Άρα, από την (2) και (4) προκύπτει ότι:

$$LCL = 16,261 - 0,3083 \cdot 5,071 = 14,698 \quad (6.5)$$

Η κεντρική γραμμή (CL) προκύπτει από τον τύπο:

$$CL = \bar{\bar{X}} = 16,261 \quad (6.6)$$

Διάγραμμα εύρους:

Για να βρω το άνω όριο ελέγχου (UCL) χρησιμοποιώ τον τύπο:

$$D_4 \cdot \bar{R} \quad (6.7)$$

όπου για $n = 10$:

$$D_4 = 1,777 \quad (6.8)$$

Άρα, από τις εξισώσεις (6.7) και (6.8) προκύπτει ότι:

$$UCL = 1,777 \cdot 5,071 = 9,011 \quad (6.9)$$

Για το κάτω όριο ελέγχου (LCL) χρησιμοποιώ τον τύπο:

$$D_3 \cdot \bar{R} \quad (6.10)$$

όπου για $n = 10$:

$$D_3 = 0,223 \quad (6.11)$$

Άρα, από τις εξισώσεις (6.10) και (6.11) προκύπτει ότι:

$$LCL = 0,223 \cdot 5,071 = 1,131 \quad (6.12)$$

Η κεντρική γραμμή (CL) προκύπτει από τον τύπο:

$$CL = \bar{R} = 5,071 \quad (6.13)$$

Για να είναι μία διεργασία υπό στατιστικό έλεγχο πρέπει ο δείκτης ικανότητας διεργασίας C_{pl} να είναι μεγαλύτερος ή ίσος της μονάδας. Επομένως, βρίσκω ότι:

$$\text{Για } n = 10 \rightarrow d_2 = 3,0775 \quad (6.14\alpha)$$

και

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{5,071}{3,0775} = 1,6477 \quad (6.14\beta)$$

Άρα,

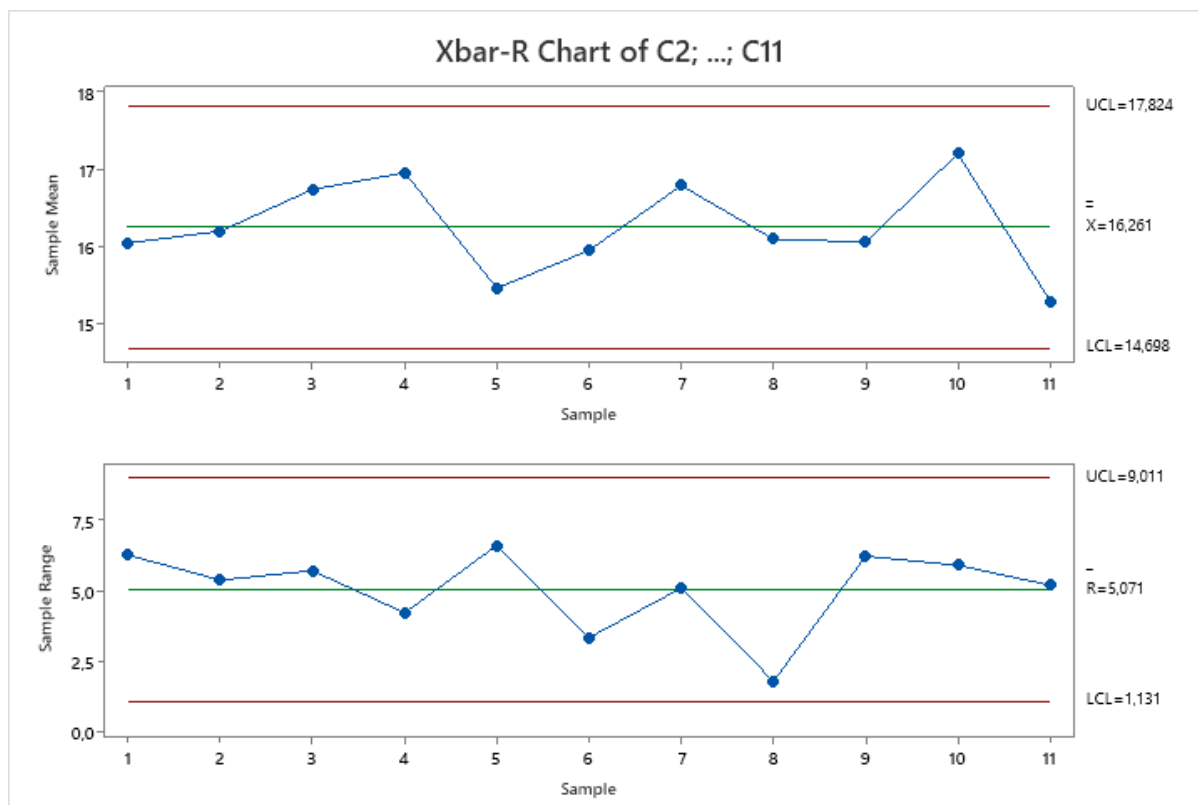
$$C_{pl} = \frac{\bar{\bar{X}} - LSL}{3 \cdot \hat{\sigma}} = \frac{16,261 - 10,6}{4,9431} = 1,145 \quad (6.15)$$

Εφόσον

$$C_{pl} = 1,145 > 1 \quad (6.16)$$

Η διεργασία είναι ικανή, αναφορικά με τις μετρήσεις αυτής της ιδιότητας. Ωστόσο, η διεργασία επιδέχεται κάποια βελτίωση, παρ' ότι είναι σαφώς ικανή, καθώς στόχος είναι η συνεχής βελτίωση.

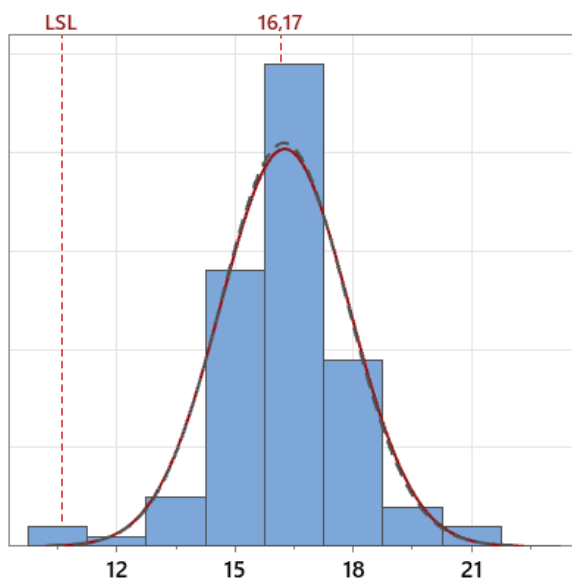
Προέκυψαν τα παρακάτω διαγράμματα μέσω χρήσης του στατιστικού προγράμματος Minitab.



Σχήμα 6.6. Διάγραμμα ελέγχου θραύσης του σωλήνα (Α).

Στο παρόν διάγραμμα ελέγχου προκύπτει ένα μοτίβο τάσης που μπορεί να οφείλεται στη σταδιακή φθορά του εξοπλισμού, της ποιότητας των πρώτων υλών ή την σταδιακή κόπωση των χειριστών. Επομένως, πρέπει να γίνει έλεγχος και συντήρηση των μηχανημάτων, έλεγχος της α' ύλης και να γίνουν προσλήψεις σε περίπτωση έλλειψης προσωπικού.

Στο παρακάτω σχήμα (**Σχήμα 6.7**) παρουσιάζεται η ικανότητα διεργασίας με το κατώτερο όριο (LSL) προδιαγραφών. Όπως φαίνεται στο σχήμα, η διεργασία βρίσκεται εντός ορίων προδιαγραφών και άρα είναι ικανή να παράγει προϊόντα εντός προδιαγραφών.



Σχήμα 6.7. Ικανότητα διεργασίας με το αντίστοιχο όριο προδιαγραφών του σωλήνα (Α).

Πηγή: Minitab, LLC. (2021). Minitab. Retrieved from <https://www.minitab.com>

Για τη δημιουργία του διαγράμματος ελέγχου του Μ.Φ.Ι. χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω πειραματικά δεδομένα του Πίνακα 6.9.

M.F.I. (g/10min)												
ΜΗΝΑΣ											ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΕΥΡΟΣ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	0,564	0,589	0,551	0,589	0,715	0,81	0,53	0,665	0,55	0,615	0,6178	0,28
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	0,693	0,715	0,6	0,6	0,593	0,665	0,743	0,564	0,564	0,6	0,6337	0,179
ΜΑΡΤΙΟΣ	0,65	0,697	0,743	0,852	0,665	0,671	0,663	0,715	0,702	0,5	0,6858	0,352
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	0,615	0,725	0,66	0,66	0,81	0,743	0,725	0,686	0,671	0,702	0,6997	0,195
ΜΑΙΟΣ	0,8	0,7	0,71	0,743	0,74	0,6	0,67	0,663	0,702	0,593	0,6921	0,207
ΙΟΥΝΙΟΣ	0,743	0,702	0,7	0,7	0,663	0,671	0,684	0,6	0,589	0,693	0,6745	0,154
ΙΟΥΛΙΟΣ	0,663	0,6	0,6	0,66	0,686	0,58	0,774	0,663	0,6	0,589	0,6415	0,194
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	0,67	0,668	0,671	0,703	0,671	0,671	0,6	0,6	0,564	0,702	0,652	0,139
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	0,67	0,684	0,671	0,673	0,7	0,734	0,55	0,66	0,686	0,7	0,6728	0,184
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	0,68	0,734	0,682	0,55	0,5	0,703	0,668	0,551	0,725	0,743	0,6536	0,243
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	0,53	0,74	0,743	0,715	0,686	0,555	0,78	0,7	0,663	0,671	0,6783	0,25
											0,6638	0,2161

Πίνακας 6.9. Πειραματικά δεδομένα διαγράμματος ελέγχου Μ.Φ.Ι. του σωλήνα (Α).

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, σύμφωνα με τον Γραφανάκη Δ. (2008), το καταλληλότερο διάγραμμα για τον έλεγχο της ποιότητας μίας διεργασίας είναι το διάγραμμα ελέγχου, καθώς αποτελεί μια γραφική μέθοδο αναγνώρισης για το αν μια διεργασία βρίσκεται υπό στατιστικό έλεγχο ή όχι. Συγκεκριμένα θα χρησιμοποιηθεί διάγραμμα ελέγχου μεταβλητών, καθώς το χαρακτηριστικό που μας ενδιαφέρει είναι συνεχές και μετρήσιμο, δηλαδή η ροή του πολυμερικού σωλήνα. Επομένως, θα χρησιμοποιηθεί διάγραμμα ελέγχου μέσου όρου – εύρους $\bar{X}-R$, εφόσον το μέγεθος (n) της υποομάδας (δείγματος) είναι $n > 1$ και $n \leq 10$.

Αρχικά υπολογίζω τον μέσο όρο (μέση τιμή) της εκάστοτε υποομάδας και στη συνέχεια υπολογίζω τη μέση τιμή των μέσων τιμών και προκύπτει ότι $\bar{\bar{X}} = 0,6638$. Μετά υπολογίζω το εύρος της εκάστοτε υποομάδας και εν συνεχεία, βρίσκω την μέση τιμή του εύρους των υποομάδων και προκύπτει ότι $\bar{R} = 0,2161$.

Μέσω χρήσης του παραπάνω πίνακα (**Πίνακας 6.8α**) βρίσκονται οι συντελεστές που αντιστοιχούν στην υποομάδα με $n = 10$ και προκύπτουν τα παρακάτω.

Διάγραμμα μέσου όρου:

Για να βρω το άνω όριο ελέγχου (UCL) χρησιμοποιώ τον τύπο:

$$(\bar{\bar{X}}) + A_2 \cdot (\bar{R}) \quad (6.1)$$

όπου για $n = 10$:

$$A_2 = 0,3083 \quad (6.2)$$

Άρα, από τις εξισώσεις (6.1) και (6.2) προκύπτει ότι:

$$UCL = 0,6638 + 0,3083 \cdot 0,2161 = 0,7304 \quad (6.17)$$

Για το κάτω όριο ελέγχου (LCL) χρησιμοποιώ τον τύπο:

$$(\bar{\bar{X}}) - A_2 \cdot (\bar{R}) \quad (6.4)$$

Άρα, από την (2) και (4) προκύπτει ότι:

$$LCL = 0,6638 - 0,3083 \cdot 0,2161 = 0,5972 \quad (6.18)$$

Η κεντρική γραμμή (CL) προκύπτει από τον τύπο:

$$CL = \bar{\bar{X}} = 0,6638 \quad (6.19)$$

Διάγραμμα εύρους:

Για να βρω το άνω όριο ελέγχου (UCL) χρησιμοποιώ τον τύπο:

$$D_4 \cdot \bar{R} \quad (6.7)$$

$$\text{όπου για } n = 10: \quad D_4 = 1,777 \quad (6.8)$$

Άρα, από τις (7) και (8) προκύπτει ότι:

$$UCL = 1,777 \cdot 0,2161 = 0,3840 \quad (6.20)$$

Για το κάτω όριο ελέγχου (LCL) χρησιμοποιώ τον τύπο:

$$D_3 \cdot \bar{R} \quad (6.10)$$

$$\text{όπου για } n = 10: \quad D_3 = 0,223 \quad (6.11)$$

Άρα, από τις (10) και (11) προκύπτει ότι:

$$LCL = 0,223 \cdot 0,2161 = 0,0482 \quad (6.21)$$

Η κεντρική γραμμή (CL) προκύπτει από τον τύπο:

$$CL = \bar{R} = 0,2161 \quad (6.22)$$

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, για να είναι μία διεργασία υπό στατιστικό έλεγχο πρέπει ο δείκτης ικανότητας διεργασίας C_p να είναι μεγαλύτερος ή ίσος της μονάδας. Επομένως, βρίσκω ότι:

$$\text{Για } n = 10 \rightarrow d_2 = 3,0775 \quad (6.14\alpha)$$

και

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{0,2161}{3,0775} = 0,0702 \quad (6.23)$$

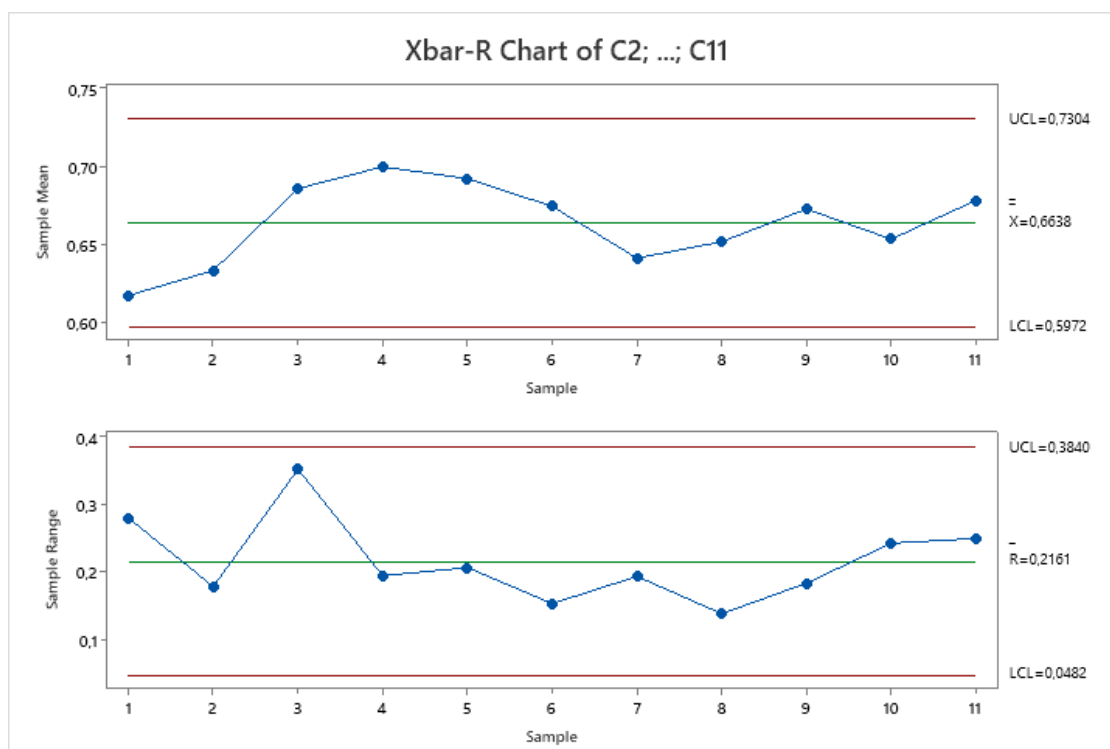
$$\text{Άρα,} \quad C_p = \frac{USL - LSL}{6 \cdot \hat{\sigma}} = \frac{1,4 - 0,2}{6 \cdot 0,0702} = 2,85 \quad (6.24)$$

Εφόσον

$$C_p = 2,85 > 1 \quad (6.25)$$

Η διεργασία είναι ικανή, αναφορικά με τις μετρήσεις αυτής της ιδιότητας.

Προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα ελέγχου M.F.I. μέσω χρήσης του στατιστικού προγράμματος Minitab.

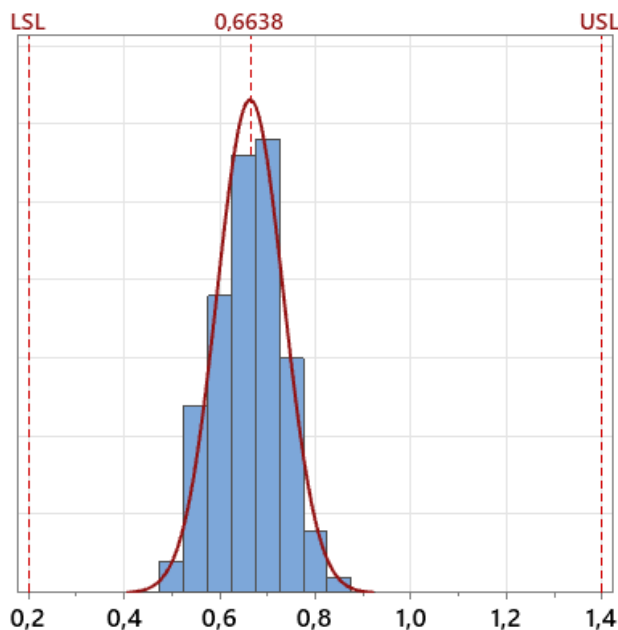


Σχήμα 6.8. Διάγραμμα ελέγχου M.F.I του σωλήνα (Α).

Στο παραπάνω διάγραμμα ελέγχου παρατηρείται πως έξι ή περισσότερα συνεχή σημεία βρίσκονται στην ίδια πλευρά της κεντρικής γραμμής και αυτή η μορφή μπορεί να προκύψει π.χ. όταν έχει γίνει μεταβολή της ρύθμισης του εξοπλισμού σε διαφορετικό επίπεδο από το αρχικό. Ακόμη, προκύπτει ένα μοτίβο τάσης που μπορεί να οφείλεται στη σταδιακή φθορά του εξοπλισμού, της ποιότητας των πρώτων υλών ή την σταδιακή κόπωση των χειριστών. Επομένως, πρέπει να γίνει έλεγχος και συντήρηση των μηχανημάτων, έλεγχος της α' ύλης και να γίνουν προσλήψεις σε περίπτωση έλλειψης προσωπικού.

Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 6.9) παρουσιάζεται η ικανότητα διεργασίας με το ανώτερο (USL) και το κατώτερο όριο (LSL) προδιαγραφών. Όπως φαίνεται στο σχήμα, η διεργασία

βρίσκεται εντός ορίων προδιαγραφών και άρα είναι ικανή να παράγει προϊόντα εντός προδιαγραφών.



Σχήμα 6.9. Ικανότητα διεργασίας με τα αντίστοιχα όρια προδιαγραφών του σωλήνα (Α).
Πηγή: Minitab, LLC. (2021). Minitab. Retrieved from <https://www.minitab.com>

6.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ HDPE: ΣΩΛΗΝΑΣ (Υ)ΔΡΕΥΣΗΣ

Ο σωλήνας (Υ) είναι σωλήνας ύδρευσης. Ανήκει στην κατηγορία των HDPE. Παρακάτω παρουσιάζονται τα πειραματικά δεδομένα, τα εργαλεία ποιότητας και τα αντίστοιχα αποτελέσματα που αφορούν αυτόν τον σωλήνα.

Στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 6.10, 6.11α, 6.11β) βρίσκονται τα πειραματικά δεδομένα βάσει των οποίων προέκυψαν τα διαγράμματα για τον έλεγχο της ποιότητας του σωλήνα.

ΣΩΛΗΝΑΣ (Υ)	
LOT: 232312070 ΜΗΧΑΝΗ 23	
ΕΝΑΡΞΗ: 07/12/2023 17:41 ΛΗΞΗ: 07/12/2023 21:59	
<u>ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ</u> Βάρος (kg): 710 d_{min} (mm): 63 d_{max} (mm): 63,4 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$ (mm): 3,8 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$ (mm): 4,3	07/12/2023
ΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ	OK
ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΗΜΑΝΣΗΣ	OK
ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΙΕΣΗ	165hr/80oC
ΠΙΕΣΗ ΔΟΚΙΜΗΣ (Bar)	6,93
ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗΣ (%)	1,7
M.F.I. (g/10min)	0,383
ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΣΤΗ ΘΡΑΥΣΗ (%)	412
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ	Βάρος: 716 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 3,84 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 4,15 d : 63,4
ΒΛΑΒΕΣ	
ΚΑΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΕΝΑΡΞΗ: 01/11/2023 21:10 ΛΗΞΗ: 01/11/2023 21:55	OK

Πίνακας 6.10. Μετρήσεις του σωλήνα (Υ).

α/α	ΕΤΟΣ 2023						
	ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ (%)	M.F.I. (g/10min)	ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΣΤΗ ΘΡΑΥΣΗ (%)		ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ (%)	M.F.I. (g/10min)	ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΣΤΗ ΘΡΑΥΣΗ (%)
1	1,7	0,383	412	23	1,2	0,313	1000
2	1,7	0,477	483	24	1,2	0,3	795
3	1,8	0,431	391	25	1,3	0,332	798
4	1,7	0,394	479	26	1,2	0,3	973
5	1,8	0,365	497	27	1,1	0,31	842
6	1,7	0,368	405	28	1,1	0,3	840
7	1,7	0,349	656	29	1,2	0,29	650
8	1,7	0,31	759	30	1,2	0,3	788
9	1,7	0,386	777	31	1,2	0,4	973
10	1,9	0,257	506	32	1,2	0,3	885
11	1,8	0,22	756	33	1,2	0,35	885
12	1,7	0,27	587	34	1,5	0,32	785
13	1,9	0,26	500	35	1,5	0,327	655
14	1,2	0,27	550	36	1,6	0,405	985
15	1,3	0,3	560	37	1,5	0,367	895
16	1,3	0,28	500	38	1,5	0,405	995
17	1,2	0,3	513	39	1,2	0,4	973
18	1,3	0,332	550	40	1,1	0,31	888
19	1,4	0,3	785	41	1,1	0,305	755
20	1,3	0,26	865	42	1,1	0,3	790
21	1,2	0,3	575	43	1,2	0,333	880
22	1,2	0,3	795	44			

Πίνακας 6.11α. Δεδομένα πειραματικών δοκιμών συρρίκνωσης – M.F.I. – επιμήκυνσης στη θραύση του σωλήνα (Y).

α/α	ΕΤΟΣ 2022						
	ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ (%)	M.F.I. (g/10min)	ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΣΤΗ ΘΡΑΥΣΗ (%)		ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ (%)	M.F.I. (g/10min)	ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΣΤΗ ΘΡΑΥΣΗ (%)
1	1,2	0,3	885	23	1,5	0,32	758
2	1,2	0,35	885	24	1,5	0,31	985
3	1,2	0,31	744	25	1,5	0,32	997
4	1,2	0,3	766	26	1,6	0,327	785
5	1,1	0,3	740	27	1,6	0,402	878
6	1,2	0,31	874	28	1,6	0,349	865
7	1,2	0,31	785	29	1,3	0,32	557
8	1,8	0,3	719	30	1,3	0,297	485
9	1,8	0,313	728	31	1,3	0,28	705
10	1,2	0,35	785	32	1,2	0,3	887
11	1,2	0,29	745	33	1,2	0,3	754
12	1,2	0,297	774	34	1,3	0,312	896
13	1,2	0,257	656	35	1,5	0,312	901
14	1,2	0,32	785	36	1,5	0,3	950
15	1,5	0,32	785	37	1,3	0,29	956
16	1,3	0,313	498	38	1,3	0,31	965
17	1,5	0,32	873	39	1,5	0,291	978
18	1,6	0,323	985	40	1,5	0,333	884
19	1,2	0,32	985	41	1,3	0,329	984
20	1,3	0,32	874	42	1,5	0,329	1000
21	1,2	0,323	785	43	1,5	0,3	697
22	1,2	0,32	966	44			

Πίνακας 6.11β. Δεδομένα πειραματικών δοκιμών συρρίκνωσης – M.F.I. – επιμήκυνσης στη θραύση του σωλήνα (Y).

6.2.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ

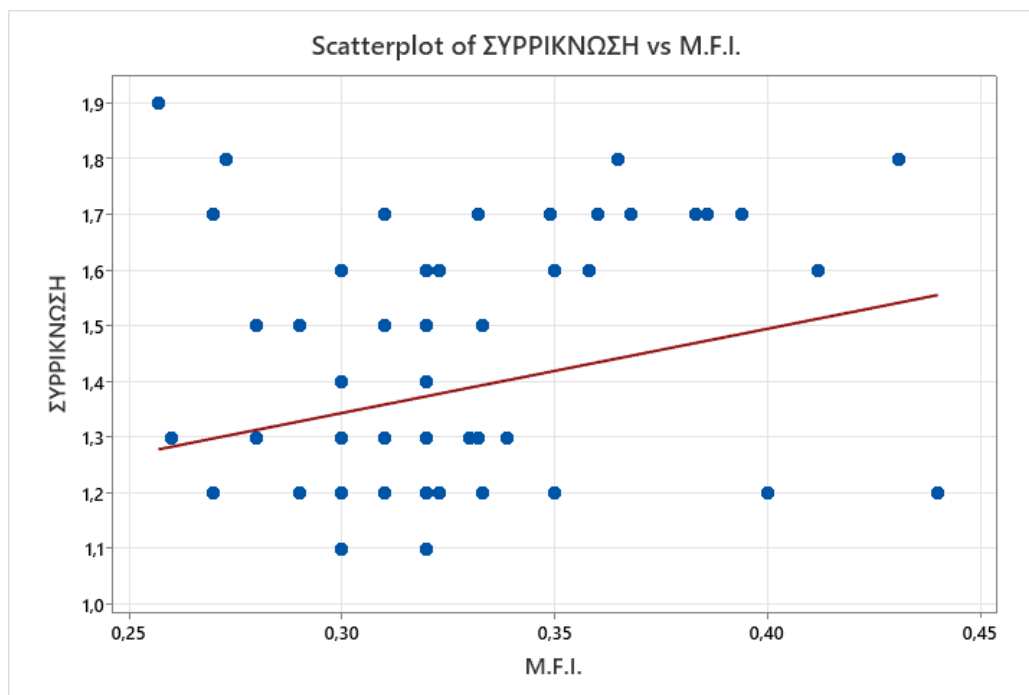
Για τη δημιουργία του διαγράμματος διασποράς της συρρίκνωσης με το M.F.I. χρησιμοποιήθηκαν τα πειραματικά δεδομένα του παρακάτω πίνακα (Πίνακας 6.12).

a/a	ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ (%)	M.F.I. (g/10min)	a/a	ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ (%)	M.F.I. (g/10min)
1	1,2	0,350	45	1,4	0,320
2	1,3	0,300	46	1,2	0,300
3	1,5	0,320	47	1,6	0,320
4	1,6	0,350	48	1,6	0,358
5	1,7	0,386	49	1,5	0,320
6	1,3	0,300	50	1,3	0,332
7	1,3	0,260	51	1,3	0,260
8	1,7	0,368	52	1,6	0,300
9	1,7	0,394	53	1,7	0,332
10	1,8	0,431	54	1,6	0,320
11	1,7	0,383	55	1,2	0,333
12	1,2	0,350	56	1,2	0,320
13	1,2	0,333	57	1,3	0,310
14	1,2	0,300	58	1,2	0,323
15	1,3	0,330	59	1,5	0,280
16	1,3	0,280	60	1,4	0,300
17	1,2	0,270	61	1,3	0,320
18	1,2	0,300	62	1,4	0,300
19	1,8	0,365	63	1,6	0,412
20	1,8	0,273	64	1,2	0,290
21	1,7	0,360	65	1,2	0,310
22	1,9	0,257	66	1,5	0,310
23	1,2	0,320	67	1,2	0,310
24	1,2	0,300	68	1,4	0,320
25	1,2	0,320	69	1,3	0,300
26	1,5	0,320	70	1,2	0,290
27	1,2	0,300	71	1,2	0,290
28	1,7	0,310	72	1,1	0,300
29	1,1	0,300	73	1,3	0,300
30	1,7	0,270	74	1,3	0,320
31	1,1	0,300	75	1,3	0,320
32	1,4	0,300	76	1,2	0,310
33	1,2	0,300	77	1,7	0,270
34	1,1	0,320	78	1,3	0,300
35	1,1	0,320	79	1,5	0,333
36	1,5	0,290	80	1,5	0,320
37	1,6	0,323	81	1,5	0,320
38	1,2	0,300	82	1,2	0,300
39	1,1	0,300	83	1,2	0,300
40	1,2	0,350	84	1,7	0,349
41	1,2	0,300	85	1,3	0,339
42	1,2	0,400	86	1,2	0,320
43	1,2	0,440	87	1,2	0,300

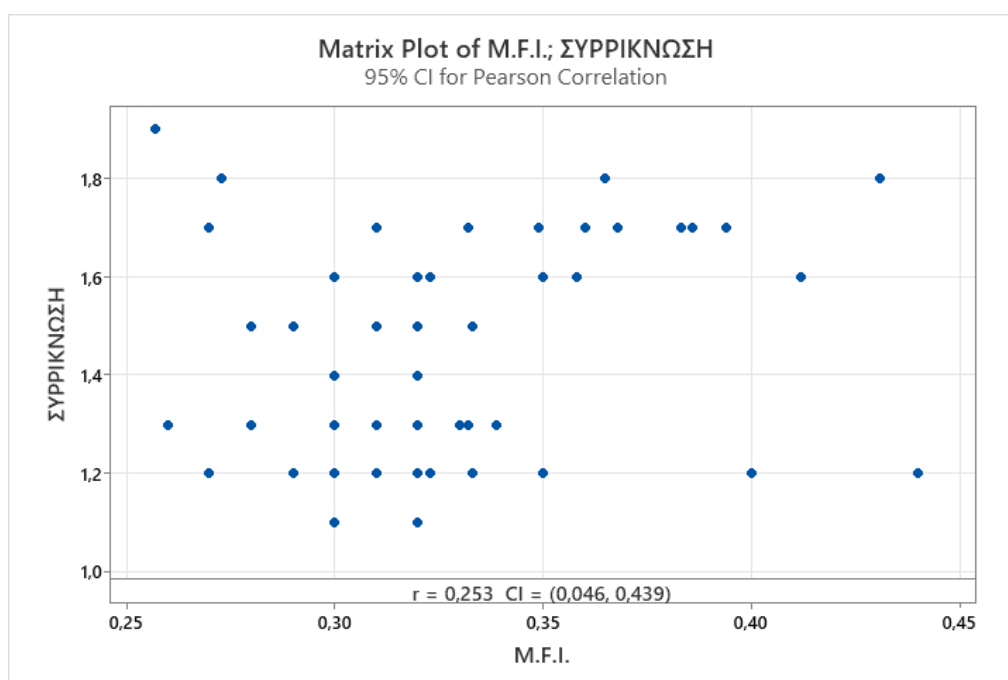
44	1,3	0,300	88	1,3	0,300
----	-----	-------	----	-----	-------

Πίνακας 6.12. Πειραματικά δεδομένα διαγράμματος συρρίκνωσης – M.F.I του σωλήνα (Y).

Προέκυψαν τα παρακάτω διαγράμματα μέσω χρήσης του στατιστικού προγράμματος Minitab.



Σχήμα 6.10. Διάγραμμα διασποράς συρρίκνωσης – M.F.I. του σωλήνα (Y).



Σχήμα 6.11. Διάγραμμα διασποράς συρρίκνωση – M.F.I. με τον συντελεστή συσχέτισης.

Προκύπτουν τα παρακάτω δεδομένα από το στατιστικό πρόγραμμα Minitab:

Method					
Correlation type		Pearson			
Number of rows used		88			
ρ : pairwise Pearson correlation					
Correlations					
		<u>M.F.I.</u>			
ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ		0,253			
Pairwise Pearson Correlations					
Sample 1	Sample 2	N	Correlation	95% CI for ρ	P-Value
ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ	M.F.I.	88	0.253	(0.046; 0.439)	0.018

Από τα δεδομένα προκύπτει ότι ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης του Pearson ισούται με: $r = 0,253$. Αυτό υποδηλώνει μία μικρή θετική σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών (Συρρίκνωση – M.F.I.). Παρατηρείται πως υπάρχει μία ασθενής, αλλά αισθητή σχέση μεταξύ των δύο αυτών μεταβλητών. Όσο αυξάνεται η τιμή του M.F.I. υπάρχει μία τάση αύξησης και της τιμής της συρρίκνωσης. Αν και παρουσιάζεται ασθενής συσχέτιση, μπορεί να είναι στατιστικά σημαντική. Στη συνέχεια, βρίσκουμε την ευθεία παλινδρόμησης ($Y = a + bX$), αφού ο συντελεστής συσχέτισης οδηγεί σε μια σχετικά γραμμική συσχέτιση.

Τα αποτελέσματα από το στατιστικό πρόγραμμα Minitab είναι τα εξής:

Regression Equation					
ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ = 0,890 + 1,513 M.F.I.					
Coefficients					
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0,890	0,200	4,44	0,000	
M.F.I.	1,513	0,625	2,42	0,018	1,00
Model Summary					
	S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	
	0,204430	6,38%	5,29%	0,00%	
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	0,2449	0,24491	5,86	0,018
M.F.I.	1	0,2449	0,24491	5,86	0,018
Error	86	3,5941	0,04179		
Lack-of-Fit	25	1,9955	0,07982	3,05	0,000
Pure Error	61	1,5986	0,02621		
Total	87	3,8390			
Fits and Diagnostics for Unusual Observations					

Obs	ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ	Fit	Resid	Std Resid	
10	1,8000	1,5419	0,2581	1,35	X
20	1,8000	1,3028	0,4972	2,47	R
22	1,9000	1,2786	0,6214	3,11	R
42	1,2000	1,4950	-0,2950	-1,50	X
43	1,2000	1,5555	-0,3555	-1,89	X
63	1,6000	1,5132	0,0868	0,45	X

R Large residual
X Unusual *X*

Επομένως, η ευθεία παλινδρόμησης που προκύπτει είναι η εξής:

$$\text{ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ} = 0,890 + 1,513 \cdot \text{M.F.I.}$$

Αυτή σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να αλλάξουμε κατά το δοκούν τις ιδιότητες του προϊόντος.

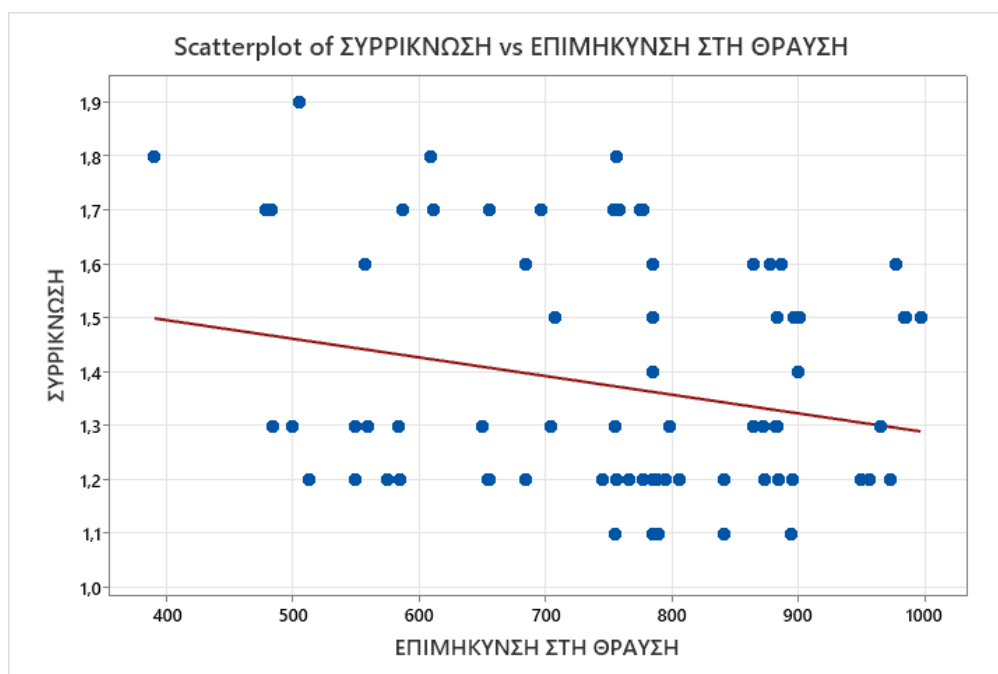
Εν συνεχεία, για τη δημιουργία του διαγράμματος διασποράς της συρρίκνωσης με την επιμήκυνση στη θραύση χρησιμοποιήθηκαν τα πειραματικά δεδομένα του παρακάτω πίνακα (Πίνακας 6.13).

α/α	ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ (%)	ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΣΤΗ ΘΡΑΥΣΗ (%)	α/α	ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ (%)	ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΣΤΗ ΘΡΑΥΣΗ (%)
1	1,2	685	45	1,4	785
2	1,3	798	46	1,2	885
3	1,5	785	47	1,6	978
4	1,6	785	48	1,6	887
5	1,7	777	49	1,5	985
6	1,3	560	50	1,3	705
7	1,3	500	51	1,3	865
8	1,7	775	52	1,6	865
9	1,7	479	53	1,7	754
10	1,8	391	54	1,6	878
11	1,7	612	55	1,2	785
12	1,2	885	56	1,2	806
13	1,2	788	57	1,3	755
14	1,2	655	58	1,2	956
15	1,3	882	59	1,5	997
16	1,3	500	60	1,4	900
17	1,2	550	61	1,3	873
18	1,2	795	62	1,4	785
19	1,8	609	63	1,6	557
20	1,8	756	64	1,2	896
21	1,7	483	65	1,2	785
22	1,9	506	66	1,5	884
23	1,2	656	67	1,2	874
24	1,2	885	68	1,4	785

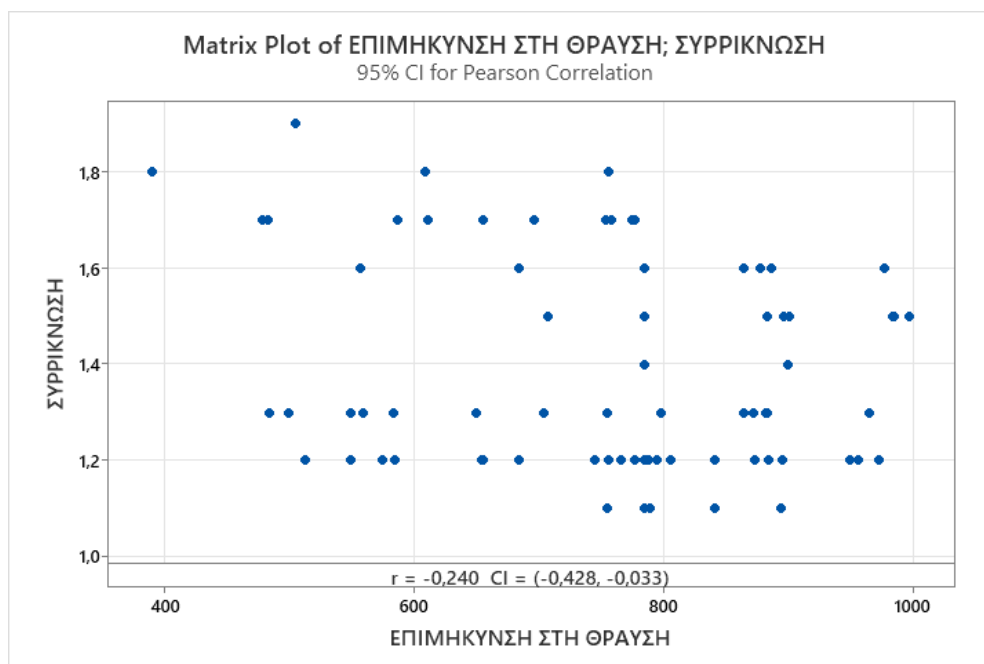
25	1,2	874	69	1,3	965
26	1,5	897	70	1,2	755
27	1,2	842	71	1,2	745
28	1,7	759	72	1,1	755
29	1,1	755	73	1,3	550
30	1,7	587	74	1,3	485
31	1,1	842	75	1,3	584
32	1,4	785	76	1,2	874
33	1,2	513	77	1,7	697
34	1,1	785	78	1,3	884
35	1,1	895	79	1,5	901
36	1,5	785	80	1,5	984
37	1,6	685	81	1,5	708
38	1,2	756	82	1,2	585
39	1,1	790	83	1,2	973
40	1,2	777	84	1,7	656
41	1,2	575	85	1,3	705
42	1,2	973	86	1,2	950
43	1,2	973	87	1,2	766
44	1,3	550	88	1,3	650

Πίνακας 6.13. Πειραματικά δεδομένα για το διάγραμμα διασποράς συρρίκνωσης – επιμήκυνσης στη θραύση του σωλήνα (Υ).

Προέκυψαν τα παρακάτω διαγράμματα μέσω χρήσης του στατιστικού προγράμματος Minitab



Σχήμα 6.12. Διάγραμμα διασποράς συρρίκνωσης – επιμήκυνσης στη θραύση του σωλήνα (Υ).



Σχήμα 6.13. Διάγραμμα διασποράς συρρίκνωσης – επιμήκυνσης στη θραύση με τον συντελεστή συσχέτισης.

Προκύπτουν τα παρακάτω δεδομένα από το στατιστικό πρόγραμμα Minitab:

Method					
Correlation type		Pearson			
Number of rows used		88			
<i>ρ</i> : pairwise Pearson correlation					
Correlations					
ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΣΤΗ ΘΡΑΥΣΗ					
ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ		-0,240			
Pairwise Pearson Correlations					
Sample 1	Sample 2	N	Correlation	95% CI for ρ	P-Value
ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ	ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΣΤΗ ΘΡΑΥΣΗ	88	-0,240	(-0,428; -0,033)	0,024

Από τα δεδομένα προκύπτει ότι ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης του Pearson ισούται με: $r = -0,240$. Αυτό υποδηλώνει μία μικρή αρνητική σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών (Συρρίκνωση – Επιμήκυνση στη θραύση). Δηλαδή όταν η τιμή της συρρίκνωσης αυξάνεται, υπάρχει μία τάση η τιμή της επιμήκυνσης στη θραύση να μειώνεται. Αυτή η σχέση, αν και ασθενής, μπορεί να είναι στατιστικά σημαντική. Στη συνέχεια, βρίσκουμε την ευθεία

παλινδρόμησης ($Y = a + bX$), αφού ο συντελεστής συσχέτισης οδηγεί σε μια σχετικά γραμμική συσχέτιση.

Τα αποτελέσματα από το στατιστικό πρόγραμμα Minitab είναι τα εξής:

Regression Equation					
ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ = 1,634 – 0,000346 ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΣΤΗ ΘΡΑΥΣΗ					
Coefficients					
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	1,634	0,116	14,03	0,000	
ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΣΤΗ ΘΡΑΥΣΗ	-0,000346	0,000151	-2,30	0,024	1,00
Model Summary					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)		
0,205080	5,78%	4,69%	1,01%		
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	0,2220	0,22202	5,28	0,024
ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΣΤΗ ΘΡΑΥΣΗ	1	0,2220	0,22202	5,28	0,024
Error	86	3,6170	0,04206		
Lack-of-Fit	57	2,7818	0,04880	1,69	0,062
Pure Error	29	0,8352	0,02880		
Total	87	3,8390			
Fits and Diagnostics for Unusual Observations					
Obs	ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ	Fit	Resid	Std Resid	
10	1,8000	1,4992	0,3008	1,53	X
20	1,8000	1,3730	0,4270	2,09	R
22	1,9000	1,4595	0,4405	2,20	R
R Large residual					
X Unusual X					

Επομένως, η ευθεία παλινδρόμησης που προκύπτει είναι η εξής:

$$\text{ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ} = 1,634 - 0,000346 \cdot \text{ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΣΤΗ ΘΡΑΥΣΗ}$$

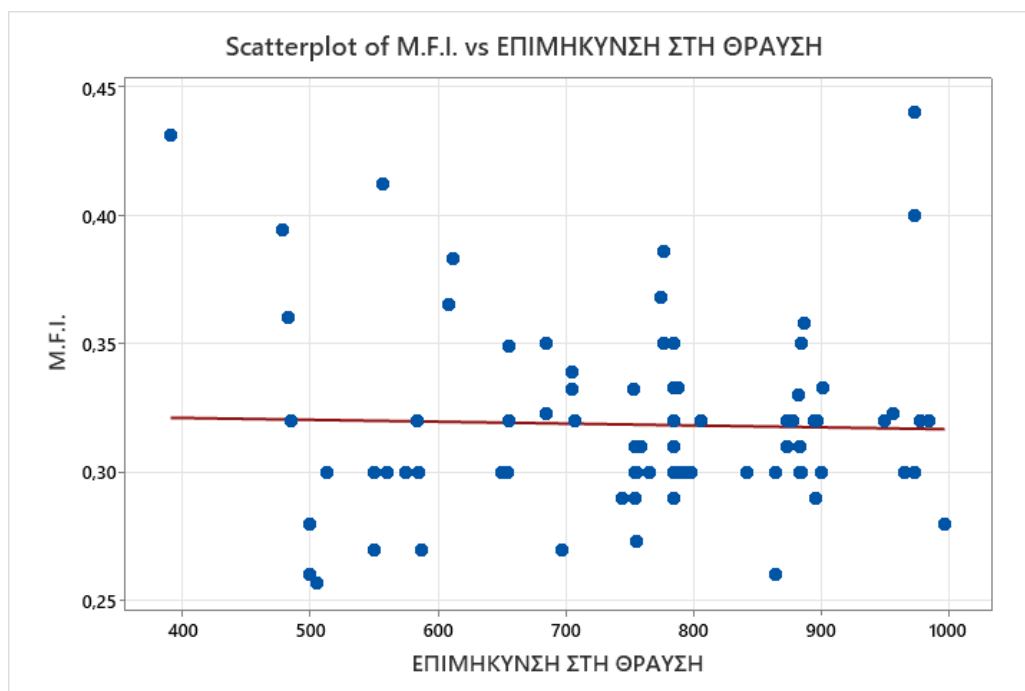
Αυτή σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να αλλάξουμε κατά το δοκούν τις ιδιότητες του προϊόντος.

Για τη δημιουργία του διαγράμματος διασποράς του M.F.I. με την επιμήκυνση στη θραύση χρησιμοποιήθηκαν τα πειραματικά δεδομένα του παρακάτω πίνακα (Πίνακας 6.14).

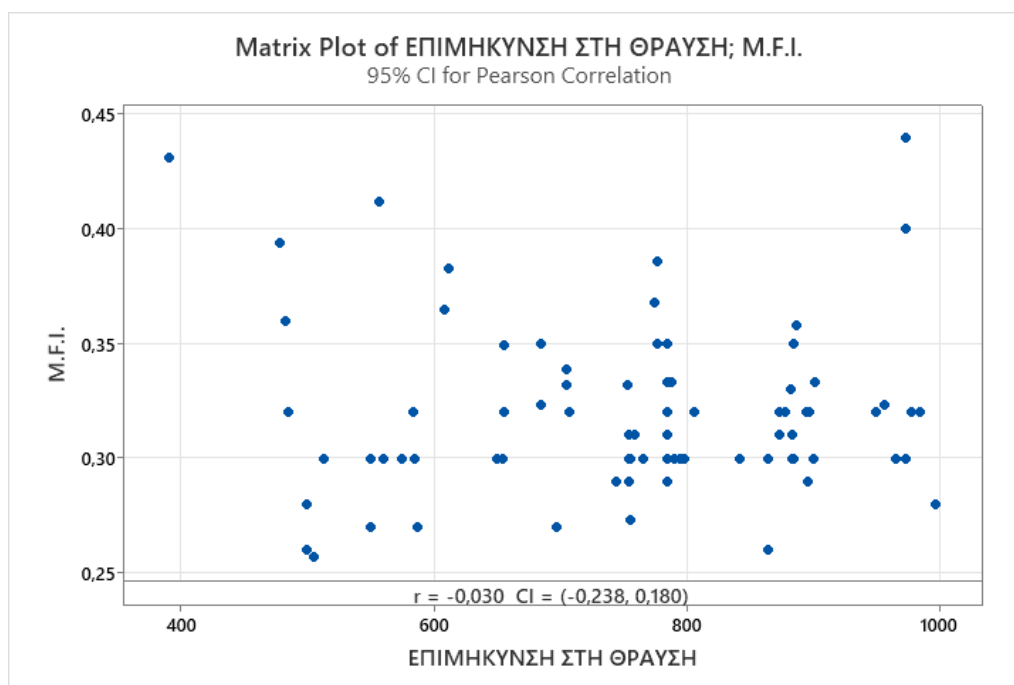
α/α	M.F.I. (g/10min)	ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΣΤΗ ΘΡΑΥΣΗ (%)	α/α	M.F.I. (g/10min)	ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΣΤΗ ΘΡΑΥΣΗ (%)
1	0,350	685	45	0,320	785
2	0,300	798	46	0,300	885
3	0,320	785	47	0,320	978
4	0,350	785	48	0,358	887
5	0,386	777	49	0,320	985
6	0,300	560	50	0,332	705
7	0,260	500	51	0,260	865
8	0,368	775	52	0,300	865
9	0,394	479	53	0,332	754
10	0,431	391	54	0,320	878
11	0,383	612	55	0,333	785
12	0,350	885	56	0,320	806
13	0,333	788	57	0,310	755
14	0,300	655	58	0,323	956
15	0,330	882	59	0,280	997
16	0,280	500	60	0,300	900
17	0,270	550	61	0,320	873
18	0,300	795	62	0,300	785
19	0,365	609	63	0,412	557
20	0,273	756	64	0,290	896
21	0,360	483	65	0,310	785
22	0,257	506	66	0,310	884
23	0,320	656	67	0,310	874
24	0,300	885	68	0,320	785
25	0,320	874	69	0,300	965
26	0,320	897	70	0,290	755
27	0,300	842	71	0,290	745
28	0,310	759	72	0,300	755
29	0,300	755	73	0,300	550
30	0,270	587	74	0,320	485
31	0,300	842	75	0,320	584
32	0,300	785	76	0,310	874
33	0,300	513	77	0,270	697
34	0,320	785	78	0,300	884
35	0,320	895	79	0,333	901
36	0,290	785	80	0,320	984
37	0,323	685	81	0,320	708
38	0,300	756	82	0,300	585
39	0,300	790	83	0,300	973
40	0,350	777	84	0,349	656
41	0,300	575	85	0,339	705
42	0,400	973	86	0,320	950
43	0,440	973	87	0,300	766
44	0,300	550	88	0,300	650

Πίνακας 6.14. Πειραματικά δεδομένα για το διάγραμμα διασποράς M.F.I. – επιμήκυνσης στη θραύση του σωλήνα (Y).

Προέκυψαν τα παρακάτω διαγράμματα μέσω χρήσης του στατιστικού προγράμματος Minitab.



Σχήμα 6.14. Διάγραμμα διασποράς M.F.I. – επιμήκυνσης στη θραύση του σωλήνα (Y).



Σχήμα 6.15. Διάγραμμα διασποράς M.F.I. – επιμήκυνσης στη θραύση με τον συντελεστή συσχέτισης.

Προκύπτουν τα παρακάτω δεδομένα μέσω χρήσης του στατιστικού προγράμματος Minitab:

Method					
Correlation type		Pearson			
Number of rows used		88			
<i>ρ</i> : pairwise Pearson correlation					
Correlations					
ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΣΤΗ ΘΡΑΥΣΗ					
M.F.I.		-0,030			
Pairwise Pearson Correlations					
Sample 1	Sample 2	N	Correlation	95% CI for ρ	P-Value
M.F.I.	ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΣΤΗ ΘΡΑΥΣΗ	88	-0,030	(-0,238; 0,180)	0,778

Από τα δεδομένα προκύπτει ότι ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης του Pearson ισούται με: $r = -0,030$. Αυτό υποδηλώνει μία πολύ μικρή αρνητική σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών (M.F.I. – Επιμήκυνση στη θραύση). Όμως, η κλίση είναι τόσο μικρή που μπορεί να θεωρηθεί ότι δεν υπάρχει πρακτικά γραμμική συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών, καθώς η τιμή του M.F.I. έχει σχεδόν μηδαμινή επίδραση στην τιμή της επιμήκυνσης στη θραύση.

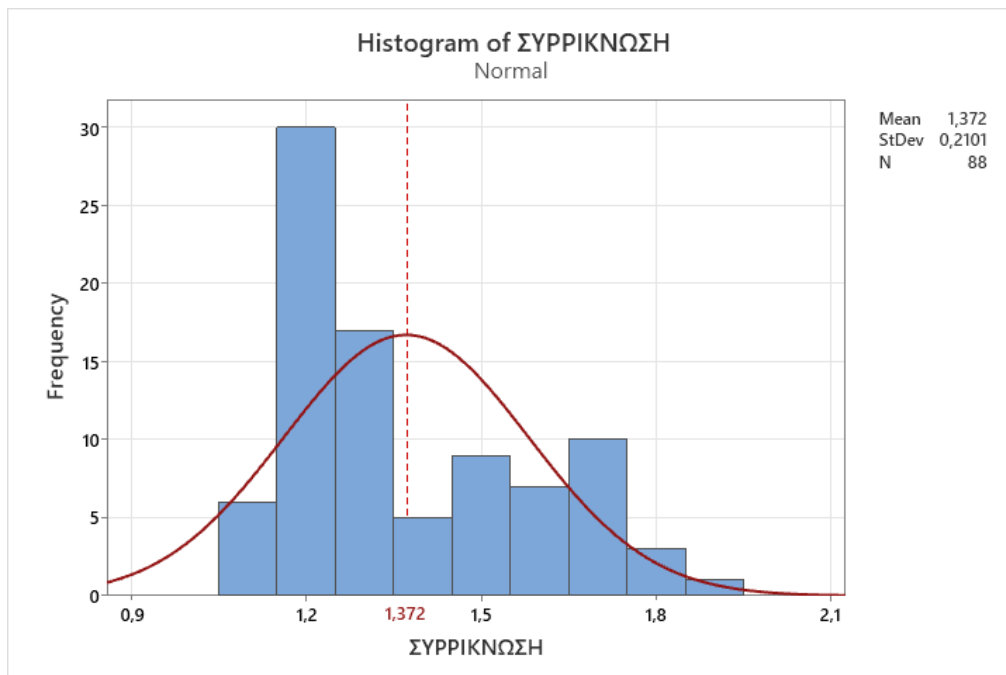
6.2.2 ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ

Για τη δημιουργία του ιστογράμματος της συρρίκνωσης χρησιμοποιήθηκαν τα πειραματικά δεδομένα του παρακάτω πίνακα (Πίνακας 6.15).

α/α	ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ (%)	α/α	ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ (%)	α/α	ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ (%)	α/α	ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ (%)
1	1,2	23	1,2	45	1,4	67	1,2
2	1,3	24	1,2	46	1,2	68	1,4
3	1,5	25	1,2	47	1,6	69	1,3
4	1,6	26	1,5	48	1,6	70	1,2
5	1,7	27	1,2	49	1,5	71	1,2
6	1,3	28	1,7	50	1,3	72	1,1
7	1,3	29	1,1	51	1,3	73	1,3
8	1,7	30	1,7	52	1,6	74	1,3
9	1,7	31	1,1	53	1,7	75	1,3
10	1,8	32	1,4	54	1,6	76	1,2
11	1,7	33	1,2	55	1,2	77	1,7
12	1,2	34	1,1	56	1,2	78	1,3
13	1,2	35	1,1	57	1,3	79	1,5
14	1,2	36	1,5	58	1,2	80	1,5
15	1,3	37	1,6	59	1,5	81	1,5
16	1,3	38	1,2	60	1,4	82	1,2
17	1,2	39	1,1	61	1,3	83	1,2
18	1,2	40	1,2	62	1,4	84	1,7
19	1,8	41	1,2	63	1,6	85	1,3
20	1,8	42	1,2	64	1,2	86	1,2
21	1,7	43	1,2	65	1,2	87	1,2
22	1,9	44	1,3	66	1,5	88	1,3

Πίνακας 6.15. Πειραματικά δεδομένα ιστογράμματος συρρίκνωσης του σωλήνα (Υ).

Προέκυψαν τα παρακάτω διαγράμματα μέσω χρήσης του στατιστικού προγράμματος Minitab.



Σχήμα 6.16. Ιστόγραμμα συρρίκνωσης του σωλήνα (Υ).

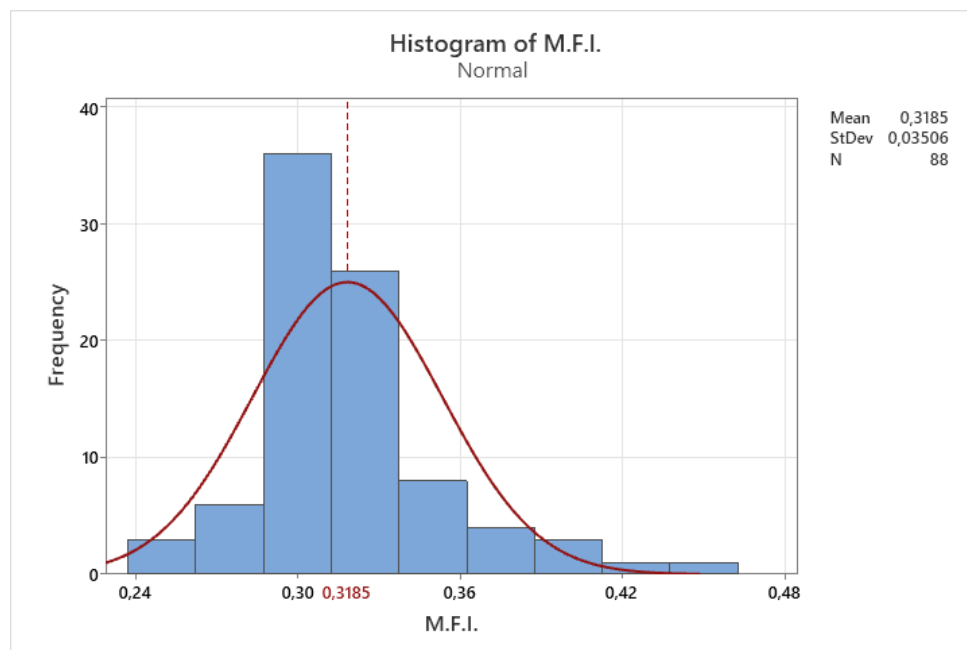
Το ιστόγραμμα της συρρίκνωσης μοιάζει με κανονική κατανομή, αλλά έχει μια υψηλή κορυφή σε μια ουρά. Αυτό οφείλεται συνήθως σε μετρήσεις προς τη μεριά μιας ουράς που έχουν συσσωρευθεί σε μια τάξη με μετρήσεις της μορφής “μεγαλύτερες από ...” (ή “μικρότερες από ...”). Ακόμη, εμφανίζει κάποιες κορυφές, οι οποίες υποδηλώνουν ότι τα τελικά προϊόντα παράγονται είτε από διαφορετικές μηχανές είτε από διαφορετικούς χειριστές.

Εν συνεχεία, για τη δημιουργία του ιστογράμματος του M.F.I. χρησιμοποιήθηκαν τα πειραματικά δεδομένα του παρακάτω πίνακα (Πίνακας 6.16).

a/a	M.F.I. (g/10min)	a/a	M.F.I. (g/10min)	a/a	M.F.I. (g/10min)	a/a	M.F.I. (g/10min)
1	0,350	23	0,320	45	0,320	67	0,310
2	0,300	24	0,300	46	0,300	68	0,320
3	0,320	25	0,320	47	0,320	69	0,300
4	0,350	26	0,320	48	0,358	70	0,290
5	0,386	27	0,300	49	0,320	71	0,290
6	0,300	28	0,310	50	0,332	72	0,300
7	0,260	29	0,300	51	0,260	73	0,300
8	0,368	30	0,270	52	0,300	74	0,320
9	0,394	31	0,300	53	0,332	75	0,320
10	0,431	32	0,300	54	0,320	76	0,310
11	0,383	33	0,300	55	0,333	77	0,270
12	0,350	34	0,320	56	0,320	78	0,300
13	0,333	35	0,320	57	0,310	79	0,333
14	0,300	36	0,290	58	0,323	80	0,320
15	0,330	37	0,323	59	0,280	81	0,320
16	0,280	38	0,300	60	0,300	82	0,300
17	0,270	39	0,300	61	0,320	83	0,300
18	0,300	40	0,350	62	0,300	84	0,349
19	0,365	41	0,300	63	0,412	85	0,339
20	0,273	42	0,400	64	0,290	86	0,320
21	0,360	43	0,440	65	0,310	87	0,300
22	0,257	44	0,300	66	0,310	88	0,300

Πίνακας 6.16. Πειραματικά δεδομένα ιστογράμματος M.F.I. του σωλήνα (Y).

Προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα μέσω χρήσης του στατιστικού προγράμματος Minitab.



Σχήμα 6.17. Ιστόγραμμα M.F.I. του σωλήνα (Y).

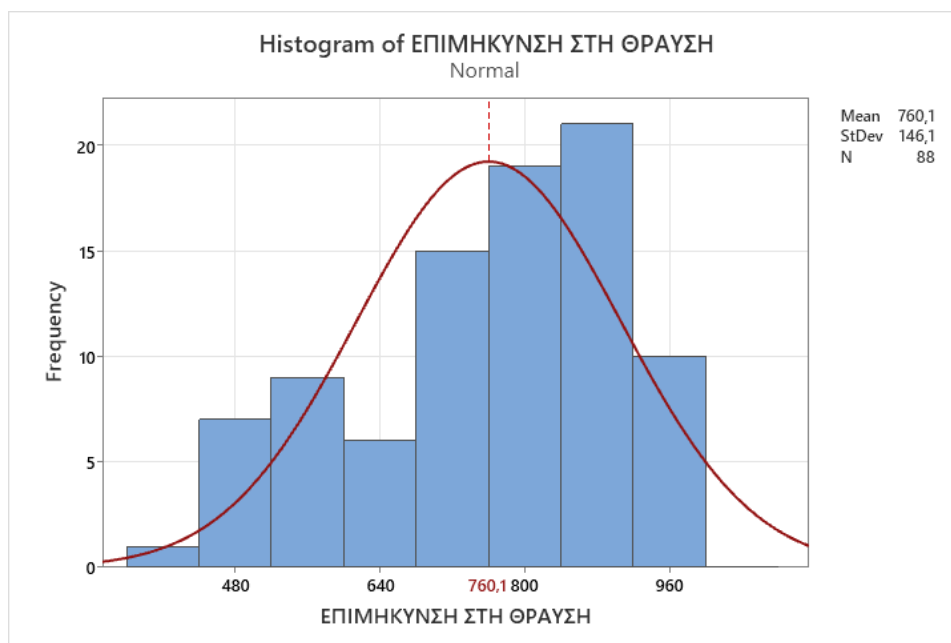
Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, το ιστόγραμμα του M.F.I. για το σωλήνα (Y) είναι φυσιολογικό.

Για τη δημιουργία του ιστογράμματος της επιμήκυνσης στη θραύση χρησιμοποιήθηκαν τα πειραματικά δεδομένα του παρακάτω πίνακα (Πίνακας 6.17).

α/α	ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΣΤΗ ΘΡΑΥΣΗ (%)	α/α	ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΣΤΗ ΘΡΑΥΣΗ (%)	α/α	ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΣΤΗ ΘΡΑΥΣΗ (%)	α/α	ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΣΤΗ ΘΡΑΥΣΗ (%)
1	685	23	656	45	785	67	874
2	798	24	885	46	885	68	785
3	785	25	874	47	978	69	965
4	785	26	897	48	887	70	755
5	777	27	842	49	985	71	745
6	560	28	759	50	705	72	755
7	500	29	755	51	865	73	550
8	775	30	587	52	865	74	485
9	479	31	842	53	754	75	584
10	391	32	785	54	878	76	874
11	612	33	513	55	785	77	697
12	885	34	785	56	806	78	884
13	788	35	895	57	755	79	901
14	655	36	785	58	956	80	984
15	882	37	685	59	997	81	708
16	500	38	756	60	900	82	585
17	550	39	790	61	873	83	973
18	795	40	777	62	785	84	656
19	609	41	575	63	557	85	705
20	756	42	973	64	896	86	950
21	483	43	973	65	785	87	766
22	506	44	550	66	884	88	650

Πίνακας 6.17. Πειραματικά δεδομένα ιστογράμματος επιμήκυνσης στη θραύση του σωλήνα (Y).

Προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα μέσω χρήσης του στατιστικού προγράμματος Minitab.



Σχήμα 6.18. Ιστόγραμμα επιμήκυνσης στη θραύση του σωλήνα (Y).

Το ιστόγραμμα της επιμήκυνσης στη θραύση για το σωλήνα (Y) εμφανίζει κάποιες κορυφές οι οποίες υποδηλώνουν ότι τα τελικά προϊόντα παράγονται είτε από διαφορετικές μηχανές είτε από διαφορετικούς χειριστές.

6.2.3. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ PARETO

Για τη δημιουργία του διαγράμματος Pareto χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του παρακάτω πίνακα (Πίνακας 6.18).

Κωδικός προβλήματος	Πρόβλημα	Συχνότητα
A	Κακή επιφάνεια	96
B	Κόνιμο σωλήνα	48
C	Πρόβλημα τυπωτικού	192
D	Σχισίματα στο σωλήνα	40
E	Πρόβλημα στη διάμετρο	34
F	Τρύπα	28
G	Εσωτερική γραμμή	24
H	Έλλειψη υλικού	22
I	Μικρο-εγκοπές	10
J	Βρωμιά	32
K	Πρόβλημα στο σύστημα τροφοδοσίας	20
L	Άλλα	4

Πίνακας 6.18. Κατηγοριοποίηση προβλημάτων του σωλήνα (Υ).

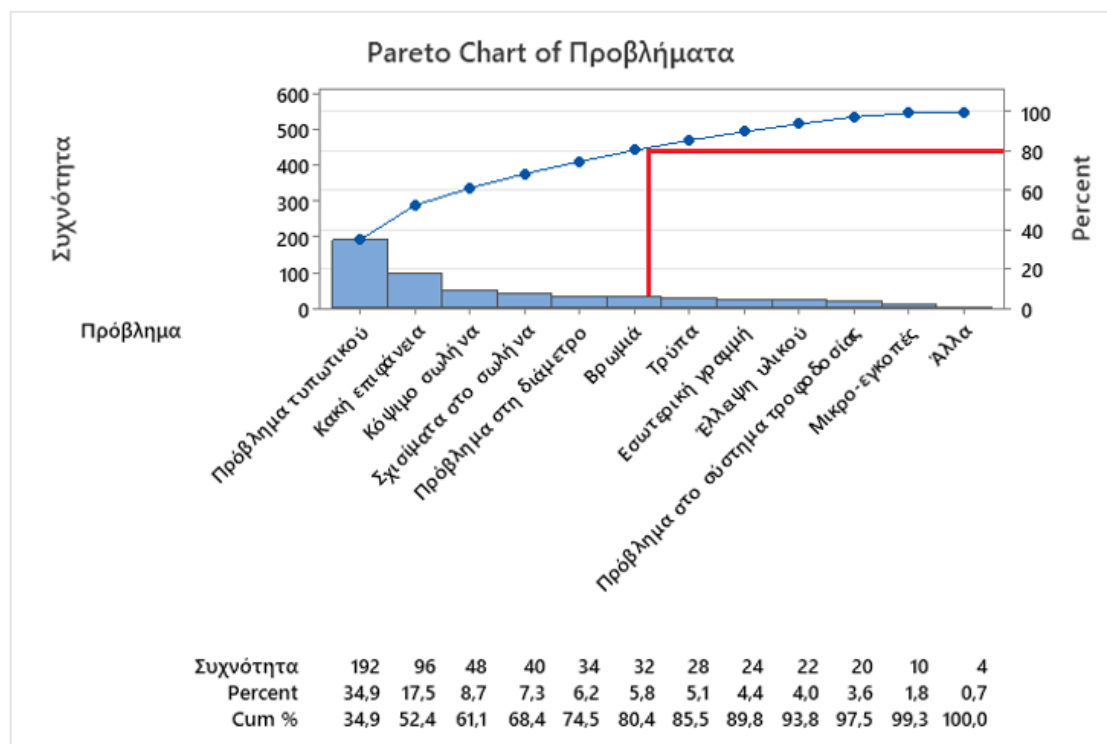
Ο τροποποιημένος πίνακας, του οποίου τα στοιχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα για την κατασκευή του διαγράμματος Pareto είναι ο πίνακας 6.18α.

Διάταξη προβλημάτων ως προς τη συχνότητα	Συχνότητα προβλημάτων	Ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα προβλημάτων	Αθροιστικό ποσοστό
C	192	34,9	192	34,9
A	96	17,45	288	52,36
B	48	8,72	336	61,09
D	40	7,27	376	68,36
E	34	6,18	410	74,54
J	32	5,81	442	80,36
F	28	5,09	470	85,45
G	24	4,36	494	89,81
H	22	4,00	516	93,81
K	20	3,63	536	97,45
I	10	1,81	546	99,27

L	4	0,72	550	100
Σύνολο	550	100		

Πίνακας 6.18α. Τελικά δεδομένα ανάλυσης Pareto του σωλήνα (Y).

Προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα Pareto μέσω χρήσης του στατιστικού προγράμματος Minitab.



Σχήμα 6.19. Διάγραμμα Pareto προβλημάτων του σωλήνα (Y).

Όπως γίνεται αντιληπτό, οι κατηγορίες προβλημάτων που θα πρέπει να δοθεί μεγαλύτερη βαρύτητα, ώστε η Β.Ι.Π.Α.Σ. να βελτιώσει την ποιότητα του σωλήνα είναι οι κατηγορίες C, A, B, D, E, J που αφορούν το πρόβλημα τυπωτικού, την κακή επιφάνεια, το κόψιμο του σωλήνα, τα σχισίματα στο σωλήνα, το πρόβλημα στη διάμετρο και την βρωμιά αντίστοιχα και καταλαμβάνουν το 80,4% των συνολικών προβλημάτων.

6.2.4 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

Για τη δημιουργία του διαγράμματος ελέγχου της συρρίκνωσης χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του παρακάτω πίνακα (Πίνακας 6.19).

ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ (%)										
ΜΗΝΑΣ									ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΕΥΡΟΣ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	1,2	1,2	1,2	1,1	1,4	1,2	1,2	1,3	1,225	0,3
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	1,3	1,2	1,2	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,275	0,4
ΜΑΡΤΙΟΣ	1,5	1,2	1,2	1,5	1,6	1,2	1,3	1,5	1,375	0,4
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	1,6	1,3	1,5	1,6	1,6	1,5	1,2	1,5	1,475	0,4
ΜΑΙΟΣ	1,7	1,3	1,2	1,2	1,5	1,4	1,2	1,2	1,3375	0,5
ΙΟΥΝΙΟΣ	1,3	1,2	1,7	1,1	1,3	1,3	1,1	1,2	1,275	0,6
ΙΟΥΛΙΟΣ	1,3	1,2	1,1	1,2	1,3	1,4	1,3	1,7	1,3125	0,6
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	1,7	1,8	1,7	1,2	1,6	1,6	1,3	1,3	1,525	0,6
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	1,7	1,8	1,1	1,2	1,7	1,2	1,3	1,2	1,4	0,7
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	1,8	1,7	1,4	1,2	1,6	1,2	1,2	1,2	1,4125	0,6
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	1,7	1,9	1,2	1,3	1,2	1,5	1,7	1,3	1,475	0,7
									1,3716	0,527

Πίνακας 6.19. Πειραματικά δεδομένα διαγράμματος ελέγχου συρρίκνωσης του σωλήνα (Υ).

Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη κατηγορία σωλήνα, σύμφωνα με τον Γραφανάκη Δ. (2008), το καταλληλότερο διάγραμμα για τον έλεγχο της ποιότητας μίας διεργασίας είναι το διάγραμμα ελέγχου, καθώς αποτελεί μια γραφική μέθοδο αναγνώρισης για το αν μια διεργασία βρίσκεται υπό στατιστικό έλεγχο ή όχι. Συγκεκριμένα θα χρησιμοποιηθεί διάγραμμα ελέγχου μεταβλητών, καθώς το χαρακτηριστικό που μας ενδιαφέρει είναι συνεχές και μετρήσιμο, δηλαδή η συρρίκνωση του πολυμερικού σωλήνα. Επομένως, θα χρησιμοποιηθεί διάγραμμα ελέγχου μέσου όρου – εύρους $\bar{X}-R$, εφόσον το μέγεθος (n) της υποομάδας (δείγματος) είναι $n > 1$ και $n \leq 10$.

Αρχικά υπολογίζω τον μέσο όρο (μέση τιμή) της εκάστοτε υποομάδας και στη συνέχεια υπολογίζω τη μέση τιμή των μέσων τιμών και προκύπτει ότι $\bar{\bar{X}} = 1,3716$. Μετά υπολογίζω το εύρος της εκάστοτε υποομάδας και εν συνεχεία, βρίσκω την μέση τιμή του εύρους των υποομάδων και προκύπτει ότι $\bar{R} = 0,527$.

Μέσω χρήσης του παρακάτω πίνακα (Πίνακας 6.8β) βρίσκονται οι συντελεστές που αντιστοιχούν στην υποομάδα με $n = 8$.

n	A	A ₂	A ₃	d ₂	d ₃	c ₄	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆
2	2.1213	1.88	2.6587	1.1284	0.8525	0.7579	0.	3.6859	0.	3.2665	0.	3.2665	0.	2.6063
3	1.7321	1.0233	1.9544	1.6926	0.8884	0.8862	0.	4.3577	0.	2.5746	0.	2.5682	0.	2.276
4	1.5	0.7286	1.6281	2.0588	0.8798	0.9213	0.	4.6982	0.	2.2821	0.	2.266	0.	2.0877
5	1.3416	0.5768	1.4273	2.3259	0.8641	0.94	0.	4.9182	0.	2.1145	0.	2.089	0.	1.9636
6	1.2247	0.4932	1.2871	2.5344	0.848	0.9515	0.	5.0785	0.	2.0038	0.0304	1.9696	0.0289	1.8742
7	1.1339	0.4193	1.1819	2.7044	0.8332	0.9594	0.2047	5.204	0.0757	1.9243	0.1177	1.8823	0.1129	1.8058
8	1.0607	0.3725	1.0991	2.8472	0.8198	0.965	0.3877	5.3067	0.1362	1.8638	0.1851	1.8149	0.1786	1.7514
9	1.	0.3367	1.0317	2.97	0.8078	0.9693	0.5465	5.3935	0.184	1.816	0.2391	1.7609	0.2318	1.7068
10	0.9487	0.3083	0.9754	3.0775	0.7971	0.9727	0.6864	5.4687	0.223	1.777	0.2837	1.7163	0.2759	1.6694
11	0.9045	0.2851	0.9274	3.1729	0.7873	0.9754	0.8109	5.5348	0.2556	1.7444	0.3213	1.6787	0.3134	1.6373
12	0.866	0.2658	0.8859	3.2585	0.7785	0.9776	0.923	5.5939	0.2833	1.7167	0.3535	1.6465	0.3456	1.6095
13	0.8321	0.2494	0.8495	3.336	0.7704	0.9794	1.0247	5.6472	0.3072	1.6928	0.3816	1.6184	0.3737	1.5851
14	0.8018	0.2354	0.8173	3.4068	0.763	0.981	1.1177	5.6958	0.3281	1.6719	0.4062	1.5938	0.3985	1.5634
15	0.7746	0.2231	0.7885	3.4718	0.7562	0.9823	1.2031	5.7404	0.3465	1.6535	0.4282	1.5718	0.4206	1.544
16	0.75	0.2123	0.7626	3.532	0.7499	0.9835	1.2823	5.7817	0.363	1.637	0.4479	1.5521	0.4405	1.5265
17	0.7276	0.2028	0.7391	3.5879	0.7441	0.9845	1.3557	5.82	0.3779	1.6221	0.4657	1.5343	0.4585	1.5106
18	0.7071	0.1943	0.7176	3.6401	0.7386	0.9854	1.4243	5.8558	0.3913	1.6087	0.4818	1.5182	0.4748	1.496
19	0.6882	0.1866	0.6979	3.689	0.7335	0.9862	1.4885	5.8894	0.4035	1.5965	0.4966	1.5034	0.4898	1.4826
20	0.6708	0.1796	0.6797	3.7349	0.7287	0.9869	1.5489	5.921	0.4147	1.5853	0.5102	1.4898	0.5036	1.4703
21	0.6547	0.1733	0.6629	3.7793	0.7242	0.9876	1.6058	5.9509	0.425	1.575	0.5228	1.4772	0.5163	1.4589
22	0.6396	0.1675	0.6473	3.8194	0.7199	0.9882	1.6596	5.9791	0.4345	1.5655	0.5344	1.4656	0.5281	1.4483
23	0.6255	0.1621	0.6327	3.8593	0.7159	0.9887	1.7107	6.006	0.4434	1.5566	0.5452	1.4548	0.5391	1.4383
24	0.6124	0.1572	0.6191	3.8953	0.7121	0.9892	1.7591	6.0316	0.4516	1.5484	0.5553	1.4447	0.5493	1.4291
25	0.6	0.1526	0.6063	3.9306	0.7084	0.9896	1.8053	6.056	0.4593	1.5407	0.5648	1.4352	0.5589	1.4203
26	0.5883	0.1484	0.5943	3.9643	0.705	0.9901	1.8494	6.0793	0.4665	1.5335	0.5737	1.4263	0.568	1.4121
27	0.5774	0.1445	0.5829	3.9965	0.7017	0.9904	1.8914	6.1016	0.4733	1.5267	0.582	1.418	0.5765	1.4044
28	0.5669	0.1408	0.5722	4.0274	0.6986	0.9908	1.9318	6.1231	0.4797	1.5203	0.5899	1.4101	0.5845	1.3971
29	0.5571	0.1373	0.5621	4.057	0.6955	0.9911	1.9704	6.1437	0.4857	1.5143	0.5974	1.4026	0.592	1.3902
30	0.5477	0.1341	0.5525	4.0855	0.6927	0.9914	2.0075	6.1635	0.4914	1.5086	0.6044	1.3956	0.5992	1.3836

Πίνακας 6.8β. Συντελεστές συναρτήσεων του μεγέθους υποομάδας.

Πηγή: Γραφανάκης Δ. (2008), Βασικά Εργαλεία και Μέθοδοι για τον Έλεγχο της Ποιότητας

Διάγραμμα μέσου όρου:

Για να βρω το άνω όριο ελέγχου (UCL) χρησιμοποιώ τον τύπο:

$$(\bar{\bar{X}}) + A_2 \cdot (\bar{R}) \quad (6.1)$$

όπου για $n = 8$: $A_2 = 0,3725$ (6.26)

Άρα, από (6.1) και (6.26) προκύπτει ότι:

$$UCL = 1,3716 + 0,3725 \cdot 0,527 = 1,5680 \quad (6.27)$$

Για το κάτω όριο ελέγχου (LCL) χρησιμοποιώ τον τύπο:

$$(\bar{\bar{X}}) - A_2 \cdot (\bar{R}) \quad (6.4)$$

Άρα, από την (6.26) και (6.4) προκύπτει ότι:

$$LCL = 1,3716 - 0,3725 \cdot 0,527 = 1,1752 \quad (6.28)$$

Η κεντρική γραμμή (CL) προκύπτει από τον τύπο:

$$CL = \bar{\bar{X}} = 1,3716 \quad (6.29)$$

Διάγραμμα εύρους:

Για να βρω το άνω όριο ελέγχου (UCL) χρησιμοποιώ τον τύπο:

$$D_4 \cdot \bar{R} \quad (6.7)$$

όπου για $n = 8$: $D_4 = 1,8638$ (6.30)

Άρα, από τις (6.7) και (6.30) προκύπτει ότι:

$$UCL = 1,8638 \cdot 0,527 = 0,983 \quad (6.31)$$

Για το κάτω όριο ελέγχου (LCL) χρησιμοποιώ τον τύπο:

$$D_3 \cdot \bar{R} \quad (6.10)$$

όπου για $n = 10$: $D_3 = 0,1362$ (6.32)

Άρα, από τις (6.10) και (6.32) προκύπτει ότι:

$$LCL = 0,1362 \cdot 0,527 = 0,072 \quad (6.33)$$

Η κεντρική γραμμή (CL) προκύπτει από τον τύπο:

$$CL = \bar{R} = 0,527 \quad (6.34)$$

Για να είναι μία διεργασία ικανή πρέπει ο δείκτης ικανότητας διεργασίας C_{pu} να είναι μεγαλύτερος ή ίσος της μονάδας. Επομένως, βρίσκω ότι:

$$\text{Για } n = 8 \rightarrow d_2 = 2,8472 \quad (6.35\alpha)$$

και

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{0,527}{2,8472} = 0,1851 \quad (6.35\beta)$$

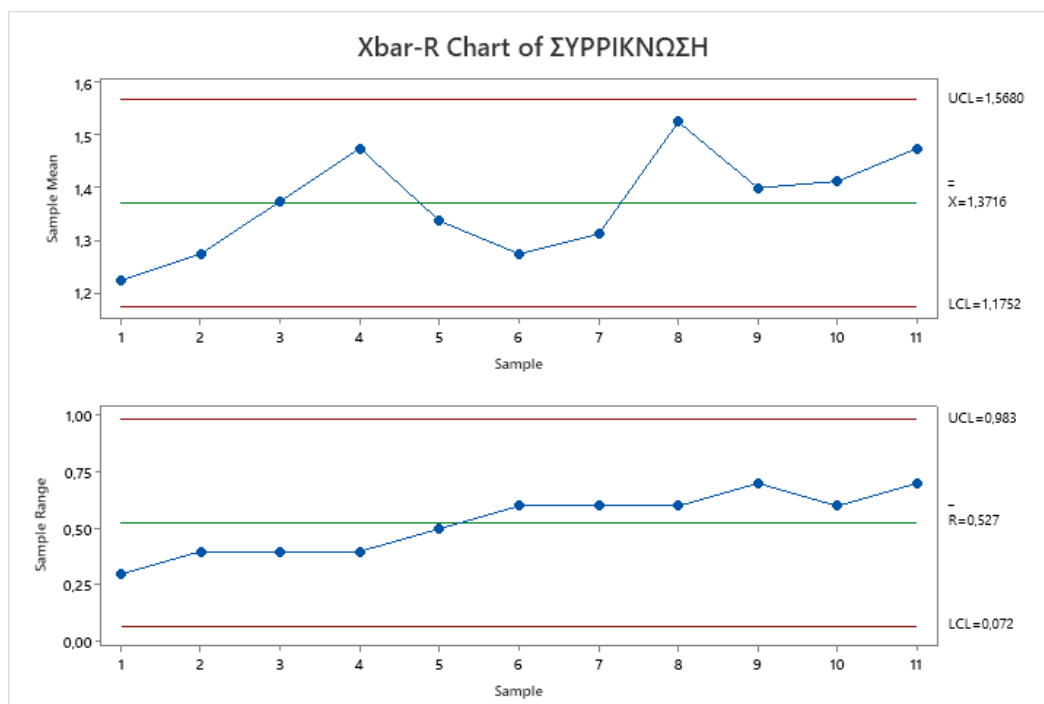
Άρα, $C_{pu} = \frac{USL - \bar{X}}{3 \cdot \hat{\sigma}} = \frac{3 - 1,3716}{0,5553} = 2,932$ (6.36)

Εφόσον

$$C_{pu} = 2,932 > 1 \quad (6.37)$$

Η διεργασία είναι ικανή, αναφορικά με τις μετρήσεις αυτής της ιδιότητας.

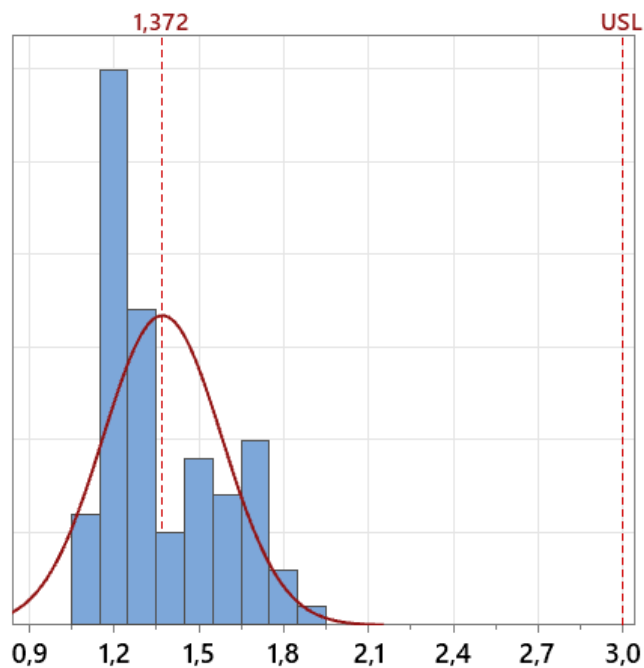
Προέκυψαν τα παρακάτω διαγράμματα μέσω χρήσης του στατιστικού προγράμματος Minitab.



Σχήμα 6.20. Διάγραμμα ελέγχου συρρίκνωσης του σωλήνα (Y).

Στο παρόν διάγραμμα ελέγχου προκύπτει ένα μοτίβο τάσης που μπορεί να οφείλεται στη σταδιακή φθορά του εξοπλισμού, της ποιότητας των πρώτων υλών ή την σταδιακή κόπωση των χειριστών. Επομένως, πρέπει να γίνει έλεγχος και συντήρηση των μηχανημάτων, έλεγχος της α' ύλης και να γίνουν προσλήψεις σε περίπτωση έλλειψης προσωπικού.

Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 6.21) παρουσιάζεται η ικανότητα διεργασίας με το ανώτερο όριο (USL) προδιαγραφών. Όπως φαίνεται στο σχήμα, η διεργασία βρίσκεται εντός ορίων προδιαγραφών και άρα είναι ικανή να παράγει προϊόντα εντός προδιαγραφών.



Σχήμα 6.21. Ικανότητα διεργασίας με το αντίστοιχο όριο προδιαγραφών του σωλήνα (Y).
Πηγή: Minitab, LLC. (2021). Minitab. Retrieved from <https://www.minitab.com>

Για τη δημιουργία του διαγράμματος ελέγχου του M.F.I. χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του παρακάτω πίνακα (**Πίνακας 6.20**).

M.F.I. (g/10min)										
ΜΗΝΑΣ									ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΕΥΡΟΣ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	0,35	0,35	0,32	0,32	0,32	0,32	0,31	0,3	0,32375	0,05
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	0,3	0,333	0,3	0,32	0,3	0,31	0,32	0,333	0,3145	0,033
ΜΑΡΤΙΟΣ	0,32	0,3	0,32	0,29	0,32	0,323	0,3	0,32	0,311625	0,033
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	0,35	0,33	0,32	0,323	0,358	0,28	0,29	0,32	0,321375	0,078
ΜΑΙΟΣ	0,386	0,28	0,3	0,3	0,32	0,3	0,29	0,3	0,3095	0,106
ΙΟΥΝΙΟΣ	0,3	0,27	0,31	0,3	0,332	0,32	0,3	0,3	0,304	0,062
ΙΟΥΛΙΟΣ	0,26	0,3	0,3	0,35	0,26	0,3	0,3	0,349	0,302375	0,09
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	0,368	0,365	0,27	0,3	0,3	0,412	0,32	0,339	0,33425	0,142
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	0,394	0,273	0,3	0,4	0,332	0,29	0,32	0,32	0,328625	0,127
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	0,431	0,36	0,3	0,44	0,32	0,31	0,31	0,3	0,346375	0,14
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	0,383	0,257	0,3	0,3	0,333	0,31	0,27	0,3	0,306625	0,126
									0,31845	0,0897

Πίνακας 6.20. Πειραματικά δεδομένα διαγράμματος ελέγχου M.F.I του σωλήνα (Y).

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, σύμφωνα με τον Γραφανάκη Δ. (2008), το καταλληλότερο διάγραμμα για τον έλεγχο της ποιότητας μίας διεργασίας είναι το διάγραμμα ελέγχου, καθώς αποτελεί μια γραφική μέθοδο αναγνώρισης για το αν μια διεργασία βρίσκεται υπό στατιστικό έλεγχο ή όχι. Συγκεκριμένα θα χρησιμοποιηθεί διάγραμμα ελέγχου μεταβλητών, καθώς το χαρακτηριστικό που μας ενδιαφέρει είναι συνεχές και μετρήσιμο, δηλαδή η ροή του πολυμερικού σωλήνα. Επομένως, θα χρησιμοποιηθεί διάγραμμα ελέγχου μέσου όρου – εύρους $\bar{X}-R$, εφόσον το μέγεθος (n) της υποομάδας (δείγματος) είναι $n > 1$ και $n \leq 10$.

Αρχικά υπολογίζω τον μέσο όρο (μέση τιμή) της εκάστοτε υποομάδας και στη συνέχεια υπολογίζω τη μέση τιμή των μέσων τιμών και προκύπτει ότι $\bar{\bar{X}} = 0,31845$. Μετά υπολογίζω το εύρος της εκάστοτε υποομάδας και εν συνεχεία, βρίσκω την μέση τιμή του εύρους των υποομάδων και προκύπτει ότι $\bar{R} = 0,0897$.

Μέσω χρήσης του παραπάνω πίνακα (**Πίνακας 6.8β**) βρίσκονται οι συντελεστές που αντιστοιχούν στην υποομάδα με $n = 8$.

Διάγραμμα μέσου όρου:

Για να βρω το άνω όριο ελέγχου (UCL) χρησιμοποιώ τον τύπο:

$$(\bar{\bar{X}}) + A_2 \cdot (\bar{R}) \quad (6.1)$$

όπου για $n = 8$: $A_2 = 0,3725$ (6.26)

Άρα, από (6.1) και (6.26) προκύπτει ότι:

$$UCL = 0,31845 + 0,3725 \cdot 0,0897 = 0,35188 \quad (6.38)$$

Για το κάτω όριο ελέγχου (LCL) χρησιμοποιώ τον τύπο:

$$(\bar{\bar{X}}) - A_2 \cdot (\bar{R}) \quad (6.4)$$

Άρα, από την (6.26) και (6.4) προκύπτει ότι:

$$LCL = 0,31845 - 0,3725 \cdot 0,0897 = 0,28503 \quad (6.39)$$

Η κεντρική γραμμή (CL) προκύπτει από τον τύπο:

$$CL = \bar{\bar{X}} = 0,35188 \quad (6.40)$$

Διάγραμμα εύρους:

Για να βρω το άνω όριο ελέγχου (UCL) χρησιμοποιώ τον τύπο:

$$D_4 \cdot \bar{R} \quad (6.7)$$

όπου για $n = 8$: $D_4 = 1,8638$ (6.30)

Άρα, από τις (6.7) και (6.30) προκύπτει ότι:

$$UCL = 1,8638 \cdot 0,0897 = 0,1672 \quad (6.41)$$

Για το κάτω όριο ελέγχου (LCL) χρησιμοποιώ τον τύπο:

$$D_3 \cdot \bar{R} \quad (6.10)$$

όπου για $n = 8$: $D_3 = 0,1362$ (6.32)

Άρα, από τις (6.10) και (6.32) προκύπτει ότι:

$$LCL = 0,1362 \cdot 0,0897 = 0,0122 \quad (6.42)$$

Η κεντρική γραμμή (CL) προκύπτει από τον τύπο:

$$CL = \bar{R} = 0,0897 \quad (6.43)$$

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, για να είναι μία διεργασία ικανή πρέπει ο δείκτης ικανότητας διεργασίας C_p να είναι μεγαλύτερος ή ίσος της μονάδας. Επομένως, βρίσκω ότι:

$$\text{Για } n = 8 \rightarrow d_2 = 2,8472 \quad (6.35\alpha)$$

και

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{0,0897}{2,8472} = 0,0315 \quad (6.44)$$

Άρα,

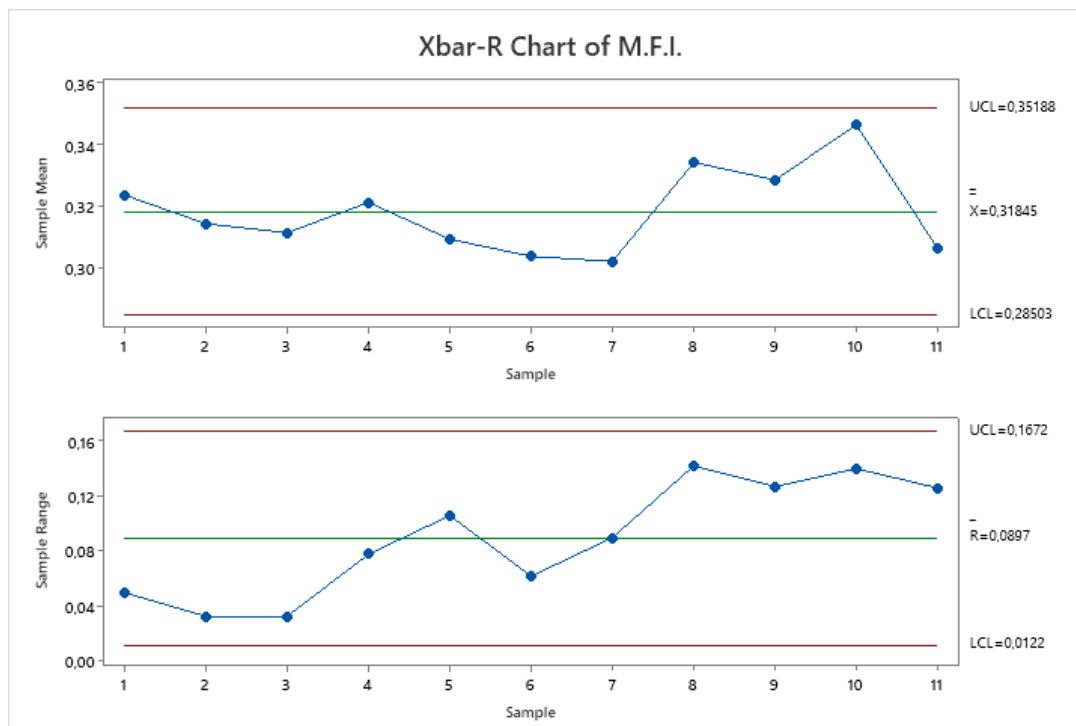
$$C_p = \frac{USL - LSL}{6 \cdot \hat{\sigma}} = \frac{0,6 - 0,2}{0,189} = 2,12 \quad (6.45)$$

Εφόσον

$$C_p = 2,12 > 1 \quad (6.46)$$

Η διεργασία είναι ικανή, αναφορικά με τις μετρήσεις αυτής της ιδιότητας.

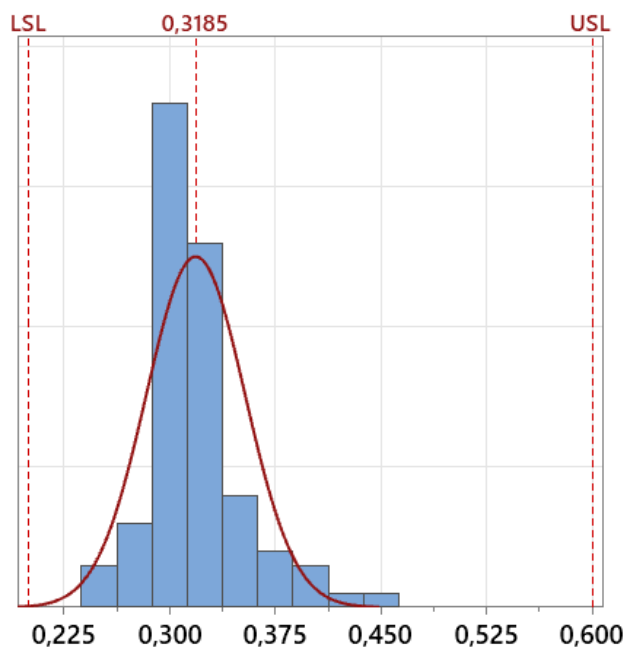
Προέκυψαν τα παρακάτω διαγράμματα ελέγχου μέσω χρήσης του στατιστικού προγράμματος Minitab.



Σχήμα 6.22. Διάγραμμα ελέγχου M.F.I. του σωλήνα (Y).

Στο παρόν διάγραμμα ελέγχου προκύπτει ένα μοτίβο τάσης που μπορεί να οφείλεται στη σταδιακή φθορά του εξοπλισμού, της ποιότητας των πρώτων υλών ή την σταδιακή κόπωση των χειριστών. Επιπροσθέτως, υπάρχουν σημεία που βρίσκονται πολύ κοντά στα όρια ελέγχου και αυτό το μοτίβο μπορεί να προκύψει από σύντομη (όχι μόνιμη) εμφάνιση ενός ειδικού αιτίου όπως είναι η δοκιμαστική χρήση πρώτης ύλης από διαφορετικό προμηθευτή. Επομένως, πρέπει να γίνει έλεγχος και συντήρηση των μηχανημάτων, έλεγχος της α' ύλης και να γίνουν προσλήψεις σε περίπτωση έλλειψης προσωπικού.

Στο παρακάτω σχήμα (**Σχήμα 6.23**) παρουσιάζεται η ικανότητα διεργασίας με το ανώτερο (USL) και το κατώτερο όριο (LSL) προδιαγραφών. Όπως φαίνεται στο σχήμα, η διεργασία βρίσκεται εντός ορίων προδιαγραφών και άρα είναι ικανή να παράγει προϊόντα εντός προδιαγραφών.



Σχήμα 6.23. Ικανότητα διεργασίας με τα αντίστοιχα όρια προδιαγραφών του σωλήνα (Y).
Πηγή: Minitab, LLC. (2021). Minitab. Retrieved from <https://www.minitab.com>

Για τη δημιουργία του διαγράμματος ελέγχου της επιμήκυνσης στη θραύση χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του παρακάτω πίνακα (**Πίνακας 6.21**).

ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΣΤΗ ΘΡΑΥΣΗ (%)										
ΜΗΝΑΣ									ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΕΥΡΟΣ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	685	885	656	785	785	806	874	884	795	229
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	798	788	885	895	885	755	785	901	836,5	146
ΜΑΡΤΙΟΣ	785	655	874	785	978	956	965	984	872,75	329
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	785	882	897	685	887	997	755	708	824,5	312
ΜΑΙΟΣ	777	500	842	756	985	900	745	585	761,25	485
ΙΟΥΝΙΟΣ	560	550	759	790	705	873	755	973	745,625	423
ΙΟΥΛΙΟΣ	500	795	755	777	865	785	550	656	710,375	365
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	775	609	587	575	865	557	485	705	644,75	380
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	479	756	842	973	754	896	584	950	779,25	494
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	391	483	785	973	878	785	874	766	741,875	582
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	612	506	513	550	785	884	697	650	649,625	378
									760,1	374,8

Πίνακας 6.21. Πειραματικά δεδομένα διαγράμματος ελέγχου επιμήκυνση στη θραύση του σωλήνα (Υ).

Όπως αναφέρεται προηγουμένως, σύμφωνα με τον Γραφανάκη Δ. (2008), το καταλληλότερο διάγραμμα για τον έλεγχο της ποιότητας μίας διεργασίας είναι το διάγραμμα ελέγχου, καθώς αποτελεί μια γραφική μέθοδο αναγνώρισης για το αν μια διεργασία βρίσκεται υπό στατιστικό έλεγχο ή όχι. Συγκεκριμένα θα χρησιμοποιηθεί διάγραμμα ελέγχου μεταβλητών, καθώς το χαρακτηριστικό που μας ενδιαφέρει είναι συνεχές και μετρήσιμο, δηλαδή η επιμήκυνση στη θραύση του πολυμερικού σωλήνα. Επομένως, θα χρησιμοποιηθεί διάγραμμα ελέγχου μέσου όρου – εύρους $\bar{X}-R$, εφόσον το μέγεθος (n) της υποομάδας (δείγματος) είναι $n > 1$ και $n \leq 10$.

Αρχικά υπολογίζω τον μέσο όρο (μέση τιμή) της εκάστοτε υποομάδας και στη συνέχεια υπολογίζω τη μέση τιμή των μέσων τιμών και προκύπτει ότι $\bar{\bar{X}} = 760,1$. Μετά υπολογίζω το εύρος της εκάστοτε υποομάδας και εν συνεχεία, βρίσκω την μέση τιμή του εύρους των υποομάδων και προκύπτει ότι $\bar{R} = 374,8$.

Μέσω χρήσης του παραπάνω πίνακα (**Πίνακας 6.8β**) βρίσκονται οι συντελεστές που αντιστοιχούν στην υποομάδα με $n = 8$.

Διάγραμμα μέσου όρου:

Για να βρω το άνω όριο ελέγχου (UCL) χρησιμοποιώ τον τύπο:

$$(\bar{\bar{X}}) + A_2 \cdot (\bar{R}) \quad (6.1)$$

όπου για $n = 8$: $A_2 = 0,3725$ (6.26)

Άρα, από (6.1) και (6.26) προκύπτει ότι:

$$UCL = 760,1 + 0,3725 \cdot 374,8 = 899,8 \quad (6.47)$$

Για το κάτω όριο ελέγχου (LCL) χρησιμοποιώ τον τύπο:

$$(\bar{\bar{X}}) - A_2 \cdot (\bar{R}) \quad (6.4)$$

Άρα, από την (6.26) και (6.4) προκύπτει ότι:

$$LCL = 760,1 - 0,3725 \cdot 374,8 = 620,5 \quad (6.48)$$

Η κεντρική γραμμή (CL) προκύπτει από τον τύπο:

$$CL = \bar{\bar{X}} = 760,1 \quad (6.49)$$

Διάγραμμα εύρους:

Για να βρω το άνω όριο ελέγχου (UCL) χρησιμοποιώ τον τύπο:

$$D_4 \cdot \bar{R} \quad (6.7)$$

όπου για $n = 8$: $D_4 = 1,8638$ (6.30)

Άρα, από τις (6.7) και (6.30) προκύπτει ότι:

$$UCL = 1,8638 \cdot 374,8 = 698,6 \quad (6.50)$$

Για το κάτω όριο ελέγχου (LCL) χρησιμοποιώ τον τύπο:

$$D_3 \cdot \bar{R} \quad (6.10)$$

όπου για $n = 8$: $D_3 = 0,1362$ (6.32)

Άρα, από τις (6.10) και (6.32) προκύπτει ότι:

$$LCL = 0,1362 \cdot 374,8 = 51,0 \quad (6.51)$$

Η κεντρική γραμμή (CL) προκύπτει από τον τύπο:

$$CL = \bar{R} = 374,8 \quad (6.52)$$

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, για να είναι μία διεργασία ικανή πρέπει ο δείκτης ικανότητας διεργασίας C_{pl} να είναι μεγαλύτερος ή ίσος της μονάδας. Επομένως, βρίσκω ότι:

$$\text{Για } n = 8 \rightarrow d_2 = 2,8472 \quad (6.35\alpha)$$

και

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{374,8}{2,8472} = 131,64 \quad (6.53)$$

Άρα,

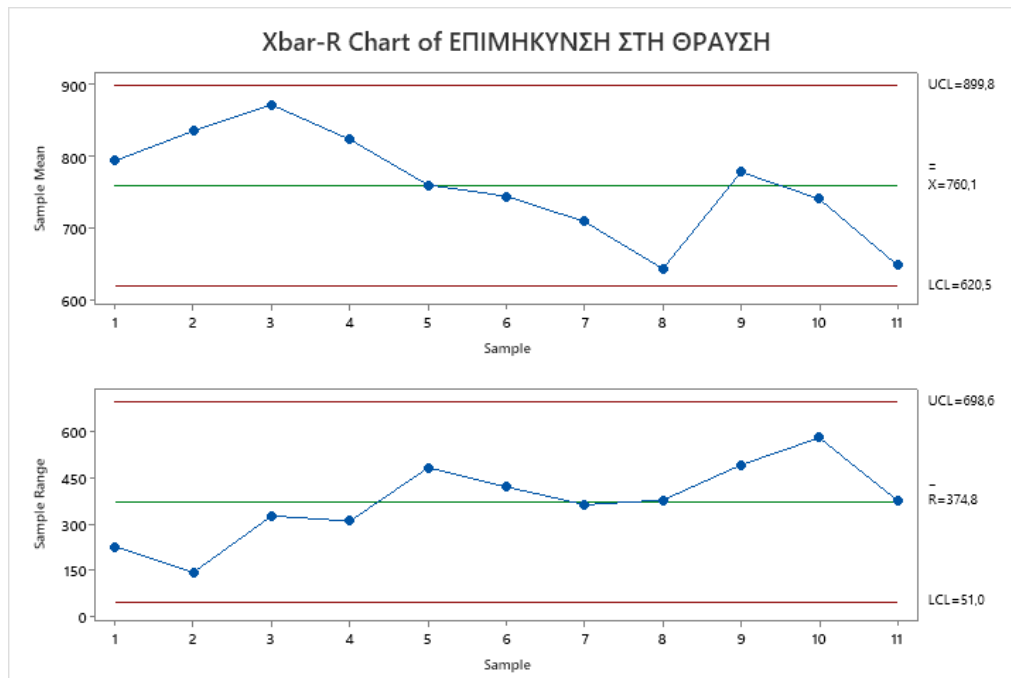
$$C_{pl} = \frac{\bar{\bar{X}} - LSL}{3 \cdot \hat{\sigma}} = \frac{899,8 - 350}{394,92} = 1,39 \quad (6.54)$$

Εφόσον

$$C_{pl} = 1,39 > 1 \quad (6.55)$$

Η διεργασία είναι ικανή, αναφορικά με τις μετρήσεις αυτής της ιδιότητας. Ωστόσο, η διεργασία επιδέχεται κάποια βελτίωση, παρ' ότι είναι σαφώς ικανή, καθώς στόχος είναι η συνεχής βελτίωση.

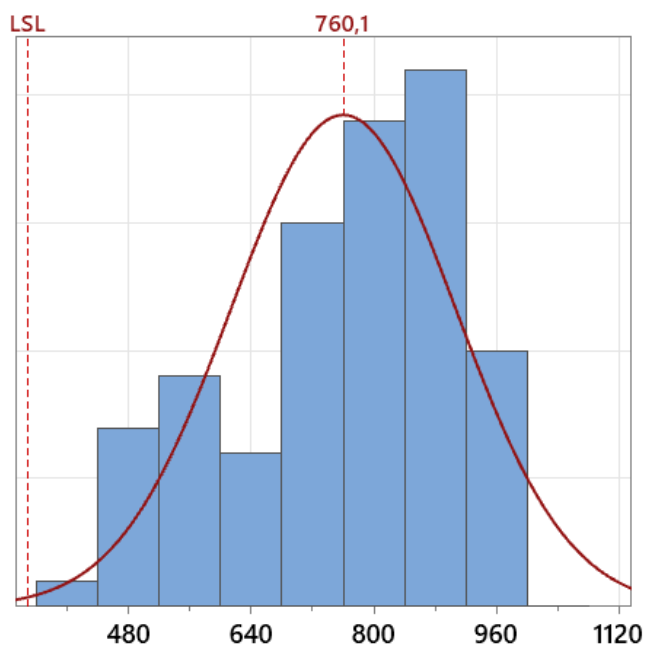
Προέκυψαν τα παρακάτω διαγράμματα ελέγχου μέσω χρήσης του στατιστικού προγράμματος Minitab.



Σχήμα 6.24. Διάγραμμα ελέγχου επιμήκυνσης στη θραύση του σωλήνα (Υ).

Στο παρόν διάγραμμα ελέγχου προκύπτει ένα μοτίβο τάσης που μπορεί να οφείλεται στη σταδιακή φθορά του εξοπλισμού, της ποιότητας των πρώτων υλών ή την σταδιακή κόπωση των χειριστών. Επομένως, πρέπει να γίνει έλεγχος και συντήρηση των μηχανημάτων, έλεγχος της α' ύλης και να γίνουν προσλήψεις σε περίπτωση έλλειψης προσωπικού.

Στο παρακάτω σχήμα (**Σχήμα 6.25**) παρουσιάζεται η ικανότητα διεργασίας με το κατώτερο όριο (LSL) προδιαγραφών. Όπως φαίνεται στο σχήμα, η διεργασία βρίσκεται εντός ορίων προδιαγραφών και άρα είναι ικανή να παράγει προϊόντα εντός προδιαγραφών.



Σχήμα 6.25. Ικανότητα διεργασίας με το αντίστοιχο όριο προδιαγραφών του σωλήνα (Y).
Πηγή: Minitab, LLC. (2021). Minitab. Retrieved from <https://www.minitab.com>

6.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ PEX: ΣΩΛΗΝΑΣ (Θ)ΕΡΜΑΝΣΗΣ

Ο σωλήνας (Θ) είναι σωλήνας θέρμανσης. Ανήκει στην κατηγορία των PEX. Παρακάτω παρουσιάζονται τα πειραματικά δεδομένα, τα εργαλεία ποιότητας και τα αντίστοιχα αποτελέσματα που αφορούν αυτόν τον σωλήνα.

Στους παρακάτω πίνακες (**Πίνακας 6.22, 6.23**) βρίσκονται τα πειραματικά δεδομένα βάσει των οποίων προέκυψαν τα διαγράμματα για τον έλεγχο της ποιότητας του σωλήνα.

ΣΩΛΗΝΑΣ (Θ)				
LOT: 212311070 ΜΗΧΑΝΗ 21				
ΕΝΑΡΞΗ: 07/11/2023 15:46 ΛΗΞΗ: 10/11/2023 12:45				
<u>ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ</u> Βάρος: 173 d_{min} : 22 d_{max} : 22,3 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 3 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 3,3	07/11/2023	08/11/2023	09/11/2023	10/11/2023
ΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ	OK	OK	OK	OK
ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΗΜΑΝΣΗΣ	OK	OK	OK	OK
ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΙΕΣΗ	22hr/95oC	ΑΝΑΜΟΝΗ	OK	OK
ΠΙΕΣΗ ΔΟΚΙΜΗΣ (Bar)	14,27	14,27	14,27	14,27
ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ (%)	1,1	1,0	1,0	1,0
ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΚΤΥΩΣΗΣ (%)	73	71	71	71
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ	Βάρος: 173 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 3,0 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 3,11 d : 22,1	Βάρος: 173 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 3,0 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 3,10 d : 22,1	Βάρος: 174 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 3,1 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 3,15 d : 22,15	Βάρος: 173 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 3,0 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 3,2 d : 22,0
ΒΑΡΔΙΑ 1				
ΒΑΡΔΙΑ 2	Βάρος: 173 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 3,0 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 3,15 d : 22,1	Βάρος: 173,5 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 3,1 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 3,2 d : 22,1	Βάρος: 173 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 3,0 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 3,12 d : 22,1	Βάρος: 173,5 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 3,1 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 3,3 d : 22,3
ΒΑΡΔΙΑ 3	Βάρος: 174 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 3,0 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 3,18 d : 22,1	Βάρος: 173,5 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 3,0 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 3,21 d : 22,2	Βάρος: 173 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 3,1 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 3,3 d : 22,2	Βάρος: 173,5 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{min}$: 3,1 $\pi\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma_{max}$: 3,3 d : 22,2
ΒΛΑΒΕΣ				
ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΥΠΩΤΙΚΟΥ ΕΝΑΡΞΗ: 08/11/2023 14:06 ΛΗΞΗ: 08/11/2023 14:23	OK	OK	OK	OK

Πίνακας 6.22. Μετρήσεις του σωλήνα (Θ).

α/α	ΕΤΟΣ 2023		α/α	ΕΤΟΣ 2022	
	ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ (%)	ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΚΤΥΩΣΗΣ (%)		ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ (%)	ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΚΤΥΩΣΗΣ (%)
1	1,1	73	1	1,15	70
2	1	71	2	1,6	70
3	1	71	3	1,5	69
4	1	71	4	1,5	70
5	1,1	73	5	1,5	70
6	1,2	67	6	1,7	65
7	1,3	72	7	1,4	65
8	1,1	78	8	1,6	70
9	1,3	82	9	1,5	66
10	1,3	74	10	1	72
11	1,5	69	11	1	71
12	1,3	70	12	1,2	75
13	1,2	70	13	1,3	65
14	1,2	70	14	1,25	75
15	1,2	70	15	1,25	76
16	1,2	70	16	1,1	77
17	1,1	74	17	1,1	76
18	1,2	71	18	1,5	75
19	1,2	72	19	1,5	76
20	1,2	74	20	1,12	77
21	1,2	74	21	1,15	78
22	1,2	71	22	1	79
23	1,3	70	23	1,1	77
24	1,5	70	24	1	69
25	1,2	70	25	1	77
26	1,3	70	26	1,1	77
27	1,2	70	27	1,1	76
28	1,5	65	28	1,2	76

Πίνακας 6.23. Δεδομένα πειραματικών δοκιμών συρρίκνωσης – βαθμού δικτύωσης του σωλήνα (Θ).

6.3.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ

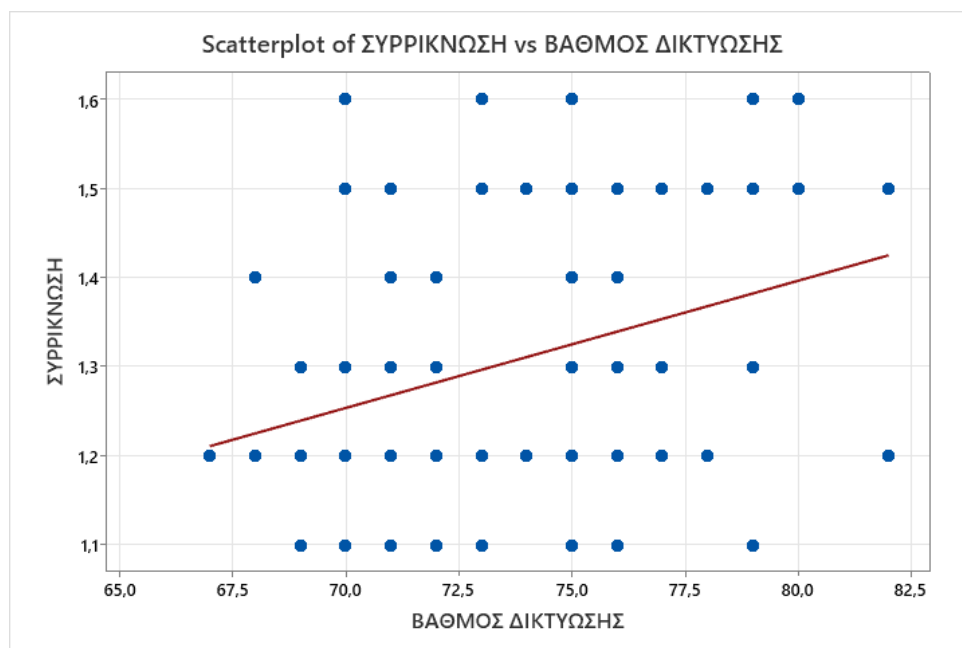
Για τη δημιουργία του διαγράμματος διασποράς της συρρίκνωσης με τη δικτύωση χρησιμοποιήθηκαν τα πειραματικά δεδομένα του παρακάτω πίνακα (Πίνακας 6.24).

α/α	ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ (%)	ΔΙΚΤΥΩΣΗ (%)	α/α	ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ (%)	ΔΙΚΤΥΩΣΗ (%)
1	1,1	73	45	1,5	70
2	1,1	73	46	1,4	72
3	1,5	82	47	1,5	71
4	1,1	70	48	1,2	77
5	1,2	70	49	1,4	76
6	1,2	72	50	1,2	82
7	1,2	72	51	1,3	75
8	1,5	77	52	1,5	80
9	1,4	75	53	1,6	75
10	1,6	79	54	1,2	69
11	1,3	76	55	1,2	72
12	1,1	71	56	1,3	72
13	1,2	67	57	1,2	68
14	1,2	72	58	1,5	75
15	1,2	70	59	1,5	78
16	1,2	72	60	1,2	76
17	1,3	75	61	1,1	76
18	1,1	69	62	1,3	77
19	1,5	73	63	1,5	79
20	1,6	73	64	1,1	75
21	1,6	80	65	1,6	70
22	1,5	77	66	1,2	75
23	1,2	71	67	1,2	76
24	1,3	72	68	1,3	69
25	1,2	69	69	1,2	67
26	1,2	74	70	1,5	79
27	1,3	70	71	1,1	75
28	1,2	72	72	1,3	77
29	1,3	70	73	1,5	75
30	1,2	73	74	1,2	75
31	1,3	77	75	1,2	69
32	1,5	76	76	1,2	74
33	1,2	78	77	1,5	77
34	1,3	71	78	1,2	74
35	1,5	78	79	1,2	70
36	1,2	70	80	1,4	68
37	1,2	71	81	1,1	79
38	1,4	71	82	1,2	77
39	1,5	74	83	1,3	79
40	1,1	72	84	1,4	75
41	1,4	75	85	1,2	77
42	1,5	75	86	1,1	70
43	1,2	75	87	1,3	75

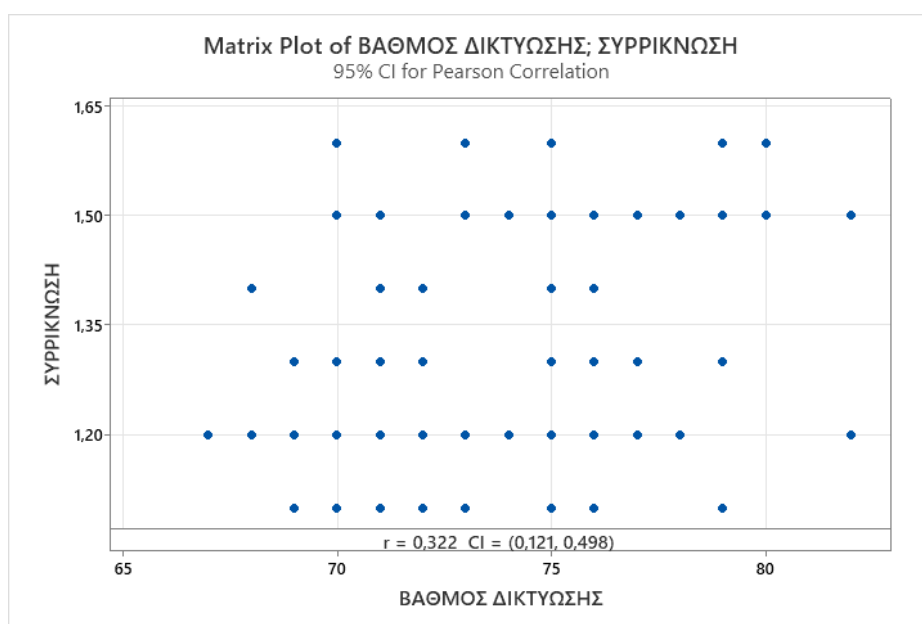
44	1,5	70	88	1,6	75
----	-----	----	----	-----	----

Πίνακας 6.24. Πειραματικά δεδομένα για το διάγραμμα διασποράς συρρίκνωσης – βαθμού δικτύωσης του σωλήνα (Θ).

Προέκυψαν τα παρακάτω διαγράμματα μέσω χρήσης του στατιστικού προγράμματος Minitab.



Σχήμα 6.26. Διάγραμμα διασποράς συρρίκνωσης – βαθμού δικτύωσης του σωλήνα (Θ).



Σχήμα 6.27. Διάγραμμα διασποράς συρρίκνωσης – βαθμού δικτύωσης με τον συντελεστή συσχέτισης του σωλήνα (Θ).

Προέκυψαν τα παρακάτω δεδομένα μέσω χρήσης του στατιστικού προγράμματος Minitab:

Method					
Correlation type	Pearson				
Number of rows used	88				
ρ : pairwise Pearson correlation					
Correlations					
<div><div>BAΘΜΟΣ ΔΙΚΤΥΩΣΗΣ</div><div>ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ0,322</div></div>					
Pairwise Pearson Correlations					
Sample 1	Sample 2	N	Correlation	95% CI for ρ	P-Value
ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ	BAΘΜΟΣ ΔΙΚΤΥΩΣΗΣ	88	0,322	(0,121; 0,498)	0,002

Από τα δεδομένα προκύπτει ότι ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης του Pearson ισούται με: $r = 0,322$. Αυτό υποδηλώνει μία μικρή θετική σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών (Συρρίκνωση – Βαθμός Δικτύωσης). Παρατηρείται ότι καθώς αυξάνεται η τιμή της συρρίκνωσης υπάρχει μία τάση για αύξηση της τιμής του βαθμού δικτύωσης. Στη συνέχεια, βρίσκουμε την ευθεία παλινδρόμησης ($Y = a + bX$), αφού ο συντελεστής συσχέτισης οδηγεί σε μια σχετικά γραμμική συσχέτιση.

Τα αποτελέσματα από το στατιστικό πρόγραμμα Minitab είναι τα εξής:

Regression Equation					
ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ = 0,254 – 0,01428 ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΚΤΥΩΣΗΣ					
Coefficients					
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0,254	0,334	0,76	0,450	
ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΚΤΥΩΣΗΣ	0,01428	0,00453	3,16	0,002	1,00
Model Summary					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)		
0,147387	10,38%	9,33%	6,22%		
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	0,2163	0,21627	9,96	0,002
ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΚΤΥΩΣΗΣ	1	0,2163	0,21627	9,96	0,002
Error	86	1,8682	0,02172		

Lack-of-Fit	13	0,1639	0,01261	0,54	0,892
Pure Error	73	1,7043	0,02335		
Total	87	2,0844			

Fits and Diagnostics for Unusual Observations					
Obs	ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ	Fit	Resid	Std Resid	
3	1,5000	1,4251	0,0749	0,53	X
20	1,6000	1,2966	0,3034	2,07	R
50	1,2000	1,4251	-0,2251	-1,59	X
65	1,6000	1,2537	0,3463	2,38	R

R Large residual
X Unusual X

Επομένως, η ευθεία παλινδρόμησης που προκύπτει είναι η εξής:

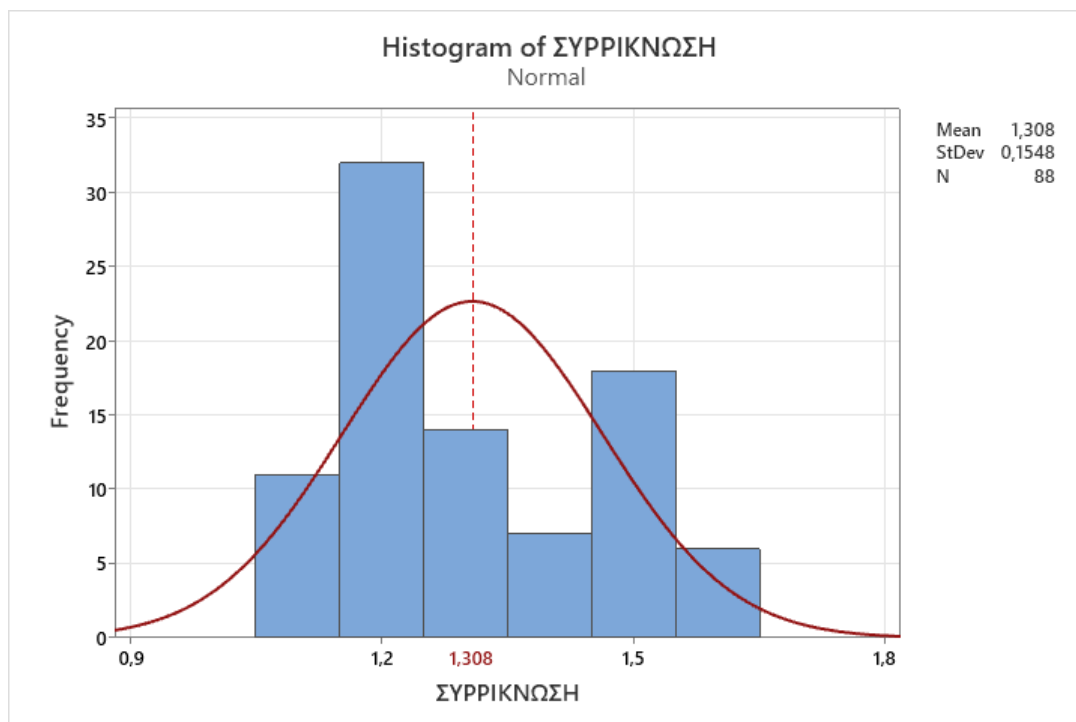
$$\text{ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ} = 0,254 - 0,01428 \cdot \text{ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΚΤΥΩΣΗΣ}$$

Αυτή σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να αλλάξουμε κατά το δοκούν τις ιδιότητες του προϊόντος.

6.3.2 ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ

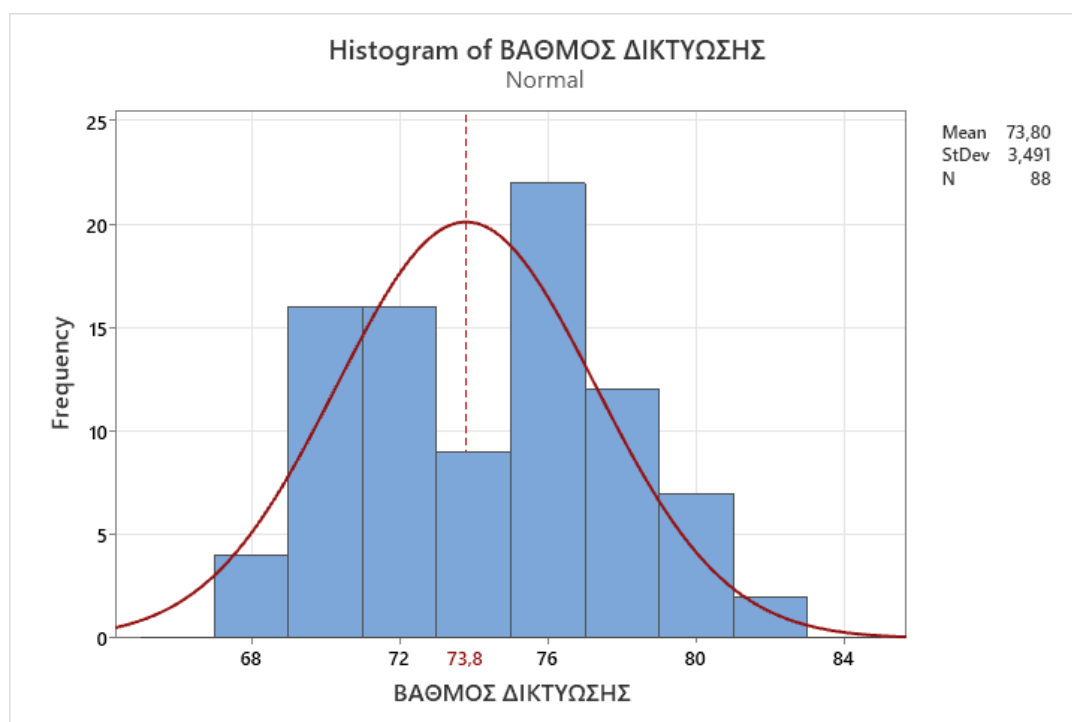
Για τη δημιουργία του ιστογράμματος της συρρίκνωσης και του ιστογράμματος βαθμού δικτύωσης χρησιμοποιήθηκαν τα πειραματικά δεδομένα του παραπάνω πίνακα (Πίνακας 6.24).

Προέκυψαν τα παρακάτω διαγράμματα μέσω χρήσης του στατιστικού προγράμματος Minitab.



Σχήμα 6.28. Ιστόγραμμα συρρίκνωσης του σωλήνα (Θ).

Το ιστόγραμμα της συρρίκνωσης του σωλήνα (Θ) εμφανίζει κάποιες κορυφές οι οποίες υποδηλώνουν ότι τα τελικά προϊόντα παράγονται είτε από διαφορετικές μηχανές είτε από διαφορετικούς χειριστές.



Σχήμα 6.29. Ιστογράμμο βαθμού δικτύωσης του σωλήνα (Θ).

Το ιστόγραμμα του βαθμού δικτύωσης του σωλήνα (Θ) εμφανίζει κάποιες κορυφές οι οποίες υποδηλώνουν ότι τα τελικά προϊόντα παράγονται είτε από διαφορετικές μηχανές είτε από διαφορετικούς χειριστές.

6.3.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ PARETO

Για τη δημιουργία του διαγράμματος Pareto χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του παρακάτω πίνακα (Πίνακας 6.25).

Κωδικός προβλήματος	Πρόβλημα	Συχνότητα
A	Πρόβλημα τυπωτικού	21
B	Βρωμιά	39
C	Πρόβλημα στη διάμετρο	18
D	Εξωτερική γραμμή	4
E	Κακή επιφάνεια	15
F	Πρόβλημα στο πάχος	141
G	Κόψιμο σωλήνα	12
H	Τρύπα	5
I	Φουσκώματα	7
J	Άλλα	3

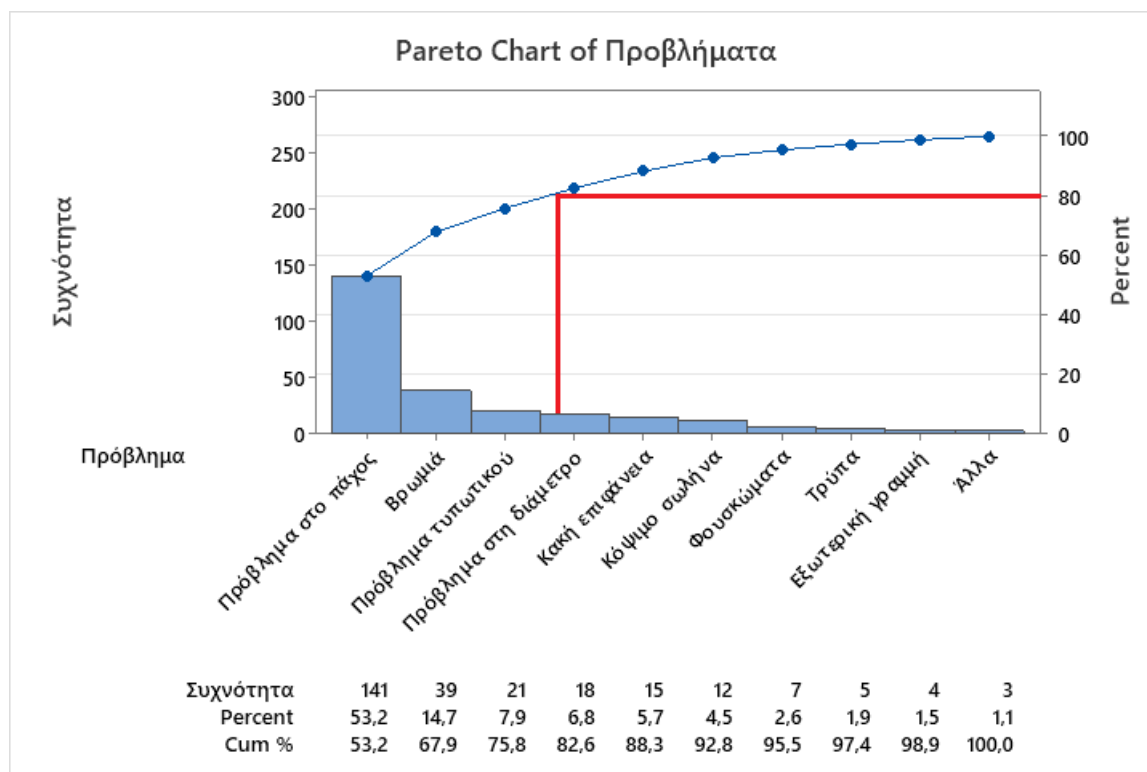
Πίνακας 6.25. Κατηγοριοποίηση προβλημάτων του σωλήνα (Θ).

Ο τροποποιημένος πίνακας, του οποίου τα στοιχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα για την κατασκευή του διαγράμματος Pareto είναι ο πίνακας 6.25α.

Διάταξη προβλημάτων ως προς τη συχνότητα	Συχνότητα προβλημάτων	Ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα προβλημάτων	Αθροιστικό ποσοστό
F	141	53,21	141	53,21
B	39	14,71	180	67,92
A	21	7,92	201	75,85
C	18	6,79	219	82,64
E	15	5,66	234	88,30
G	12	4,53	246	92,8
I	7	2,64	253	95,47
H	5	1,88	258	97,35
D	4	1,51	262	98,86
J	3	1,13	265	100
Σύνολο	265	100		

Πίνακας 6.25α. Τελικά δεδομένα ανάλυσης Pareto του σωλήνα (Θ).

Προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα Pareto μέσω χρήσης του στατιστικού προγράμματος Minitab.



Σχήμα 6.30. Διάγραμμα Pareto προβλημάτων του σωλήνα (Θ).

Όπως γίνεται αντιληπτό, οι κατηγορίες προβλημάτων που θα πρέπει να δοθεί μεγαλύτερη βαρύτητα, ώστε η Β.Ι.Π.Α.Σ. να βελτιώσει την ποιότητα του σωλήνα είναι οι κατηγορίες F, B, A, C που αφορούν το πρόβλημα στο πάχος, την βρωμιά το πρόβλημα τυπωτικού και το πρόβλημα στη διάμετρο αντίστοιχα και καταλαμβάνουν το 82,6% των συνολικών προβλημάτων.

6.3.4 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

Για τη δημιουργία του διαγράμματος ελέγχου συρρίκνωσης χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του παρακάτω πίνακα (Πίνακας 6.26).

ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ (%)										
ΜΗΝΑΣ									ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΕΥΡΟΣ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	1,1	1,1	1,2	1,3	1,5	1,3	1,2	1,2	1,2375	0,4
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	1,1	1,2	1,3	1,5	1,4	1,2	1,3	1,2	1,2750	0,4
ΜΑΡΤΙΟΣ	1,5	1,2	1,2	1,2	1,5	1,5	1,2	1,4	1,3375	0,3
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,5	1,5	1,1	1,2500	0,4
ΜΑΙΟΣ	1,2	1,2	1,3	1,4	1,4	1,2	1,1	1,2	1,2500	0,3
ΙΟΥΝΙΟΣ	1,2	1,3	1,2	1,5	1,2	1,1	1,3	1,3	1,2625	0,4
ΙΟΥΛΙΟΣ	1,2	1,1	1,3	1,1	1,3	1,3	1,5	1,4	1,2750	0,4
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	1,5	1,5	1,2	1,4	1,5	1,5	1,2	1,2	1,3750	0,3
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	1,4	1,6	1,3	1,5	1,6	1,1	1,2	1,1	1,3500	0,5
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	1,6	1,6	1,5	1,2	1,2	1,6	1,2	1,3	1,4000	0,4
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	1,3	1,5	1,2	1,5	1,2	1,2	1,5	1,6	1,3750	0,4
									1,3080	0,3818

Πίνακας 6.26. Πειραματικά δεδομένα διαγράμματος ελέγχου συρρίκνωσης του σωλήνα (Θ).

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, σύμφωνα με τον Γραφανάκη Δ. (2008), το καταλληλότερο διάγραμμα για τον έλεγχο της ποιότητας μίας διεργασίας είναι το διάγραμμα ελέγχου, καθώς αποτελεί μια γραφική μέθοδο αναγνώρισης για το αν μια διεργασία βρίσκεται υπό στατιστικό έλεγχο ή όχι. Συγκεκριμένα θα χρησιμοποιηθεί διάγραμμα ελέγχου μεταβλητών, καθώς το χαρακτηριστικό που μας ενδιαφέρει είναι συνεχές και μετρήσιμο, δηλαδή η συρρίκνωση του πολυμερικού σωλήνα. Επομένως, θα χρησιμοποιηθεί διάγραμμα ελέγχου μέσου όρου – εύρους $\bar{X}-R$, εφόσον το μέγεθος (n) της υποομάδας (δείγματος) είναι $n > 1$ και $n \leq 10$.

Αρχικά υπολογίζω την μέση τιμή της εκάστοτε υποομάδας και στη συνέχεια υπολογίζω τη μέση τιμή των μέσων τιμών και προκύπτει ότι $\bar{\bar{X}} = 1,3080$. Μετά υπολογίζω το εύρος της εκάστοτε υποομάδας και εν συνεχεία, βρίσκω την μέση τιμή του εύρους των υποομάδων και προκύπτει ότι $\bar{R} = 0,3818$.

Μέσω χρήσης του παραπάνω πίνακα (Πίνακας 6.8β) βρίσκονται οι συντελεστές που αντιστοιχούν στην υποομάδα με $n = 8$.

Διάγραμμα μέσου όρου:

Για να βρω το άνω όριο ελέγχου (UCL) χρησιμοποιώ τον τύπο:

$$(\bar{\bar{X}}) + A_2 \cdot (\bar{R}) \quad (6.1)$$

όπου για $n = 8$: $A_2 = 0,3725$ (6.26)

Άρα, από (6.1) και (6.26) προκύπτει ότι:

$$UCL = 1,3080 + 0,3725 \cdot 0,3818 = 1,4502 \quad (6.55)$$

Για το κάτω όριο ελέγχου (LCL) χρησιμοποιώ τον τύπο:

$$(\bar{\bar{X}}) - A_2 \cdot (\bar{R}) \quad (6.4)$$

Άρα, από την (6.26) και (6.4) προκύπτει ότι:

$$LCL = 1,3080 - 0,3725 \cdot 0,3818 = 1,1657 \quad (6.56)$$

Η κεντρική γραμμή (CL) προκύπτει από τον τύπο:

$$CL = \bar{\bar{X}} = 1,3080 \quad (6.57)$$

Διάγραμμα εύρους:

Για να βρω το άνω όριο ελέγχου (UCL) χρησιμοποιώ τον τύπο:

$$D_4 \cdot \bar{R} \quad (6.7)$$

όπου για $n = 8$: $D_4 = 1,8638$ (6.30)

Άρα, από τις (6.7) και (6.30) προκύπτει ότι:

$$UCL = 1,8638 \cdot 0,3818 = 0,7117 \quad (6.58)$$

Για το κάτω όριο ελέγχου (LCL) χρησιμοποιώ τον τύπο:

$$D_3 \cdot \bar{R} \quad (6.10)$$

όπου για $n = 8$: $D_3 = 0,1362$ (6.32)

Άρα, από τις (6.10) και (6.32) προκύπτει ότι:

$$LCL = 0,1362 \cdot 0,3818 = 0,0520 \quad (6.59)$$

Η κεντρική γραμμή (CL) προκύπτει από τον τύπο:

$$CL = \bar{R} = 0,3818 \quad (6.60)$$

Για να είναι μία διεργασία ικανή πρέπει ο δείκτης ικανότητας διεργασίας C_{pu} να είναι μεγαλύτερος ή ίσος της μονάδας. Επομένως, βρίσκω ότι:

$$\text{Για } n = 8 \rightarrow d_2 = 2,8472 \quad (6.35\alpha)$$

και

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{0,3818}{2,8472} = 0,1341 \quad (6.61)$$

Άρα,

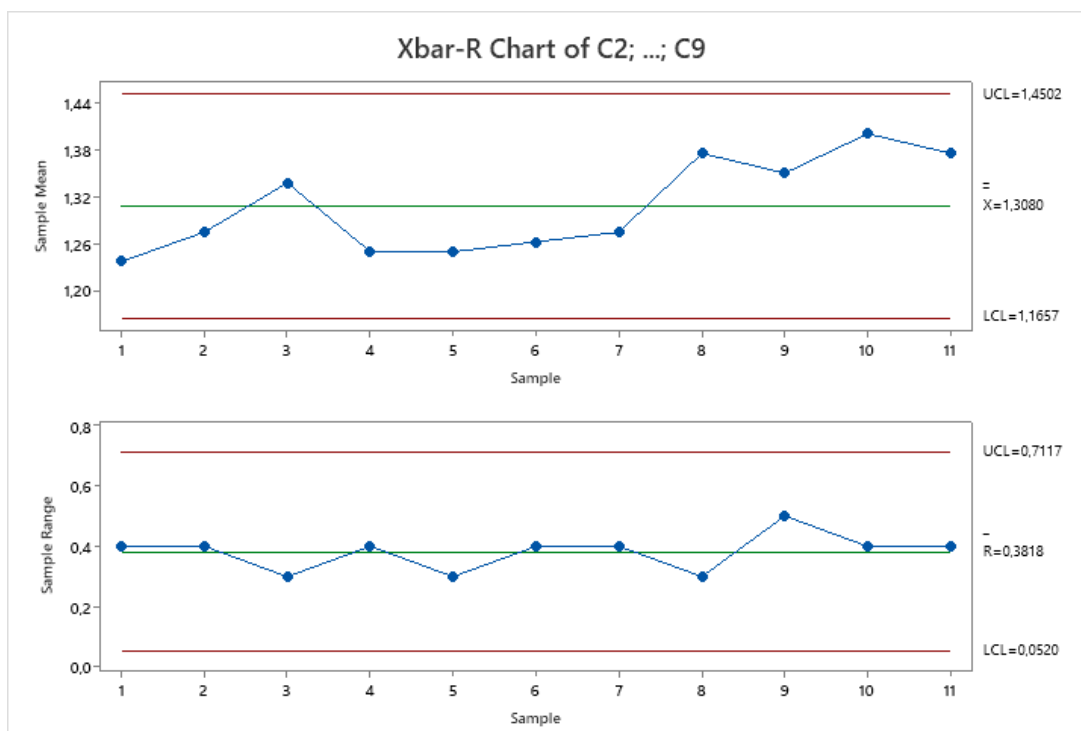
$$C_{pu} = \frac{USL - \bar{X}}{3 \cdot \hat{\sigma}} = \frac{3 - 1,3080}{0,4023} = 4,205 \quad (6.62)$$

Εφόσον

$$C_{pu} = 4,205 > 1 \quad (6.63)$$

Η διεργασία είναι ικανή, αναφορικά με τις μετρήσεις αυτής της ιδιότητας.

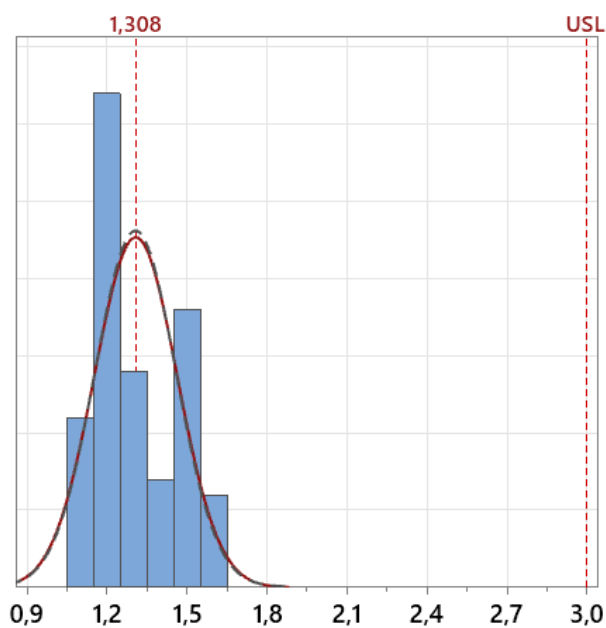
Προέκυψαν τα παρακάτω διαγράμματα ελέγχου μέσω χρήσης του στατιστικού προγράμματος Minitab.



Σχήμα 6.31. Διάγραμμα ελέγχου συρρίκνωσης του σωλήνα (Θ).

Στο παρόν διάγραμμα ελέγχου προκύπτει ένα μοτίβο τάσης που μπορεί να οφείλεται στη σταδιακή φθορά του εξοπλισμού, της ποιότητας των πρώτων υλών ή την σταδιακή κόπωση των χειριστών. Ακόμη, πολλά σημεία βρίσκονται κοντά στην κεντρική γραμμή, χωρίς να εμφανίζουν κάποια αξιοσημείωτη μεταβλητότητα και η μορφή αυτή μπορεί να προκύψει για παράδειγμα από τη λήψη λανθασμένων δεδομένων. Επομένως, πρέπει να γίνει έλεγχος και συντήρηση των μηχανημάτων, έλεγχος της α' ύλης, να γίνουν προσλήψεις σε περίπτωση έλλειψης προσωπικού και να γίνεται προσεκτική λήψη των δεδομένων.

Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 6.32) παρουσιάζεται η ικανότητα διεργασίας με τα ανώτερο όριο (USL) προδιαγραφών. Όπως φαίνεται στο σχήμα, η διεργασία βρίσκεται εντός ορίων προδιαγραφών και άρα είναι ικανή να παράγει προϊόντα εντός προδιαγραφών.



Σχήμα 6.32. Ικανότητα διεργασίας με το αντίστοιχο όριο προδιαγραφών του σωλήνα (Θ).
Πηγή: Minitab, LLC. (2021). Minitab. Retrieved from <https://www.minitab.com>

Για τη δημιουργία του διαγράμματος ελέγχου του βαθμού δικτύωσης χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω πειραματικά δεδομένα του παρακάτω πίνακα (**Πίνακας 6.27**).

ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΚΤΥΩΣΗΣ (%)										
ΜΗΝΑΣ									ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΕΥΡΟΣ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	73	71	71	71	70	72	76	74	72,25	6
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	73	67	72	78	72	68	69	70	71,125	11
ΜΑΡΤΙΟΣ	82	72	69	70	71	75	67	68	71,75	15
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	70	70	74	71	77	78	79	79	74,75	9
ΜΑΙΟΣ	70	72	70	71	76	76	75	77	73,375	7
ΙΟΥΝΙΟΣ	72	75	72	74	82	76	77	79	75,875	10
ΙΟΥΛΙΟΣ	72	69	70	72	75	77	75	75	73,125	8
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	77	73	73	75	80	79	75	77	76,125	7
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	75	73	77	75	75	75	69	70	73,625	8
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	79	80	76	75	69	70	74	75	74,75	11
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	76	77	78	70	72	75	77	75	75	8
									73,795	9,09

Πίνακας 6.27. Πειραματικά δεδομένα διαγράμματος ελέγχου βαθμού δικτύωσης του σωλήνα (Θ).

Όπως αναφέρεται στις προηγούμενες ενότητες, σύμφωνα με τον Γραφανάκη Δ. (2008), το καταλληλότερο διάγραμμα για τον έλεγχο της ποιότητας μίας διεργασίας είναι το διάγραμμα ελέγχου, καθώς αποτελεί μια γραφική μέθοδο αναγνώρισης για το αν μια διεργασία βρίσκεται υπό στατιστικό έλεγχο ή όχι. Συγκεκριμένα θα χρησιμοποιηθεί διάγραμμα ελέγχου μεταβλητών, καθώς το χαρακτηριστικό που μας ενδιαφέρει είναι συνεχές και μετρήσιμο, δηλαδή ο βαθμός δικτύωσης του πολυμερικού σωλήνα. Επομένως, θα χρησιμοποιηθεί διάγραμμα ελέγχου μέσου όρου – εύρους $\bar{X}-R$, εφόσον το μέγεθος (n) της υποομάδας (δείγματος) είναι $n > 1$ και $n \leq 10$.

Αρχικά υπολογίζω τον μέσο όρο (μέση τιμή) της εκάστοτε υποομάδας και προκύπτει ότι και στη συνέχεια υπολογίζω τη μέση τιμή των μέσων τιμών και προκύπτει ότι $\bar{\bar{X}} = 73,795$. Μετά υπολογίζω το εύρος της εκάστοτε υποομάδας και εν συνεχεία, βρίσκω την μέση τιμή του εύρους των υποομάδων και προκύπτει ότι $\bar{R} = 9,09$.

Μέσω χρήσης του παραπάνω πίνακα (**Πίνακας 6.8β**) βρίσκονται οι συντελεστές που αντιστοιχούν στην υποομάδα με $n = 8$.

Διάγραμμα μέσου όρου:

Για να βρω το άνω όριο ελέγχου (UCL) χρησιμοποιώ τον τύπο:

$$(\bar{\bar{X}}) + A_2 \cdot (\bar{R}) \quad (6.1)$$

όπου για $n = 8$: $A_2 = 0,3725$ (6.26)

Άρα, από (6.1) και (6.26) προκύπτει ότι:

$$UCL = 73.795 + 0,3725 \cdot 9.09 = 77,182 \quad (6.64)$$

Για το κάτω όριο ελέγχου (LCL) χρησιμοποιώ τον τύπο:

$$(\bar{\bar{X}}) - A_2 \cdot (\bar{R}) \quad (6.4)$$

Άρα, από την (6.26) και (6.4) προκύπτει ότι:

$$LCL = 73.795 - 0,3725 \cdot 9.09 = 70,409 \quad (6.65)$$

Η κεντρική γραμμή (CL) προκύπτει από τον τύπο:

$$CL = \bar{\bar{X}} = 73,795 \quad (6.66)$$

Διάγραμμα εύρους:

Για να βρω το άνω όριο ελέγχου (UCL) χρησιμοποιώ τον τύπο:

$$D_4 \cdot \bar{R} \quad (6.7)$$

όπου για $n = 8$: $D_4 = 1,8638$ (6.30)

Άρα, από τις (6.7) και (6.30) προκύπτει ότι:

$$UCL = 1,8638 \cdot 9,09 = 16.94 \quad (6.67)$$

Για το κάτω όριο ελέγχου (LCL) χρησιμοποιώ τον τύπο:

$$D_3 \cdot \bar{R} \quad (6.10)$$

όπου για $n = 8$: $D_3 = 0,1362$ (6.32)

Άρα, από τις (10) και (11) προκύπτει ότι:

$$LCL = 0,1362 \cdot 9,09 = 1,24 \quad (6.68)$$

Η κεντρική γραμμή (CL) προκύπτει από τον τύπο:

$$CL = \bar{R} = 9,09 \quad (6.69)$$

Για να είναι μία διεργασία ικανή πρέπει ο δείκτης ικανότητας διεργασίας C_p να είναι μεγαλύτερος ή ίσος της μονάδας. Επομένως, βρίσκω ότι:

$$\text{Για } n = 8 \rightarrow d_2 = 2,8472 \quad (6.35\alpha)$$

και

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{9,09}{2,8472} = 3,1926 \quad (6.70)$$

Άρα,

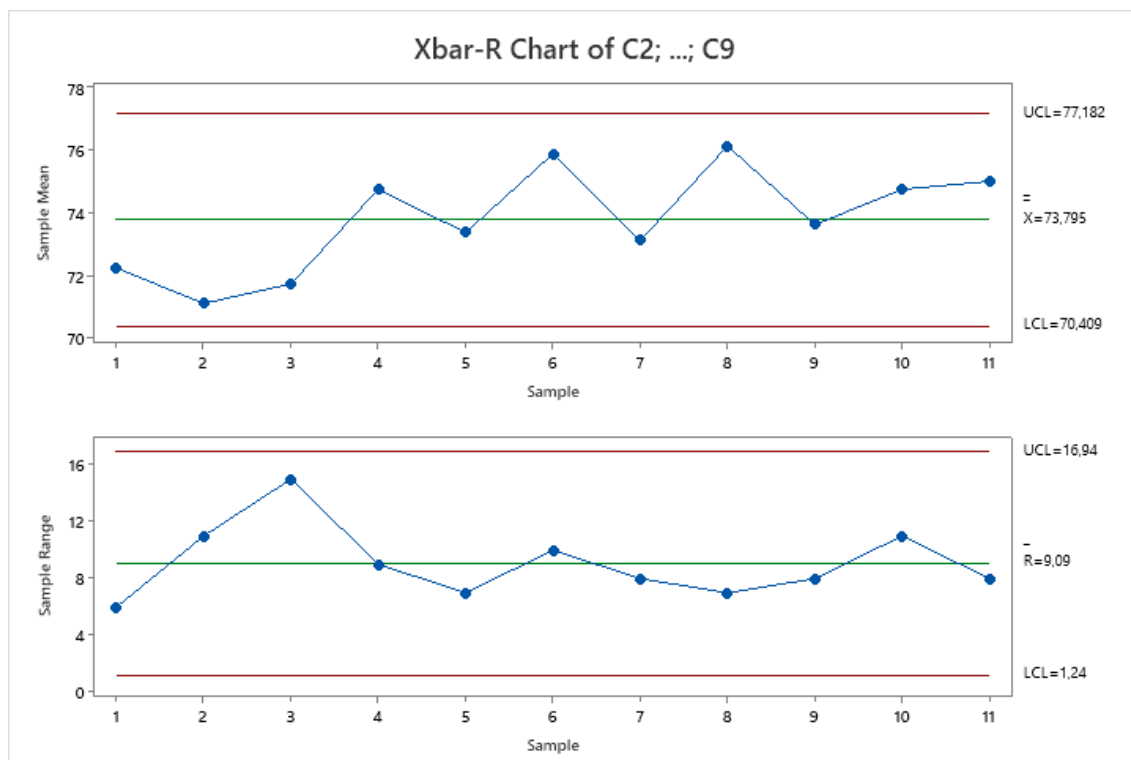
$$C_p = \frac{USL - LSL}{6 \cdot \hat{\sigma}} = \frac{85 - 65}{19,1556} = 1,045 \quad (6.71)$$

Εφόσον

$$C_p = 1,045 > 1 \quad (6.72)$$

Η διεργασία είναι ικανή, αναφορικά με τις μετρήσεις αυτής της ιδιότητας. Ωστόσο, επειδή η διεργασία είναι οριακά ικανή, υπάρχει ο κίνδυνος να παραχθούν προϊόντα εκτός προδιαγραφών. Επομένως, μπορούν να γίνουν ενέργειες για βελτίωση της διεργασίας καθώς ακόμη και παρακολούθηση αυτής για την διασφάλιση παραγωγής προϊόντων εντός προδιαγραφών καθ' όλη την παραγωγική διαδικασία.

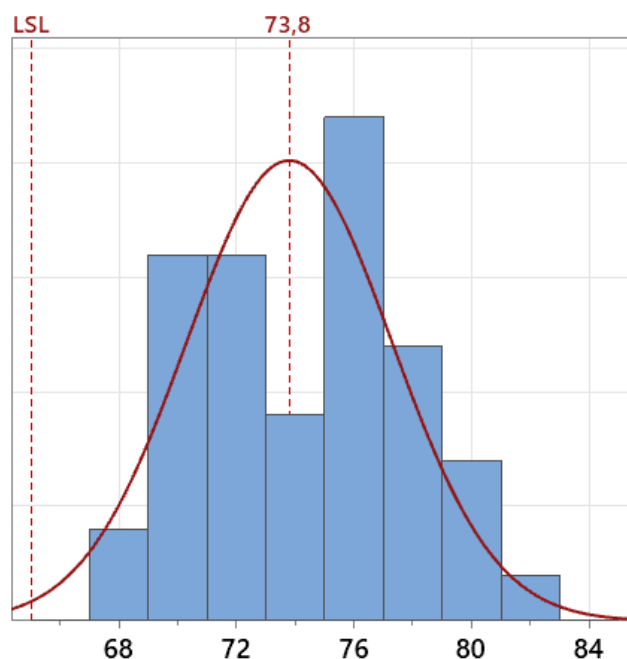
Προέκυψαν τα παρακάτω διαγράμματα ελέγχου μέσω χρήσης του στατιστικού προγράμματος Minitab.



Σχήμα 6.33 Διάγραμμα ελέγχου βαθμού δικτύωσης του σωλήνα (Θ).

Στο παρόν διάγραμμα ελέγχου προκύπτει ένα μοτίβο τάσης που μπορεί να οφείλεται στη σταδιακή φθορά του εξοπλισμού, της ποιότητας των πρώτων υλών ή την σταδιακή κόπωση των χειριστών. Ακόμη, πολλά σημεία βρίσκονται κοντά στην κεντρική γραμμή, χωρίς να εμφανίζουν κάποια αξιοσημείωτη μεταβλητότητα και η μορφή αυτή μπορεί να προκύψει για παράδειγμα από τη λήψη λανθασμένων δεδομένων. Επομένως, πρέπει να γίνει έλεγχος και συντήρηση των μηχανημάτων, έλεγχος της α' ύλης, να γίνουν προσλήψεις σε περίπτωση έλλειψης προσωπικού και να γίνεται προσεκτική λήψη των δεδομένων.

Στο παρακάτω σχήμα (**Σχήμα 6.34**) παρουσιάζεται η ικανότητα διεργασίας με τα κατώτερο όριο (LSL) προδιαγραφών. Όπως φαίνεται στο σχήμα, η διεργασία βρίσκεται εντός ορίων προδιαγραφών και άρα είναι ικανή να παράγει προϊόντα εντός προδιαγραφών. Όμως, παρουσιάζεται ένα μοτίβο με δύο κορυφές, το οποίο υποδηλώνει ότι τα προϊόντα προκύπτουν από διαφορετικές -ίσως- γραμμές παραγωγής. Ενδεχομένως να χρειάζεται να γίνει ομογενοποίηση της διεργασίας για τη διασφάλιση παραγωγής προϊόντων υψηλής ποιότητας.



Σχήμα 6.34. Ικανότητα διεργασίας με τα αντίστοιχα όρια του σωλήνα (Θ).
Πηγή: Minitab, LLC. (2021). Minitab. Retrieved from <https://www.minitab.com>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει η συνοπτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων που διεξήχθησαν στα προηγούμενα κεφάλαια. Εν συνεχεία, θα αναδειχθούν τα οφέλη που προέκυψαν από την μελέτη της παρούσας ΜΔΕ και τέλος, θα παρουσιαστούν πιθανές προτάσεις βελτίωσης για την παραγωγική διαδικασία των πλαστικών σωλήνων, με σκοπό την διασφάλιση υψηλής ποιότητας των προϊόντων.

7.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στην παρούσα μελέτη, στα πρώτα κεφάλαια αναλύθηκαν εκτενώς σημαντικές έννοιες της ποιότητας, όπως του κύκλου ποιότητας, της σχέσης προμηθευτή – πελάτη και της συνεχούς βελτίωσης. Εν συνεχεία, του θεωρητικού μέρους της παρούσας ΜΔΕ έγινε αναφορά στις φιλοσοφίες των «Γκουρού» της ποιότητας, καθώς ακόμη παρουσιάστηκε η μεθοδολογία 6σ και οι φάσεις από τις οποίες αποτελείται. Ακόμη, έγινε σύγκριση της ΔΟΠ και της μεθοδολογίας 6σ. Επιπλέον, στα επόμενα κεφάλαια παρουσιάστηκαν τα στατιστικά εργαλεία ποιότητας που χρησιμοποιήθηκαν για τον εντοπισμό προβλημάτων στην παραγωγική διαδικασία και έγινε αναφορά στον δείκτη ικανότητας διεργασίας. Στο παρακάτω κεφάλαιο, παρουσιάστηκε η βιομηχανία παραγωγής σωλήνων στην οποία βασίστηκε η παρούσα ΜΔΕ, ενώ παράλληλα αναλύθηκαν οι τεχνικές ελέγχου ποιότητας που εφαρμόζονται για τη διασφάλιση της ποιότητας του τελικού προϊόντος. Στο πειραματικό μέρος της παρούσας ΜΔΕ έγινε εκτενής ανάλυση των τεχνικών ελέγχου ποιότητας για τρεις κατηγορίες σωλήνων, άρδευσης, ύδρευσης και θέρμανσης, καθώς ακόμη παρουσιάστηκαν τα αντίστοιχα διαγράμματα και οι κατάλληλοι σχολιασμοί, με σκοπό να εφαρμοστούν οι αρμόζουσες διορθωτικές ενέργειες για την παραγωγή προϊόντων υψηλής ποιότητας.

Πιο συγκεκριμένα, στο πειραματικό μέρος έγινε μελέτη των ιδιοτήτων της θραύσης, της ροής, της επιμήκυνσης στη θραύση, της συρρίκνωσης και της δικτύωσης των πολυμερικών σωλήνων ανάλογα την κατηγορία στην οποία βρίσκονται και κατά πόσο κάθε φορά η, προς μελέτη, ιδιότητα ήταν εντός καθορισμένων προδιαγραφών. Τα στατιστικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν ήταν: α) διάγραμμα διασποράς, β) διάγραμμα ιστογράμματος, γ) διάγραμμα Pareto και δ) διάγραμμα ελέγχου. Για την εφαρμογή των στατιστικών εργαλείων

χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πρόγραμμα Minitab και μέσω αυτών προέκυψαν τα αντίστοιχα διαγράμματα που συνέβαλαν στην διεξαγωγή των συμπερασμάτων. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικότερα τα αποτελέσματα για τον κάθε σωλήνα.

Για τη μελέτη του σωλήνα (Α) πάρθηκαν δεδομένα του έτους 2022 και 2023 με σκοπό μέσω της ανάλυσης της μεταβλητότητας των εξεταζόμενων χαρακτηριστικών να εντοπιστεί η παρουσία -ή μη- ειδικών αιτιών. Για τον σωλήνα (Α) προέκυψαν τα παρακάτω.

- Για τις ιδιότητες θραύση – M.F.I. εντοπίστηκε μέσω του αντίστοιχου διαγράμματος διασποράς μία πολύ μικρή θετική σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών. Η τιμή του M.F.I., δεν επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό την αντοχή του σωλήνα. Επομένως, οι δύο μεταβλητές είναι ουσιαστικά ανεξάρτητες η μία από την άλλη στην παρούσα περίπτωση.
- Για την ιδιότητα της θραύσης, το διάγραμμα του ιστογράμματος είναι φυσιολογικό.
- Για την ιδιότητα του M.F.I., το διάγραμμα του ιστογράμματος είναι φυσιολογικό.
- Το διάγραμμα Pareto δείχνει ότι η Β.Ι.Π.Α.Σ. για να βελτιώσει την ποιότητα του σωλήνα πρέπει να δώσει έμφαση στα κάτωθι προβλήματα τα οποία καταλαμβάνουν το 80,4% των συνολικών προβλημάτων και αφορούν το πρόβλημα τυπωτικού, την κακή επιφάνεια, το κόψιμο του σωλήνα, τα σχισίματα στο σωλήνα, το πρόβλημα στη διάμετρο και την βρωμιά.
- Για την ιδιότητα της θραύσης, το διάγραμμα ελέγχου παρουσιάζει ένα μοτίβο τάσης που μπορεί να οφείλεται στη σταδιακή φθορά του εξοπλισμού, της ποιότητας των πρώτων υλών ή την σταδιακή κόπωση των χειριστών. Άρα, είναι σημαντικό να γίνει έλεγχος και συντήρηση των μηχανημάτων και να γίνουν προσλήψεις σε περίπτωση έλλειψης προσωπικού. Ο δείκτης C_{pl} ($= 1,145$), έχει καλή τιμή εφόσον είναι μεγαλύτερη της μονάδας με αποτέλεσμα η διεργασία για την, προς μελέτη, ιδιότητα να κρίνεται ικανή. Ωστόσο, η διεργασία επιδέχεται κάποια βελτίωση, παρ' ότι είναι σαφώς ικανή, καθώς στόχος είναι η συνεχής βελτίωση.
- Για την ιδιότητα του M.F.I., στο διάγραμμα ελέγχου παρατηρείται πως έξι ή περισσότερα συνεχή σημεία βρίσκονται στην ίδια πλευρά της κεντρικής γραμμής γεγονός που μπορεί να οφείλεται στην μεταβολή της ρύθμισης του εξοπλισμού σε διαφορετικό επίπεδο από το αρχικό. Ακόμη, προκύπτει ένα μοτίβο τάσης που ίσως να οφείλεται στη σταδιακή φθορά του εξοπλισμού, της ποιότητας των πρώτων υλών ή την σταδιακή κόπωση των χειριστών. Επομένως, πρέπει να γίνει έλεγχος και συντήρηση των μηχανημάτων, έλεγχος της α' ύλης και να γίνουν προσλήψεις σε περίπτωση έλλειψης προσωπικού. Ο δείκτης C_p ($= 2,85$), έχει καλή

τιμή εφόσον είναι μεγαλύτερη της μονάδας με αποτέλεσμα η διεργασία για την, προς μελέτη, ιδιότητα να κρίνεται ικανή.

Για τη μελέτη του σωλήνα (Υ) πάρθηκαν δεδομένα του έτους 2022 και 2023 με σκοπό μέσω της ανάλυσης της μεταβλητότητας των εξεταζόμενων χαρακτηριστικών να εντοπιστεί η παρουσία -ή μη- ειδικών αιτιών. Για τον σωλήνα (Υ) προέκυψαν τα παρακάτω.

- Για τις ιδιότητες συρρίκνωση – M.F.I. εντοπίστηκε μέσω του αντίστοιχου διαγράμματος διασποράς μία μικρή θετική σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών και βρέθηκε η αντίστοιχη ευθεία παλινδρόμησης. Παρατηρείται πως υπάρχει μία ασθενής, αλλά αισθητή σχέση μεταξύ των δύο αυτών μεταβλητών. Όσο αυξάνεται η τιμή του M.F.I. υπάρχει μία τάση αύξησης και της τιμής της συρρίκνωσης.
- Για τις ιδιότητες συρρίκνωση – επιμήκυνση στη θραύση εντοπίστηκε μέσω του αντίστοιχου διαγράμματος διασποράς μία μικρή αρνητική σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών και βρέθηκε η αντίστοιχη ευθεία παλινδρόμησης. Όταν η τιμή της συρρίκνωσης αυξάνεται, υπάρχει μία τάση η τιμή της επιμήκυνσης στη θραύση να μειώνεται.
- Για τις ιδιότητες M.F.I. – επιμήκυνση στη θραύση εντοπίστηκε μέσω του αντίστοιχου διαγράμματος διασποράς μία πολύ μικρή αρνητική σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών. Η τιμή του M.F.I. έχει σχεδόν μηδαμινή επίδραση στην τιμή της επιμήκυνσης στη θραύση.
- Για την ιδιότητα της συρρίκνωσης, το διάγραμμα του ιστογράμματος παρουσιάζει μια υψηλή κορυφή σε μια ουρά, που μπορεί να οφείλεται σε μετρήσεις προς τη μεριά μιας ουράς που έχουν συσσωρευθεί σε μια τάξη με μετρήσεις της μορφής “μεγαλύτερες από ...” (ή “μικρότερες από ...”). Ακόμη, εμφανίζει κάποιες κορυφές οι οποίες υποδηλώνουν ότι τα τελικά προϊόντα παράγονται είτε από διαφορετικές μηχανές είτε από διαφορετικούς χειριστές.
- Για την ιδιότητα του M.F.I., το διάγραμμα του ιστογράμματος είναι φυσιολογικό.
- Για την ιδιότητα της επιμήκυνσης στη θραύση, το διάγραμμα του ιστογράμματος παρουσιάζει κάποιες κορυφές οι οποίες υποδηλώνουν ότι τα τελικά προϊόντα παράγονται είτε από διαφορετικές μηχανές είτε από διαφορετικούς χειριστές.
- Το διάγραμμα Pareto δείχνει ότι η Β.Ι.Π.Α.Σ. για να βελτιώσει την ποιότητα του σωλήνα πρέπει να δώσει έμφαση στα κάτωθι προβλήματα τα οποία καταλαμβάνουν το 80,4% των συνολικών προβλημάτων και αφορούν το πρόβλημα τυπωτικού, την κακή επιφάνεια, το κόψιμο του σωλήνα, τα σχισίματα στο σωλήνα, το πρόβλημα στη διάμετρο και την βρωμιά.

- Για την ιδιότητα της συρρίκνωσης, το διάγραμμα ελέγχου παρουσιάζει ένα μοτίβο τάσης που μπορεί να οφείλεται στη σταδιακή φθορά του εξοπλισμού, της ποιότητας των πρώτων υλών ή την σταδιακή κόπωση των χειριστών. Επομένως, πρέπει να γίνει έλεγχος και συντήρηση των μηχανημάτων, έλεγχος της α' ύλης και να γίνουν προσλήψεις σε περίπτωση έλλειψης προσωπικού. Ο δείκτης C_{pu} ($= 2,932$), έχει καλή τιμή εφόσον είναι μεγαλύτερη της μονάδας με αποτέλεσμα η διεργασία για την, προς μελέτη, ιδιότητα να κρίνεται ικανή.
- Για την ιδιότητα του M.F.I., στο διάγραμμα ελέγχου παρατηρείται ένα μοτίβο τάσης που μπορεί να οφείλεται στη σταδιακή φθορά του εξοπλισμού, της ποιότητας των πρώτων υλών ή την σταδιακή κόπωση των χειριστών. Επιπροσθέτως, υπάρχουν σημεία που βρίσκονται πολύ κοντά στα όρια ελέγχου και αυτό το μοτίβο μπορεί να προκύψει από σύντομη (όχι μόνιμη) εμφάνιση ενός ειδικού αιτίου όπως είναι η δοκιμαστική χρήση πρώτης ύλης από διαφορετικό προμηθευτή. Επομένως, πρέπει να γίνει έλεγχος και συντήρηση των μηχανημάτων, έλεγχος της α' ύλης και να γίνουν προσλήψεις σε περίπτωση έλλειψης προσωπικού. Ο δείκτης C_p ($= 2,12$), έχει καλή τιμή εφόσον είναι μεγαλύτερη της μονάδας με αποτέλεσμα η διεργασία για την, προς μελέτη, ιδιότητα να κρίνεται ικανή.
- Για την ιδιότητα της επιμήκυνσης στη θραύση, το διάγραμμα ελέγχου παρουσιάζει ένα μοτίβο τάσης που μπορεί να οφείλεται στη σταδιακή φθορά του εξοπλισμού, της ποιότητας των πρώτων υλών ή την σταδιακή κόπωση των χειριστών. Επομένως, είναι απαραίτητο να γίνει έλεγχος και συντήρηση των μηχανημάτων, έλεγχος της α' ύλης και να γίνουν προσλήψεις σε περίπτωση έλλειψης προσωπικού. Ο δείκτης C_{pl} ($= 1,39$), έχει καλή τιμή εφόσον είναι μεγαλύτερη της μονάδας με αποτέλεσμα η διεργασία για την, προς μελέτη, ιδιότητα να κρίνεται ικανή. Ωστόσο, η διεργασία επιδέχεται κάποια βελτίωση, παρ' ότι είναι σαφώς ικανή, καθώς στόχος είναι η συνεχής βελτίωση.

Για τη μελέτη του σωλήνα (Θ) πάρθηκαν δεδομένα του έτους 2022 και 2023 με σκοπό μέσω της ανάλυσης της μεταβλητότητας των εξεταζόμενων χαρακτηριστικών να εντοπιστεί η παρουσία -ή μη- ειδικών αιτιών. Για τον σωλήνα (Θ) προέκυψαν τα παρακάτω.

- Για τις ιδιότητες συρρίκνωση – βαθμός δικτύωσης, εντοπίστηκε μέσω του αντίστοιχου διαγράμματος διασποράς μία μικρή θετική σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών και βρέθηκε η αντίστοιχη ευθεία παλινδρόμησης. Καθώς αυξάνεται η τιμή της συρρίκνωσης υπάρχει μία τάση για αύξηση της τιμής του βαθμού δικτύωσης. Δηλαδή, ο βαθμός δικτύωσης φαίνεται να έχει μία αξιοσημείωτη επίδραση στην συρρίκνωση.

- Για την ιδιότητα της συρρίκνωσης, το διάγραμμα του ιστογράμματος εμφανίζει κάποιες κορυφές οι οποίες υποδηλώνουν ότι τα τελικά προϊόντα παράγονται είτε από διαφορετικές μηχανές είτε από διαφορετικούς χειριστές.
- Για την ιδιότητα του βαθμού δικτύωσης, το διάγραμμα του ιστογράμματος εμφανίζει κάποιες κορυφές οι οποίες υποδηλώνουν ότι τα τελικά προϊόντα παράγονται είτε από διαφορετικές μηχανές είτε από διαφορετικούς χειριστές.
- Το διάγραμμα Pareto δείχνει ότι η Β.Ι.Π.Α.Σ. για να βελτιώσει την ποιότητα του σωλήνα πρέπει να δώσει έμφαση στα κάτωθι προβλήματα τα οποία καταλαμβάνουν το 82,6% των συνολικών προβλημάτων και αφορούν το πρόβλημα στο πάχος, την βρωμιά, το πρόβλημα τυπωτικού και το πρόβλημα στη διάμετρο.
- Για την ιδιότητα της συρρίκνωσης, το διάγραμμα ελέγχου παρουσιάζει ένα μοτίβο τάσης που μπορεί να οφείλεται στη σταδιακή φθορά του εξοπλισμού, της ποιότητας των πρώτων υλών ή την σταδιακή κόπωση των χειριστών. Ακόμη, πολλά σημεία βρίσκονται κοντά στην κεντρική γραμμή, χωρίς να εμφανίζουν κάποια αξιοσημείωτη μεταβλητότητα και αυτό μπορεί να οφείλεται στη λήψη λανθασμένων δεδομένων. Επομένως, πρέπει να γίνει έλεγχος και συντήρηση των μηχανημάτων, έλεγχος της α' ύλης, να γίνουν προσλήψεις σε περίπτωση έλλειψης προσωπικού και να γίνεται προσεκτική λήψη των δεδομένων. Ο δείκτης C_{pu} ($= 4,205$), έχει καλή τιμή εφόσον είναι μεγαλύτερη της μονάδας με αποτέλεσμα η διεργασία για την, προς μελέτη, ιδιότητα να κρίνεται ικανή.
- Για την ιδιότητα του βαθμού δικτύωσης, στο διάγραμμα ελέγχου παρατηρείται ένα μοτίβο τάσης που μπορεί να οφείλεται στη σταδιακή φθορά του εξοπλισμού, της ποιότητας των πρώτων υλών ή την σταδιακή κόπωση των χειριστών. Ακόμη, πολλά σημεία βρίσκονται κοντά στην κεντρική γραμμή, χωρίς να εμφανίζουν κάποια αξιοσημείωτη μεταβλητότητα και η μορφή αυτή μπορεί να προκύψει για παράδειγμα από τη λήψη λανθασμένων δεδομένων. Άρα, πρέπει να γίνει έλεγχος και συντήρηση των μηχανημάτων, έλεγχος της α' ύλης, να γίνουν προσλήψεις σε περίπτωση έλλειψης προσωπικού και να γίνεται προσεκτική λήψη των δεδομένων. Ο δείκτης C_p ($= 1,045$), έχει σχετικά καλή τιμή εφόσον είναι μεγαλύτερη της μονάδας με αποτέλεσμα η διεργασία για την, προς μελέτη, ιδιότητα να κρίνεται ικανή. Ωστόσο, επειδή η διεργασία είναι οριακά ικανή, υπάρχει ο κίνδυνος να παραχθούν προϊόντα εκτός προδιαγραφών. Επομένως, μπορούν να γίνουν ενέργειες για βελτίωση της διεργασίας, καθώς ακόμη και παρακολούθηση αυτής για την διασφάλιση παραγωγής προϊόντων εντός προδιαγραφών καθ' όλη την παραγωγική διαδικασία.

Εν κατακλείδι, η ΒΙ.ΠΑ.Σ. πρέπει να εφαρμόσει διορθωτικά μέτρα όσον αφορά, τον εξοπλισμό, την α' ύλη που προμηθεύεται και το προσωπικό. Μέσω της παρούσας ΜΔΕ αναδείχθηκε η σημασία και η αναγκαιότητα του στατιστικού ελέγχου διεργασιών για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των διεργασιών που εφαρμόζει η βιομηχανία, με σκοπό την διασφάλιση προϊόντων υψηλής ποιότητας και τη συνεχή βελτίωση αυτών.

Σε γενικές γραμμές η παραγωγική διεργασία διακρίνεται από ικανοποιητική στατιστική διακύμανση των διεργασιών και των τελικών ιδιοτήτων των παραγόμενων προϊόντων. Ωστόσο, από την επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων προέκυψαν διαγράμματα αξιολόγησης της ποιότητας στα οποία εντοπίστηκαν περιοχές μεγαλύτερης διακύμανσης. Οι διακυμάνσεις αυτές, με τη βοήθεια των αναλύσεων Αιτίου-Αποτελέσματος και Pareto, δύναται να βελτιωθούν έπειτα από στοχευμένες παρεμβάσεις και να επιτευχθεί, έτσι, ο βασικός στόχος για «συνεχή βελτίωση» που απαιτεί η σύγχρονη αντίληψη περί ολικής ποιότητας.

7.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Για να υπάρξει ολοκληρωτικό όφελος από την εφαρμογή της μελέτης της παρούσας ΜΔΕ, θα πρέπει ο στατιστικός έλεγχος διεργασίας (ΣΕΔ) να εφαρμοστεί σε όλη τη γκάμα των παραγόμενων προϊόντων της εταιρίας. Δηλαδή να εφαρμοστεί σε όλους τα παραγόμενους σωλήνες. Για την διεξαγωγή πιο αξιόπιστων αποτελεσμάτων θα μπορούσε να γίνει σύγκριση των χαρακτηριστικών των τελικών προϊόντων που παράγονται με διαφορετικές παραμέτρους όπως για παράδειγμα σωλήνες που έχουν ίδια χαρακτηριστικά και εφαρμογές, η α' ύλη των οποίων προέρχεται από διαφορετικό προμηθευτή. Ακόμη, θα μπορούσε να γίνει μελέτη των χαρακτηριστικών των τελικών προϊόντων που παράγονται υπό την εποπτεία διαφορετικού μηχανικού ή η σύγκριση από διαφορετικές μηχανές.

Η εφαρμογή του στατιστικού ελέγχου είναι μεγίστης σημασίας καθώς μέσω αυτού διασφαλίζεται η ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων, ενώ παράλληλα εξοικονομείται χρόνος και χρήμα, παράγοντες που αποτελούν πυλώνες για τις επιχειρήσεις.

Δύναται να αναπτυχθεί μια αυτοματοποιημένη διαδικασία παρακολούθησης των διαγραμμάτων στατιστικού ελέγχου (και άλλων στατιστικών διαγραμμάτων) με τη βοήθεια Η/Υ ώστε να πραγματοποιούνται βελτιώσεις σε πραγματικό χρόνο, να προλαμβάνονται παραγωγικές δυσλειτουργίες, να αντιμετωπίζονται άμεσα τα ειδικά αίτια κακής ποιότητας και έτσι να περιορίζονται τα φαινόμενα παραγωγής προϊόντων μέτριας ποιότητας. Το αυτοματοποιημένο σύστημα μπορεί να υποβοηθάται από μεθόδους τεχνητής νοημοσύνης και

μηχανικής μάθησης και να προβαίνει ακόμα και στον τρόπο συνολικού σχεδιασμού των πειραματικών διαδικασιών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλιογραφικές Αναφορές

Ελληνόγλωσσες

Γραφανάκης Δ. (2000). *Βασικά Εργαλεία και Μέθοδοι για τον Έλεγχο της Ποιότητας. Τόμος Δ'. Στατιστικός Έλεγχος Ποιότητας*. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο. Πάτρα.

Καραγιαννίδης Γ. Π., Σιδερίδου Ε. Δ. (2010). *Χημεία Πολυμερών*. Εκδόσεις ΖΗΤΗ.

Κούτρας, Μ. (2008). Προηγμένα Εργαλεία και Μέθοδοι για τον Έλεγχο της Ποιότητας: Θέματα Στατιστικού Ελέγχου Διεργασίας. ΔΙΠ 60, Τευχίδιο Α'. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο. Πάτρα.

Συμεωνάκη Μ. (2021). Στατιστικές μέθοδοι στην Κοινωνική Έρευνα II. Σημειώσεις μαθήματος. Π.Μ.Σ. Κοινωνική Πολιτική: Μέθοδοι και Εφαρμογές. Πάντειο Πανεπιστήμιο. Τμήμα Κοινωνικής Πολιτικής.

Τσαρούχας Π., Ντέλιου Κ. (2018). *Σύγχρονες Μέθοδοι στην Διοίκηση και Τεχνολογία Ποιότητας*. Εκδόσεις ΔΙΣΙΓΜΑ.

Ξενόγλωσσες

Adebowale, S. (2024). Biodegradable Pipes and Insulation: Using Bioplastics for Eco-Friendly Building Practices. Ανακτήθηκε στις 14/6/2024 από www.medium.com

Arcidiacono, G., & Nuzzi, S. (2017). A review of the fundamentals on process capability, process performance, and process sigma, and an introduction to process sigma split. *International journal of applied engineering research*, 12(14), 4556-4570.

Battenfeld-Cincinnati. *Sustainable Solutions Worldwide*. Ανακτήθηκε στις 20/12/2023 από www.battenfeld-cincinnati.com

Beckford, J. (2016). *Quality: A critical introduction*. Routledge.

Chen, L., & Lin, Z. (2021). Polyethylene: properties, production and applications. In 2021 3rd International Academic Exchange Conference on Science and Technology Innovation (IAECST) (pp. 1191-1196). IEEE.

- Dasgupta, A., & Wahed, A. (2013). Clinical chemistry, immunology and laboratory quality control: a comprehensive review for board preparation, certification and clinical practice.
- Hadiyanto, H., & Sitepu, E. (2023). Statistical Process Control (SPC) Implementation in Manufacturing Industry to Improve Quality Performance: A Prisma Systematic Literature Review and Meta Analysis. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 426, p. 01066). EDP Sciences.
- Hsiao, C. T., Lin, C. P., & Fan, P. H. (2023). The application of six sigma to improve the yield of plastic injection molding. *South African Journal of Industrial Engineering*, 34(2), 152-170.
- Hussain, A., & Paharia, A. K. (2017). Application of six sigma approach for delay analysis in construction project.
- ISO 1133:2011_Plastics. Determination of the melt mass-flow rate (MFR) and melt volume-flow rate (MVR) of thermoplastics.
- ISO 1167:2006_ Thermoplastics pipes, fittings and assemblies for the conveyance of fluids.
- ISO 6259:2015_ Thermoplastics pipes. Determination of tensile properties.
- ISO 2505:2005_ Thermoplastics pipes. Longitudinal reversion.
- ISO 10147:2011_Pipes and fittings made of crosslinked polyethylene (PE-X). Estimation of the degree of crosslinking by determination of the gel content.
- Klefsjö, B., Wiklund, H., & Edgeman, R. L. (2001). Six sigma seen as a methodology for total quality management. *Measuring business excellence*, 5(1), 31-35.
- Kumar, S., Park, H. S., & Lee, C. M. (2020). Data-driven smart control of injection molding process. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 31, 439-449.
- McGrath, T. J., & Mruk, S. A. (1999). Thermoplastics Piping. *Piping Handbook*.
- Minitab, LLC. (2021). Minitab. Retrieved from <https://www.minitab.com>.
- Montgomery, D. C. (2019). *Introduction to statistical quality control*. John Wiley & sons.
- Setter, C. (2018). Six Sigma: A Complete Step-by-Step Guide: A Complete Training & Reference Guide for White Belts, Yellow Belts, Green Belts, and Black Belts. *The Council for Six Sigma Certification*.

Seymour, R. B., & Mark, H. F. (Eds.). (1988). *Applications of polymers*. New York: Plenum Press.

Shi, Y., Lin, W., Chen, P. K., & Su, C. H. (2019). How can the ISO 9000 QMS improve the organizational innovation of supply chains?. *International Journal of Innovation Science*, 11(2), 278-298.

Six Sigma & SPC Excel Add-in. QI Macros for Excel. Ανακτήθηκε στις 05/02/2024 από <https://www.qimacros.com/control-chart/fixed-limit-control-chart/>.

Tannady, H., & Purwanto, E. (Φεβρουάριος 2021). Quality control of frame production using DMAIC method in plastic PP corrugated box manufacturer. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1783, No. 1, p. 012078). IOP Publishing.

Walsh, T. (2011). The plastic piping industry in North America. In *Applied Plastics Engineering Handbook* (pp. 585-602). William Andrew Publishing.

Wu, C. W., Pearn, W. L., & Kotz, S. (2009). An overview of theory and practice on process capability indices for quality assurance. *International journal of production economics*, 117(2), 338-359.

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.