



**ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«Στατιστική παρακολούθηση διεργασίας στη βιομηχανία  
ανακύκλωσης θερμοπλαστικών»**

**ΜΠΑΡΚΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

**ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΚΑΡΑΓΡΗΓΟΡΙΟΥ  
ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΣΑΠΙΔΗΣ**

**ΠΑΤΡΑ  
ΜΑΡΤΙΟΣ 2025**

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ανακύκλωση αποτελεί μια από τις πιο αποτελεσματικές στρατηγικές για τη διαχείριση των αποβλήτων που προέρχονται από την υπέρ-κατανάλωση πλαστικού. Η μείωση του όγκου των πλαστικών αποβλήτων συμβάλλει στη μείωση της οπτικής και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, προσφέροντας σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη. Επιπλέον, οι δράσεις ανακύκλωσης οδηγούν σε τεράστια οικονομικά οφέλη, καθώς προστατεύουν κλάδους που πλήττονται από την πλαστική ρύπανση και δημιουργούν προοπτικές για την ενίσχυση της δευτερογενούς βιομηχανίας, ειδικά στην ανακύκλωση πλαστικών αγαθών. Η σημασία της παρούσας έρευνας έγκειται στη διερεύνηση και την αξιολόγηση των παραγωγικών και λειτουργικών διαδικασιών μιας βιομηχανίας ανακύκλωσης πλαστικών. Μέσω αυτής της έρευνας, μπορούν να αναγνωριστούν πιθανές δυσλειτουργίες και προβλήματα κατά τη διαδικασία παραγωγής ανακυκλωμένου πλαστικού, επιτρέποντας την εφαρμογή κατάλληλων μέτρων για τη βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας. Η εργασία αυτή επικεντρώνεται στην παρακολούθηση της παραγωγικής διαδικασίας ανακύκλωσης πλαστικών σε μια βιομηχανία, χρησιμοποιώντας διαγράμματα ελέγχου. Πιο συγκεκριμένα, στη βιομηχανία πλαστικού χρησιμοποιείται scrap πολυαιθυλενίου και πολυπροπυλενίου, το οποίο συλλέγεται από συγκεκριμένα κέντρα διαλογής. Το πολυαιθυλένιο αυτό επεξεργάζεται μέσω μηχανημάτων εξώθησης (extruders) για να διαμορφωθεί σε μορφή κόκκων, με ένα ποσοστό φύρας. Η μελέτη εστιάζει στο παραγόμενο ανακυκλωμένο υλικό, τα χαρακτηριστικά του, όπως η πυκνότητα, και τον τρόπο λειτουργίας και παραγωγής του υλικού, όπως ο δείκτης ροής μάζας (melt – flow index). Η πυκνότητα του υλικού είναι ένας κρίσιμος παράγοντας για την ποιότητα και την αποδοτικότητα της ανακύκλωσης. Ένας σταθερός και ελεγχόμενος δείκτης ροής μάζας υποδηλώνει μια σταθερή διαδικασία παραγωγής, εξασφαλίζοντας την ομοιομορφία και την ποιότητα του τελικού προϊόντος. Η έρευνα αναδεικνύει την ανάγκη για συνεχή παρακολούθηση και βελτίωση των διαδικασιών ανακύκλωσης, προκειμένου να διασφαλιστεί η αποδοτικότητα και η βιωσιμότητα της βιομηχανίας. Η χρήση διαγραμμάτων ελέγχου επιτρέπει τον εντοπισμό ανωμαλιών και αποκλίσεων από την κανονική διαδικασία παραγωγής, διευκολύνοντας την έγκαιρη λήψη διορθωτικών μέτρων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγικότητας, τη μείωση του κόστους παραγωγής και τη βελτίωση της ποιότητας του παραγόμενου υλικού. Τελικά, η ανακύκλωση πλαστικών αποτελεί μια βιώσιμη λύση για τη διαχείριση των αποβλήτων από πλαστικό, συμβάλλοντας στην προστασία του περιβάλλοντος και στην οικονομική ανάπτυξη. Οι βελτιωμένες διαδικασίες ανακύκλωσης μπορούν να ενισχύσουν τη δευτερογενή βιομηχανία, παρέχοντας

νέες ευκαιρίες για απασχόληση και καινοτομία. Η έρευνα αυτή αποτελεί ένα σημαντικό βήμα προς την κατεύθυνση της βελτίωσης των διαδικασιών ανακύκλωσης, εξασφαλίζοντας ένα πιο βιώσιμο και αποδοτικό μέλλον για την ανακύκλωση πλαστικών.

Λέξεις κλειδιά : πλαστικά, ανακύκλωση, διαγράμματα ελέγχου, πυκνότητα υλικού, ροή μάζας

## ABSTRACT

Recycling is one of the most effective strategies for managing the waste that comes from over-consumption of plastic. Reducing the volume of plastic waste helps reduce visual and air pollution, offering significant environmental benefits. In addition, recycling actions lead to huge economic benefits, as they protect industries affected by plastic pollution and create prospects for strengthening the secondary industry, especially in the recycling of plastic goods. The importance of the present research lies in the investigation and evaluation of the production and operational processes of a plastics recycling industry. Through this research, potential malfunctions and problems during the recycled plastic production process can be identified, allowing appropriate measures to be implemented to improve the production process. This work focuses on monitoring the production process of plastics recycling in an industry, using control charts. More specifically, polyethylene and polypropylene scrap is used in the plastic industry, which is collected from specific sorting centers. This polyethylene is processed through extrusion machines (extruders) to form granules, with a small percentage of fiber. The study focuses on the produced recycled material, its characteristics, such as density, and the operation and production mode of the material, such as the melt-flow index. Material density is a critical factor in recycling quality and efficiency. A stable and controlled mass flow rate indicates a stable production process, ensuring the uniformity and quality of the final product. The research highlights the need for continuous monitoring and improvement of recycling processes in order to ensure the efficiency and sustainability of the industry. The use of control charts allows the identification of anomalies and deviations from the normal production process, facilitating early corrective action. This results in an increase in productivity, a reduction in production costs and an improvement in the quality of the produced material. Ultimately, plastic recycling is a sustainable solution to plastic waste management, contributing to environmental protection and economic development. Improved recycling processes can boost secondary industry, providing new opportunities for employment and innovation. This research is an important step towards improving recycling processes, ensuring a more sustainable and efficient future for plastics recycling.

**Keywords:** plastics, recycling, control charts, material density, mass flow

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	1
ABSTRACT .....	3
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ .....	4
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ .....	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	8
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	9
1.1 Εισαγωγικές παρατηρήσεις.....	9
1.2 Σκοπός και ερευνητικά ερωτήματα .....	9
1.3 Βιβλιογραφική ανασκόπηση .....	10
1.4 Μεθοδολογία .....	15
1.5 Δομή εργασίας .....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΟΛΙΚΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ .....	16
2.1 Γενικά χαρακτηριστικά .....	16
2.2 Στατιστικός έλεγχος διεργασιών .....	18
2.3 Διαγράμματα ελέγχου .....	21
2.4 Ενδεικτικά Διαγράμματα ελέγχου μεταβλητών.....	26
2.4.1 Διάγραμμα ελέγχου μέσης τιμής - δειγματικής τυπικής απόκλισης ( $\bar{X}$ -s).....	26
2.4.2 Διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων τιμών και κινούμενου εύρους (I – MR).....	27
2.4.3 Διάγραμμα ελέγχου του εκθετικά σταθμισμένου κινούμενου μέσου (EWMA) .....	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ .....	31
3.1 Ανακύκλωση πλαστικών – μέθοδοι και τεχνικές .....	31
3.2 Σημασία – αναγκαιότητα ανακύκλωσης .....	32
3.3 Ανακύκλωση πλαστικών στην Ελλάδα .....	34
3.4 Μέθοδοι ανακύκλωσης πλαστικών .....	39
3.4.1 Πρωτογενής ανακύκλωση .....	39
3.4.2 Δευτερογενής ανακύκλωση .....	40
3.4.3 Τριτογενής ανακύκλωση .....	42
3.4.4 Τεταρτογενής ανακύκλωση.....	42
3.5 Περιβαλλοντικά οφέλη και αξιοποίηση ανακυκλωμένων πλαστικών .....	43
3.5.1 Αξιοποίηση ανακυκλωμένων πλαστικών.....	43
3.5.2 Περιβαλλοντικά οφέλη .....	46

3.6 Συμπεράσματα .....	47
3.7 Διαδικασία Ανακύκλωσης των Πλαστικών.....	48
3.8 Οφέλη της Ανακύκλωσης των Πλαστικών.....	48
3.9 Προκλήσεις της ανακύκλωσης των πλαστικών .....	49
3.10 Καινοτομίες και Βελτιώσεις.....	50
3.11 Εφαρμογή στη Βιομηχανία Ανακύκλωσης Θερμοπλαστικών .....	51
3.12 Πρακτική Εφαρμογή .....	52
3.13 Οφέλη της SPC στη Βιομηχανία Ανακύκλωσης Θερμοπλαστικών .....	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	54
4.1 Ερευνητικός σχεδιασμός.....	54
4.2 Παραγωγική διαδικασία και δεδομένα .....	55
4.3 Διαδικασία ανάλυσης δεδομένων και διαγράμματα ελέγχου .....	58
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....	60
5.1 Μελέτη χαρακτηριστικών ποιότητας.....	60
5.2 Φάση Α – Β παραγωγικής διαδικασίας.....	63
5.2.1 Μαύρο HDPE (προϊόν Α) .....	63
5.2.2 Αχρωμο HDPE (προϊόν Β) .....	70
5.2.3 PP Terracotta (προϊόν Γ).....	76
5.3 Φάση Γ ομογενοποίησης σε σιλό.....	82
5.3.1 Μαύρο HDPE (προϊόν Α) .....	83
5.3.2 Άχρωμο HDPE (προϊόν Β) .....	85
5.3.3 Terracotta (προϊόν Γ).....	87
ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	89
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ .....	94
Διαδικτυακές πηγές.....	94
Διεθνής βιβλιογραφία.....	95
Ελληνική βιβλιογραφία .....	96
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ – ΔΕΔΟΜΕΝΑ .....	97
Μαύρο HDPE (προϊόν Α) .....	97
Λευκό HDPE (προϊόν Β) .....	98
Terracotta PP (προϊόν Γ).....	100

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1: φάσεις διαδικασίας παραγωγής (Πηγή : Αντζουλάκος, 2009) .....	18
Διάγραμμα 2: τυπικό διάγραμμα ελέγχου .....	21
Διάγραμμα 3: τυπικό διάγραμμα ελέγχου, χωρισμένο σε ζώνες προειδοποίησης .....	23
Διάγραμμα 4: βελτίωση διαδικασίας με τη βοήθεια διαγράμματος ελέγχου (Πηγή : Montgomery, 2009).....	24
Διάγραμμα 5: επιλογή κατάλληλου διαγράμματος ελέγχου .....	25
Διάγραμμα 6: τυπικό διάγραμμα ελέγχου μέσης τιμής – δειγματικής τυπικής απόκλισης ...	27
Διάγραμμα 7: τυπικό διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων τιμών και κινούμενου εύρους (I – MR) .....	28
Διάγραμμα 8: τυπικό διάγραμμα ελέγχου εκθετικά σταθμισμένου κινούμενου μέσου (EWMA) .....	30
Διάγραμμα 9: ανακύκλωση – ταφή πλαστικών απορριμμάτων (Τριτοπούλου & Μπακόλα, 2022).....	35
Διάγραμμα 10: ποσοστά ανακύκλωσης και ταφής (Πηγή : Τριτοπούλου & Μπακόλα, 2022)37	
Διάγραμμα 11: διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους ΡΟΗΣ παραγόμενου προϊόντος Α (μαύρο HDPE) .....	63
Διάγραμμα 12: διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ παραγόμενου προϊόντος Α (μαύρο HDPE) .....	64
Διάγραμμα 13: διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους ΡΟΗΣ παραγόμενου προϊόντος Α (μαύρο HDPE) .....	65
Διάγραμμα 14: διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ παραγόμενου προϊόντος Α (μαύρο HDPE) .....	66
Διάγραμμα 15: διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους ΡΟΗΣ παραγόμενου προϊόντος Α (μαύρο HDPE) .....	67
Διάγραμμα 16: διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ παραγόμενου προϊόντος Α (μαύρο HDPE) .....	68
Διάγραμμα 17: διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους ΡΟΗΣ παραγόμενου προϊόντος Α (μαύρο HDPE) Α+Β ΦΑΣΗΣ .....	68
Διάγραμμα 18: διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ παραγόμενου προϊόντος Α (μαύρο HDPE) Α+Β ΦΑΣΗΣ .....	69
Διάγραμμα 19: διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους ΡΟΗΣ παραγόμενου προϊόντος Β (Άχρωμο HDPE) .....	70
Διάγραμμα 20: διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ παραγόμενου προϊόντος Β (Άχρωμο HDPE).....	71
Διάγραμμα 21: διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους ΡΟΗΣ παραγόμενου προϊόντος Β (Άχρωμο HDPE) μετά τις αλλαγές στην παραγωγική διαδικασία. ....	72
Διάγραμμα 22: διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ παραγόμενου προϊόντος Β (Άχρωμο HDPE) μετά τις αλλαγές στην παραγωγική διαδικασία.....	73
Διάγραμμα 23: διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους ΡΟΗΣ παραγόμενου προϊόντος Β (άχρωμο HDPE) Α+Β ΦΑΣΗΣ .....	74

Διάγραμμα 24: διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ παραγόμενου προϊόντος Β (άχρωμο HDPE) Α+Β ΦΑΣΗΣ .....	74
Διάγραμμα 25: διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους ΡΟΗΣ παραγόμενου προϊόντος Γ (PP terracotta) .....	76
Διάγραμμα 26: διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ παραγόμενου προϊόντος Γ (PP terracotta) .....	77
Διάγραμμα 27: διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους ΡΟΗΣ παραγόμενου προϊόντος Γ (PP terracotta) μετά από τις αλλαγές στην παραγωγική διαδικασία. ....	78
Διάγραμμα 28: διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ παραγόμενου προϊόντος Γ (PP terracotta) μετά από τις αλλαγές στην παραγωγική διαδικασία. ....	79
Διάγραμμα 29: διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους ΡΟΗΣ παραγόμενου προϊόντος Γ (PP terracotta) Α+Β ΦΑΣΗ. ....	80
Διάγραμμα 30: διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ παραγόμενου προϊόντος Γ (PP terracotta) Α+Β ΦΑΣΗ. ....	81
Διάγραμμα 31: διάγραμμα μεμονωμένων τιμών και 99.73% Δ.Ε. μέσης τιμής ΡΟΗΣ .Δειγματοληψία φάσης Γ .....	84
Διάγραμμα 32: διάγραμμα μεμονωμένων τιμών και 99.73% Δ.Ε. ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ .Δειγματοληψία φάσης Γ .....	84
Διάγραμμα 33: διάγραμμα μεμονωμένων τιμών και 99.73% Δ.Ε. μέσης τιμής ΡΟΗΣ .Δειγματοληψία φάσης Γ .....	85
Διάγραμμα 34: Διάγραμμα μεμονωμένων τιμών και 99.73 % Δ.Ε. μέσης τιμής ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ .Δειγματοληψία φάσης Γ .....	86
Διάγραμμα 35: διάγραμμα μεμονωμένων τιμών και 99.73 % Δ.Ε. μέσης τιμής ΡΟΗΣ .Δειγματοληψία φάσης Γ .....	87
Διάγραμμα 36: διάγραμμα μεμονωμένων τιμών και 99.73 % Δ.Ε. μέσης τιμής ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ .Δειγματοληψία φάσης Γ .....	88



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

<i>Εικόνα 1 : πλαστικά (1950 – 2015) (Πηγή : WWF Hellas, 2020).....</i>	<i>34</i>
<i>Εικόνα 2 : πλαστικά στην Ελλάδα (Πηγή : WWF Hellas, 2020).....</i>	<i>35</i>
<i>Εικόνα 3 : νόμος για τα πλαστικά μιας χρήσης (Πηγή : WWF Hellas, 2020).....</i>	<i>36</i>
<i>Εικόνα 4 : ανακύκλωση συσκευών.....</i>	<i>38</i>
<i>Εικόνα 5 : κύκλος ζωής πλαστικού .....</i>	<i>40</i>
<i>Εικόνα 6 : κωδικοί ανακύκλωσης .....</i>	<i>41</i>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

<i>Πίνακας 1 : όρια ελέγχου και κεντρικής γραμμής ΔΕ μέσης τιμής.....</i>	<i>26</i>
<i>Πίνακας 2 : όρια ελέγχου και κεντρικής γραμμής ΔΕ δειγματικής τυπικής απόκλισης .....</i>	<i>26</i>
<i>Πίνακας 3 : όρια ελέγχου και κεντρικής γραμμής ΔΕ μεμονωμένων τιμών .....</i>	<i>27</i>
<i>Πίνακας 4 : όρια ελέγχου και κεντρικής γραμμής ΔΕ κινούμενου εύρους .....</i>	<i>28</i>
<i>Πίνακας 5 : όρια ελέγχου και κεντρικής γραμμής διάγραμμα ελέγχου εκθετικά σταθμισμένου κινούμενου μέσου (EWMA) .....</i>	<i>29</i>
<i>Πίνακας 6 : είδη πλαστικού – χρήσεις πλαστικών (Πηγή : Χαραλάμπους, 2019).....</i>	<i>39</i>

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

### **1.1 Εισαγωγικές παρατηρήσεις**

Η ανακύκλωση αποτελεί τον πιο αποτελεσματικό τρόπο διαχείρισης των αποβλήτων που προέρχονται από την υπέρ - κατανάλωση πλαστικού, καθώς η μείωση του όγκου τους συμβάλλει στη μείωση της οπτικής και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Οι δράσεις ανακύκλωσης επιφέρουν τεράστια οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη, καθώς προστατεύουν τους κλάδους που πλήττονται από την πλαστική ρύπανση, ενώ παράλληλα δημιουργούν προοπτικές ισχυροποίησης στην νέα μορφή δευτερογενούς βιομηχανίας, αυτής της ανακύκλωσης των πλαστικών αγαθών. Η σημασία της παρούσας έρευνας έγκειται στο γεγονός της διερεύνησης και της αξιολόγησης των παραγωγικών και λειτουργικών διαδικασιών μιας βιομηχανίας ανακύκλωσης πλαστικών, δεδομένου πως με την παρούσα έρευνα δύναται να αναγνωριστούν πιθανές δυσλειτουργίες και προβλήματα κατά την παραγωγική διαδικασία ανακύκλωσης πλαστικού, ώστε κατόπιν να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα για τη βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας ανακύκλωσης. Οι διαρκώς αυξανόμενες ποσότητες των αποβλήτων, η ενεργειακή κρίση που σχετίζεται άμεσα με το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής και η περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση του συνόλου των πολιτών, σε διεθνές επίπεδο, αποτελούν τους κυριότερους παράγοντες ενεργοποίησης και παρέμβασης της κοινωνίας, αναφορικά με τον τομέα διαχείρισης των αποβλήτων. Η υπέρ - κατανάλωση αγαθών έχει οδηγήσει σε μείωση των φυσικών αποθεμάτων σε πρώτες ύλες και σε ενεργειακές πηγές, με την παραγωγή πληθώρας πλαστικών απορριμμάτων να έχει αυξηθεί σημαντικά, δημιουργώντας προβλήματα συλλογής, μεταφοράς και διάθεσής τους κατά τρόπο περιβαλλοντικά μη αποδεκτό. Η ανακύκλωση πλαστικών απορριμμάτων αποτελεί μια αποτελεσματική μέθοδος των προαναφερόμενων περιβαλλοντικών ζητημάτων, με τις τεχνολογίες ανακύκλωσης να υιοθετούνται άμεσα από τις βιομηχανίες παραγωγής πλαστικών προϊόντων, καθώς έχουν χαμηλές απαιτήσεις και προσφέρουν σημαντικά περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη.

### **1.2 Σκοπός και ερευνητικά ερωτήματα**

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται το ζήτημα της παρακολούθησης της παραγωγικής διαδικασίας ανακύκλωσης πλαστικών σε μια βιομηχανία, με τη βοήθεια των διαγραμμάτων ελέγχου. Πιο συγκεκριμένα, στη βιομηχανία πλαστικού χρησιμοποιείται scrap πολυαιθυλένιο, το οποίο συλλέγεται από συγκεκριμένα κέντρα διαλογής, και κατόπιν

διαμορφώνεται με τη βοήθεια μηχανημάτων extruders στη μορφή κόκκων με ένα μικρό ποσοστό φύρας. Η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται στο παραγόμενο ανακυκλωμένο υλικό και στα χαρακτηριστικά του (πυκνότητα) του και τον τρόπο λειτουργίας και παραγωγής του υλικού (ροή παραγόμενου προϊόντος ή melt – flow index). Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι η στατιστική παρακολούθηση της παραγωγικής διαδικασίας ανακύκλωσης θερμοπλαστικών. Τα κυριότερα ερευνητικά ερωτήματα που εξυπηρετούν το σκοπό της παρούσας έρευνας είναι τα εξής :

- Ποια είναι η διαχρονική εξέλιξη της πυκνότητας του παραγόμενου ανακυκλωμένου υλικού κατά τη διάρκεια της παραγωγής στη βιομηχανία ανακύκλωσης ?
- Ποια είναι η διαχρονική εξέλιξη του δείκτη ροής του παραγόμενου προϊόντος (melt – flow index) κατά τη διάρκεια της παραγωγής στη βιομηχανία ανακύκλωσης ?
- Πως αξιολογείται η παραγωγική διαδικασία και οι διεργασίες που συντελούνται στη βιομηχανίας ανακύκλωσης θερμοπλαστικών ?

Στο πρόβλημα δίνεται έμφαση στην παραγωγική διαδικασία και πιο συγκεκριμένα στο δείκτη ροής του παραγόμενου προϊόντος (melt – flow index) ανακύκλωσης και στην πυκνότητά του, ώστε να διερευνηθεί, μέσω της στατιστικής παρακολούθησης και των διαγραμμάτων ελέγχου, ο βαθμός απόδοσης της παραγωγής της βιομηχανίας ανακύκλωσης θερμοπλαστικών.

### **1.3 Βιβλιογραφική ανασκόπηση**

Η στατιστική παρακολούθηση διεργασίας (ΣΠΔ) αποτελεί ένα σύνολο τεχνικών που χρησιμοποιούνται για τη διασφάλιση της ποιότητας και της σταθερότητας στις βιομηχανικές διεργασίες. Ειδικότερα, στη βιομηχανία ανακύκλωσης θερμοπλαστικών, η ΣΠΔ διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο για τη βελτίωση της απόδοσης και τη μείωση των αποβλήτων. Η στατιστική παρακολούθηση διεργασίας περιλαμβάνει τη χρήση διαγραμμάτων ελέγχου και άλλων στατιστικών εργαλείων για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των διεργασιών παραγωγής. Σύμφωνα με τους Montgomery (2009) και Woodall (2000), τα διαγράμματα ελέγχου αποτελούν βασικά εργαλεία για την ανίχνευση και τη διόρθωση των αποκλίσεων από τις καθορισμένες προδιαγραφές ποιότητας. Τα διαγράμματα αυτά βοηθούν στην αναγνώριση τόσο των τυχαίων όσο και των συστηματικών μεταβολών στη διαδικασία παραγωγής.

Η βιομηχανία ανακύκλωσης θερμοπλαστικών ασχολείται με τη μετατροπή των πλαστικών αποβλήτων σε νέα, χρήσιμα προϊόντα. Οι διεργασίες ανακύκλωσης περιλαμβάνουν διάφορα στάδια, όπως η συλλογή, ο καθαρισμός, η διαλογή, η θραύση, και η αναμόρφωση των θερμοπλαστικών υλικών. Κάθε στάδιο παρουσιάζει μοναδικές προκλήσεις και απαιτεί ακριβή έλεγχο για την επίτευξη σταθερής ποιότητας προϊόντων. Η ποιότητα των ανακυκλωμένων θερμοπλαστικών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα των εισερχόμενων αποβλήτων. Η στατιστική ανάλυση των εισερχόμενων υλικών μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό των κύριων πηγών μόλυνσης και στην ανάπτυξη στρατηγικών για την ελαχιστοποίησή τους. Η χρήση διαγραμμάτων ελέγχου μπορεί να βοηθήσει στην παρακολούθηση της σύστασης των αποβλήτων και στη διασφάλιση ότι τα υλικά πληρούν τις απαιτούμενες προδιαγραφές (Tagaras, 1992).

#### Καθαρισμός και Θραύση

Κατά τη διάρκεια του καθαρισμού και της θραύσης, είναι κρίσιμο να διασφαλιστεί ότι τα υλικά καθαρίζονται επαρκώς και θραύονται σε ομοιόμορφα μεγέθη. Η χρήση της ΣΠΔ σε αυτό το στάδιο μπορεί να συμβάλει στον έλεγχο της διαδικασίας καθαρισμού και θραύσης, εξασφαλίζοντας σταθερότητα και αποδοτικότητα. Τα διαγράμματα ελέγχου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση παραμέτρων όπως η περιεκτικότητα σε ρυπογόνες ουσίες και το μέγεθος των θραυσμένων κομματιών (Montgomery, 2009).

#### Αναμόρφωση

Η αναμόρφωση είναι το τελικό στάδιο της ανακύκλωσης θερμοπλαστικών και περιλαμβάνει τη διαμόρφωση των καθαρών και θραυσμένων υλικών σε νέα προϊόντα. Η ποιότητα των τελικών προϊόντων εξαρτάται από την ακριβή ρύθμιση των συνθηκών της διαδικασίας, όπως η θερμοκρασία, η πίεση και ο χρόνος ψύξης. Η ΣΠΔ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συνεχή παρακολούθηση και βελτιστοποίηση αυτών των παραμέτρων, μειώνοντας τις αποκλίσεις και εξασφαλίζοντας σταθερή ποιότητα (Woodall, 2000).

#### Διαγράμματα Ελέγχου

Τα διαγράμματα ελέγχου είναι ένα από τα πιο κοινά εργαλεία στη ΣΠΔ. Υπάρχουν διάφορα είδη διαγραμμάτων ελέγχου, όπως τα διαγράμματα Shewhart, τα διαγράμματα ελέγχου με κινούμενη μέση τιμή (CUSUM), και τα διαγράμματα ελέγχου με εκθετική εξομάλυνση (EWMA). Κάθε τύπος διαγράμματος έχει τα δικά του πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και μπορεί να εφαρμοστεί ανάλογα με τη φύση της διαδικασίας και τις απαιτήσεις παρακολούθησης (Montgomery, 2009).

### Ανάλυση Στατιστικής Διεργασίας

Η ανάλυση στατιστικής διεργασίας περιλαμβάνει τη χρήση στατιστικών μεθόδων για την ανάλυση των δεδομένων από τις διεργασίες παραγωγής. Η ανάλυση αυτή βοηθά στον εντοπισμό των αιτιών των προβλημάτων ποιότητας και στην ανάπτυξη στρατηγικών για τη βελτίωση της διαδικασίας. Εργαλεία όπως η ανάλυση διασποράς (ANOVA), η ανάλυση παλινδρόμησης, και οι μέθοδοι πολυμεταβλητής ανάλυσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διερεύνηση των σχέσεων μεταξύ των παραμέτρων της διαδικασίας και της ποιότητας των προϊόντων (Woodall, 2000).

### Στατιστικός Έλεγχος Διεργασίας (SPC)

Ο στατιστικός έλεγχος διεργασίας (SPC) είναι μια συστηματική προσέγγιση για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των διεργασιών παραγωγής χρησιμοποιώντας στατιστικές μεθόδους. Ο SPC βοηθά στην αναγνώριση και την εξάλειψη των αιτιών των προβλημάτων ποιότητας και στη διατήρηση της σταθερότητας της διαδικασίας. Σύμφωνα με τους Alwan και Roberts (1988), ο SPC μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση των παραμέτρων της διαδικασίας σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας την άμεση παρέμβαση όταν ανιχνεύονται αποκλίσεις.

### Προκλήσεις και Προοπτικές

Παρά τα πλεονεκτήματα της ΣΠΔ, υπάρχουν και προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν στη βιομηχανία ανακύκλωσης θερμοπλαστικών. Μία από τις κύριες προκλήσεις είναι η μεταβλητότητα της ποιότητας των εισερχόμενων αποβλήτων, η οποία μπορεί να επηρεάσει τη σταθερότητα της διαδικασίας. Επιπλέον, οι πολύπλοκες διεργασίες και οι πολλαπλές παράμετροι που πρέπει να παρακολουθούνται καθιστούν απαραίτητη τη χρήση προηγμένων στατιστικών εργαλείων και τεχνολογιών.

### Τεχνολογίες Πληροφορικής και Αυτοματισμού

Η πρόοδος στις Τεχνολογίες Πληροφορικής (ΤΠ) και στον Βιομηχανικό Αυτοματισμό έχει μεταμορφώσει τον τρόπο με τον οποίο ελέγχονται και διαχειρίζονται οι βιομηχανικές διεργασίες. Η αυξανόμενη πολυπλοκότητα των συστημάτων, η ανάγκη για υψηλή αποδοτικότητα και η απαίτηση για ελαχιστοποίηση του ανθρώπινου σφάλματος καθιστούν απαραίτητη την υιοθέτηση έξυπνων τεχνολογιών και αυτοματισμών.

Η χρήση τεχνολογιών πληροφορικής και αυτοματισμού μπορεί να βοηθήσει στη βελτίωση της ΣΠΔ στη βιομηχανία ανακύκλωσης θερμοπλαστικών. Συστήματα όπως οι βάσεις

δεδομένων, οι αισθητήρες, και τα συστήματα ελέγχου διεργασιών μπορούν να συλλέγουν και να αναλύουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, παρέχοντας πολύτιμες πληροφορίες για τη διαδικασία. Η ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών μπορεί να βελτιώσει την ακρίβεια και την αποδοτικότητα της ΣΠΔ (Tagaras, 1992)

#### Σύγχρονες Τεχνολογίες στον Έλεγχο Διεργασιών:

##### ➤ Συστήματα SCADA και DCS

Τα SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) και τα DCS (Distributed Control Systems) παραμένουν βασικά εργαλεία στον έλεγχο διεργασιών. Τα σύγχρονα SCADA ενσωματώνουν δυνατότητες σύνδεσης με IoT πλατφόρμες, ενώ τα DCS εξελίσσονται για μεγαλύτερη ευελιξία και κατανομή υπολογιστικής ισχύος (Zhang et al., 2021).

##### ➤ Βιομηχανικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IIoT)

Το IIoT συνδέει αισθητήρες, μηχανές και υπολογιστικά συστήματα, επιτρέποντας την παρακολούθηση και ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Μέσω edge computing, μειώνεται η καθυστέρηση και αυξάνεται η αποδοτικότητα των διεργασιών (Lee et al., 2022).

##### ➤ Τεχνητή Νοημοσύνη και Μηχανική Μάθηση

Οι προηγμένες μέθοδοι ανάλυσης δεδομένων, όπως η μηχανική μάθηση και η τεχνητή νοημοσύνη, μπορούν να προσφέρουν νέες δυνατότητες για τη ΣΠΔ στη βιομηχανία ανακύκλωσης θερμοπλαστικών. Αυτές οι μέθοδοι μπορούν να αναλύσουν μεγάλα σύνολα δεδομένων και να εντοπίσουν κρυφές σχέσεις και μοτίβα που δεν είναι εμφανή με παραδοσιακές στατιστικές μεθόδους. Η εφαρμογή τέτοιων μεθόδων μπορεί να οδηγήσει σε βελτιώσεις στην ποιότητα και την αποδοτικότητα των διεργασιών (Montgomery, 2009).

Η AI και οι τεχνικές μηχανικής μάθησης χρησιμοποιούνται σε:

- Προγνωστική συντήρηση
- Ανίχνευση ανωμαλιών
- Έλεγχο βασισμένο σε μοντέλα (Model Predictive Control)

Οι εφαρμογές αυτές βελτιώνουν την ακρίβεια και τη σταθερότητα των βιομηχανικών διεργασιών (Wang & Yin, 2023).

### ➤ Ψηφιακά Δίδυμα (Digital Twins)

Τα ψηφιακά δίδυμα αποτελούν ψηφιακές αναπαραστάσεις φυσικών διεργασιών. Διευκολύνουν την προσομοίωση, την πρόβλεψη και τη βελτιστοποίηση λειτουργίας (Tao et al., 2021).

#### Κυβερνοασφάλεια στον Έλεγχο Διεργασιών

Η αυξημένη διασύνδεση των συστημάτων δημιουργεί προκλήσεις στην ασφάλεια. Η χρήση τεχνολογιών όπως blockchain, ασφαλή πρωτόκολλα επικοινωνίας και εργαλεία AI για ανίχνευση απειλών είναι κρίσιμη (Fernandez-Carames & Fraga-Lamas, 2020).

#### Εφαρμογές Ανά Κλάδο

- **Χημική Βιομηχανία:** Real-time optimization με AI.
- **Τρόφιμα & Ποτά:** SCADA με edge analytics για διασφάλιση ποιότητας.
- **Ενέργεια:** Έξυπνοι μετρητές και δυναμική διαχείριση φορτίου.

#### Προκλήσεις και Μελλοντικές Προοπτικές

Η εφαρμογή προηγμένων τεχνολογιών αντιμετωπίζει προκλήσεις, όπως:

- Η διαλειτουργικότητα μεταξύ παλαιών και νέων συστημάτων
- Η έλλειψη εξειδικευμένου προσωπικού
- Οι αυξημένες απαιτήσεις σε υποδομές και ασφάλεια

Οι μελλοντικές εξελίξεις περιλαμβάνουν τη βαθύτερη ενσωμάτωση AI, την αυτόνομη λειτουργία διεργασιών, και τη συνεργασία ανθρώπου-μηχανής (cobots).

#### Συμπεράσματα

Η ενσωμάτωση τεχνολογιών πληροφορικής και αυτοματισμού στον έλεγχο διεργασιών συμβάλλει στην αύξηση της αποδοτικότητας, της αξιοπιστίας και της ευελιξίας. Οι σύγχρονες προσεγγίσεις επιτρέπουν την υιοθέτηση έξυπνων και προσαρμοζόμενων συστημάτων, φέρνοντας τη βιομηχανία πιο κοντά στο όραμα του Industry 4.0.

Εν κατακλείδι, η στατιστική παρακολούθηση διεργασίας αποτελεί ένα απαραίτητο εργαλείο για τη διασφάλιση της ποιότητας και της σταθερότητας στη βιομηχανία ανακύκλωσης θερμοπλαστικών. Μέσω της χρήσης διαγραμμάτων ελέγχου, της ανάλυσης στατιστικής διεργασίας, και του στατιστικού ελέγχου διεργασίας, οι βιομηχανίες μπορούν να αναγνωρίζουν και να διορθώνουν τα προβλήματα ποιότητας, εξασφαλίζοντας σταθερά και ποιοτικά προϊόντα. Παρά τις προκλήσεις, οι νέες τεχνολογίες και οι προηγμένες μέθοδοι ανάλυσης δεδομένων προσφέρουν σημαντικές προοπτικές για τη βελτίωση της ΣΠΔ στο μέλλον.

#### **1.4 Μεθοδολογία**

Η στατιστική παρακολούθηση μιας παραγωγικής διαδικασίας σε μια βιομηχανία ανακύκλωσης θερμοπλαστικών περιλαμβάνει την παρακολούθηση ποικίλων μεταβλητών που επηρεάζουν την απόδοση και την αποτελεσματικότητα μιας παραγωγικής διαδικασίας. Με την περιγραφική ανάλυση των τιμών των μεταβλητών, όπως η ροή του παραγόμενου προϊόντος (melt – flow index) και η πυκνότητά του, και τα περιγραφικά τους γραφήματα δύναται να αξιολογηθεί η απόδοση της παραγωγικής διαδικασίας σε μια βιομηχανία ανακύκλωσης θερμοπλαστικών, ο εντοπισμός προβλημάτων κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας και η λήψη αποφάσεων για τη βελτίωση της παραγωγής και την επίτευξη καλύτερων αποτελεσμάτων. Επιπρόσθετα, τα διαγράμματα ελέγχου (control charts) θα χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση της σταθερότητας και της κανονικότητας της παραγωγικής διαδικασίας ανακύκλωσης πλαστικών. Με τη χρήση διαγραμμάτων ελέγχου (control charts) δύναται να αναγνωριστούν πιθανές δυσλειτουργίες και προβλήματα κατά την παραγωγική διαδικασία που σχετίζονται με τις προαναφερόμενες μεταβλητές (ροή παραγόμενου προϊόντος (melt – flow index), πυκνότητα παραγόμενου προϊόντος) ώστε στη συνέχεια να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα για τη βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας. Η συλλογή των δεδομένων της έρευνας έχει ήδη πραγματοποιηθεί, μέσω επισκέψεων του ερευνητή στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις των μονάδων ανακύκλωσης πλαστικών και καταγραφής του τρόπου λειτουργίας και της βιομηχανίας, καθώς και μέσω χρήσης εκτεταμένου οπτικού και αρχειακού υλικού (πληροφορίες και δεδομένα) που σχετίζονται με τη ροή του παραγόμενου προϊόντος (melt – flow index) και της πυκνότητάς του.



## **1.5 Δομή εργασίας**

Η παρούσα εργασία διαρθρώνεται σε πέντε επιμέρους κεφάλαια και στο τελικό κεφάλαιο της συζήτησης και των συμπερασμάτων. Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο (1) και εισαγωγικό κεφάλαιο παρατίθεται η προβληματική, ο σκοπός και τα κυριότερα ερευνητικά ερωτήματα της παρούσας εργασίας, η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στο ερευνητικό σκέλος της εργασίας και η δομή της. Στο δεύτερο (2) κεφάλαιο παρουσιάζεται το θεωρητικό σκέλος της διοίκησης ολικής ποιότητας και των διαγραμμάτων ελέγχου, καθώς και η θεωρητική προσέγγιση του στατιστικού ελέγχου των διεργασιών των διαδικασιών παραγωγής. Στο τρίτο κεφάλαιο παρατίθενται έννοιες και ορισμοί για την ανακύκλωση των πλαστικών και των μεθόδων – τεχνικών ανακύκλωσης, η σημασία – αναγκαιότητα της προαναφερόμενης ανακύκλωσης, η υφιστάμενη κατάσταση της ανακύκλωσης των πλαστικών στον Ελλαδικό χώρο, ενώ στο τέλος του κεφαλαίου παρατίθενται συνοπτικά τα περιβαλλοντικά οφέλη της ανακύκλωσης των πλαστικών και η πρωτογενής, δευτερογενής, τριτογενής και τεταρτογενής μέθοδος ανακύκλωσης. Στο τέταρτο (4) παρατίθεται η ερευνητική μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στο ερευνητικό σκέλος της εργασίας, ενώ στο πέμπτο (5) κεφάλαιο παρουσιάζεται η στατιστική ανάλυση των δεδομένων και τα διαγράμματα ελέγχου της παραγωγικής διαδικασίας.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΟΛΙΚΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ**

### **2.1 Γενικά χαρακτηριστικά**

Τις τελευταίες δεκαετίες, η επιλογή ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας από το καταναλωτικό κοινό βασίζεται σε δύο κύρια χαρακτηριστικά, την τιμή και την ποιότητα. Η εισαγωγή του προτύπου ISO 9000, σε διεθνές επίπεδο, σε επιχειρηματικούς ομίλους, φορείς και οργανισμούς παροχής υπηρεσιών αποτέλεσε το έναυσμα για την εδραίωση του όρου της διοίκησης ολικής ποιότητας (total quality management) (Γεωργακάκος, 2002). Η έννοια της διοίκησης ολικής ποιότητας (total quality management) προσεγγίζεται με διαφορετικό τρόπο από κάθε επιχείρηση, φορέα ή οργανισμό, δεδομένου πως οι προαναφερόμενες οντότητες έχουν διαφορετική φιλοσοφία για το ζήτημα της ολικής ποιότητας (Στεφανάτος, 2000). Ανεξαρτήτως φιλοσοφίας και προσέγγισης απέναντι στην έννοια της διοίκησης ολικής ποιότητας (total quality management), ένα σύστημα total quality management (TQM) έχει τρία βασικά δομικά στοιχεία, τα οποία σχετίζονται με τη φιλοσοφία της ποιότητας και τις ευθύνες των διοικητικών στελεχών, τα επιμέρους συστήματα υποστήριξης του κεντρικού συστήματος (total quality management) και τέλος τις τεχνικές και τα εργαλεία βελτίωσης της υφιστάμενης ποιότητας ενός αγαθού ή μιας υπηρεσίας (Στεφανάτος, 2000).

Ο στατιστικός έλεγχος ποιότητας αναλύεται στα επιμέρους υποσύνολα, όπως ο σχεδιασμός και η ανάλυση πειραματικών διαδικασιών (design of experiments), ο στατιστικός έλεγχος διεργασιών (statistical process control) και η δειγματοληψία αποδοχής (acceptance sampling) (Αντζουλάκος, 2009). Αναφορικά με το σχεδιασμό και την ανάλυση πειραματικών διαδικασιών (design of experiments), αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο ελέγχου ποιότητας που βοηθά στην βελτίωση παραγωγικών διαδικασιών και διεργασιών. Σε μια παραγωγική διαδικασία η μεταβλητότητα αποτελεί το μεγαλύτερο πρόβλημα, με το σχεδιασμό και την ανάλυση πειραματικών διαδικασιών (design of experiments) να αποτελεί βασικό εργαλείο εντοπισμού των παραγόντων και του βαθμού που αυτοί επιδρούν αρνητικά στην ποιότητα του υπό – διερεύνηση αγαθού ή υπηρεσίας. Αξίζει εδώ να τονιστεί ότι κάθε παραγόμενο προϊόν έχει τη δικιά του μοναδική μεταβλητότητα, με ένα ορθά σχεδιασμένο στατιστικό πείραμα να είναι σε θέση να προσδώσει μια σημαντική μείωση της μεταβλητότητας των ποιοτικών χαρακτηριστικών ενός αγαθού σε μια παραγωγική διεργασία, βελτιστοποιώντας παράλληλα την απόδοση της διαδικασίας παραγωγής (Montgomery, 2009). Ο στατιστικός έλεγχος διεργασιών (statistical process control), σε αντίθεση με τον σχεδιασμό και την ανάλυση πειραμάτων (design of experiments) που πραγματοποιείται σε νεκρό χρόνο (off – line), πραγματοποιείται σε πραγματικό χρόνο (on – line), δηλαδή κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας. Τα διαγράμματα ελέγχου είναι το βασικότερο εργαλείο της μεθόδου του στατιστικού ελέγχου διεργασιών (statistical process control), μέσω του οποίου διαπιστώνεται κατά πόσο μια διεργασία βρίσκεται εντός ή εκτός περιοχής ελέγχου. Τέλος, η

δειγματοληψία αποδοχής (acceptance sampling) είναι ένα σύνολο στατιστικών τεχνικών και εργαλείων, μέσω των οποίων λαμβάνονται αποφάσεις για το αν μια παρτίδα είναι αποδεκτή ή απορρίπτεται. Σε γενικές γραμμές, η δειγματοληψία αποδοχής (acceptance sampling) θεωρείται η πιο απарχαιωμένη τεχνική ποιοτικού ελέγχου, με τις τεχνικές του στατιστικού ελέγχου διεργασιών να έχουν επικρατήσει πλήρως κατά τις διαδικασίες του στατιστικού ελέγχου ποιότητας (Montgomery, 2009). Ο τρόπος που επιδρούν τα προαναφερόμενα εργαλεία, σχεδιασμός και ανάλυση πειραματικών διαδικασιών (design of experiments), στατιστικός έλεγχος διεργασιών (statistical process control) και η δειγματοληψία αποδοχής (acceptance sampling) σε μια διαδικασία – διεργασία παραγωγής παρατίθεται στο διάγραμμα ροής που ακολουθεί.



Διάγραμμα 1: φάσεις διαδικασίας παραγωγής (Πηγή : Αντζουλάκος, 2009)

## 2.2 Στατιστικός έλεγχος διεργασιών

Για την σωστή ποιότητα ενός προϊόντος ή μια υπηρεσία, πρέπει όλη η παραγωγική διαδικασία να είναι σταθερή και το σύνολο των εμπλεκόμενων φορέων να προσβλέπουν στη βελτίωση της απόδοσης της παραγωγικής διαδικασίας και της μείωσης της μεταβλητότητας. Ο στατιστικός έλεγχος διεργασιών αποτελεί το βασικό εργαλείο επίτευξης του προαναφερόμενου σκοπού, εργαλείο το οποίο αναπτύχθηκε τον εικοστό αιώνα, είναι εύχρηστο και μπορεί να εφαρμοστεί σχεδόν σε κάθε διαδικασία παραγωγής. Στον στατιστικό έλεγχο διεργασιών περιλαμβάνονται εργαλεία, όπως το ιστόγραμμα, η ανάλυση Pareto, το διάγραμμα αιτίου – αποτελέσματος, τα φύλλα ελέγχου, το διάγραμμα συγκέντρωσης των

ελαττωμάτων, το διάγραμμα διασκόρπισης και τα διαγράμματα ελέγχου. Τα προαναφερόμενα επιμέρους εργαλεία του στατιστικού έλεγχος διεργασιών διαδραματίζουν κομβικό ρόλο στην επιστήμη της διοίκησης ολικής ποιότητας (total quality management), δεδομένου πως προάγουν ένα περιβάλλον, εντός του οποίου το σύνολο των εργαζομένων θέτει ως πρωταρχικό στόχο τη διαρκή βελτίωση της ποιότητας ενός αγαθού και την αύξηση της παραγωγικότητας (Montgomery, 2009). Στη συνέχεια παρατίθεται μια συνοπτική περιγραφή των προαναφερόμενων επιμέρους εργαλείων του στατιστικού ελέγχου διεργασιών.

#### Ιστογράμμο (histogram)

Τα ιστογράμμο αποτελούνται από μια σειρά εφαιπόμενων ορθογώνων παραλληλογράμμων, τα οποία έχουν ως βάση τον οριζόντιο άξονα, ενώ το ύψος τους απεικονίζει τη συχνότητα μιας τιμής σε ένα σύνολο τιμών των υπό – διερεύνηση μεταβλητών. Οι πληροφορίες που αντλούνται από ένα ιστογράμμο είναι η κεντρική τάση που προσδιορίζεται τη μέση τιμή, η μεταβλητότητα που προσδιορίζεται από το εύρος και την τυπική απόκλιση και τέλος το σχήμα της κατανομής των τιμών. Σε γενικές γραμμές, ένα ιστογράμμο που προκύπτει από ένα μέγεθος τιμών άνω των 50, θεωρείται μια αξιόπιστη πηγή άντλησης πληροφοριών (Γραφανάκης, 2000).

#### Ανάλυση Pareto

Η ανάλυση βασίζεται στην αρχή ότι για το 80% των προβλημάτων σε μια διεργασία – διαδικασία παραγωγής ευθύνεται το 20% των αιτιών που τα προκαλούν. Κατασκευάζοντας το διάγραμμα, γίνεται επικέντρωση στα αίτια που δύναται να λύσουν το μεγαλύτερο ποσοστό προβλημάτων. Το διάγραμμα έχει αρκετές ομοιότητες με το ραβδόγραμμα (bar chart), με τη διαφορά ότι τα πιο υψηλά ορθογώνια παραλληλόγραμμα που απεικονίζουν τα σημαντικότερα προβλήματα τοποθετούνται αρχικά στον οριζόντιο άξονα Χ και στη συνέχεια ακολουθούν τα παραλληλόγραμμα που απεικονίζουν τα λιγότερο σημαντικά προβλήματα (Γραφανάκης, 2000).

#### Διάγραμμα αιτίου - αποτελέσματος (cause and effect diagram)

Το διάγραμμα αιτίου – αποτελέσματος χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των αιτιών ενός προβλήματος, με τα αίτια να κατηγοριοποιούνται στις κατηγορίες άνθρωπος, υλικά,

μηχανές, μέθοδοι και περιβάλλον. Κατόπιν τα αίτια αναλύονται σε περισσότερα επίπεδα και διατυπώνονται με σαφήνεια, μέσω του προαναφερόμενου διαγράμματος. Αξίζει εδώ να τονιστεί ότι το σύνολο των βασικών κατηγοριών των αιτιών δύναται να διαφέρουν ή να λείπουν κάποια, εξαιτίας της ιδιαίτερης φύσης ενός ζητήματος (Γραφανάκης, 2000).

#### Φύλλα ελέγχου (check sheet)

Τα φύλλα ελέγχου αποτελούν τα πιο συνηθισμένα εργαλεία που χρησιμοποιείται σχεδόν καθολικά από το σύνολο των επιχειρηματικών ομίλων. Πιο συγκεκριμένα, αποτελούν έντυπο καθημερινής συλλογής δεδομένων που σχετίζονται με οποιαδήποτε διαδικασία και διεργασία εντός του φορέα (οργανισμός – επιχείρηση). Το προαναφερόμενο εργαλείο βοηθά στον έλεγχο της ποιότητας και χρησιμοποιείται για τη δημιουργία διαγραμμάτων Pareto και ιστογραμμάτων (Στεφανάτος, 2000).

#### Διάγραμμα συγκέντρωσης ελαττωμάτων (defect concentration diagram)

Τα διαγράμματα συγκέντρωσης ελαττωμάτων χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία εντοπισμού των ελαττωμάτων ενός προϊόντος, καθώς πάνω σε αυτά απεικονίζεται σε ποιο σημείο του προϊόντος υπάρχουν ελαττώματα, με την προαναφερόμενη απεικόνιση να βοηθά στην εστίαση πάνω σε συγκεκριμένα μέρη της διαδικασίας παραγωγής. Τα διαφορετικά είδη ελαττωμάτων χρωματίζονται στο διάγραμμα με διαφορετικό χρώμα, ώστε να είναι πιο εύκολη η ανάγνωσή τους (Αντζουλάκος, 2009).

#### Διάγραμμα διασκόρπισης (scatter diagram)

Το διάγραμμα διασκόρπισης χρησιμοποιείται για τη διερεύνηση της σχέσης δύο μεταβλητών ή δύο συνδεδεμένων ομάδων αριθμητικών δεδομένων. Το scatter diagram είναι μια γραφική απεικόνιση, στην οποία κάθε τιμή απεικονίζεται με μια κουκίδα και σε κάθε άξονα (οριζόντιο και κατακόρυφο) υπάρχουν οι τιμές μιας υπό - διερεύνησης μεταβλητής. Από το στατιστικό νέφος (σχήμα) που δημιουργούν οι κουκίδες βγαίνουν συμπεράσματα για τη συσχέτιση των δύο υπό - εξέταση μεταβλητών. Όσο πιο παραστατικό είναι το στατιστικό νέφος (καμπύλη ή ευθεία), τόσο πιο μεγάλη είναι η συσχέτιση των δύο μεταβλητών (Γραφανάκης, 2000).

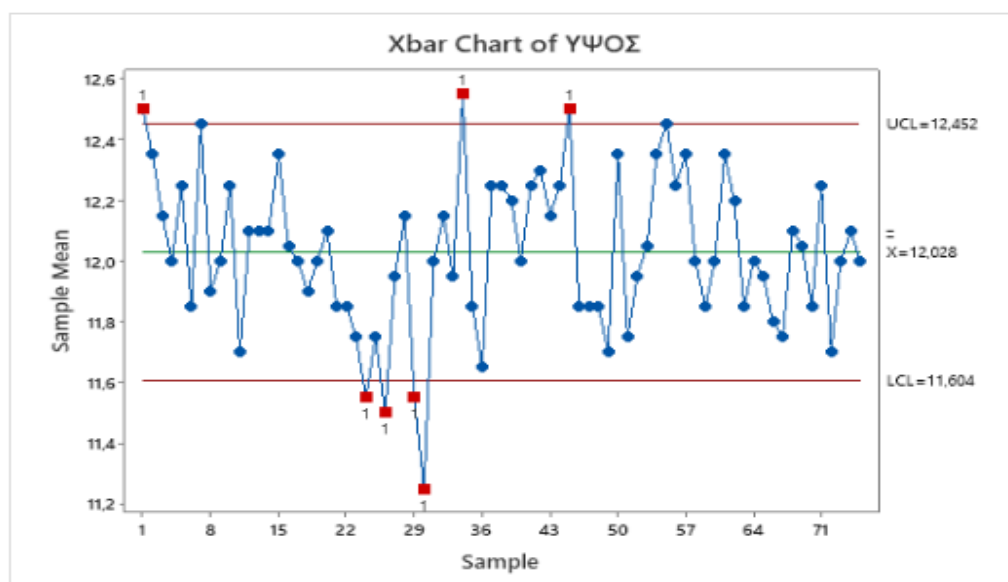
#### Διάγραμμα ελέγχου (control chart)

Τα διαγράμματα ελέγχου αποτελούν ένα γραφικό εργαλείο ελέγχου ποιότητας, μέσω του οποίου διαπιστώνεται εάν μια παραγωγική διαδικασία – διεργασία, σε πραγματικό χρόνο, βρίσκεται εντός στατιστικού ελέγχου και παρατηρούνται σε αυτή διακυμάνσεις λόγω της φυσικής μεταβλητότητας ή εάν έχουν εισέλθει ειδικά - εξωγενή αίτια και η διεργασία

βρίσκεται εκτός στατιστικού ελέγχου. Για την κατασκευή των διαγραμμάτων ελέγχου χρησιμοποιούνται αριθμητικές παρατηρήσεις και δεδομένα από την διαδικασία παραγωγής και υπολογίζονται κατόπιν τα όρια ελέγχου, μέσω των οποίων, χρησιμοποιώντας τα σε πραγματικό χρόνο, διαπιστώνεται η πορεία της παραγωγικής διαδικασίας - διεργασίας και λαμβάνονται αποφάσεις για τη βελτίωσή της (Στεφανάτος, 2000).

### 2.3 Διαγράμματα ελέγχου

Τα διαγράμματα ελέγχου αποτελούν το πιο σημαντικό εργαλείο του στατιστικού ελέγχου διεργασιών, καθώς ο κυριότερος στόχος κατασκευής τους είναι η ανίχνευση μιας μεταβολής με πολύ μικρή πιθανότητα λάθους (Keller, 2011). Τα πρώτα διαγράμματα ελέγχου κατασκευάστηκαν για πρώτη φορά τη δεκαετία του 1930 από τον Walter Shewhart, ο οποίος τα ανέπτυξε για λογαριασμό της βιομηχανίας Bell telephone industries, όντας γραφικές απεικονίσεις ποιοτικών χαρακτηριστικών που έχουν μετρηθεί, συναρτήσει του χρόνου. Βασικό δομικό χαρακτηριστικό ενός διαγράμματος ελέγχου είναι η τοποθέτηση των τιμών του υπό – διερεύνηση ποιοτικού χαρακτηριστικού σε χρονολογική σειρά, ώστε στη συνέχεια να είναι εφικτή η εξαγωγή ορθών συμπερασμάτων. Στο γράφημα που ακολουθεί παρατίθεται ένα τυπικό διάγραμμα ελέγχου.



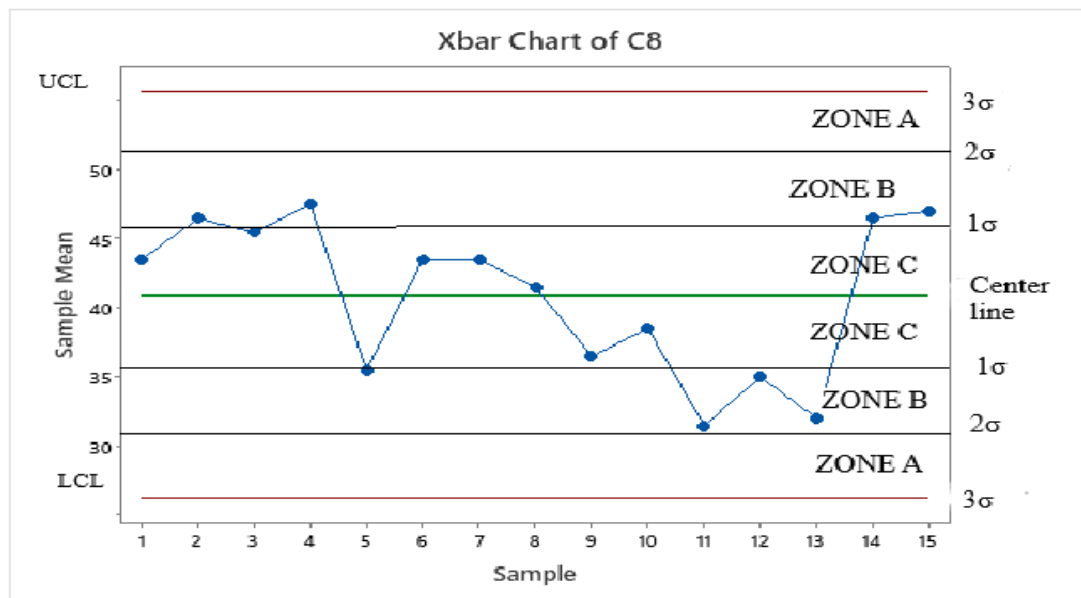
Διάγραμμα 2: τυπικό διάγραμμα ελέγχου

Η κοινή δομή των διαγραμμάτων ελέγχου αποτελείται από μια κεντρική γραμμή (CL) που αντιπροσωπεύει τον μέσο όρο του υπό – εξέταση ποιοτικού χαρακτηριστικού, από δύο παράλληλες γραμμές που αντιπροσωπεύουν το κάτω (LCL) και το άνω (UCL) όριο ελέγχου, από ένα κάθετο άξονα που περιλαμβάνει τις τιμές του υπό – εξέταση ποιοτικού χαρακτηριστικού και από ένα οριζόντιο άξονα με τους αριθμούς των δειγμάτων σε χρονολογική σειρά. Τα διαγράμματα ελέγχου είναι εργαλεία που χρησιμοποιούνται σε πραγματικό χρόνο, παρακολουθώντας το ποιοτικό χαρακτηριστικό της διεργασίας σε σχέση με το χρόνο, ενώ ο απώτερος σκοπός τους είναι ο εντοπισμός των ειδικών αιτιών που μεταβάλλει τη μεταβλητότητα μιας παραγωγικής διαδικασίας - διεργασίας. Ένα τμήμα της μεταβλητότητας σε μια διεργασία – παραγωγική διαδικασία είναι φυσικό επακόλουθο των συνηθών μικρών αιτιών που δεν μπορούν να αποκλειστούν ή να μειωθούν, καθώς αποδίδονται σε παράγοντες που δεν μπορούν να ελεγχθούν (Αντζουλάκος, 2009). Παρόλα αυτά, με τη συνεχή παρακολούθηση της παραγωγικής διαδικασίας, μέσω των διαγραμμάτων ελέγχου, δύναται να διαπιστωθεί εάν η μεταβλητότητα επηρεάζεται αποκλειστικά και μόνο από συνηθή αιτία και εάν η διεργασία βρίσκεται εντός στατιστικού ελέγχου. Σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει κανένα σημείο του διαγράμματος ελέγχου που δεν ξεπερνάει το άνω ή κάτω όριο και υπάρχει ένα τυχαίο μοτίβο στο διάγραμμα, τότε θεωρείται ότι η διαδικασία βρίσκεται εντός ελέγχου (Mitra, 2016).

Σε μια παραγωγική διαδικασία – διεργασία, εκτός από τα συνηθισμένα, υπάρχουν και τα ειδικά αίτια που προκαλούν μεταβλητότητα μεγαλύτερη από την αντίστοιχη μεταβλητότητα που προκαλούν τα φυσικά αίτια, και σχετίζονται με βλάβες, αστάθειες, ασυνέπειες, και απρόσμενους αλλά σημαντικούς παράγοντες (Γεωργακάκος, 2002). Σε περιπτώσεις που μια διεργασία βρίσκεται εκτός στατιστικού ελέγχου, στο διάγραμμα ελέγχου εντοπίζονται σημεία εκτός των προκαθορισμένων ορίων, ενώ ακόμα και σε περιπτώσεις που όλα τα σημεία βρίσκονται εντός των ορίων σε ένα διάγραμμα ελέγχου, τότε δύναται να υπάρχει μοτίβο που μαρτυρά ότι μια διεργασία βρίσκεται εκτός στατιστικού ελέγχου (Montgomery, 2009). Κάνοντας την υπόθεση – παραδοχή ότι  $\bar{X}$  είναι το ποιοτικό χαρακτηριστικό ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας,  $\mu$  ( $\bar{X}$ ) ο μέσος όρος του ποιοτικού χαρακτηριστικού και  $\sigma$  ( $\bar{X}$ ) η τυπική απόκλιση του, τότε η κεντρική γραμμή, το άνω και το κάτω όριο ελέγχου δίνονται από τους εξής τύπους :

- Κεντρική γραμμή (ΚΓ) =  $\mu$  ( $\bar{X}$ )
- Άνω όριο ελέγχου (Α.Ο.Ε.) =  $\mu$  ( $\bar{X}$ ) +  $k * \sigma$  ( $\bar{X}$ )
- Κάτω όριο ελέγχου (Κ.Ο.Ε.) =  $\mu$  ( $\bar{X}$ ) -  $k * \sigma$  ( $\bar{X}$ )

Ο αριθμός  $k$  εκφράζει την απόσταση των ορίων από την κεντρική γραμμή, εκφρασμένη σε τυπικές αποκλίσεις, παράμετρος που παίρνει την τιμή  $k = 3$  σε περιπτώσεις που τα όρια μεταξύ τους έχουν απόσταση 6 τυπικές αποκλίσεις (πιθανότητα  $\alpha = 0.0027$  για κανονική κατανομή). Η πιθανότητα  $\alpha = 0.0027$  αντιστοιχεί στο να δώσει το διάγραμμα ελέγχου ένδειξη εκτός ελέγχου διεργασίας, ενώ η διεργασία βρίσκεται εντός στατιστικού ελέγχου. Σκοπός των διαγραμμάτων ελέγχου είναι να εντοπίζουν όσο το δυνατόν γρηγορότερα μια διεργασία που βρίσκεται εκτός ελέγχου και να δίνουν όσο πιο σπάνια γίνεται λάθος σήμα ότι μια διεργασία βγήκε εκτός ελέγχου. Εκτός από τα όρια που προειδοποιούν για διεργασίες εκτός στατιστικού ελέγχου, υπάρχουν και τα προειδοποιητικά όρια που χωρίζουν το διάγραμμα σε 3 ζώνες, καθιστώντας το πιο ευαίσθητο σε μικρές μετατοπίσεις του μέσου όρου ενός χαρακτηριστικού μιας διεργασίας. Οι προαναφερόμενες ζώνες είναι της τάξης της μίας, των δύο ή και των τριών τυπικών αποκλίσεων από την κεντρική γραμμή. Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρατίθεται ένα τυπικό διάγραμμα ελέγχου, χωρισμένο σε ζώνες με προειδοποιητικά όρια μιας, δύο και τριών τυπικών αποκλίσεων.



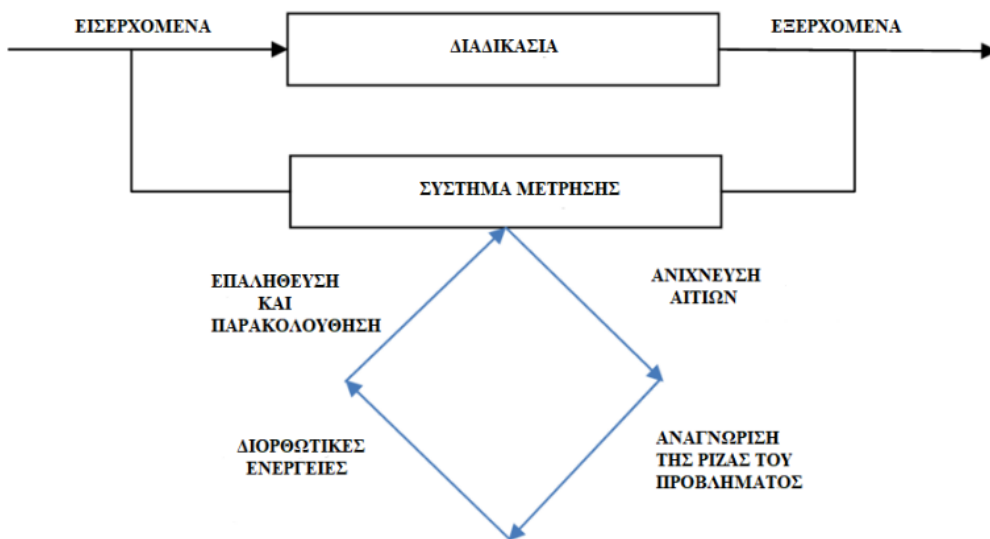
Διάγραμμα 3: τυπικό διάγραμμα ελέγχου, χωρισμένο σε ζώνες προειδοποίησης

Οι γενικοί κανόνες χρήσης για την ευαισθητοποίηση των διαγραμμάτων ελέγχου τύπου Shewhart είναι οι εξής (Montgomery, 2009) :

- ένα ή περισσότερα σημεία βρίσκονται εκτός ορίων ελέγχου

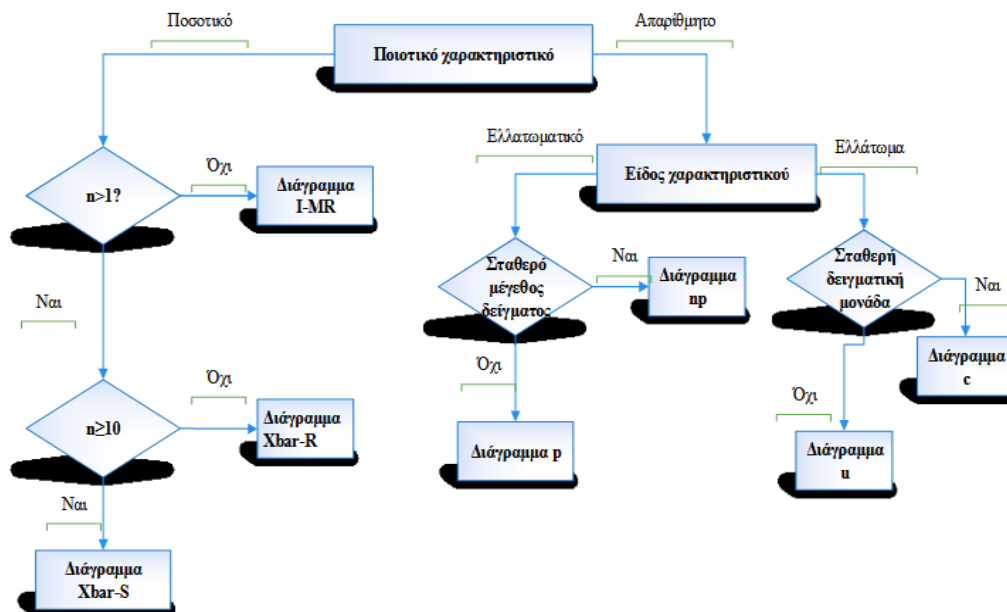


- δύο από τα τρία σημεία βρίσκονται εκτός των ορίων των δύο τυπικών αποκλίσεων και εντός των ορίων ελέγχου
- τέσσερα από τα πέντε σημεία απέχουν περισσότερο από μια τυπική απόκλιση από την κεντρική γραμμή
- οχτώ συνεχόμενα σημεία βρίσκονται στην ίδια πλευρά της κεντρικής γραμμής
- έξι σημεία στη σειρά βρίσκονται σε μείωση ή σε αύξηση
- δεκαπέντε σημεία στη σειρά βρίσκονται σε απόσταση το πολύ μιας τυπικής απόκλισης και στις δύο πλευρές της κεντρικής γραμμής
- δεκατέσσερα σημεία στη σειρά εναλλάσσονται πάνω και κάτω από την κεντρική γραμμή
- ασυνήθιστη ή μη τυχαία ακολουθία των σημείων
- ένα ή περισσότερα σημεία βρίσκονται κοντά στα προειδοποιητικά όρια ή στα όρια ελέγχου



Διάγραμμα 4: βελτίωση διαδικασίας με τη βοήθεια διαγράμματος ελέγχου (Πηγή : Montgomery, 2009)

Τα διαγράμματα ελέγχου ταξινομούνται σε διαγράμματα ελέγχου μεταβλητών και διαγράμματα ελέγχου ιδιοτήτων. Τα διαγράμματα ελέγχου χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις που το υπό – εξέταση ποιοτικό χαρακτηριστικό είναι συνεχές και μετρήσιμο, ενώ όταν το ποιοτικό χαρακτηριστικό είναι απαρίθμητο χρησιμοποιούνται διαγράμματα ελέγχου ιδιοτήτων (Κούτρας, 2008). Στο διάγραμμα που ακολουθεί απεικονίζεται γραφικά η επιλογή του κατάλληλου διαγράμματος ελέγχου.



Διάγραμμα 5: επιλογή κατάλληλου διαγράμματος ελέγχου

Η τυπική χρήση διαγραμμάτων ελέγχου περιλαμβάνει δύο ξεχωριστές φάσεις, την πρώτη και τη δεύτερη φάση. Στην πρώτη φάση πραγματοποιείται η συλλογή ιστορικών δεδομένων και η ανάλυσή τους, ώστε να διαπιστωθεί εάν η διεργασία σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο βρίσκεται εντός ή εκτός διεργασίας. Επιπρόσθετα, στην πρώτη φάση καθορίζονται τα όρια ελέγχου που θα χρησιμοποιηθούν στην επόμενη φάση. Όπως προαναφέρθηκε, στην πρώτη φάση πραγματοποιείται συλλογή δεδομένων, ώστε να είναι εφικτό το στήσιμο του συστήματος στατιστικού ελέγχου. Σε περίπτωση ύπαρξης μοτίβων ή τιμών εκτός ορίων γίνεται ανάλυση των αιτιών που τα προκαλούν και στη συνέχεια απορρίπτονται ή δημιουργούνται εκ νέου διαγράμματα ελέγχου μαζί με καινούργια όρια ελέγχου. Αξίζει εδώ να τονιστεί ότι στην πρώτη φάση η διεργασία πρέπει να βρίσκεται υπό αυστηρό έλεγχο για να εξαχθούν ορθά συμπεράσματα, αναφορικά με τις παραμέτρους του υπό – εξέταση ποιοτικού χαρακτηριστικού. Στη δεύτερη φάση τα δεδομένα αναλύονται με διαγράμματα ελέγχου, τα οποία έχουν κατασκευαστεί με παραμέτρους που έχουν υπολογιστεί από τη πρώτη φάση, με τη διεργασία πλέον να θεωρείται σταθερή και τα διαγράμματα να χρησιμοποιούνται για την έγκαιρη διαπίστωση ενδείξεων αποσταθεροποίησης της διεργασίας. Με αυτό τον τρόπο σε κάθε χρονική στιγμή μπορεί να εκτιμηθεί, λαμβάνοντας ένα δείγμα, εάν η διεργασία βρίσκεται εντός ελέγχου. Σε περιπτώσεις που υπάρχουν δεδομένα με σημαντική απόκλιση από το μέσο όρο του υπό - διερευνήση ποιοτικού χαρακτηριστικού και τη διεργασία να βρίσκεται εκτός ελέγχου, κρίνεται σκόπιμος ο εκ νέου

υπολογισμός των παραμέτρων της πρώτης φάσης και να στηθεί ξανά το πρότυπο με νέες παράμετρους.

## 2.4 Ενδεικτικά Διαγράμματα ελέγχου μεταβλητών

### 2.4.1 Διάγραμμα ελέγχου μέσης τιμής - δειγματικής τυπικής απόκλισης ( $\bar{X}$ -s)

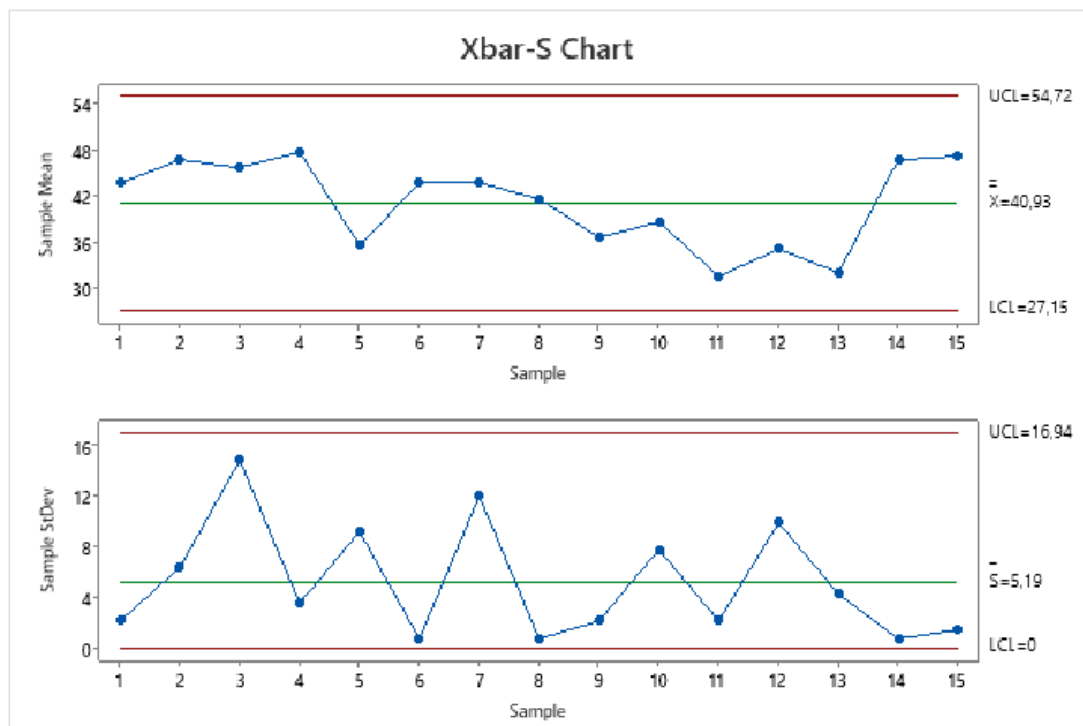
Το διάγραμμα ελέγχου μέσης τιμής - δειγματικής τυπικής απόκλισης ( $\bar{X}$  - s chart) χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που το μέγεθος του υπό - εξέταση δείγματος είναι μεγαλύτερο του 10 ( $n > 10$ ). Για τη δημιουργία του προαναφερόμενου διαγράμματος ελέγχου αρχικά κατασκευάζεται ένα διάγραμμα ελέγχου μέσης τιμής και κατόπιν ένα διάγραμμα ελέγχου τυπικής απόκλισης. Τα όρια ελέγχου και η κεντρική γραμμή για το διάγραμμα ελέγχου μέσης τιμής και δειγματικής τυπικής απόκλισης παρατίθενται στους πίνακες που ακολουθούν.

Πίνακας 1 : όρια ελέγχου και κεντρικής γραμμής ΔΕ μέσης τιμής

Άνω Όριο Ελέγχου (UCL)	$\bar{\bar{X}} + A_3 * \bar{s}$
Κεντρική Γραμμή (CL)	$\bar{\bar{X}}$
Κάτω Όριο Ελέγχου (LCL)	$\bar{\bar{X}} - A_3 * \bar{s}$

Πίνακας 2 : όρια ελέγχου και κεντρικής γραμμής ΔΕ δειγματικής τυπικής απόκλισης

Άνω Όριο Ελέγχου (UCL)	$\bar{s} * B_4$
Κεντρική Γραμμή (CL)	$\bar{s}$
Κάτω Όριο Ελέγχου (LCL)	$\bar{s} * B_3$



Διάγραμμα 6: τυπικό διάγραμμα ελέγχου μέσης τιμής – δειγματικής τυπικής απόκλισης

#### 2.4.2 Διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων τιμών και κινούμενου εύρους (I – MR)

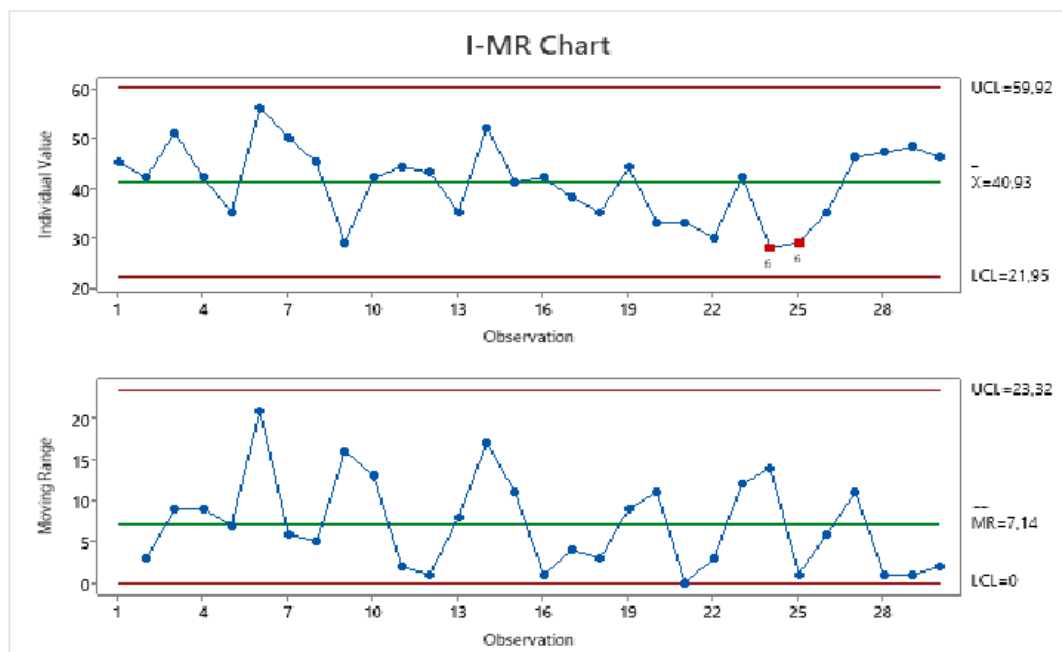
Το διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων τιμών (χρονολογικές σειρές), σε γενικές γραμμές, δεν θεωρούνται διαγράμματα ελέγχου που ελέγχουν διαφορές μεταξύ ομάδων αν δεν συνδυαστούν με διαγράμματα ελέγχου μέσης τιμής και διαγράμματα ελέγχου κινούμενου εύρους (MR), ώστε να εντοπιστούν τα ειδικά αίτια προβλημάτων στις παραγωγικές διαδικασίες (Γεωργακάκος, 2002). Το πλήθος των δειγμάτων στα προαναφερόμενα διαγράμματα ελέγχου είναι  $n = 1$ , ενώ για το διάγραμμα ελέγχου του κινούμενου εύρους των μεμονωμένων μετρήσεων δημιουργείται και ένα εικονικό δείγμα  $n = 2$  μεταξύ δύο διαδοχικών τιμών. Τα όρια ελέγχου και η κεντρική γραμμή για το διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων τιμών και κινούμενου εύρους παρατίθενται στους πίνακες που ακολουθούν.

Πίνακας 3 : όρια ελέγχου και κεντρικής γραμμής ΔΕ μεμονωμένων τιμών

Άνω Όριο Ελέγχου (UCL)	$\bar{X} + 3 \frac{\overline{MR}}{d_2}$
Κεντρική Γραμμή (CL)	$\bar{X}$
Κάτω Όριο Ελέγχου (LCL)	$\bar{X} - 3 \frac{\overline{MR}}{d_2}$

Πίνακας 4 : όρια ελέγχου και κεντρικής γραμμής ΔΕ κινούμενου εύρους

Άνω Όριο Ελέγχου (UCL)	$\overline{MR} * D_4$
Κεντρική Γραμμή (CL)	$\overline{MR}$
Κάτω Όριο Ελέγχου (LCL)	$\overline{MR} * D_3$



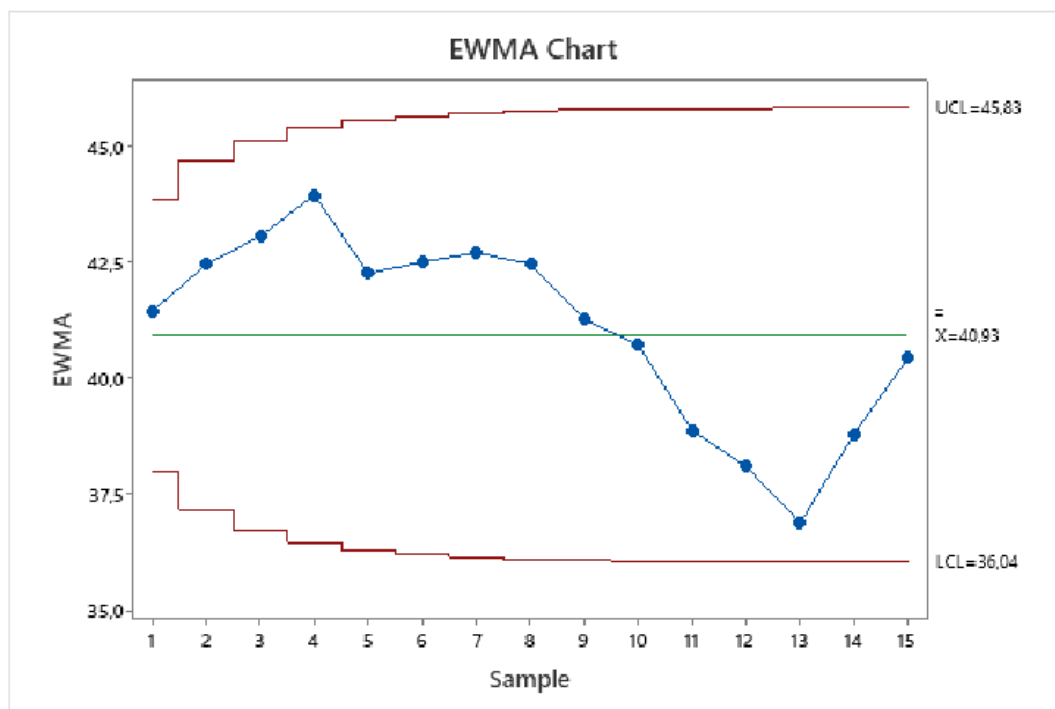
Διάγραμμα 7: τυπικό διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων τιμών και κινούμενου εύρους (I – MR)

### 2.4.3 Διάγραμμα ελέγχου του εκθετικά σταθμισμένου κινούμενου μέσου (EWMA)

Το διάγραμμα ελέγχου του εκθετικά σταθμισμένου κινούμενου μέσου αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία του στατιστικού ελέγχου διεργασιών, όντας ευαίσθητο στις μικρές και σταδιακές αλλαγές στη διαδικασία παραγωγής και εντοπίζοντας γρήγορα τάσεις εκτός ελέγχου. Το διάγραμμα ελέγχου του εκθετικά σταθμισμένου κινούμενου μέσου (EWMA) λαμβάνει υπόψη παλιότερες μετρήσεις, δίνοντας μεγαλύτερη βαρύτητα στις νεότερες μετρήσεις με αποτέλεσμα να αντιδρά ομαλά στις αλλαγές, συγκριτικά με τον τρόπο αντίδρασης σε ένα διάγραμμα ελέγχου μέσης τιμής. Το διάγραμμα ελέγχου του εκθετικά σταθμισμένου κινούμενου μέσου (EWMA) είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε περιπτώσεις που τα υπό – διερεύνηση δείγματα χαρακτηρίζονται από μια κανονικότητα – ανθεκτικότητα, καθώς και σε περιπτώσεις που παρατηρείται αυτό – συσχέτιση των υπό – διερεύνηση δειγμάτων. Τέλος, το διάγραμμα ελέγχου του εκθετικά σταθμισμένου κινούμενου μέσου (EWMA) είναι αρκετά χρήσιμο σε περιπτώσεις που μετρούνται αριθμητικά δεδομένα και παρατηρήσεις σε πραγματικό χρόνο, μέσω αυτοματοποιημένων παραγωγικών διαδικασιών. Τα όρια ελέγχου και η κεντρική γραμμή για το διάγραμμα ελέγχου του εκθετικά σταθμισμένου κινούμενου μέσου (EWMA) παρατίθεται στον πίνακα που ακολουθεί.

*Πίνακας 5 : όρια ελέγχου και κεντρικής γραμμής διάγραμμα ελέγχου εκθετικά σταθμισμένου κινούμενου μέσου (EWMA)*

Άνω Όριο Ελέγχου (UCL)	$\mu_0 + 3\sigma \sqrt{\frac{r}{n(2-r)}}$
Κεντρική Γραμμή (CL)	$\mu_0$
Κάτω Όριο Ελέγχου (LCL)	$\mu_0 - 3\sigma \sqrt{\frac{r}{n(2-r)}}$



*Διάγραμμα 8: τυπικό διάγραμμα ελέγχου εκθετικά σταθμισμένου κινούμενου μέσου (EWMA)*

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

### 3.1 Ανακύκλωση πλαστικών – μέθοδοι και τεχνικές

Το ζήτημα της ανακύκλωσης των πλαστικών αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει σήμερα ο πλανήτης, πρόβλημα που χρήζει άμεσης αντιμετώπισης, μέσω δραστικών μεθόδων και συστημάτων διαχείρισης πλαστικών αποβλήτων. Οι μέθοδοι της καύσης και της ταφής των πλαστικών απορριμμάτων, παρά την τεχνολογική τους εξέλιξη που τις καθιστά φιλικές μεθόδους προς το περιβάλλον, αποκλείει τις πολιτικές εκ νέου χρήσης των πλαστικών και της μετατροπής των υφιστάμενων πλαστικών σε νέες πολύτιμες πρώτες (Parker, 2018). Ως ανακύκλωση νοείται η δράση επαναχρησιμοποίησης διαφόρων υλικών που έχουν ολοκληρώσει τον πρώτο κύκλο ζωής του και δεν αποτελούν πλέον αγαθό προς χρήση για τον ανθρώπινο παράγοντα. Στην διαδικασία της ανακύκλωσης, τα απορρίμματα μετατρέπονται σε νέες πρώτες ύλες, μέσω των οποίων παράγονται νέα αγαθά. Τα κυριότερα ανακυκλώσιμα προϊόντα είναι το γυαλί, το χαρτί, το πλαστικό, το αλουμίνιο, το ξύλο, τα μέταλλα, τα υφάσματα, τα δομικά υλικά, καθώς και τα αυτοκινούμενα οχήματα, τα ελαστικά τους και διάφορες ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές. Ως ανακύκλωση πλαστικών νοείται η διαδικασία εκ νέου επεξεργασίας των πλαστικών απορριμμάτων, στα πλαίσια μιας διαδικασίας παραγωγής που στοχεύει στην έναρξη ενός νέου κύκλου ζωής του υλικού ή στην παραγωγή χρήσιμων χημικών προϊόντων (Καρτάλης, 2001). Οι διαδικασίες πρόσθετης επεξεργασίας των πλαστικών δύναται να αποδώσει στα νέα υλικά που προκύπτουν από την ανακύκλωση καλύτερες ιδιότητες και συμπεριφορά ή ακόμα και παραγωγή νέων προϊόντων, ανώτερης αξίας από τα αρχικά προϊόντα (up – cycling).

#### Μηχανική ανακύκλωση

Ως μηχανική ανακύκλωση νοείται η επεξεργασία πλαστικών απορριμμάτων με φυσικές μεθόδους, χωρίς να πραγματοποιείται οποιαδήποτε μεταβολή της χημικής δομής των πλαστικών, με αποτέλεσμα τη δημιουργία νέων πλαστικών προϊόντων με νέο κύκλο ζωής. Η μηχανική ανακύκλωση είναι μια φιλική, προς το περιβάλλον, και οικονομικά συμφέρουσα διαδικασία, η οποία εφαρμόζεται σε ευρεία κλίμακα στα περισσότερα συστήματα διαχείρισης απορριμμάτων.

#### Χημική ανακύκλωση



Με τη μέθοδο της χημικής ανακύκλωσης πραγματοποιείται διάσπαση των αλυσίδων των πλαστικών απορριμμάτων, με απώτερο σκοπό την μετατροπή των πετροχημικών προϊόντων σε νέα πλαστικά. Η διάσπαση των πολυμερών πραγματοποιείται με διάφορες διαδικασίες, όπως η απαερίωση, η πυρόλυση, η υδρογόνωση και η αλκοόλυση, διαδικασίες απαιτητικές και με υψηλό κόστος βιομηχανικής εφαρμογής (Σκουπιδιά και Ανακύκλωση, 1995). Η χημική ανακύκλωση υιοθετείται, κυρίως, σε περιπτώσεις που τα πολυμερή δεν μπορούν να ανακυκλωθούν και έχουν χάσει τις οπτικές και μηχανικές ιδιότητές τους. Αξίζει εδώ να τονιστεί κατά τη διαδικασία της χημικής ανακύκλωσης πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όλες τις παραμέτρους, σε κοινωνικό, οικονομικό και περιβαλλοντικό επίπεδο, καθώς σε ορισμένες περιπτώσεις οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της μεθόδου (μόλυνση υδάτων και αέρα) είναι μεγαλύτερες από το όποιο δυνητικό κέρδος.

### **3.2 Σημασία – αναγκαιότητα ανακύκλωσης**

Τα ανακυκλωμένα αγαθά - υλικά προέρχονται κυρίως από τη χρήση υλικών που έχουν ολοκληρώσει τον πρώτο κύκλο ζωής τους και εισάγονται εκ νέου στη διαδικασία παραγωγής ως νέες πρώτες ύλες, συμβάλλοντας με αυτό τον τρόπο ουσιαστικά εξοικονόμηση φυσικών και ενεργειακών πόρων (Γεωργιάδου, 2017). Η σημασία της ανακύκλωσης έχει πολύπλευρο χαρακτήρα, καθώς συμβάλλει θετικά, σε περιβαλλοντικό και σε οικονομικό επίπεδο, δεδομένου πως διάφοροι τομείς της οικονομίας (τουρισμός, αλιεία, γεωργία, κτηνοτροφία) επηρεάζονται αρνητικά και πλήττονται από την ρύπανση των πλαστικών στο περιβάλλον. Η ανακύκλωση αποτελεί τον καλύτερο τρόπο διαχείρισης των απορριμμάτων που προέρχονται από την υπερκατανάλωση πλαστικού, καθώς μειώνεται ο όγκος των πλαστικών, συμβάλλοντας με αυτό τον τρόπο στην μείωση της οπτικής και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προέρχεται από την καύση των πλαστικών. Επιπρόσθετα, μέσω της ανακύκλωσης μειώνεται η χρήση πρώτων υλών και ενεργειακών πόρων κατά την παραγωγική διαδικασία διάφορων αγαθών, με αποτέλεσμα να προστατεύονται οι φυσικοί πόροι. Αξίζει εδώ να τονιστεί ότι σε αρκετές περιπτώσεις η παραγωγή πρωτογενών πλαστικών δύναται να είναι πιο οικονομική σε συνθήκες που υπάρχει ζήτηση πλαστικών με συγκεκριμένες ιδιότητες (Γεωργιάδου, 2017).

Η ανακύκλωση παρέχει τεράστια οικονομικά οφέλη στο ευρύτερο κοινωνικό σύνολο, καθώς προστατεύει σε πρώτη φάση τους οικονομικούς κλάδους που πλήττονται από την πλαστική ρύπανση, ενώ παράλληλα δημιουργεί μια ισχυρή προοπτική ανάπτυξης μιας νέας μορφής δευτερογενούς βιομηχανίας με αρκετές νέες θέσεις εργασίας, διαμορφώνοντας νέες

δυναμικές στο οικονομικό και κοινωνικό πλαίσιο, σε διεθνές επίπεδο. Δεδομένου πως το πλαστικό αποτελεί ένα αμιγώς προϊόν πετρελαίου, θεωρείται επιτακτική η ανάγκη των χωρών που στερούνται πρώτες ύλες, ανάπτυξης της βιομηχανικής παραγωγής προϊόντων από δευτερογενές πλαστικό, δημιουργώντας με αυτό τον τρόπο εσωτερική πρώτη ύλη και όχι εισαγόμενη. Με την ανακύκλωση επιτυγχάνεται η εξοικονόμηση πρώτων υλών και ενεργειακών πόρων, μειώνεται σημαντικά ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος από τη χρήση πλαστικών και δημιουργείται ένα ισχυρό οικονομικό κίνητρο για δευτερογενή παραγωγή πλαστικών, ικανή να περιορίσει την μαζική πρωτογενή παραγωγή πλαστικών. Αξίζει εδώ να τονιστεί ότι είναι σημαντική η ανάπτυξη μιας ισχυρής βιομηχανικής παραγωγής από δευτερογενείς πόρους, καθώς δεν υπάρχει ισχυρή βιομηχανική παραγωγή πρωτογενούς τομέα, με τα κοινωνικά οφέλη της ανακύκλωσης (προστασία δημόσιας υγείας, μείωση πλαστικής ρύπανσης) να προσφέρουν στην κοινωνία των ανθρώπων ένα καλύτερο βιοτικό επίπεδο και ένα πιο καθαρό περιβάλλον (Γεωργιάδου, 2017).

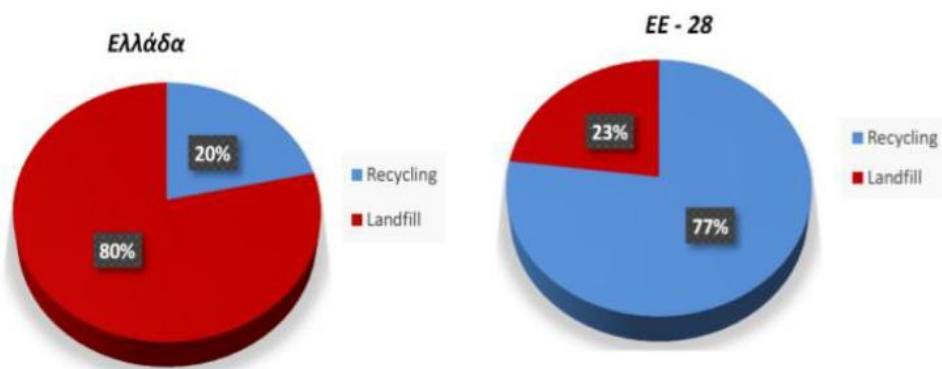
Παρά τα πλεονεκτήματα της ανακύκλωσης που προαναφέρθηκαν, τα συστήματα διαχείρισης και ανακύκλωσης δεν αποδίδουν τα αναμενόμενα αποτελέσματα, διεθνώς, καθώς στις αναπτυσσόμενες και αναπτυσσόμενες χώρες καταναλώνονται περίπου 150 εκατομμύρια τόνους πλαστικών αγαθών, σε ετήσια βάση, εκ των οποίων ανακυκλώνεται μόλις 10% με 15% εξ αυτών (Zhang, 2017). Σύμφωνα με τον Zhang (2017) : « το 50% των πλαστικών που κυκλοφορούν έχουν παραχθεί την τελευταία δεκαετία, ενώ από τους 8.300 εκατομμύρια τόνους έχουν παραχθεί από το 1950, μόλις το 9% ανακυκλώνεται, το 12% έχει αποτεφρωθεί και το 79% (6.400 εκατομμύρια τόνοι πλαστικού) έχουν καταλήξει σε χωματερές ». Σε επίπεδο Ευρώπης ανακυκλώνεται περίπου το 33% (2 εκατομμύρια τόνοι) της ετήσιας παραγωγής πλαστικού, με την Αγγλία να ανακυκλώνει πλαστικά σε ποσοστό μικρότερο του 10%, ενώ σε χώρες όπως η Ισπανία, η Ιταλία και η Γαλλία, το 50% των παραγόμενων πλαστικών αποβλήτων καταλήγει σε χωματερές (Zhang, 2017).



Εικόνα 1 : πλαστικά (1950 – 2015) (Πηγή : WWF Hellas, 2020)

### 3.3 Ανακύκλωση πλαστικών στην Ελλάδα

Η κατανάλωση πλαστικών στον Ελλαδικό χώρο κινείται σε αρκετά υψηλά επίπεδα, εξαιτίας της δυτικής κουλτούρας των πολιτών της, κουλτούρα που σχετίζεται με τον δυτικό τρόπο ζωής και την ταχύτητα ζωής, συνθήκες που ευνοούν τη χρήση αγαθών (πλαστικά μιας χρήσης) με μικρό κύκλο ζωής. Επιπρόσθετα, ο τουρισμός εντείνει το πρόβλημα της ρύπανσης από πλαστικά, ειδικά σε περιοχές μεγάλες ροές επισκεπτών – τουριστών (Σκορδίλης, 2014). Στην Ελλάδα θάβονται και απορρίπτονται περίπου 300.000 τόνοι πλαστικών, με την ανακύκλωση στη χώρα να έχει αναπτυχθεί από το 1994 και έπειτα. Τα ποσοστά ανακύκλωσης σε Ελλάδα και Ευρώπη παραμένουν σε χαμηλά επίπεδα, εξαιτίας διαφόρων προβλημάτων που σχετίζονται με τα συστήματα διαλογής απορριμμάτων και το υψηλό κόστος των μεθόδων της ανακύκλωσης. Στην Ελλάδα το ποσοστό ανακύκλωσης αγγίζει το 20% και το υπόλοιπο 80% των καταλήγει σε χώρους υγειονομικής ταφής και χωματερές (WWF Hellas, 2020). Το 2018 παράχθηκαν 5.5 εκατομμύρια τόνοι αστικών στερεών αποβλήτων, με το μεγαλύτερο μέρος εξ αυτών να καταλήγει σε χώρους υγειονομικής ταφής (Τριτοπούλου & Μπακόλα, 2022). Σύμφωνα με στοιχεία του Ελληνικού οργανισμού ανακύκλωσης (Ε.Ο.ΑΝ.), το ποσοστό ανακύκλωσης των πλαστικών αγγίζει το 39.8%, με τους πολίτες της χώρας να ακολουθούν τα ευρωπαϊκά επίπεδα ανακύκλωσης, τα οποία είναι πολύ υψηλότερα τα τελευταία χρόνια (Άτλας πλαστικού, 2021).



Διάγραμμα 9: ανακύκλωση – ταφή πλαστικών απορριμμάτων (Τριτοπούλου & Μπακόλα, 2022)



Εικόνα 2 : πλαστικά στην Ελλάδα (Πηγή : WWF Hellas, 2020)

Η Ελλάδα υστερεί νομοθετικά στο ζήτημα της διαχείρισης των απορριμμάτων, της ανακύκλωσης τους και της χρήσης πλαστικών προϊόντων, καθώς βρίσκεται σε πρώιμο νομοθετικό στάδιο, με το κυρίως νομικό πλαίσιο να προέρχεται από φορείς την Ευρωπαϊκής

Επιτροπής (European Commission). Οι οδηγίες που παρέχονται για τα θέματα της ανακύκλωσης πλαστικών προκύπτουν από τις διεθνείς πολιτικές διαπραγμάτευσης για θέματα βιωσιμότητας του πλανήτη, ενώ ο ρόλος των φορέων της Ευρώπης στην περιβαλλοντική συνείδηση της χώρας είναι αρκετά διαφορούμενος, δεδομένου πως η Ευρώπη και η Ελλάδα βρίσκονται συνεχώς σε μια φάση διαρκών αλλαγών σε νομοθετικό, τεχνικό, εμπορικό και κοινωνικό επίπεδο για την επίλυση ζητημάτων που σχετίζονται με την μόλυνση του περιβάλλοντος από τα πλαστικά. Τα τελευταία χρόνια η Ευρωπαϊκή Επιτροπή (European Commission) πρότείνει την υιοθέτηση μιας συνολικής στρατηγικής αντιμετώπισης του περιβαλλοντικού ζητήματος, συνυπολογίζοντας και ζητήματα πλαστικής ρύπανσης, και των χαμηλών ποσοστών ανακύκλωσης και εκ νέου χρήσης, έχοντας ως απώτερο σκοπό τη μείωση παραγωγής και κατανάλωσης πλαστικού και στόχο το σύνολο των πλαστικών συσκευασιών να είναι 100% ανακυκλώσιμες.



Εικόνα 3 : νόμος για τα πλαστικά μιας χρήσης (Πηγή : WWF Hellas, 2020)

Βάση των σχεδίων δράσης της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη μετάβαση στην κυκλική οικονομία, τέθηκαν υψηλοί στόχοι για όλα τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Πιο συγκεκριμένα, βάση των οδηγιών 850/2018/Ε.Ε., 851/2018/Ε.Ε. και 852/2018/Ε.Ε., έως το 2030 το ποσοστό ανακύκλωσης για τα απόβλητα συσκευασίας πρέπει να αγγίξει το 75%, για τα αστικά στερεά απόβλητα το 65%, ενώ παράλληλα η ταφή θα πρέπει να μειωθεί σε ποσοστό κάτω του 10% (Τριτοπούλου & Μπακόλα, 2022). Επιπρόσθετα, με το νόμο 4736/2020 ορίζεται ότι από το 2023 και έπειτα δημιουργείται σύστημα εγγυοδοσίας για τα πλαστικά μπουκάλια, μέσω του οποίου οι καταναλωτές πληρώνουν μεγαλύτερο αντίτιμο κατά την αγορά της συσκευασίας ενός πλαστικού μπουκαλιού, αντίτιμο που θα πιστώνεται σε περίπτωση επιστροφής της συσκευασίας. Απώτερος σκοπός του προαναφερόμενου μέτρου είναι η συλλογή του 77% των πλαστικών μπουκαλιών έως το 2025 και του 90% έως το 2029, σε επίπεδο Ευρώπης, ώστε αυτά να ανακυκλώνονται και χρησιμοποιούνται εκ νέου για τη δημιουργία νέων συσκευασιών. Ωστόσο, η εφαρμογή των προαναφερόμενων μέτρων προϋποθέτει την ύπαρξη αποτελεσματικών συστημάτων ανακύκλωσης και διαχείρισης πλαστικών απορριμμάτων, συστήματα με κύρια χαρακτηριστικά τα αξιόπιστα προγράμματα συλλογής και την ανάπτυξη τεχνικών διαλογής και επεξεργασίας.



Διάγραμμα 10: ποσοστά ανακύκλωσης και ταφής (Πηγή : Τριτοπούλου & Μπακόλα, 2022)

Στον Ελλαδικό χώρο, το σύστημα ανακύκλωσης διαχειρίζεται ο Ελληνικός Οργανισμός Ανακύκλωσης (Ε.Ο.ΑΝ.) και η ελληνική εταιρεία αξιοποίησης ανακύκλωσης (Ε.Ε.Α.Α.), σύστημα που βασίζεται στην χρήση των μπλε κάδων που είναι τοποθετημένοι σε διάφορα σημεία αστικών και περι – αστικών περιοχών της χώρας. Οι πολίτες διαχωρίζουν τα



ανακυκλώσιμα απορρίμμάτά τους και τα τοποθετούν στους μπλε κάδους, με τη διαχείριση των κάδων να είναι στην αρμοδιότητα των δήμων, οι οποίοι με τα απορριμματοφόρα συλλέγουν το περιεχόμενο των μπλε κάδων και το οδηγούν στα κέντρα διαχείρισης ανακυκλώσιμων υλικών για διαχωρισμό. Τα ανακυκλώσιμα απορρίμματα εξάγονται προς επεξεργασία ή διοχετεύονται σε διάφορα άλλα σημεία για εγχώρια επεξεργασία και περαιτέρω διοχέτευσή τους στην αγορά ως πρώτη ύλη ή στη δευτερογενή αγορά, ως προϊόντα.



**Εικόνα 4 : ανακύκλωση συσκευιών**

Τα κυριότερα προβλήματα των συστημάτων ανακύκλωσης της χώρας, συστήματα που χρήζουν οργάνωσης και βελτίωσης, είναι τα εξής (Τριτοπούλου & Μπακόλα, 2022) :

- δυσκολία ανακύκλωσης, εξαιτίας των διαφορετικών ειδών πλαστικού
- χαμηλός δείκτης πυκνότητας κατά την τοποθέτηση των μπλε κάδων ανακύκλωσης
- διαχωρισμός ρευμάτων (δυσκολία στο διαχωρισμό των υλικών πριν αυτά τοποθετηθούν στους κάδους ανακύκλωσης)
- διαχωρισμός οργανικών απορριμμάτων
- λεηλασία κάδων από πλανόδιους συλλέκτες
- έλλειψη οργάνωσης και συντονισμού τοπικών αρχών αυτοδιοίκησης
- έλλειμμα στην ενημέρωση των πολιτών για τα οφέλη της ανακύκλωσης
- έλλειψη κινήτρων για ανακύκλωση
- έλλειμμα πρόβλεψης χρήσης νέων ανακυκλωμένων προϊόντων
- προβληματική αγορά δευτερογενών πλαστικών

- ελλείψεις στο νομοθετικό πλαίσιο για ανακύκλωση
- αδιαφορία επιχειρηματικών ομίλων για ανακύκλωση
- έλλειψη ευαισθητοποίησης πολιτών

Στον πίνακα που ακολουθεί παρατίθενται συνοπτικά τα είδη πλαστικών και οι κύριες και πιθανές χρήσεις των πλαστικών μετά την ανακύκλωση (Χαραλάμπους, 2019).

*Πίνακας 6 : είδη πλαστικού – χρήσεις πλαστικών (Πηγή : Χαραλάμπους, 2019)*

Είδος πλαστικού	Προϊόντα από παρθένα υλικά	Προϊόντα από ανακυκλωμένα Υλικά
<b>Πλαστικά (PET)</b>	Φιάλες, μπουκάλια	Θήκες αυγών, χαλιά, ίνες
<b>Πλαστικά (HDPE)</b>	Συσκευασίες απορρυπαντικών, Γάλακτος, καρέκλες, φλιτζάνια παιχνίδια.	Παιχνίδια, εμπόδια κυκλοφορίας(κώννοι), κάδοι απορριμμάτων
<b>Πλαστικά (PVC)</b>	Συσκευασίες, σωλήνες καλωδιώσεων, πλαστικά δάπεδα, πλαστικά κουφώματα	Σόλες, υλικά κατασκευής κτιρίων, προφυλακτήρες
<b>Πλαστικά (LDDE)</b>	Μεμβράνες, σακούλες, σωληνάρια οδοντόπαστας, πλαστικά υφάσματα	Δοχεία απορριμμάτων, πλακάκια δαπέδου
<b>Πλαστικά (PP)</b>	Μπουκάλια φαρμάκων, καλαμάκια, δοχεία γιαουρτιού και βουτύρου, εξαρτήματα αυτοκινήτου	Ράφια ποδηλάτων, δίσκοι, καλώδια συσσωρευτών
<b>Πλαστικά ( PS )</b>	Κουτιά αυγών, δοχεία τροφίμων, πλαστικά μαχαιροπίρουνα	Πλάκες διακοπών φωτισμού
<b>Other Plastics</b>	ABS, nylon, polyesters, acrylic, teflon	

### 3.4 Μέθοδοι ανακύκλωσης πλαστικών

#### 3.4.1 Πρωτογενής ανακύκλωση

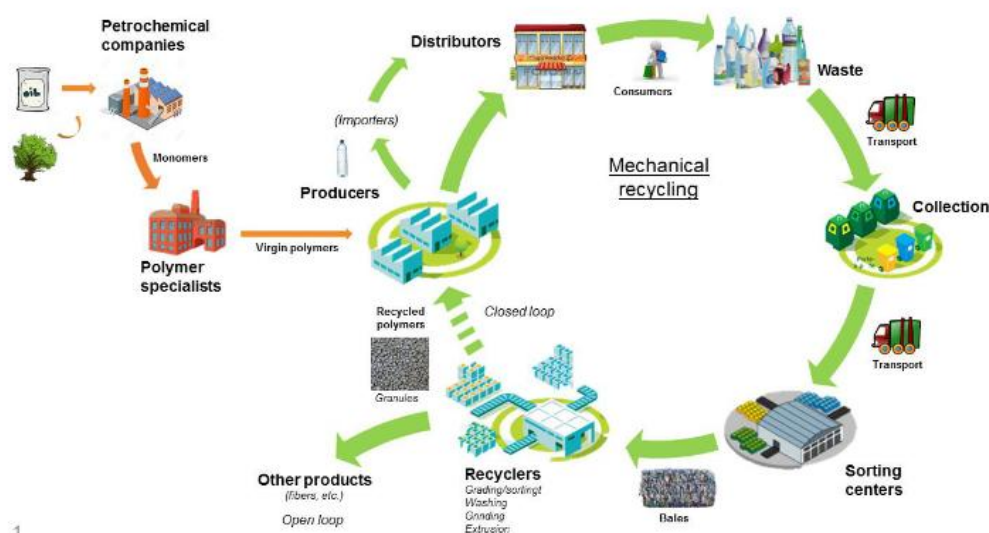
Η μέθοδος της πρωτογενής ανακύκλωσης σχετίζεται με την εκ νέου τροφοδότησης των χρησιμοποιημένων πρώτων υλών (πλαστικό) στις παραγωγικές μονάδες μιας εγκατάστασης, μέθοδος που χρησιμοποιείται για την παραγωγή εφάμιλλων αγαθών. Κατά την παραγωγική διαδικασία διαχωρίζονται τα εκτός προδιαγραφών προϊόντα και ανακυκλώνονται με τις διεργασίες της εξώθησης, της έγχυσης και της εμφύσησης. Η εξώθηση ομογενοποιεί και πλαστικοποιεί τα υλικά που τροφοδοτούνται στον εξωθητή, ο οποίος εν συνεχεία τροφοδοτεί ένα σύστημα γραμμικών καλουπιών και ένα λουτρό ψύξης πληρωμένο με νερό. Το πολυμερές εισάγεται σε μορφή κόκκων, θερμαίνεται και εν συνέχεια περνά μέσα από



κοχλίες, διαδικασία στην οποία το πολυμερές γίνεται πιο ομογενές, καταλήγοντας σε ένα καλούπι για να πάρει την επιθυμητή μορφή. Κατά τη διαδικασία της έγχυσης, το πολυμερές εισάγεται σε μορφή κόκκων ή σκόνης, κατόπιν θερμαίνεται και στη συνέχεια τήκεται, με το ρευστό (θερμοπλαστικό) στη συνέχεια να εγχέεται υπό υψηλή πίεση σε ένα ψυχρό καλούπι και να μορφοποιείται στην τελική του μορφή. Τέλος, κατά τη διαδικασία της εμφύσησης, το πολυμερές διέρχεται σε μια κυλινδρική μήτρας εκβολή για να παραχθεί ένα κυλινδρικού μορφώματος. Κατά την είσοδο του μορφώματος στο σωλήνα, ένα εκμαγείο κλείνει τα άκρα του για την διείσδυση ενός ακροφύσιου αέρα στο ένα άκρο. Η εμφύσηση του αέρα εξογκώνει το μόνιωμα, εξαναγκάζοντάς το να πάρει το σχήμα της κοιλότητας του εκμαγείου.

### 3.4.2 Δευτερογενής ανακύκλωση








Η δευτερογενής ανακύκλωση σχετίζεται με την επεξεργασία απορριμμάτων με τυχασίες συστάσεις, ώστε να παραχθούν προϊόντα πιο χαμηλής ποιότητας. Τα πλαστικά στη δευτερογενή ανακύκλωση διακρίνονται στα πλαστικά απορρίμματα νοικοκυριών και στα υπόλοιπα πλαστικά. Τα στάδια της διεργασίας στη δευτερογενή ανακύκλωση είναι η συλλογή και διαλογή πλαστικών απορριμμάτων στη πηγή, ο διαχωρισμός και καθαρισμός απορριμμάτων, η κατεργασία των πλαστικών και οι εφαρμογές στην αγορά εργασίας. Ο κύκλος ζωής ενός πλαστικού και η διαδικασία δευτερογενούς ανακύκλωσης του πλαστικού παρατίθενται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 5 : κύκλος ζωής πλαστικού

Κατά τη διαδικασία συλλογή και διαλογή πλαστικών απορριμμάτων στη πηγή, τα πλαστικά συλλέγονται σε κατάλληλα διαμορφωμένους χώρους, με σκοπό τη διαλογή των χρήσιμων

υλικών πριν αναμιχθούν με τα υπόλοιπα απορρίμματα. Μέσω της προαναφερόμενης διαδικασίας περιορίζεται η υγειονομική ταφή των πλαστικών απορριμμάτων και ενισχύεται περιβαλλοντικά και οικονομικά κάθε περιοχή, εξαιτίας της μείωσης του όγκου απορριμμάτων, της δημιουργίας θέσεων εργασίας και της πώληση ανακυκλωμένων προϊόντων. Για την διευκόλυνση της διαλογής στα πλαστικά προϊόντα υπάρχει ειδική σήμανση με τους κωδικούς ανακύκλωσης, όπως παρουσιάζονται στην εικόνα που ακολουθεί.

Plastic Resin Identification Codes						
						
PETE	HDPE	PVC	LDPE	PP	PS	OTHER
Polyethylene Terephthalate	High-Density Polyethylene	Polyvinyl Chloride	Low-Density Polyethylene	Polypropylene	Polystyrene	Other

Εικόνα 6 : κωδικοί ανακύκλωσης

Στο στάδιο του διαχωρισμού και καθαρισμού, τα πλαστικά απορρίμματα πλένονται για την απομάκρυνση των ρύπων και των ακαθαρσιών που περιέχουν και στη συνέχεια αναμορφώνονται σε νέα πλαστικά, με πιο καλή ποιότητα. Το προαναφερόμενο στάδιο ξεκινά με την μεταφορά των πλαστικών υλικών που έχουν συλλεχθεί στα κέντρα ανάκτησης υλικών και εν συνέχεια ελέγχονται και διαχωρίζονται σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους, ανάλογα το είδος των πλαστικών. Η ανακύκλωσης επικεντρώνεται στα πιο εύκολα ευκολότερα ανακυκλώσιμα υλικά, όπως τα PET και τα HDPE, με τα πλαστικά στη συνέχεια να θραύονται σε μικρότερα κομμάτια για την πιο οικονομική μεταφορά τους στις μονάδες επεξεργασίας τους. Η διαδικασία της κατεργασίας σχετίζεται με την ποιότητα του τελικού πλαστικού προϊόντος και τη διατήρηση των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του. Πιο συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια της κατεργασίας ο εκβολέας ενός κοχλίου, με το πλαστικό να οδηγείται σε ένα χωνί τροφοδοσίας που είναι τοποθετημένο στον σωλήνα, εξασφαλίζοντας μια σταθερή τροφοδοσία. Δια μέσω του χωνιού εισέρχεται στον σωλήνα η σκόνη του πλαστικού, ενώ στο σωλήνα υπάρχει ο κοχλίας εξώθησης, με σκοπό να μεταφέρει το υλικό και να το εξαναγκάζει να περάσει από τη μήτρα. Το υλικό μεταφέρεται στη συνέχεια προς την έξοδο του σωλήνα και το παχύρρευστο μείγμα πλαστικού αναγκάζεται να διέλθει από τη νηματοειδή μήτρα, στη συνέχεια ψύχεται σε παγωμένο νερό, σταθεροποιείται και οδηγείται στον πελλετοποιητή.

Στη συνέχεια, οι παραγόμενες πελλέτες οδηγούνται για έλεγχο ποιότητας. Στο τελευταίο στάδιο εξασφαλίζονται οι εφαρμογές που διεξάγονται ώστε να γίνει προώθηση σε αγορές, στις οποίες θα διατεθεί το ανακυκλωμένο υλικό (Hahladakis et al., 2019).

### **3.4.3 Τριτογενής ανακύκλωση**

Η τριτογενής ανακύκλωση αναφέρεται στην επεξεργασία του πολυμερούς πλαστικού με κατάλληλο χημικά αντιδραστήρια, με σκοπό να σπάσει το πλαστικό στα μονομερή του. Τα μονομερή καθαρίζονται και να σχηματίζονται εκ νέου σουν νέα μη υποβαθμισμένα πολυμερή, έτοιμα για μορφοποίηση σε νέα προϊόντα. Η παραγωγή νέων πολυμερών με αποπολυμερισμό και αναπολυμερισμό των μονομερών δεν πραγματοποιείται σε ευρεία βιομηχανική κλίμακα, καθώς απαιτούνται μεγάλες ποσότητες ενέργειας. Η τριτογενής διεργασία ανακύκλωσης κατηγοριοποιείται στη χημική ανακύκλωση και τη θερμοχημική μέθοδο διάσπασης. Πολυμερή όπως ο τερεφθαλικός αιθυλενεστέρας, ο ανθρακικός εστέρας), τα πολυαμίδια και οι πολυουρεθάνες μετατρέπονται σε μονομερή με τη χρήση χημικών αντιδραστηρίων, ενώ οι πολυολεφίνες διασπώνται στα μονομερή τους με θερμοχημικές διεργασίες. Οι μέθοδοι θερμοχημικής ανακύκλωσης πολυμερών που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν τη πυρόλυση, την εξαερίωση και την υδρογόνωση. Πυρόλυση είναι η διεργασία που το πολυμερές θερμαίνεται σε θερμοκρασία πάνω από το σημείο τήξης, απουσία οξυγόνου προς παραγωγή ενός αερίου, ενός υγρού κι ενός στερεού κλάσματος. Κατά την εξαερίωση σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση όλα τα οργανικά συστατικά μετατρέπονται στο αέριο σύνθεσης μονοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνου, ενώ κατά την υδρογόνωση προστίθενται και υδρογόνο στο στάδιο της θερμικής αποικοδόμησης, μετατρέποντας το υλικό σε άλλα χρήσιμα προϊόντα. Οι χημικές διεργασίες ανακύκλωσης περιλαμβάνουν αντιδράσεις αποπολυμερισμού των πλαστικών, με το κάθε πολυμερές να χρήζει κατάλληλης αντίδρασης ώστε να επιτευχθεί η μετατροπή του σε μονομερές. Οι κυριότερες αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα είναι η μεθανόλυση, η υδρόλυση και η γλυκόλυση.

### **3.4.4 Τεταρτογενής ανακύκλωση**

Η μέθοδος της τεταρτογενούς ανακύκλωσης αναφέρεται στην καύση των πλαστικών απορριμμάτων και στην ανάκτηση ενέργειας από αυτά, με την προαναφερόμενη μέθοδο να εκμεταλλεύεται το υψηλό ενεργειακό περιεχόμενο των πολυμερών και να πλεονεκτεί, λόγω

της μείωσης του όγκου των απορριμμάτων. Το μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι με τη καύση παράγονται και απελευθερώνονται στο περιβάλλον επικίνδυνα παραπροϊόντα, όπως οι διοξίνες. Τα περισσότερα πολυμερή έχουν θερμογόνο δύναμη υψηλότερη από τον άνθρακα και το αργό. Με τη μέθοδο της καύσης τα πλαστικά προϊόντα χρησιμοποιούνται ως αποταμιευτές ενέργειας. Ως καύσιμη ύλη, τα πολυμερή είναι αναγκαίο να πληρούν κάποιες προδιαγραφές όπως περιεκτικότητα σε τέφρα, θείο, χλώριο και θερμαντική αξία.

### 3.5 Περιβαλλοντικά οφέλη και αξιοποίηση ανακυκλωμένων πλαστικών

#### 3.5.1 Αξιοποίηση ανακυκλωμένων πλαστικών

Η παραγωγή πλαστικού αποτελεί έναν από τους βασικούς τομείς της βιομηχανίας που απαιτεί μεγάλη ποσότητα ενέργειας και πρώτες ύλες. Σε έναν κόσμο που αντιμετωπίζει προκλήσεις στον τομέα της βιωσιμότητας και της περιβαλλοντικής προστασίας, η αξιοποίηση ανακυκλωμένων πλαστικών αποκτά ολοένα και μεγαλύτερη σημασία. Στο πλαίσιο αυτό, τα ανακυκλωμένα πλαστικά αναδεικνύονται ως πολύτιμη πρώτη ύλη που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ποικίλες βιομηχανικές διαδικασίες. Τα πλαστικά αποτελούν μία από τις πιο κοινές μορφές αποβλήτων στον κόσμο. Η ανακύκλωση τους παρέχει μία βιώσιμη λύση στο πρόβλημα της διάθεσής τους, ενώ παράλληλα δημιουργεί νέες ευκαιρίες για τη χρήση τους σε διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές. Η παραγωγή πλαστικού αποτελεί έναν τομέα όπου τα ανακυκλωμένα πλαστικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν με διάφορους τρόπους. Οι κυριότεροι τρόποι είναι οι εξής :

- ✓ χρήση ως πρόσθετο καύσιμο σε ψήκτρες : οι ψήκτρες αποτελούν κρίσιμο μέρος της διαδικασίας παραγωγής. Η προσθήκη ανακυκλωμένων πλαστικών στο υλικό που χρησιμοποιείται ως καύσιμο βελτιώνει την απόδοση του φούρνου, μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας
- ✓ χρήση στην κατασκευή τεχνικών εφαρμογών : τα πλαστικά χρησιμοποιούνται ως υλικό για την κατασκευή τεχνικών εφαρμογών που απαιτούν ελαστικότητα και ανθεκτικότητα στην τριβή. Για παράδειγμα, η χρήση πλαστικών σε μέρη των μηχανημάτων που εμπλέκονται σε παραγωγικές διαδικασίες μπορεί να βελτιώσει την απόδοση και την αντοχή τους
- ✓ ενίσχυση παραγωγικών διεργασιών: η προσθήκη ανακυκλωμένων πλαστικών βελτιώνει την απόδοση παραγωγικών διεργασιών. Με τη χρήση τους σε διαδικασίες

όπως η μεταφορά υλικών και η στήριξη εξοπλισμού, τα ανακυκλωμένα πλαστικά μειώνουν τον κίνδυνο τραυματισμών και να αυξάνουν την ασφάλεια των εργαζομένων, βελτιώνοντας παράλληλα την αποτελεσματικότητα των παραγωγικών διαδικασιών

- ✓ παραγωγή βοηθητικών υλικών: τα ανακυκλωμένα πλαστικά δύναται να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή βοηθητικών υλικών. Αυτό περιλαμβάνει την κατασκευή προστατευτικών καλυμμάτων για τον εξοπλισμό ή τη δημιουργία ειδικών υλικών που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό ή τη συντήρηση των μηχανημάτων.
- ✓ ανακύκλωση και ενεργειακή απόδοση: η ανακύκλωση των πλαστικών που δεν είναι πλέον χρήσιμα μπορεί να οδηγήσει στην παραγωγή ενέργειας. Μέσω της θερμικής ανακύκλωσης, τα πλαστικά μπορούν να μετατραπούν σε ενέργεια που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία των διαδικασιών παραγωγής, μειώνοντας έτσι την ανάγκη για παραδοσιακά καύσιμα και μειώνοντας την επίπτωση στο περιβάλλον.

Η αξιοποίηση ανακυκλωμένων πλαστικών προσφέρει μια ολοκληρωμένη και βιώσιμη λύση για τη βιομηχανία. Μέσω διαφόρων τεχνικών και εφαρμογών, τα ανακυκλωμένα πλαστικά μπορούν να συμβάλουν στη βελτίωση της απόδοσης, τη μείωση του κόστους και τη μείωση της επίπτωσης στο περιβάλλον. Παράλληλα, η αξιοποίησή τους συμβάλλει στη δημιουργία ενός πιο βιώσιμου μοντέλου παραγωγής που σέβεται το περιβάλλον και προωθεί την κυκλική οικονομία. Αναφορικά με τα στατιστικά στοιχεία που σχετίζονται με την ανακύκλωση πλαστικών για την παραγωγή ποσοτήτων σιδήρου, ισχύουν τα εξής :

- ✓ ποσοστό ανακύκλωσης πλαστικών : στις περισσότερες αναπτυγμένες χώρες, το ποσοστό ανακύκλωσης πλαστικών κυμαίνεται μεταξύ 50% έως 90%. Αυτό σημαίνει ότι το μεγαλύτερο μέρος των παλαιών πλαστικών συλλέγεται και ανακυκλώνεται αντί να καταλήγει σε χώρους διάθεσης
- ✓ αύξηση της χρήσης ανακυκλωμένων πλαστικών : παρατηρούνται τάσεις αύξησης της χρήσης ανακυκλωμένων πλαστικών, λόγω της αυξανόμενης ευαισθητοποίησης για τη βιωσιμότητα και το περιβάλλον. Πολλές εταιρείες αναζητούν πλέον εναλλακτικές πηγές υλικών που να είναι περιβαλλοντικά βιώσιμες και ανανεώσιμες
- ✓ οικονομικά οφέλη : η χρήση ανακυκλωμένων πλαστικών στην παραγωγή οδηγεί σε οικονομικά οφέλη για τις εταιρείες, λόγω της μείωσης του κόστους πρώτων υλών και της εξοικονόμησης ενέργειας
- ✓ νομοθετικές προσταγές και ενθάρρυνση : πολλές χώρες εφαρμόζουν νομοθεσία που ενθαρρύνει την ανακύκλωση πλαστικών και τη χρήση ανακυκλωμένων υλικών σε βιομηχανικές διαδικασίες.

Αυτά τα στοιχεία δείχνουν τη σημασία της ανακύκλωσης πλαστικών στη βιομηχανία και τη συνεισφορά της στη διατήρηση του περιβάλλοντος και τη βιωσιμότητα της βιομηχανίας σιδήρου. Η ανακύκλωση πλαστικών αποτελεί καίριο στοιχείο της βιώσιμης ανάπτυξης και η αξιοποίησή τους στην παραγωγή υφαντικών υλών ανοίγει νέους ορίζοντες στη βιομηχανία της μόδας και των υφαντουργικών. Τα πλαστικά αποτελούν ένα από τα κύρια προβλήματα της ανθρωπότητας όσον αφορά τη διάθεση των αποβλήτων. Η ανακύκλωσή τους αποτελεί βασικό μέσο για τη μείωση των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων και την ανάπτυξη βιώσιμων πρακτικών. Στον τομέα της υφαντικής βιομηχανίας, τα ανακυκλωμένα πλαστικά αποτελούν πολύτιμη πρώτη ύλη για τη δημιουργία καινοτόμων υφαντικών υλών. Οι κυριότεροι τρόποι αξιοποίησης των μεταχειρισμένων ελαστικών στην παραγωγή υφαντικών υλών είναι οι εξής :

✓ υφάσματα από ελαστικές ίνες

Οι ελαστικές ίνες που παράγονται από ανακυκλωμένα πλαστικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή υφασμάτων. Αυτά τα υφάσματα είναι ελαστικά, ανθεκτικά και εύκαμπτα, προσφέροντας άνεση και ελευθερία κινήσεων στον χρήστη.

✓ υφάσματα από ελαστικό συνθετικό πολυμερές

Το ελαστικό συνθετικό πολυμερές παράγεται επίσης από ανακυκλωμένα πλαστικά. Αυτό το υλικό χρησιμοποιείται ευρέως στην υφαντική βιομηχανία για τη δημιουργία ελαστικών υφασμάτων και ενδυμασίας που προσφέρουν εξαιρετική εφαρμογή και άνεση.

✓ ανακυκλωμένα κέντημα και πλέγματα

Τα ανακυκλωμένα πλαστικά μπορούν να επεξεργαστούν σε κέντημα και πλέγματα. Αυτά τα υλικά χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ρούχων, αξεσουάρ και παπουτσιών. Τα ανακυκλωμένα κεντήματα και πλέγματα προσφέρουν μια μοντέρνα εμφάνιση και ταυτόχρονα συμβάλλουν στη βιωσιμότητα της μόδας.

Η αξιοποίηση ανακυκλωμένων πλαστικών στην παραγωγή υφαντικών υλών έχει θετικές επιπτώσεις στη βιομηχανία της μόδας. Πιο συγκεκριμένα, η χρήση ανακυκλωμένων υλικών συμβάλλει στη μείωση των αποβλήτων και την αποφυγή της υπερβολικής εξόρυξης φυσικών πόρων, ενισχύοντας έτσι τη βιωσιμότητα της βιομηχανίας. Επιπρόσθετα, η χρήση ανακυκλωμένων πλαστικών ανοίγει νέους δρόμους για τη δημιουργία καινοτόμων υφαντικών υλών και σχεδιασμού μοναδικών προϊόντων, με τις εταιρείες που επενδύουν στη χρήση ανακυκλωμένων υλικών να δείχνουν υπευθυνότητα προς το περιβάλλον και να

ενισχύουν την εικόνα τους στο καταναλωτικό κοινό. Η αξιοποίηση ανακυκλωμένων πλαστικών στην παραγωγή υφαντικών υλών αποτελεί έναν καινοτόμο τρόπο να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα των αποβλήτων και να προωθηθεί η βιώσιμη ανάπτυξη στη βιομηχανία της μόδας. Με τη συνεχή έρευνα και ανάπτυξη, οι δυνατότητες αξιοποίησης αυτών των υλικών είναι αμέτρητες, ενώ οι θετικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και την οικονομία είναι αρκετά σημαντικές. Στον τομέα της ανακύκλωσης ελαστικών για την παραγωγή υφαντικών υλών, υπάρχουν λίγα στατιστικά στοιχεία διαθέσιμα, λόγω της πρόσφατης εξέλιξης στο συγκεκριμένο τομέα. Παρότι δεν υπάρχουν ακόμη εκτεταμένα στατιστικά στοιχεία για την παραγωγή υφαντικών υλών από ανακυκλωμένα ελαστικά, οι προαναφερόμενες τάσεις δείχνουν την αυξανόμενη σημασία και ανάπτυξη αυτής της πρακτικής στη βιομηχανία της μόδας και των υφαντουργικών.

### **3.5.2 Περιβαλλοντικά οφέλη**

Η ανακύκλωση αποτελεί μια διαδικασία συλλογής, ιεράρχησης και μετατροπής των απορριφθέντων υλικών σε πρώτες και βοηθητικές ύλες, οι οποίες στη συνέχεια δύναται να χρησιμοποιηθούν εκ νέου για την παραγωγή νέων προϊόντων. Σε αρκετές περιπτώσεις, η ανακύκλωση απαιτεί σημαντικές ποσότητες ενέργειας, όντας μια περιβαλλοντικά, από άποψη ενέργειας, μη φιλική διαδικασία, ωστόσο αποτελεί σε γενικές γραμμές μία πολύ σημαντική πρακτική, συγκρίνοντάς την με την ενέργεια που χρησιμοποιείται και την ρύπανση που απορρέει από τις παραγωγικές διαδικασίες αχρησιμοποίητων πρώτων υλών και χρήσης φυσικών πόρων. Επιπρόσθετα, τα περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη που απορρέουν από την ανακύκλωση υπερβαίνουν κατά πολύ τα αντίστοιχα οφέλη από την υγειονομική ταφή και την αποτέφρωση των προϊόντων στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Η ανακύκλωση των φθαρμένων πλαστικών προσφέρει πολλά περιβαλλοντικά οφέλη, συμβάλλοντας στη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον. Ορισμένα από αυτά τα οφέλη περιλαμβάνουν τα εξής :

- ✓ Μείωση της ρύπανσης

Η ανακύκλωση των πλαστικών αποτρέπει την απόρριψή τους σε χώρους αποτέφρωσης, μειώνοντας με αυτό τον τρόπο την εκπομπή επιβλαβών ουσιών στην ατμόσφαιρα και την υποβάθμιση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα.

- ✓ Εξοικονόμηση ενέργειας

Η ανακύκλωση των πλαστικών απαιτεί λιγότερη ενέργεια, σε σύγκριση με την παραγωγή νέων πλαστικών από πρώτες ύλες. Αυτό μειώνει την κατανάλωση φυσικών πόρων και τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου που σχετίζονται με την παραγωγή ενέργειας.

✓ Προστασία του εδάφους

Η αποτέφρωση ή η απόθεση φθαρμένων πλαστικών σε χωματερές μπορεί να προκαλέσει ρύπανση του εδάφους, λόγω των επιβλαβών ουσιών που απελευθερώνονται. Η ανακύκλωση τους αποτρέπει αυτό το πρόβλημα.

✓ Πρόληψη πυρκαγιών

Τα απορρίμματα πλαστικών μπορούν να αποτελέσουν εύφλεκτο υλικό και να προκαλέσουν πυρκαγιές σε χώρους αποθήκευσης. Η ανακύκλωση μειώνει την πιθανότητα αυτών των πυρκαγιών.

✓ Επαναχρησιμοποίηση πόρων

Η ανακύκλωση πλαστικών επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση των υλικών τους για την παραγωγή νέων προϊόντων, συμβάλλοντας έτσι στη μείωση της ανάγκης για πρωτογενή παραγωγή και την εξοικονόμηση φυσικών πόρων.

Τα προαναφερόμενα οφέλη καθιστούν την ανακύκλωση των πλαστικών μια σημαντική πρακτική για τη διατήρηση του περιβάλλοντος και την προστασία της υγείας του ανθρώπου και του οικοσυστήματος. Το όφελος είναι διττό και σχετίζεται, τόσο με τον μετριασμό του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής, όσο και με τις διαδικασίες βιώσιμης και αειφόρου διαχείρισης των διαθέσιμων φυσικών πόρων. Μέσω της ανακύκλωσης των πλαστικών στο τέλος του κύκλου ζωής τους εξοικονομούνται πρώτες ύλες και ενεργειακοί πόροι, ενώ παράλληλα μειώνεται σημαντικά ο όγκος απορριμμάτων στους χώρους υγειονομικής ταφής, προστατεύεται το περιβάλλον και δημιουργούνται νέες θέσεις εργασιακής απασχόλησης (Geo news, 2022).

### **3.6 Συμπεράσματα**

Η ανακύκλωση των πλαστικών είναι ένα από τα πιο κρίσιμα ζητήματα της σύγχρονης εποχής, δεδομένης της αυξανόμενης περιβαλλοντικής επιβάρυνσης από τα πλαστικά απορρίμματα. Τα πλαστικά είναι ανθεκτικά υλικά που διαρκούν για εκατοντάδες χρόνια στο περιβάλλον, προκαλώντας σοβαρά προβλήματα ρύπανσης και υγείας. Η ανακύκλωση αποτελεί μια



βιώσιμη λύση για τη μείωση της ποσότητας των πλαστικών αποβλήτων, εξοικονομώντας πόρους και ενέργεια. Στην παρούσα ενότητα εξετάστηκε η διαδικασία ανακύκλωσης των πλαστικών, τα οφέλη της και τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει.

### **3.7 Διαδικασία Ανακύκλωσης των Πλαστικών**

- Συλλογή και διαλογή: Η πρώτη φάση στην ανακύκλωση των πλαστικών είναι η συλλογή και διαλογή των αποβλήτων. Τα πλαστικά συλλέγονται από τους καταναλωτές μέσω προγραμμάτων ανακύκλωσης και στη συνέχεια μεταφέρονται σε κέντρα διαλογής. Εκεί, τα πλαστικά απορρίμματα διαχωρίζονται με βάση τον τύπο και το χρώμα τους, καθώς διαφορετικά είδη πλαστικών έχουν διαφορετικές ιδιότητες και απαιτούν διαφορετική επεξεργασία.
- Καθαρισμός και καταστροφή: Μετά τη διαλογή, τα πλαστικά καθαρίζονται για την αφαίρεση ρύπων, όπως τροφές και ετικέτες. Ακολουθεί η καταστροφή των πλαστικών σε μικρότερα κομμάτια μέσω θρυμματισμού ή κοκκοποίησης. Αυτή η φάση διευκολύνει την περαιτέρω επεξεργασία και τον εκ νέου σχηματισμό των πλαστικών.
- Τήξη και επανασχηματισμός: Τα καθαρισμένα και θρυμματισμένα πλαστικά υλικά θερμαίνονται μέχρι να λιώσουν και στη συνέχεια σχηματίζονται εκ νέου σε νέα προϊόντα. Αυτή η διαδικασία μπορεί να περιλαμβάνει την εξώθηση, την έγχυση, τη φύση και την ελασματοποίηση. Τα ανακυκλωμένα πλαστικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή διαφόρων προϊόντων, από μπουκάλια και σακούλες έως κατασκευαστικά υλικά και εξαρτήματα αυτοκινήτων.
- Ποιοτικός έλεγχος: Τέλος, τα ανακυκλωμένα προϊόντα υποβάλλονται σε ποιοτικό έλεγχο για να διασφαλιστεί ότι πληρούν τις απαιτούμενες προδιαγραφές. Η ποιότητα των ανακυκλωμένων πλαστικών μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με την καθαρότητα και την ομοιογένεια των εισερχόμενων υλικών.

### **3.8 Οφέλη της Ανακύκλωσης των Πλαστικών**

#### Μείωση των απορριμμάτων

Η ανακύκλωση των πλαστικών συμβάλλει στη μείωση της ποσότητας των απορριμμάτων που καταλήγουν στους χώρους υγειονομικής ταφής και στους ωκεανούς. Αυτό βοηθά στη μείωση της ρύπανσης και προστατεύει το περιβάλλον και την άγρια ζωή.

### Εξοικονόμηση πόρων και ενέργειας

Η παραγωγή νέων πλαστικών απαιτεί την εξόρυξη και επεξεργασία πρώτων υλών, όπως το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, καθώς και μεγάλες ποσότητες ενέργειας. Η ανακύκλωση μειώνει την ανάγκη για νέες πρώτες ύλες και εξοικονομεί ενέργεια, συμβάλλοντας στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

### Οικονομικά οφέλη

Η ανακύκλωση δημιουργεί θέσεις εργασίας σε κέντρα συλλογής, διαλογής και επεξεργασίας. Επιπλέον, οι επιχειρήσεις που χρησιμοποιούν ανακυκλωμένα υλικά μπορούν να μειώσουν το κόστος παραγωγής και να βελτιώσουν την ανταγωνιστικότητά τους.

### Ευαισθητοποίηση και εκπαίδευση

Η προώθηση της ανακύκλωσης συμβάλλει στην ευαισθητοποίηση του κοινού για τα περιβαλλοντικά προβλήματα και την ανάγκη για βιώσιμες πρακτικές. Εκπαιδευτικά προγράμματα και καμπάνιες μπορούν να ενισχύσουν την περιβαλλοντική συνείδηση και τη συμμετοχή των πολιτών σε πρωτοβουλίες ανακύκλωσης.

## **3.9 Προκλήσεις της ανακύκλωσης των πλαστικών**

### Μόλυνση και ακάθαρτα υλικά

Ένα από τα κύρια προβλήματα της ανακύκλωσης των πλαστικών είναι η μόλυνση των υλικών. Τα πλαστικά απορρίμματα συχνά περιέχουν ξένα υλικά, όπως τροφές και άλλα μη πλαστικά αντικείμενα, που καθιστούν τη διαδικασία ανακύκλωσης πιο δύσκολη και δαπανηρή.

### Ποικιλία πλαστικών

Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι πλαστικών, καθένας με τις δικές του ιδιότητες και απαιτήσεις επεξεργασίας. Αυτή η ποικιλία καθιστά τη διαλογή και την ανακύκλωση πιο πολύπλοκη. Ορισμένα πλαστικά δεν είναι καν ανακυκλώσιμα με τις τρέχουσες τεχνολογίες.

### Χαμηλή ποιότητα ανακυκλωμένων υλικών

Τα ανακυκλωμένα πλαστικά συχνά έχουν χαμηλότερη ποιότητα σε σχέση με τα πρωτογενή υλικά, περιορίζοντας τη χρήση τους σε ορισμένες εφαρμογές. Η ποιότητα μπορεί να επηρεαστεί από την παρουσία προσθέτων, χρωστικών και άλλων ρύπων.

### Κόστος και οικονομική βιωσιμότητα

Η ανακύκλωση πλαστικών μπορεί να είναι δαπανηρή, ειδικά όταν οι τιμές των πρώτων υλών είναι χαμηλές. Η οικονομική βιωσιμότητα των προγραμμάτων ανακύκλωσης εξαρτάται από την υποστήριξη της πολιτείας, την τιμή των ανακυκλωμένων υλικών και την αποτελεσματικότητα των διαδικασιών.

### **3.10 Καινοτομίες και Βελτιώσεις**

#### Προηγμένες Τεχνολογίες Διαλογής

Η χρήση τεχνολογιών όπως η φασματοσκοπία κοντινού υπέρυθρου (NIR) και η ανίχνευση με λέιζερ μπορεί να βελτιώσει την ακρίβεια της διαλογής των πλαστικών. Αυτές οι τεχνολογίες μπορούν να ανιχνεύσουν και να διαχωρίσουν τα πλαστικά υλικά με μεγαλύτερη ακρίβεια και ταχύτητα.

#### Χημική Ανακύκλωση

Η χημική ανακύκλωση προσφέρει μια λύση για τα πλαστικά που δεν μπορούν να ανακυκλωθούν μηχανικά. Αυτή η μέθοδος διασπά τα πλαστικά σε μονομερή ή άλλα χημικά συστατικά, τα οποία μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν για την παραγωγή νέων πλαστικών.

#### Βιοδιασπώμενα Πλαστικά

Η ανάπτυξη βιοδιασπώμενων πλαστικών μπορεί να μειώσει την περιβαλλοντική επίπτωση των πλαστικών αποβλήτων. Τα βιοδιασπώμενα πλαστικά διασπώνται πιο εύκολα στο περιβάλλον, αν και η ανακύκλωσή τους μπορεί να παρουσιάζει προκλήσεις.

#### Εκπαίδευση και Συμμετοχή των Καταναλωτών

Η εκπαίδευση των καταναλωτών σχετικά με τη σωστή διαλογή και ανακύκλωση των πλαστικών μπορεί να βελτιώσει την ποιότητα των ανακυκλωμένων υλικών. Προγράμματα ευαισθητοποίησης και κίνητρα για τη συμμετοχή των πολιτών μπορούν να ενισχύσουν την αποτελεσματικότητα των συστημάτων ανακύκλωσης.

Η ανακύκλωση των πλαστικών αποτελεί έναν κρίσιμο παράγοντα για τη μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης και την προώθηση της βιωσιμότητας. Παρά τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει, η ανακύκλωση προσφέρει σημαντικά οφέλη, όπως τη μείωση των

απορριμμάτων, την εξοικονόμηση πόρων και ενέργειας, και τη δημιουργία οικονομικών ευκαιριών. Η συνεχιζόμενη έρευνα και οι καινοτομίες στην τεχνολογία ανακύκλωσης μπορούν να αντιμετωπίσουν τα υπάρχοντα προβλήματα και να βελτιώσουν την αποδοτικότητα και την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας. Μέσω της εκπαίδευσης και της συμμετοχής των καταναλωτών, η ανακύκλωση των πλαστικών μπορεί να ενισχυθεί, οδηγώντας σε έναν πιο βιώσιμο και καθαρότερο πλανήτη. Η βιομηχανία ανακύκλωσης θερμοπλαστικών έχει γίνει ζωτικής σημασίας για τη βιώσιμη διαχείριση των πλαστικών αποβλήτων. Η αποτελεσματική παρακολούθηση και βελτίωση των διεργασιών ανακύκλωσης είναι κρίσιμη για την αύξηση της απόδοσης, τη μείωση των απορριμμάτων και τη διασφάλιση της ποιότητας των ανακυκλωμένων προϊόντων. Η στατιστική παρακολούθηση διεργασίας (SPC) αποτελεί ένα από τα βασικά εργαλεία για την επίτευξη αυτών των στόχων. Στην παρούσα έκθεση, θα εξετάσουμε τη χρήση της SPC στη βιομηχανία ανακύκλωσης θερμοπλαστικών, επικεντρώνοντας στις μεθόδους και τα οφέλη της. Η στατιστική παρακολούθηση διεργασίας είναι μια μεθοδολογία που χρησιμοποιεί στατιστικά εργαλεία για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των διαδικασιών παραγωγής. Βασίζεται στη συλλογή και ανάλυση δεδομένων για την ανίχνευση μεταβολών στη διεργασία, την πρόληψη ελαττωματικών προϊόντων και την επίτευξη συνεχούς βελτίωσης. Τα κύρια εργαλεία της SPC περιλαμβάνουν τα διαγράμματα ελέγχου, την ανάλυση διασποράς και τα ιστογράμματα.

### **3.11 Εφαρμογή στη Βιομηχανία Ανακύκλωσης Θερμοπλαστικών**

#### Συλλογή Δεδομένων

Η συλλογή δεδομένων στη βιομηχανία ανακύκλωσης θερμοπλαστικών περιλαμβάνει τη μέτρηση παραμέτρων όπως η θερμοκρασία, η πίεση, η ταχύτητα ροής, και η σύνθεση των ανακυκλωμένων υλικών. Αυτά τα δεδομένα μπορούν να συλλέγονται αυτόματα μέσω αισθητήρων και συστημάτων παρακολούθησης ή χειροκίνητα από τους χειριστές.

#### Διαγράμματα Ελέγχου

Τα διαγράμματα ελέγχου είναι βασικά εργαλεία της SPC. Στη βιομηχανία ανακύκλωσης, χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση κρίσιμων παραμέτρων της διεργασίας. Για παράδειγμα, τα διαγράμματα ελέγχου  $\bar{X}$  και R μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση της μέσης και της διακύμανσης της θερμοκρασίας κατά τη διαδικασία εξώθησης των θερμοπλαστικών.

### Ανάλυση Διασποράς

Η ανάλυση διασποράς βοηθά στην κατανόηση των σχέσεων μεταξύ διαφορετικών παραμέτρων της διεργασίας. Στη βιομηχανία ανακύκλωσης θερμοπλαστικών, η ανάλυση αυτή μπορεί να αποκαλύψει τη σχέση μεταξύ της πίεσης και της ποιότητας του τελικού προϊόντος, επιτρέποντας την προσαρμογή της διεργασίας για βελτιστοποίηση της ποιότητας.

### Ιστογράμματα

Τα ιστογράμματα παρέχουν μια γραφική αναπαράσταση της κατανομής των δεδομένων. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση της κατανομής της διαμέτρου των σωματιδίων των ανακυκλωμένων θερμοπλαστικών, βοηθώντας στην αναγνώριση τυχόν ανωμαλιών ή αποκλίσεων από τις επιθυμητές προδιαγραφές.

### **3.12 Πρακτική Εφαρμογή**

#### Περίπτωση Μελέτης: Παρακολούθηση Εξώθησης Θερμοπλαστικών

Ένα σημαντικό στάδιο στην ανακύκλωση θερμοπλαστικών είναι η εξώθηση, όπου τα πλαστικά λιώνουν και διαμορφώνονται σε νέα προϊόντα. Η στατιστική παρακολούθηση παραμέτρων, όπως η θερμοκρασία και η πίεση, κατά την εξώθηση είναι κρίσιμη για την ποιότητα του τελικού προϊόντος. Με τη χρήση διαγραμμάτων ελέγχου  $\bar{X}$  - bar και R, η εταιρεία μπορεί να ανιχνεύσει έγκαιρα τυχόν αποκλίσεις που μπορεί να επηρεάσουν την ποιότητα.

#### Περίπτωση Μελέτης: Παρακολούθηση Ποιότητας Υλικών

Στη διαδικασία ανακύκλωσης, η ποιότητα των εισερχόμενων πλαστικών αποβλήτων μπορεί να ποικίλλει σημαντικά. Με τη χρήση ιστογραμμάτων, η εταιρεία μπορεί να αναλύσει την ποιότητα των υλικών και να προσαρμόσει ανάλογα τις διαδικασίες της για να διασφαλίσει σταθερή παραγωγή υψηλής ποιότητας.

### **3.13 Οφέλη της SPC στη Βιομηχανία Ανακύκλωσης Θερμοπλαστικών**

#### Βελτίωση της Ποιότητας

Η εφαρμογή της SPC βοηθά στην ανίχνευση και διόρθωση προβλημάτων στη διεργασία σε πρώιμο στάδιο, εξασφαλίζοντας ότι τα τελικά προϊόντα πληρούν τις απαιτούμενες προδιαγραφές ποιότητας.

#### Αύξηση της Αποδοτικότητας

Με τη συνεχή παρακολούθηση και βελτίωση των διεργασιών, η παραγωγή γίνεται πιο αποδοτική, με μείωση των αποβλήτων και του κόστους.

#### Μείωση των Απορριμμάτων

Η πρόληψη των ελαττωματικών προϊόντων και η βελτίωση της ποιότητας των ανακυκλωμένων υλικών συμβάλλει στη μείωση των απορριμμάτων, ενισχύοντας τη βιωσιμότητα της βιομηχανίας.

#### Ανίχνευση και Πρόληψη Προβλημάτων

Η χρήση διαγραμμάτων ελέγχου και άλλων στατιστικών εργαλείων επιτρέπει την έγκαιρη ανίχνευση προβλημάτων στη διεργασία, προλαμβάνοντας τη δημιουργία μεγάλων προβλημάτων που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε διακοπές παραγωγής.

Η στατιστική παρακολούθηση διεργασίας (SPC) αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο για τη βιομηχανία ανακύκλωσης θερμοπλαστικών, επιτρέποντας την ανίχνευση και διόρθωση προβλημάτων, τη βελτίωση της ποιότητας και την αύξηση της αποδοτικότητας των διεργασιών. Με τη συνεχή συλλογή και ανάλυση δεδομένων, οι εταιρείες μπορούν να επιτύχουν μια σταθερή και υψηλής ποιότητας παραγωγή, συμβάλλοντας στην προώθηση της βιωσιμότητας και της οικονομικής αποδοτικότητας της βιομηχανίας. Η εφαρμογή της SPC στη βιομηχανία ανακύκλωσης θερμοπλαστικών δεν είναι μόνο τεχνικά εφικτή αλλά και εξαιρετικά επωφελής, καθιστώντας την απαραίτητη για την αντιμετώπιση των προκλήσεων που σχετίζονται με την ποιότητα και τη βιωσιμότητα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ

### 4.1 Ερευνητικός σχεδιασμός

Η παρούσα έρευνα στοχεύει στην παρακολούθηση και αξιολόγηση της παραγωγικής διαδικασίας σε μια βιομηχανία ανακύκλωσης θερμοπλαστικών, με έμφαση σε δύο βασικές παραμέτρους, τη ροή του παραγόμενου προϊόντος (melt flow index) και την πυκνότητά του. Η ερευνητική μεθοδολογία περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

#### Συλλογή Δεδομένων

- Επισκέψεις στις Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις : Άμεση παρατήρηση των διαδικασιών παραγωγής, καταγραφή των συνθηκών λειτουργίας και λήψη δειγμάτων.

Πιο συγκεκριμένα, το πρώτο τρίμηνο του 2024 μετά από επίσκεψη στις εγκαταστάσεις της βιομηχανίας λήφθηκαν τα προς μελέτη δείγματα. Ο αρχικός σχεδιασμός ήταν να ληφθούν 10 δείγματα στην αρχή της παραγωγικής διαδικασίας (Α φάση), 30 δειγμάτων για την παρακολούθηση της παραγωγικής διαδικασίας μέχρι την ολοκλήρωσή της (Β φάση) και 5 δειγμάτων από το σιλό ομογενοποίησης πριν την τελική αποδέσμευση του προϊόντος (Γ ΦΑΣΗ). Όμως ακολουθήθηκε ο σχεδιασμός που χρησιμοποιεί η επιχείρηση, όπου σε κάποιες περιπτώσεις και μέχρι να σταθεροποιηθεί η παραγωγική διαδικασία μετρούνται περισσότερα δείγματα. Αυτό θα φανεί στο στάδιο επεξεργασίας των αποτελεσμάτων όπου σε κάποια υλικά έγιναν περισσότερες μετρήσεις κατά την Α φάση.

Όσον αφορά τα δείγματα της Β φάσης, αυτά τα συνέλεξαν οι χειριστές των μηχανημάτων παραγωγής κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Επειδή όμως η παραγωγική διαδικασία γίνεται και κατά τις νυχτερινές ώρες και λόγω αυξημένου φόρτου εργασιών σε κάποιες περιπτώσεις δεν συλλέχθηκε ο αριθμός δειγμάτων που είχε προγραμματιστεί. Να σημειωθεί πως η επιχείρηση διαθέτει συνολικά 4 extruders τα οποία λειτουργούν σε 24ωρη βάση και πως η διαδικασία μετρήσεων είναι χρονοβόρα και καταβλήθηκε μεγάλη προσπάθεια για τις μετρήσεις των δειγμάτων τα οποία μελετάμε. Υπό κανονικές συνθήκες οι μετρήσεις μπορεί να είναι λιγότερες από αυτές που πραγματοποιήσαμε στο πλαίσιο αυτής της μελέτης.

### Διαγράμματα Ελέγχου

- Χρήση διαγραμμάτων ελέγχου για την παρακολούθηση της σταθερότητας και της κανονικότητας της παραγωγικής διαδικασίας.
- Ανίχνευση και ανάλυση πιθανών δυσλειτουργιών μέσω των διαγραμμάτων.

### Αξιολόγηση και Βελτίωση

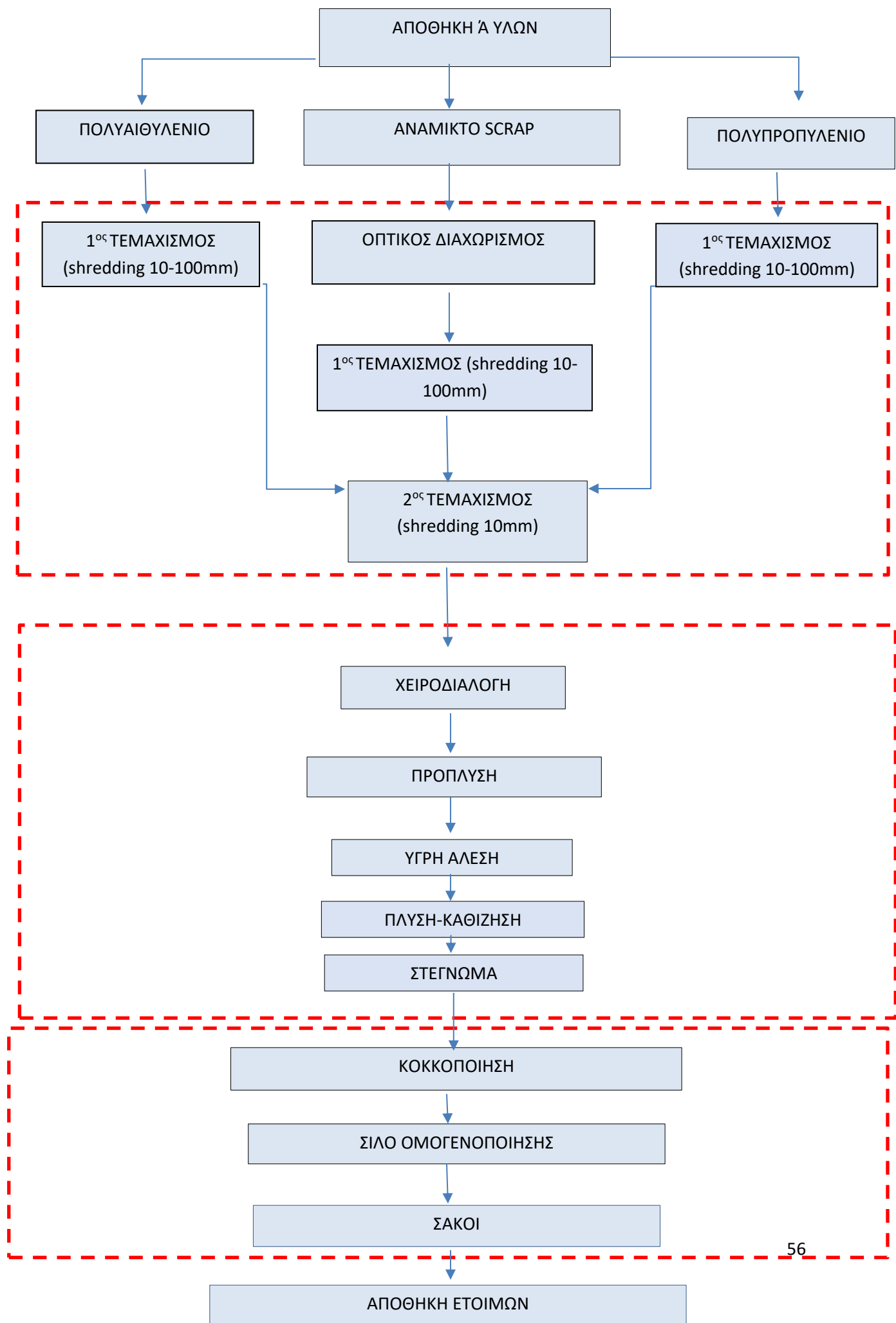
- Ανάλυση των αποτελεσμάτων για την αναγνώριση προβλημάτων και την παροχή προτάσεων για βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας.
- Προτάσεις για τη βελτίωση των διαδικασιών και την αύξηση της απόδοσης και της ποιότητας του παραγόμενου προϊόντος.

Αυτή η συστηματική προσέγγιση αποσκοπεί στην παροχή μιας ολοκληρωμένης κατανόησης της παραγωγικής διαδικασίας και στην προώθηση βελτιώσεων που θα ενισχύσουν την αποδοτικότητα και τη βιωσιμότητα της βιομηχανίας ανακύκλωσης θερμοπλαστικών.

## **4.2 Παραγωγική διαδικασία και δεδομένα**

Η παραγωγική διαδικασία της βιομηχανίας ανακύκλωσης θερμοπλαστικών περιλαμβάνει τη συλλογή και επεξεργασία του scrap πολυαιθυλενίου-πολυπροπυλενίου, το οποίο διαμορφώνεται σε κόκκους, μέσω μηχανημάτων extruders. Πιο συγκεκριμένα, οι πρώτες ύλες παραλαμβάνονται σε δέματα και αποθηκεύονται ανάλογα με το είδος τους. Κατά το αρχικό στάδιο της παραγωγής τα δέματα ανοίγονται και απομακρύνονται τα υλικά συσκευασίας με την χρήση ειδικού διαχωριστικού μηχανήματος. Ακολουθεί η κατεργασία κοπής, όπου το εισερχόμενο υλικό υπόκειται σε μια αρχική μείωση του μεγέθους του, εν συνεχεία περνά από οπτικό διαχωριστή, εάν απαιτείται, και τέλος πραγματοποιείται περαιτέρω μείωση του μεγέθους του. Ακολούθως το υλικό οδηγείται στην γραμμή πλύσης η οποία διαθέτει επιπλέον διάταξη κοπής, και ακολουθεί υγρή άλεση και καθίζηση. Το υλικό πλέον οδηγείται σε στεγνωτήριο όπου αφαιρείται η υγρασία και στη συνέχεια οδηγείται στην διαδικασία αναγέννησης. Τέλος, στους εξιλαστήρες (extruders) πραγματοποιείται η κοκκοποίηση του πλαστικού. Οι κόκκοι του πλαστικού οδηγούνται σε σιλό προσωρινής αποθήκευσης και ομογενοποίησης και στη συνέχεια πακετάρονται σε σάκους. Τα προαναφερθέντα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας αποτυπώνονται στο διάγραμμα ροής που ακολουθεί.





Τα κύρια χαρακτηριστικά που παρακολουθούνται είναι η ροή του παραγόμενου προϊόντος (melt flow index) και η πυκνότητά του. Αυτές οι μεταβλητές είναι κρίσιμες για την αξιολόγηση της ποιότητας και της απόδοσης της παραγωγής. Η συλλογή δεδομένων θα πραγματοποιηθεί μέσω επισκέψεων στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Πιο συγκεκριμένα, οι επισκέψεις στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις επιτρέπουν την άμεση παρατήρηση των διαδικασιών παραγωγής και την καταγραφή κρίσιμων δεδομένων. Με αυτό τον τρόπο ο ερευνητής έχει τη δυνατότητα να αλληλεπιδράσει με το προσωπικό, να παρατηρήσει τις διαδικασίες σε πραγματικό χρόνο και να καταγράψει σημαντικές παραμέτρους της παραγωγής.

Αναφορικά με τα χαρακτηριστικά των δεδομένων:

- Ο δείκτης ροής του παραγόμενου προϊόντος (MFI) υπολογίζεται από την ποσότητα (σε γραμμάρια) πολυμερούς που ρέει μέσω μιας τυποποιημένης μήτρας σε 10 λεπτά κάτω από μια καθορισμένη θερμοκρασία και πίεση (gr/10min). Αυτός ο δείκτης είναι κρίσιμος για την εκτίμηση της ικανότητας του ανακυκλωμένου υλικού να ρέει κατά τη διάρκεια της παραγωγής και επηρεάζει άμεσα την ποιότητα του τελικού προϊόντος. Η δοκιμή πραγματοποιείται συνήθως χρησιμοποιώντας ένα όργανο που ονομάζεται δείκτης ροής τήγματος. Μια μικρή ποσότητα πολυμερούς θερμαίνεται πάνω από το σημείο τήξης του, ένα βάρος (π.χ. 5kg για το πολυαιθυλένιο) τοποθετείται σε ένα έμβολο, το τηγμένο πολυμερές εξωθείται μέσω μιας μήτρας και το προϊόν εξώθησης συλλέγεται και ζυγίζεται. Σε ένα τέτοιο όργανο της εταιρίας Dynisco, το οποίο συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις του προτύπου ISO 1133 μετρήθηκαν τα δείγματα τα οποία θα μελετήσουμε παρακάτω
- Η πυκνότητα του παραγόμενου προϊόντος επηρεάζει την ποιότητα και την ανθεκτικότητα του τελικού προϊόντος. Η μέτρηση πυκνότητας σε πολυμερή είναι μια σημαντική διαδικασία για τον χαρακτηρισμό των φυσικών ιδιοτήτων των πολυμερών υλικών, καθώς η πυκνότητα σχετίζεται με τη μοριακή δομή, την κρυσταλλικότητα και τις προσμίξεις του υλικού. Η πυκνότητα ( $\rho$ ) ορίζεται ως η μάζα ανά μονάδα όγκου ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ). Στην περίπτωση μας τα δείγματα μετρήθηκαν με την μέθοδο της υδροστατικής ζύγισης, σε πυκνόμετρο της εταιρίας Kern και σύμφωνα με το πρότυπο ISO 1183.

#### 4.3 Διαδικασία ανάλυσης δεδομένων και διαγράμματα ελέγχου

Η ανάλυση δεδομένων περιλαμβάνει τη χρήση διαγραμμάτων ελέγχου για την παρακολούθηση και αξιολόγηση της παραγωγικής διαδικασίας.

Τα διαγράμματα ελέγχου είναι ένα βασικό εργαλείο για την παρακολούθηση της σταθερότητας και της κανονικότητας της παραγωγικής διαδικασίας. Τα διαγράμματα αυτά επιτρέπουν την ανίχνευση πιθανών δυσλειτουργιών και την αξιολόγηση της απόδοσης της παραγωγικής διαδικασίας σε πραγματικό χρόνο. Τα κατάλληλα διαγράμματα ελέγχου είναι τα εξής :

- $\bar{X}$  - R Charts: Τα προαναφερόμενα διαγράμματα χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της μεταβλητότητας και της μέσης τιμής των παραμέτρων. Η χρήση τους επιτρέπει την ανίχνευση τυχόν αποκλίσεων από την κανονική λειτουργία και την αναγνώριση πιθανών προβλημάτων.
- CUSUM Charts: Τα CUSUM διαγράμματα χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση των μικρών μεταβολών στις παραμέτρους. Αυτά τα διαγράμματα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για την ανίχνευση μικρών αλλά σημαντικών αλλαγών που μπορεί να επηρεάσουν την παραγωγική διαδικασία.
- EWMA Charts: Τα EWMA διαγράμματα χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση αργών και συνεχών αλλαγών στις παραμέτρους. Αυτά τα διαγράμματα επιτρέπουν την παρακολούθηση των τάσεων στις παραμέτρους και την ανίχνευση μακροπρόθεσμων αλλαγών στην παραγωγική διαδικασία.

Ο προσδιορισμός των κατάλληλων παραμέτρων για τα διαγράμματα ελέγχου, όπως τα όρια ελέγχου και τα κεντρικά όρια, θα γίνει με βάση τα δεδομένα που συλλέχθηκαν κατά την αρχική φάση της έρευνας. Τα διαγράμματα ελέγχου θα εφαρμοστούν σε πραγματικό χρόνο για την παρακολούθηση των παραμέτρων κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας. Η συνεχής παρακολούθηση θα επιτρέψει την άμεση ανίχνευση τυχόν αποκλίσεων από την κανονική λειτουργία και θα διευκολύνει την άμεση λήψη διορθωτικών μέτρων. Οι αποκλίσεις από τα όρια ελέγχου θα αναλυθούν για να προσδιοριστούν οι αιτίες τους και να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα για την αντιμετώπισή τους. Η ανάλυση των αποκλίσεων θα περιλαμβάνει την αναγνώριση των βασικών αιτιών και την ανάπτυξη στρατηγικών για την πρόληψη παρόμοιων προβλημάτων στο μέλλον.

Με βάση τα ευρήματα από τα διαγράμματα ελέγχου, θα προταθούν συγκεκριμένα βήματα για τη βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας. Αυτές οι προτάσεις θα στοχεύουν στην αύξηση της αποδοτικότητας και της ποιότητας του παραγόμενου προϊόντος και θα περιλαμβάνουν τα εξής:

➤ Τροποποιήσεις στον Εξοπλισμό

Αλλαγές στις ρυθμίσεις των μηχανημάτων, όπως η προσαρμογή της θερμοκρασίας και της πίεσης των extruders, για τη βελτίωση της ροής και της ποιότητας του παραγόμενου προϊόντος. Αναβαθμίσεις του εξοπλισμού, όπως η εγκατάσταση νέων συστημάτων ελέγχου και η βελτίωση της συντήρησης των μηχανημάτων, για τη διασφάλιση της σταθερότητας της παραγωγικής διαδικασίας.

➤ Αλλαγές στις Διαδικασίες Παραγωγής

Βελτιώσεις στις διαδικασίες παραγωγής, όπως η προσαρμογή των θερμοκρασιών και των πιέσεων, για την επίτευξη καλύτερων αποτελεσμάτων. Ανάπτυξη νέων διαδικασιών για την παρακολούθηση και τον έλεγχο της ποιότητας του ανακυκλωμένου υλικού, για τη διασφάλιση της σταθερότητας και της ποιότητας του τελικού προϊόντος.

➤ Εκπαίδευση Προσωπικού

Εκπαίδευση του προσωπικού για την καλύτερη διαχείριση της παραγωγικής διαδικασίας και την επίλυση προβλημάτων που μπορεί να προκύψουν. Ανάπτυξη προγραμμάτων εκπαίδευσης για την ενίσχυση των δεξιοτήτων του προσωπικού και την προώθηση της κατανόησης των βασικών αρχών της στατιστικής παρακολούθησης και των διαγραμμάτων ελέγχου.

Η ολοκληρωμένη ανάλυση των δεδομένων και των διαγραμμάτων ελέγχου θα καταλήξει σε συμπεράσματα για την τρέχουσα κατάσταση της παραγωγικής διαδικασίας και θα προτείνει συγκεκριμένα βήματα για τη βελτίωση της. Οι προτάσεις αυτές θα βασίζονται στα ευρήματα της ανάλυσης και θα στοχεύουν στην επίτευξη μιας πιο σταθερής και αποδοτικής παραγωγικής διαδικασίας. Η εφαρμογή των προτεινόμενων βελτιώσεων θα οδηγήσει σε μια πιο αποδοτική και βιώσιμη παραγωγική διαδικασία, ενισχύοντας την ανταγωνιστικότητα της βιομηχανίας και προάγοντας τις αρχές της κυκλικής οικονομίας. Οι βελτιώσεις αυτές περιλαμβάνουν τα εξής :

- Βελτιώσεις στον Εξοπλισμό και τις Διαδικασίες Παραγωγής: Αλλαγές στις ρυθμίσεις των μηχανημάτων και στις διαδικασίες παραγωγής για τη βελτίωση της ροής και της ποιότητας του παραγόμενου προϊόντος.
- Ανάπτυξη Νέων Διαδικασιών Παρακολούθησης και Ελέγχου: Δημιουργία νέων διαδικασιών για την παρακολούθηση και τον έλεγχο της ποιότητας του ανακυκλωμένου υλικού και την εξασφάλιση της σταθερότητας της παραγωγικής διαδικασίας.
- Εκπαίδευση και Ανάπτυξη του Προσωπικού: Εκπαίδευση του προσωπικού για την καλύτερη διαχείριση της παραγωγικής διαδικασίας και την επίλυση προβλημάτων που μπορεί να προκύψουν.

Η συστηματική προσέγγιση που ακολουθήθηκε στην παρούσα έρευνα προσφέρει μια ολοκληρωμένη κατανόηση της παραγωγικής διαδικασίας και προτείνει συγκεκριμένα βήματα για τη βελτίωση της. Η εφαρμογή αυτών των προτάσεων θα οδηγήσει σε μια πιο αποδοτική και βιώσιμη παραγωγική διαδικασία, συμβάλλοντας στην ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας της βιομηχανίας και στην προώθηση των αρχών της κυκλικής οικονομίας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

### 5.1 Μελέτη χαρακτηριστικών ποιότητας

Ο στατιστικός έλεγχος διεργασιών διενεργήθηκε σε μια βιομηχανία ανακύκλωσης θερμοπλαστικών, έλεγχος στον οποίο διερευνάται η παραγωγική διαδικασία 3 αγαθών που εμφανίζουν τη μεγαλύτερη κίνηση στην παραγωγή. Τα υπό – διερεύνηση χαρακτηριστικά που εξετάζονται είναι η πυκνότητα και η ροή του παραγόμενου προϊόντος, ενώ τα τρία είδη που εξετάζονται είναι το μαύρο HDPE (προϊόν Α), το άχρωμο HDPE (προϊόν Β) και το PP Terracotta (προϊόν Γ). Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων έγινε με τη χρήση του λογισμικού “MINITAB”. Στον στατιστικό έλεγχο διεργασιών θα εξεταστούν τρεις φάσεις:

- Η φάση Α της παραγωγικής διαδικασίας. Εδώ πραγματοποιούνται οι αρχικές μετρήσεις για τη ρύθμιση της παραγωγικής διαδικασίας ( ρύθμιση των μηχανημάτων στις κατάλληλες συνθήκες για την παραγωγή του συγκεκριμένου προϊόντος-προσθήκη των κατάλληλων additive για την επίτευξη των απαιτήσεων του πελάτη ) .

Στη συνέχεια εφόσον η παραγωγική διαδικασία σταθεροποιηθεί γίνονται κάποιες επιπλέον μετρήσεις με τις οποίες δημιουργούνται διαγράμμάτων ελέγχου τα οποία θα μας δώσουν τα όρια με τα οποία θα παρακολουθήσουμε την εξέλιξη της παραγωγικής διαδικασίας.

- Η φάση Β της παραγωγικής διαδικασίας κατά την οποία γίνονται μετρήσεις ανα τακτά χρονικά διαστήματα και ελέγχεται αν τα αποτελέσματα βρίσκονται εντός των ορίων ελέγχου που έχουν δημιουργηθεί κατά την Α Φάση.
- Η φάση Γ, η οποία περιλαμβάνει τη λήψη δειγμάτων από το σιλό ομογενοποίησης πριν την αποδέσμευση (σάκιασμα - αποστολή) του φορτίου. Με αυτόν το τρόπο ελέγχεται το προϊόν ως προς την ομοιογένειά του και ως προς την συμμόρφωσή του με τις απαιτήσεις του πελάτη.

Τα διαγράμματα ελέγχου είναι πολύ σημαντικά για τις εφαρμογές του στατιστικού ελέγχου ποιότητας, αποτελώντας μια αναπαράσταση της πορείας της παραγωγικής διαδικασίας, διαγράμματα μέσω των οποίων εντοπίζονται συστηματικές αιτίες στην παραγωγική διαδικασία. Τα διαγράμματα ελέγχου έχουν τρεις βασικές τιμές, την κεντρική γραμμή που είναι η επιθυμητή τιμή για το παραγόμενο προϊόν και τα δύο όρια ελέγχου, άνω και κάτω, τα οποία υπολογίζονται με βάση την τυπική απόκλιση και το επίπεδο εμπιστοσύνης. Στην παρούσα εργασία σχεδιάζονται και μελετώνται διαγράμματα ελέγχου διαγράμματα  $\bar{X}$ -R (διάγραμμα μέσου και εύρους).

Το διάγραμμα  $\bar{X}$ -R είναι ένα είδος διαγράμματος ελέγχου ποιότητας που χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της μεταβλητότητας και της μέσης τιμής μιας διεργασίας όταν οι μετρήσεις γίνονται σε ομάδες (υποδείγματα) σταθερού μεγέθους.

Για k αριθμό δειγμάτων με n παρατηρήσεις ορίζουμε:

- $i=1.....k$
- $j=1.....n$

Για κάθε δείγμα:

- $\bar{X}_i$  = μέσος όρος του δείγματος i:  $\bar{X}_i = (1/n) \sum x_{ij}$
- $R_i$  = εύρος του δείγματος i:  $R_i = \max(x_{ij}) - \min(x_{ij})$

#### Υπολογισμός γενικών μέτρων:

- $\bar{\bar{X}} = (1/k) \sum \bar{X}_i$  , δηλαδή ο μέσος όλων των μέσων από τα k δείγματα
- $\bar{\bar{R}} = (1/k) \sum R_i$  , δηλαδή ο μέσος όλων των ευρών από τα k δείγματα

Χρησιμοποιούνται σταθερές A2, D3 και D4 που εξαρτώνται από το μέγεθος δείγματος n:

Διάγραμμα  $\bar{X}$ :

- $UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A2 \cdot \bar{\bar{R}}$
- $CL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}}$
- $LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A2 \cdot \bar{\bar{R}}$

Διάγραμμα R:

- $UCL_R = D4 \cdot \bar{\bar{R}}$
- $CL_R = \bar{\bar{R}}$
- $LCL_R = D3 \cdot \bar{\bar{R}}$

#### Πίνακας Σταθερών A2, D3, D4

n	A2	D3	D4
2	1.88	0.00	3.27
3	1.02	0.00	2.57
4	0.73	0.00	2.28
5	0.58	0.00	2.11
6	0.48	0.00	2.00
7	0.42	0.08	1.92
8	0.37	0.14	1.86
9	0.34	0.18	1.82
10	0.31	0.22	1.78

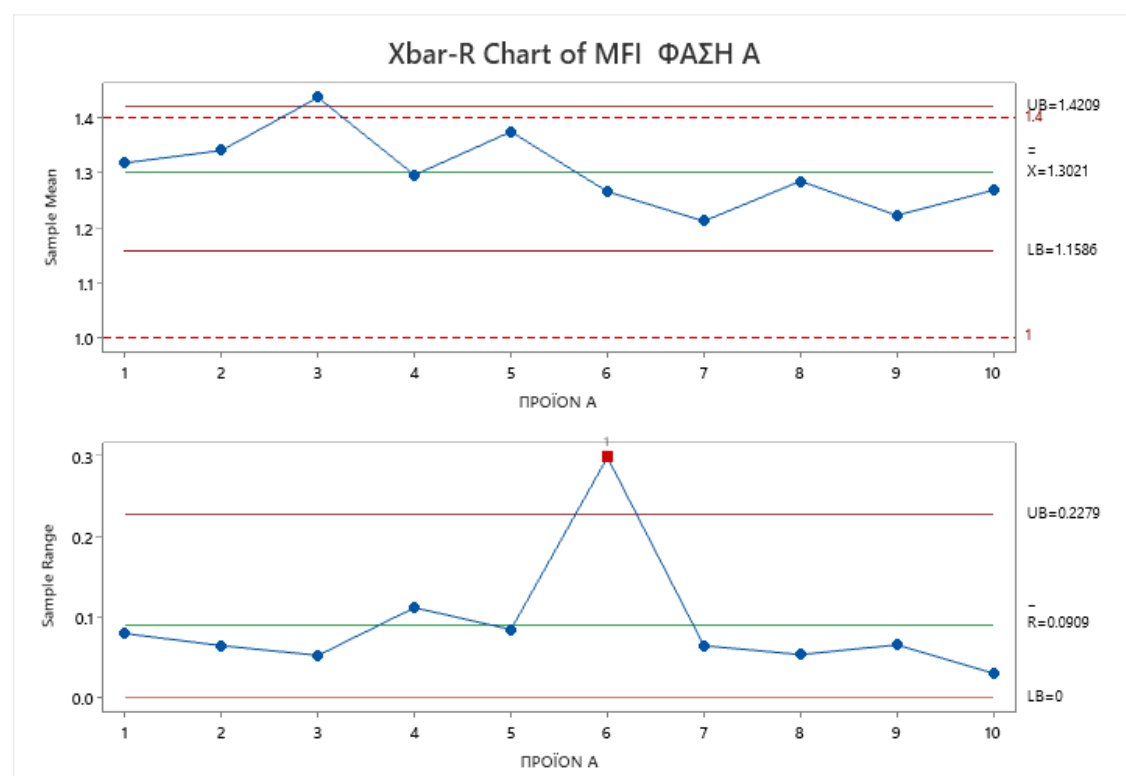
#### Κατασκευή διαγραμμάτων

- $\bar{X}$  διάγραμμα: στον κατακόρυφο άξονα μπαίνουν τα  $\bar{X}_i$ , και στον οριζόντιο τα δείγματα (1 έως k).
- R διάγραμμα: στον κατακόρυφο άξονα τα  $R_i$ , και στον οριζόντιο τα δείγματα.

## 5.2 Φάση Α – Β παραγωγικής διαδικασίας

### 5.2.1 Μαύρο HDPE (προϊόν Α)

Αρχικά θα εξετάσουμε την Α φάση κατασκευάζοντας το διάγραμμα ελέγχου μέσου και εύρους του αγαθού HDPE μαύρο (προϊόν Α) για την ροή (MFI) και την πυκνότητα (DENSITY) του παραγόμενου προϊόντος για τις μετρήσεις που υπάρχουν στους πίνακες του παραρτήματος. Σε αυτή τη φάση η οποία τοποθετείται χρονικά με την έναρξη παραγωγής του προϊόντος θα κατασκευάσουμε τα όρια ελέγχου της διαδικασίας. Έτσι έχουμε:



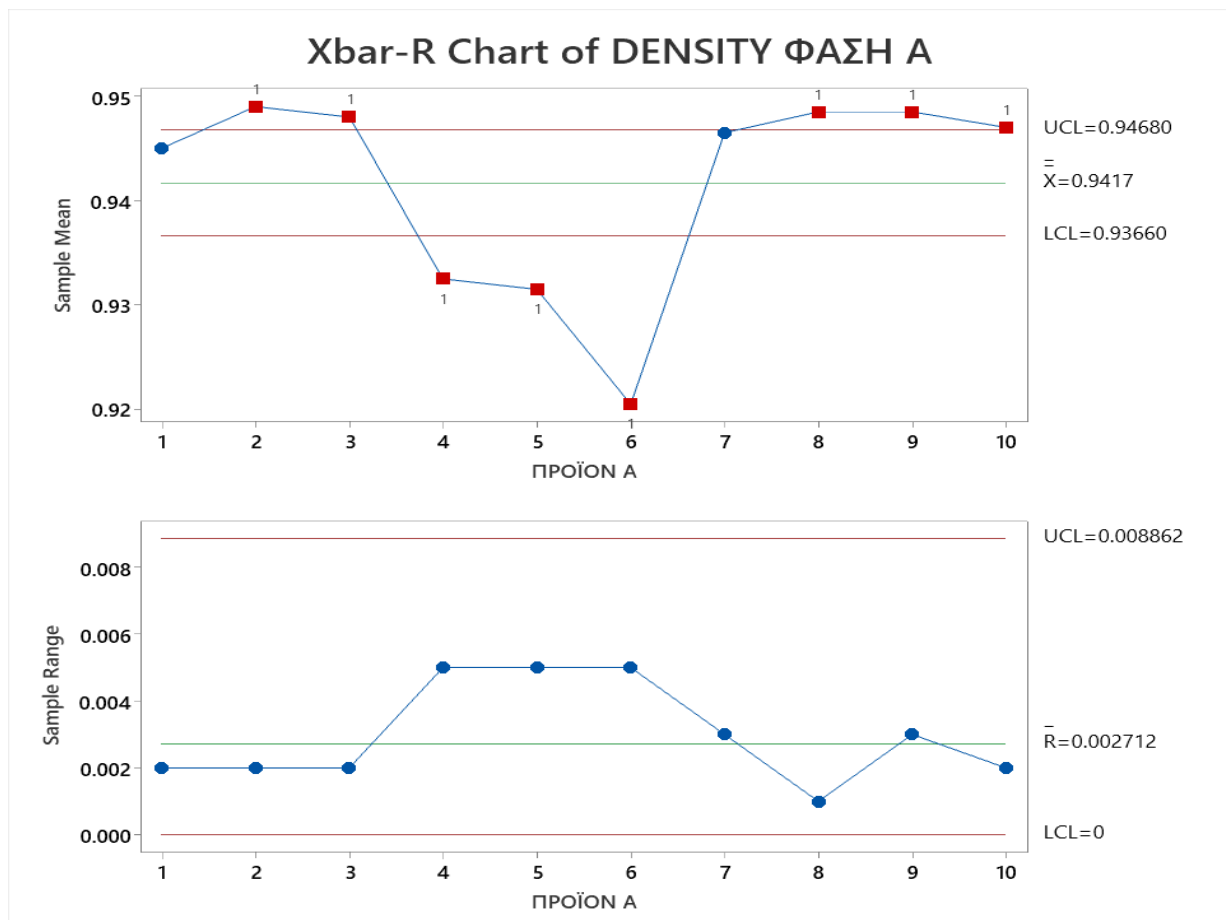
#### Test Results for R Chart of MFI ΦΑΣΗ Α

TEST 1. One point more than 3.00 standard deviations from center line.

Test Failed at points: 6

**Διάγραμμα 11:** διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους ΡΟΗΣ παραγόμενου προϊόντος Α (μαύρο HDPE)





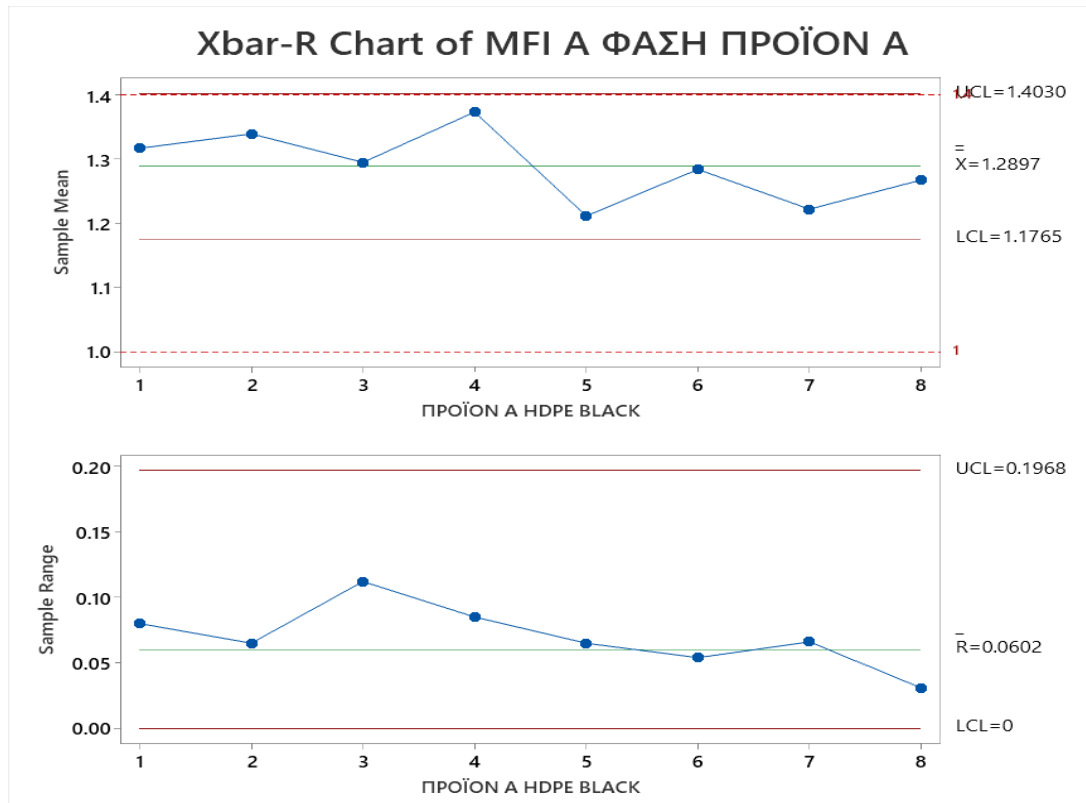
### Test Results for Xbar Chart of DENSITY ΦΑΣΗ Α

TEST 1. One point more than 3.00 standard deviations from center line.  
 Test Failed at points: 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10  
 TEST 5. 2 out of 3 points more than 2 standard deviations from center line (on one side of CL).  
 Test Failed at points: 3, 5, 6, 8, 9, 10  
 TEST 6. 4 out of 5 points more than 1 standard deviation from center line (on one side of CL).  
 Test Failed at points: 10  
 TEST 8. 8 points in a row more than 1 standard deviation from center line (above and below CL).  
 Test Failed at points: 8, 9, 10

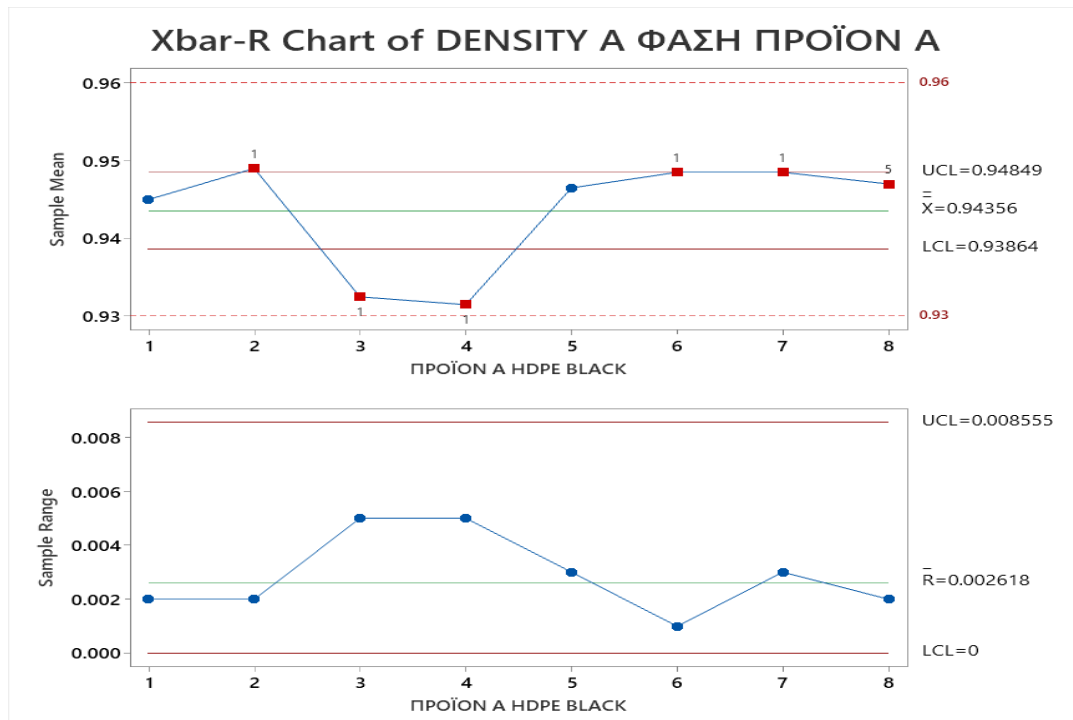
**Διάγραμμα 12: διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ παραγόμενου προϊόντος Α (μαύρο HDPE)**

Αρχικά στο διάγραμμα 11 παρατηρούμε πως η τιμή 6 αποτυγχάνει στα test μιας και απέχει παραπάνω από τρεις τυπικές αποκλίσεις από την κεντρική γραμμή. Θα απορρίψουμε αυτή

την τιμή και μαζί της θα απορρίψουμε και την τιμή 3 μιας και βρίσκεται εκτός του άνω ορίου ελέγχου αλλά και του άνω ορίου αποδοχής. Κατασκευάζουμε οπότε τα διαγράμματα εκ νέου και έχουμε:



Διάγραμμα 13: διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους ΡΟΗΣ παραγόμενου προϊόντος Α (μαύρο HDPE)



#### Test Results for Xbar Chart of DENSITY A ΦΑΣΗ

TEST 1. One point more than 3.00 standard deviations from center line.

Test Failed at points: 2, 3, 4, 6, 7

TEST 5. 2 out of 3 points more than 2 standard deviations from center line (on one side of CL).

Test Failed at points: 4, 7, 8

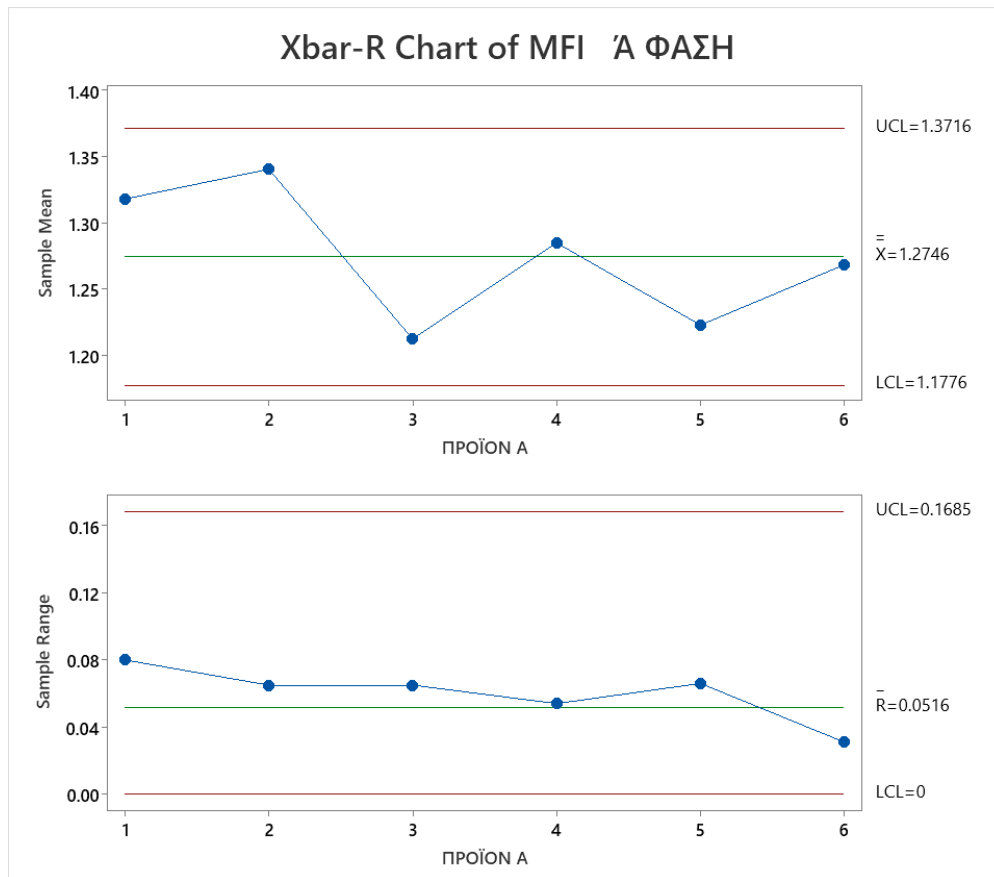
TEST 6. 4 out of 5 points more than 1 standard deviation from center line (on one side of CL).

Test Failed at points: 8

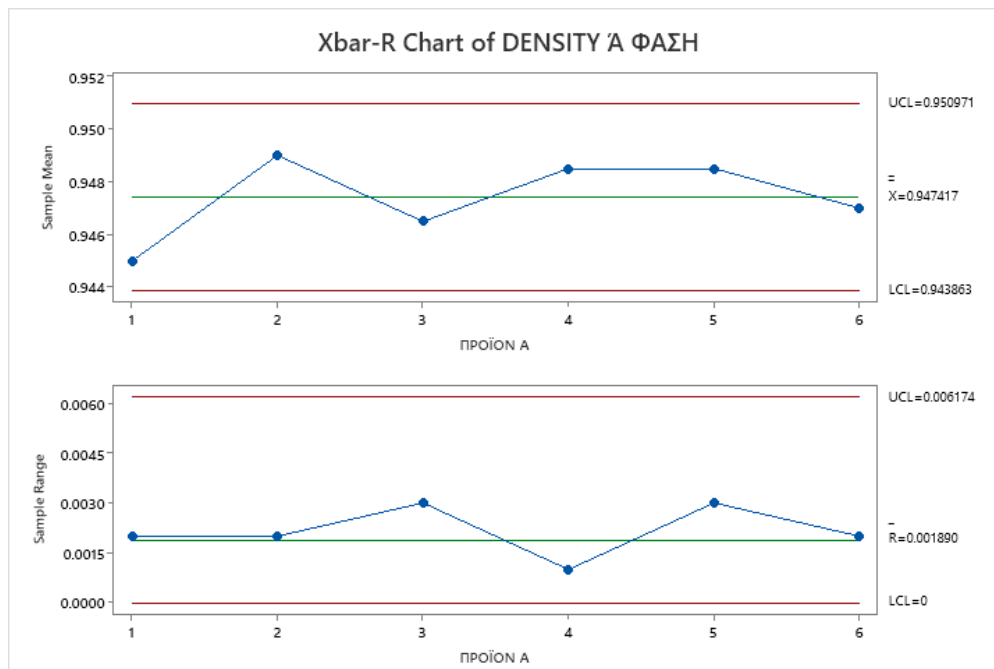
#### Διάγραμμα 14: διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ παραγόμενου προϊόντος Α (μαύρο HDPE)

Στο διάγραμμα 14 παρατηρούμε πως οι τιμές 3,4 βρίσκονται εκτός του κάτω ορίου ελέγχου. Εδώ αξίζει να αναφέρουμε πως κατά την παραγωγή του συγκεκριμένου προϊόντος γενικά δεν κάνουμε κάποια επέμβαση με additive στην πυκνότητα του παραγόμενου προϊόντος, την παρακολουθούμε όμως μιας και πολύ χαμηλές τιμές αυτής μας δείχνουν παρουσία άλλων ειδών πολυαιθυλενίου. Εδώ εμφανίστηκαν μόνο δύο τιμές χαμηλές και το σύστημα επανήλθε, σε περίπτωση όμως που το φαινόμενο συνεχίζονταν να παρατηρείται θα λαμβάνονταν μέτρα (πχ απόρριψη κάποιων σακιών πρώτης ύλης-αλλαγή πρώτης ύλης). Οι δύο τιμές αυτές καταγράφηκαν προς διερεύνηση και στη συνέχεια στο πλαίσιο παρακολούθησης παραγωγικής διαδικασίας τις απορρίπτουμε και κατασκευάζουμε εκ νέου τα διαγράμματα.

Έχουμε λοιπόν:

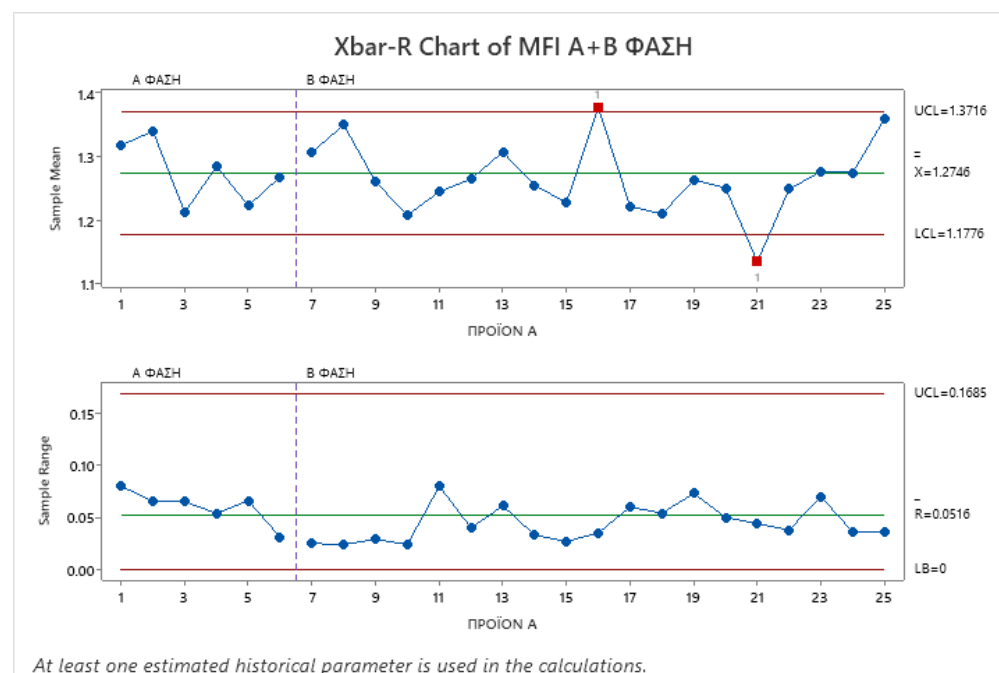


Διάγραμμα 15: διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους ΡΟΗΣ παραγόμενου προϊόντος Α (μαύρο HDPE)



Σε αυτό το σημείο η Α φάση έχει ολοκληρωθεί και μας δίνει το μέσο και τα όρια ελέγχου με τα οποία θα παρακολουθήσουμε την παραγωγική διαδικασία έως ότου αυτή ολοκληρωθεί. Συνεχίζοντας έτσι τη μελέτη μας, θα προσθέσουμε τις τιμές της Β ΦΑΣΗΣ στα διαγράμματά μας τα οποία θα διαμορφωθούν ως εξής:

**Διάγραμμα 16:** διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ παραγόμενου προϊόντος Α (μαύρο HDPE)

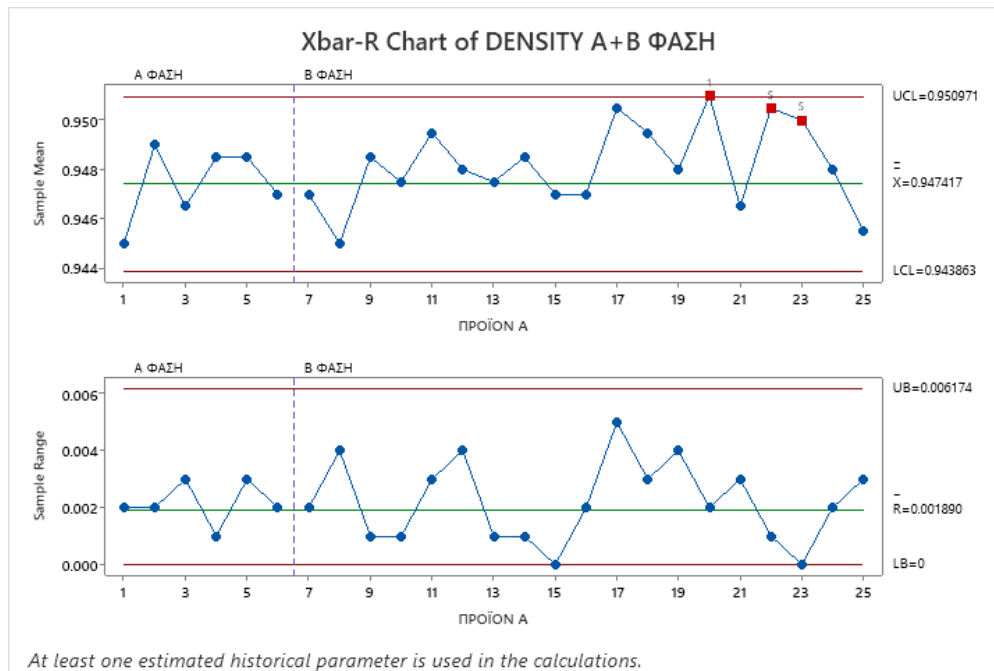


### Test Results for Xbar Chart of MFI 1, ..., MFI 2 by ΦΑΣΗ

TEST 1. One point more than 3.00 standard deviations from center line.

Test Failed at points: 16, 21

**Διάγραμμα 17:** διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους ΡΟΗΣ παραγόμενου προϊόντος Α (μαύρο HDPE) Α+Β ΦΑΣΗΣ



### Test Results for Xbar Chart of DENSITY

TEST 1. One point more than 3.00 standard deviations from center line.

Test Failed at points: 20

TEST 5. 2 out of 3 points more than 2 standard deviations from center line (on one side of CL).

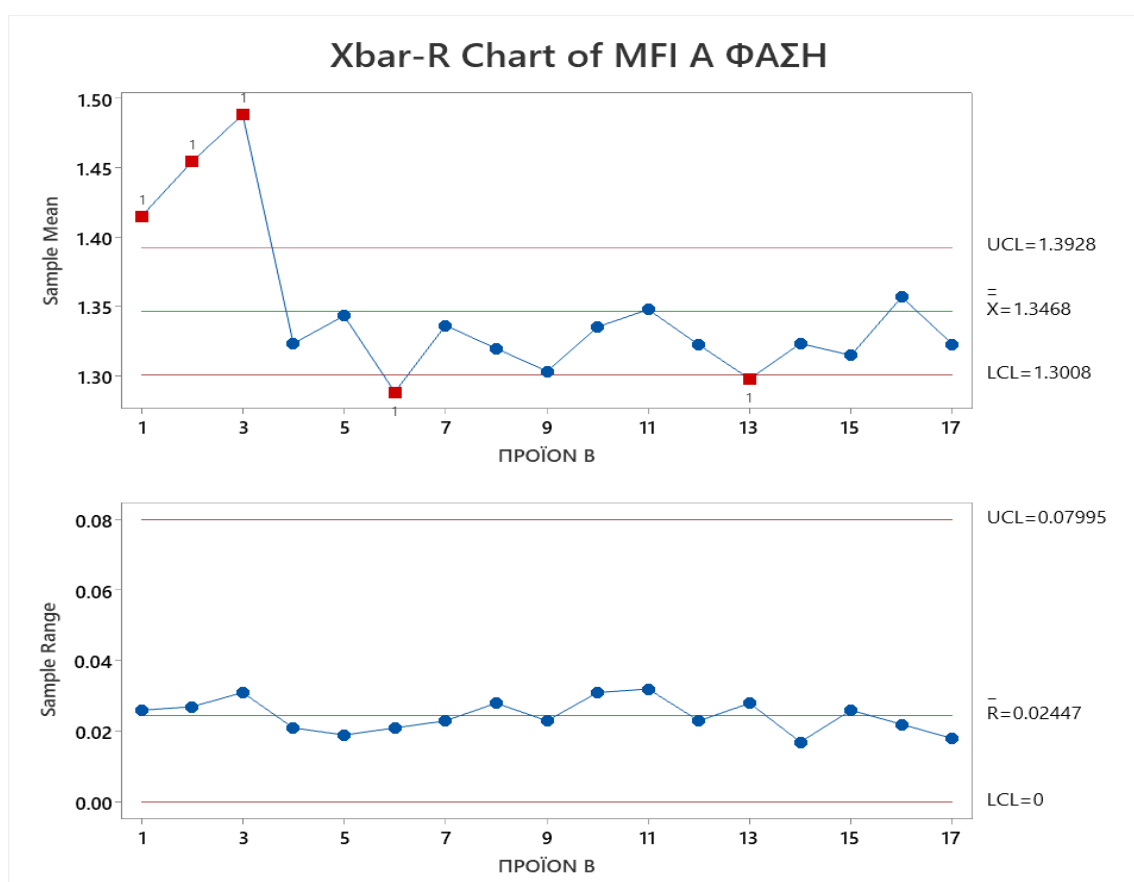
Test Failed at points: 22, 23

**Διάγραμμα 18: διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ παραγόμενου προϊόντος Α (μαύρο HDPE) Α+Β ΦΑΣΗΣ**

Έχοντας πλέον κατασκευάσει τα διαγράμματα ελέγχου και για τις 2 φάσεις μπορούμε να μελετήσουμε την παραγωγική διαδικασία όπως αυτή εξελίχθηκε. Εδώ παρατηρούμε ότι το λογισμικό εντόπισε δυο τιμές που απέτυχαν στα τεστ. Για την πρώτη τιμή ύστερα από έλεγχο και επανάληψη της μέτρησης βρέθηκε πώς υπήρξε αστοχία του μηχανήματος/χειριστή που μετράει την ΡΟΗ. Όσον αφορά δε την δεύτερη τιμή δεν βρέθηκε να υπάρχει συγκεκριμένος λόγος αστοχίας και δεν θεωρήθηκε πως υπήρξε πρόβλημα στην παραγωγική διαδικασία. Η συνολική εικόνα της παραγωγικής διαδικασίας δείχνει πως εξελίχθηκε ομαλά και χωρίς προβλήματα.

### 5.2.2 Αχρωμο HDPE (προϊόν Β)

Εδώ θα ακολουθήσουμε τη ίδια διαδικασία όπως και στο προηγούμενο προϊόν. Έτσι αρχικά θα παραθέσουμε το διάγραμμα ελέγχου μέσου και εύρους του αγαθού HDPE άχρωμο (προϊόν β) για την ροή (MFI) και την πυκνότητα (DENSITY) κατά την Α φάση παραγόμενου προϊόντος .

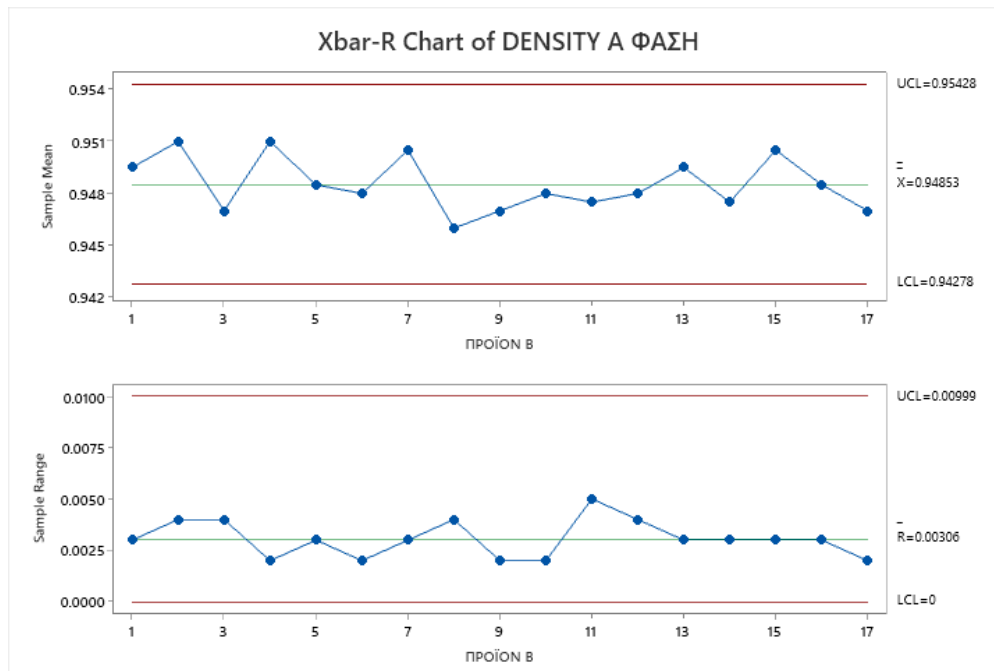


#### Test Results for Xbar Chart of MFI 1, ..., MFI 2

TEST 1. One point more than 3.00 standard deviations from center line.

Test Failed at points: 1, 2, 3, 6, 13

**Διάγραμμα 19: διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους ΡΟΗΣ παραγόμενου προϊόντος Β (Άχρωμο HDPE)**



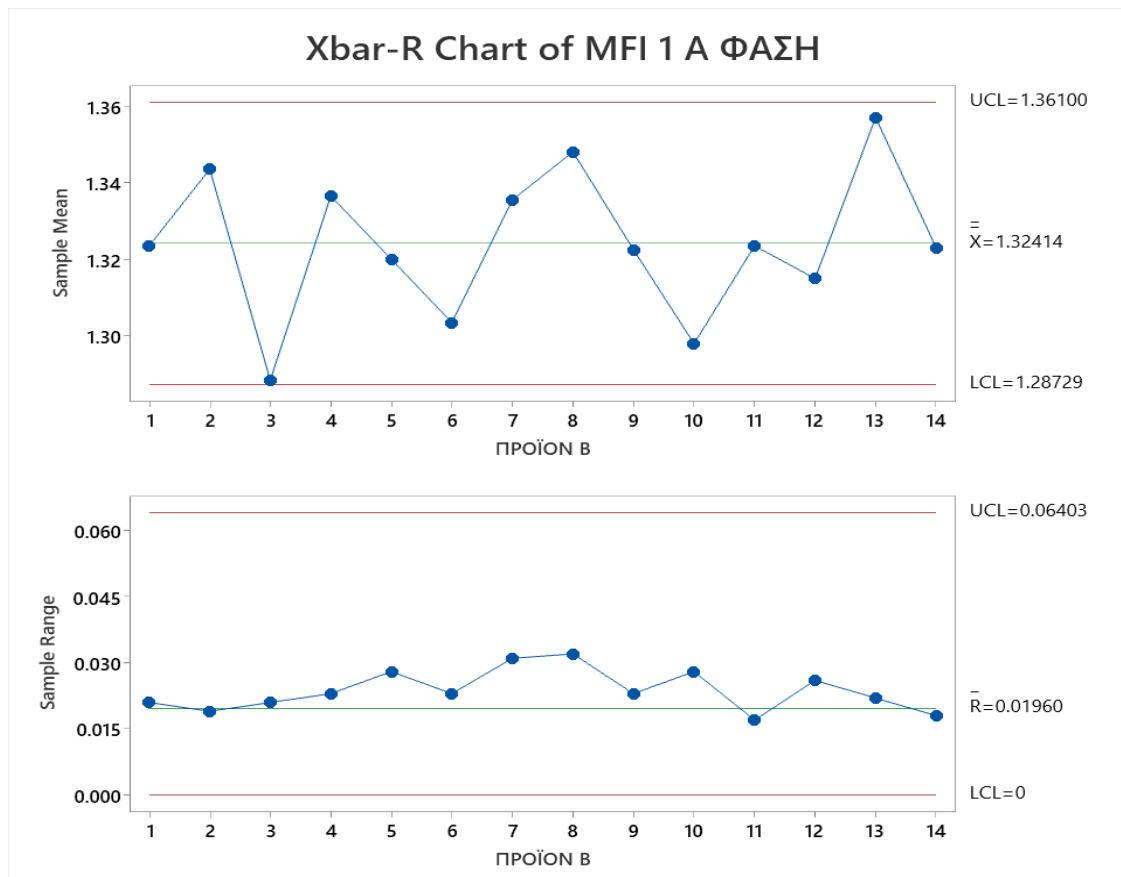
**Διάγραμμα 20: διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ παραγόμενου προϊόντος B (Άχρωμο HDPE)**

Στο διάγραμμα 20 βλέπουμε πως το λογισμικό δεν εντοπίζει κάποια τιμή εκτός ορίων ελέγχου οπότε παρατηρούμε ομοιογένεια ως προς την πυκνότητα του παραγόμενου υλικού. Λαμβάνοντας επίσης υπόψιν ότι τα όρια προδιαγραφών για την πυκνότητα είναι 0,930-0,960 η παραγωγή είναι ελεγχόμενη. Αυτό σημαίνει επίσης ότι έχει γίνει καλή διαλογή των πρώτων υλών.

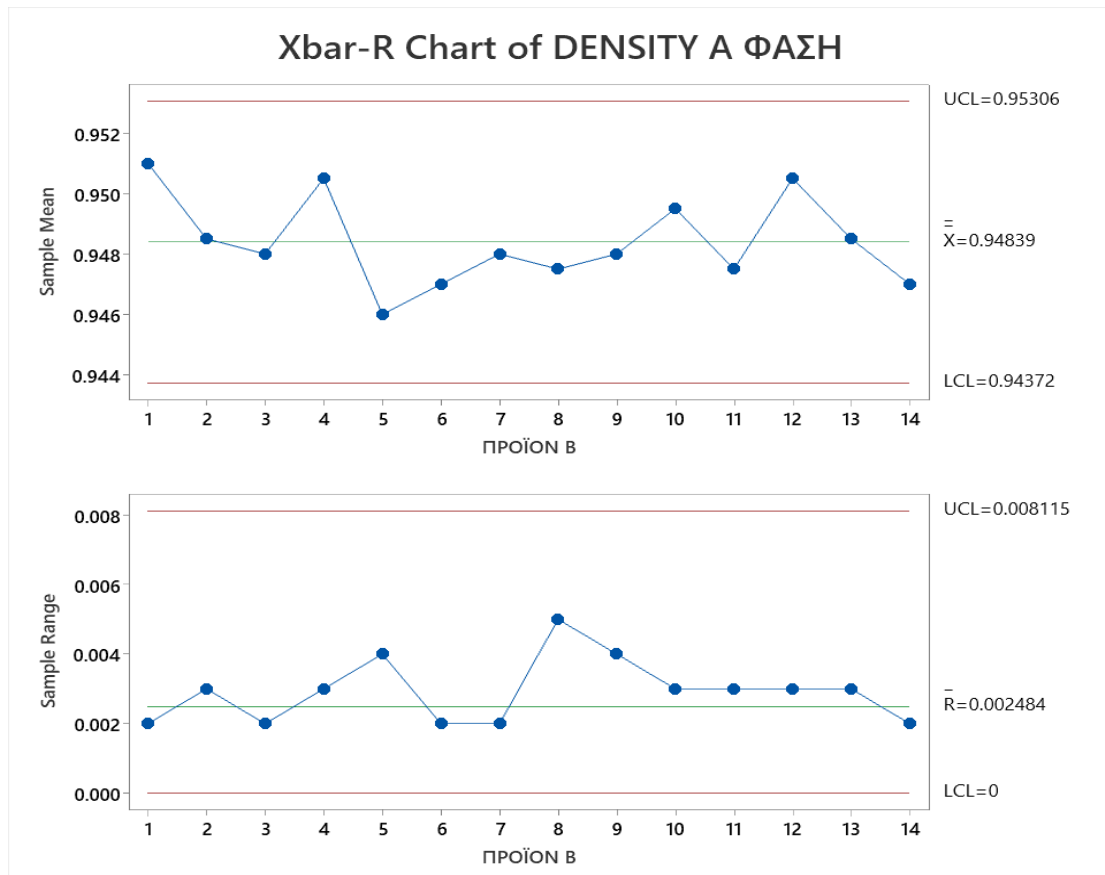
Αντίθετα στο διάγραμμα 19 παρατηρούμε ότι οι τρεις πρώτες τιμές είναι υψηλές και μετά ακολουθεί μια απότομη πτώση στην ροή του παραγόμενου. Εδώ η διαλογή δεν επέφερε το επιθυμητό αποτέλεσμα όσον αφορά τη ροή του παραγόμενου προϊόντος και έτσι ,αφού έγιναν οι τρεις πρώτες μετρήσεις και κάναμε μια εκτίμηση της ροής, ξεκίνησε η τροφοδοσία additive ο οποίο χαμηλώνει την ροή του προϊόντος. Ταυτόχρονα για τη βελτιστοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας έγιναν και ρυθμίσεις στα extruder με τη νέα ροή του παραγόμενου.

Όσον αφορά την στατιστική παρακολούθηση της παραγωγής , αφού έγιναν οι κατάλληλες αλλαγές οι τρεις πρώτες τιμές απορρίφθηκαν και κατασκευάσαμε εκ νέου τα διαγράμματα ελέγχου. Έτσι έχουμε:



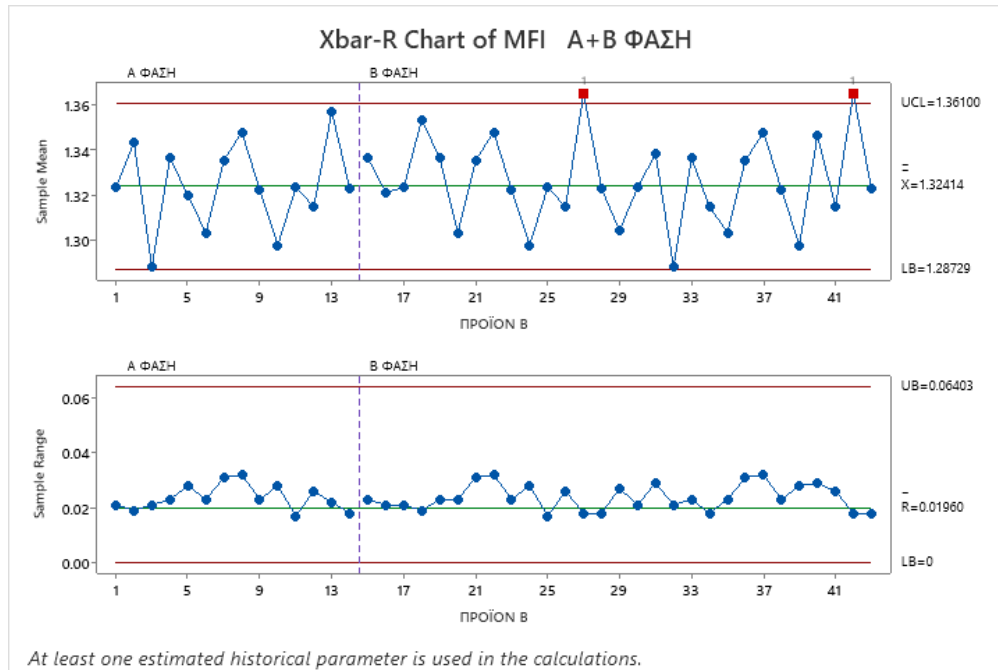


**Διάγραμμα 21:** διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους ΡΟΗΣ παραγόμενου προϊόντος Β (Άχρωμο HDPE) μετά τις αλλαγές στην παραγωγική διαδικασία.

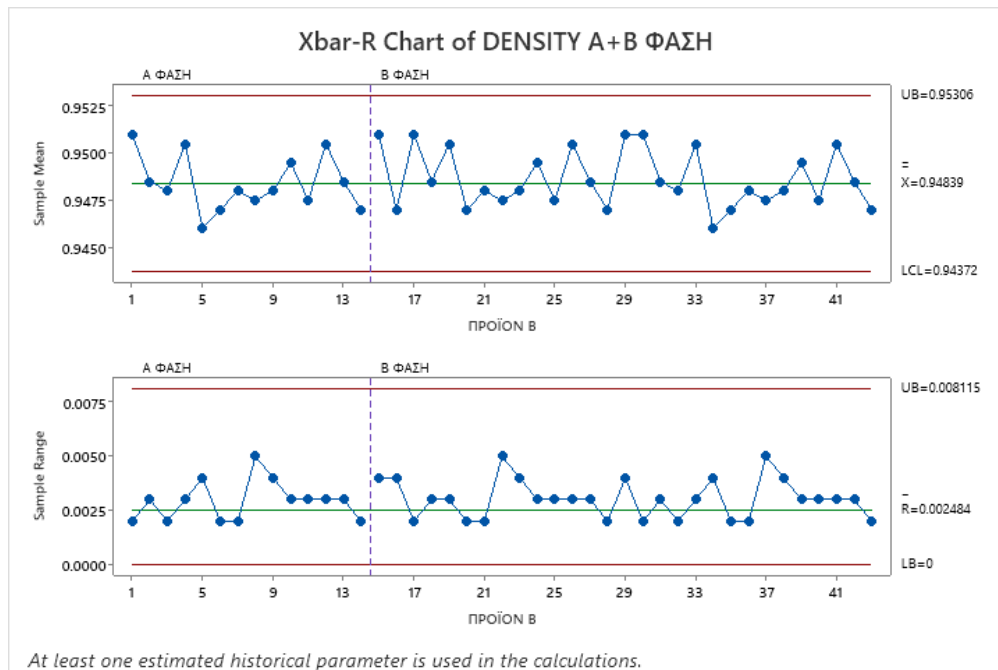


**Διάγραμμα 22:** διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ παραγόμενου προϊόντος Β (Άχρωμο HDPE) μετά τις αλλαγές στην παραγωγική διαδικασία.

Με τα νέα διαγράμματα βλέπουμε πως η παραγωγική διαδικασία βρίσκεται υπό έλεγχο και έτσι κρατάμε το μέσο και τα όρια ελέγχου με τα οποία θα παρακολουθήσουμε την παραγωγική διαδικασία μέχρι την ολοκλήρωσή της. Συνεχίζοντας έτσι τη μελέτη μας, θα προσθέσουμε τις τιμές της 'Β ΦΑΣΗΣ στα διαγράμματά μας τα οποία θα διαμορφωθούν ως εξής:



**Διάγραμμα 23:** διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους ΡΟΗΣ παραγόμενου προϊόντος Β (άχρωμο HDPE) Α+Β ΦΑΣΗΣ

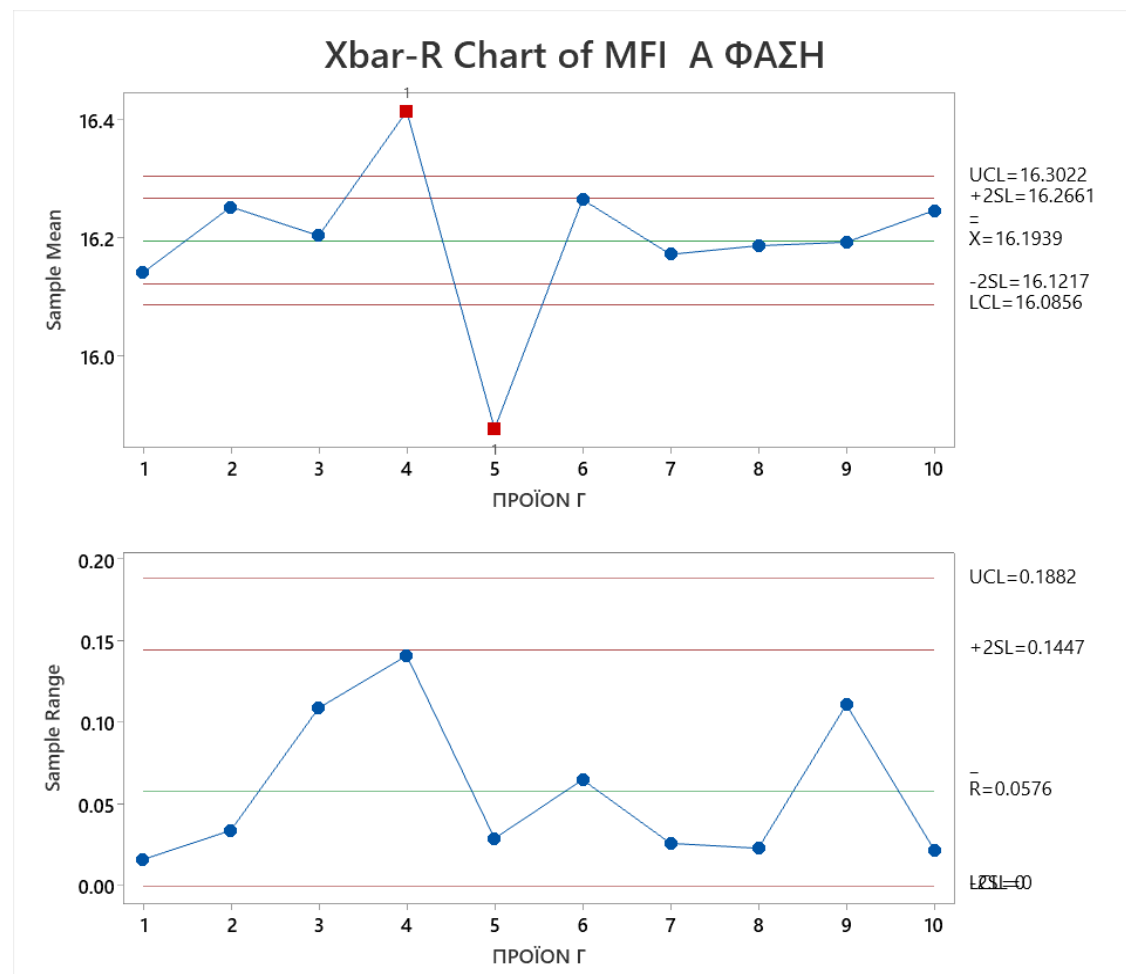


**Διάγραμμα 24:** διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ παραγόμενου προϊόντος Β (άχρωμο HDPE) Α+Β ΦΑΣΗΣ

Έχοντας ολοκληρωθεί η επεξεργασία των δεδομένων παρατηρούμε πως η παραγωγική διαδικασία είναι εντός στατιστικού ελέγχου και δεν εντοπίστηκε κανένα πρόβλημα κατά τη διάρκειά της . Εδώ αξίζει να σχολιάσουμε πως η ροή του παραγόμενου προϊόντος διαμορφώθηκε με τη χρήση του κατάλληλου additive σχετικά κοντά στο άνω όριο προδιαγραφών του πελάτη (1,0 έως 1,4). Αυτό συμβαίνει κατόπιν υποδείξεως του πελάτη.

### 5.2.3 PP Terracotta (προϊόν Γ)

Στην παρούσα ενότητα θα μελετήσουμε την παραγωγική διαδικασία του προϊόντος Γ και θα κατασκευάσουμε κι εδώ αρχικά το διάγραμμα ελέγχου μέσου και εύρους για τα χαρακτηριστικά Ροή (MFI) και Πυκνότητα (DENSITY) κατά την Α φάση της παραγωγικής διαδικασίας. Έτσι έχουμε:

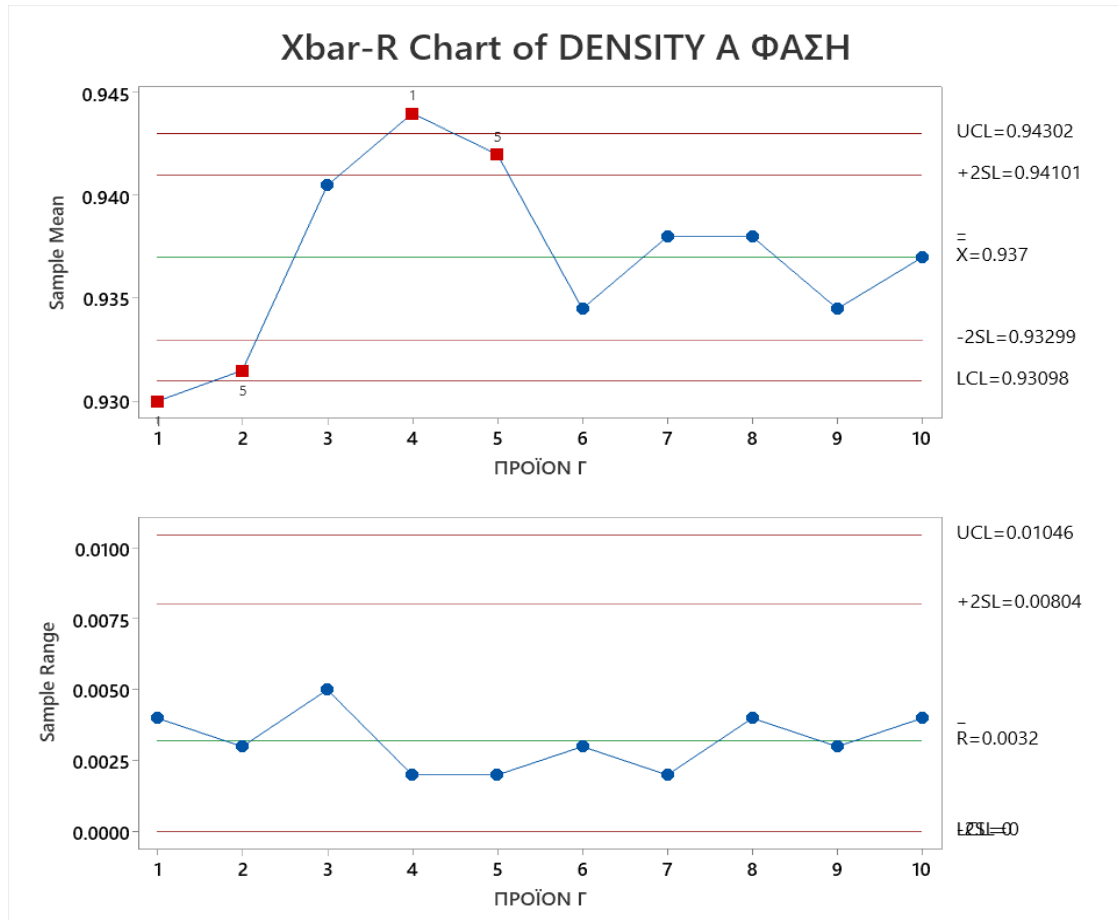


#### Test Results for Xbar Chart of MFI Α ΦΑΣΗ

TEST 1. One point more than 3.00 standard deviations from center line.

Test Failed at points: 4, 5

**Διάγραμμα 25: διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους ΡΟΗΣ παραγόμενου προϊόντος Γ (PP terracotta)**



#### Test Results for Xbar Chart of DENSITY A ΦΑΣΗ

TEST 1. One point more than 3.00 standard deviations from center line.

Test Failed at points: 1, 4

TEST 5. 2 out of 3 points more than 2 standard deviations from center line (on one side of CL).

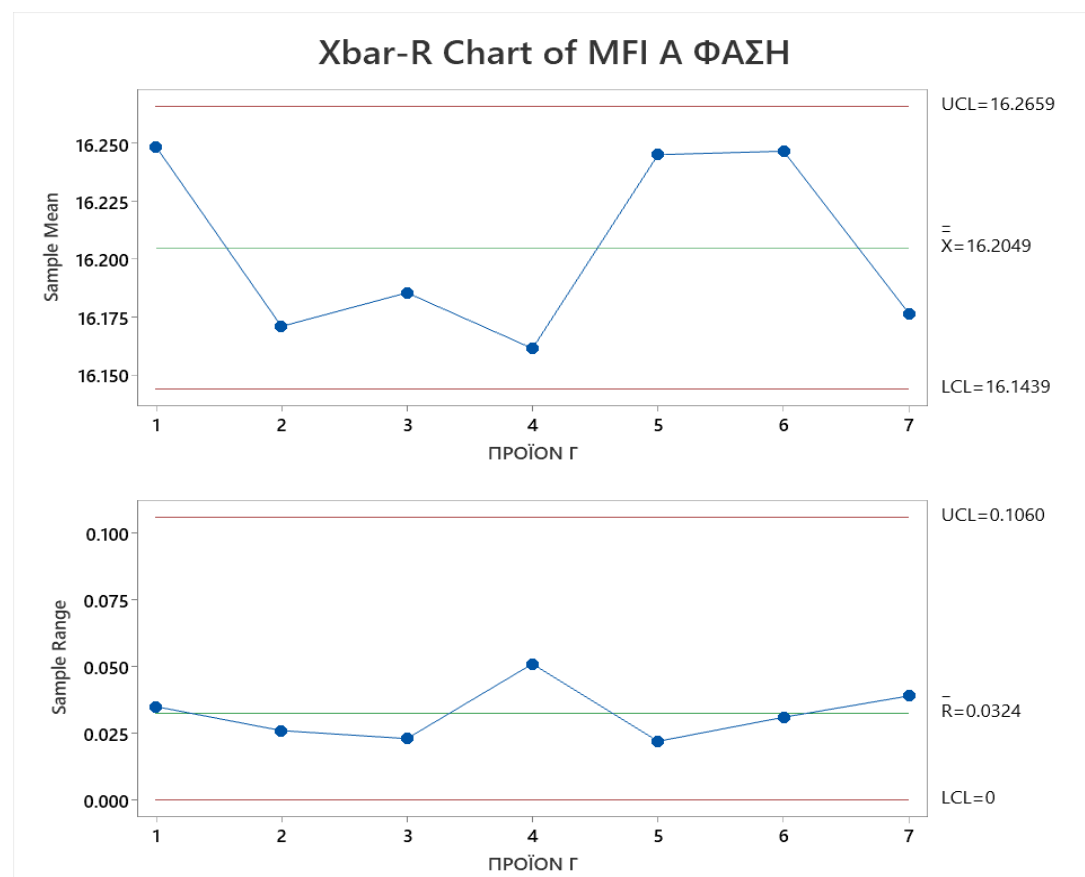
Test Failed at points: 2, 5

**Διάγραμμα 26: διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ παραγόμενου προϊόντος Γ (PP terracotta)**

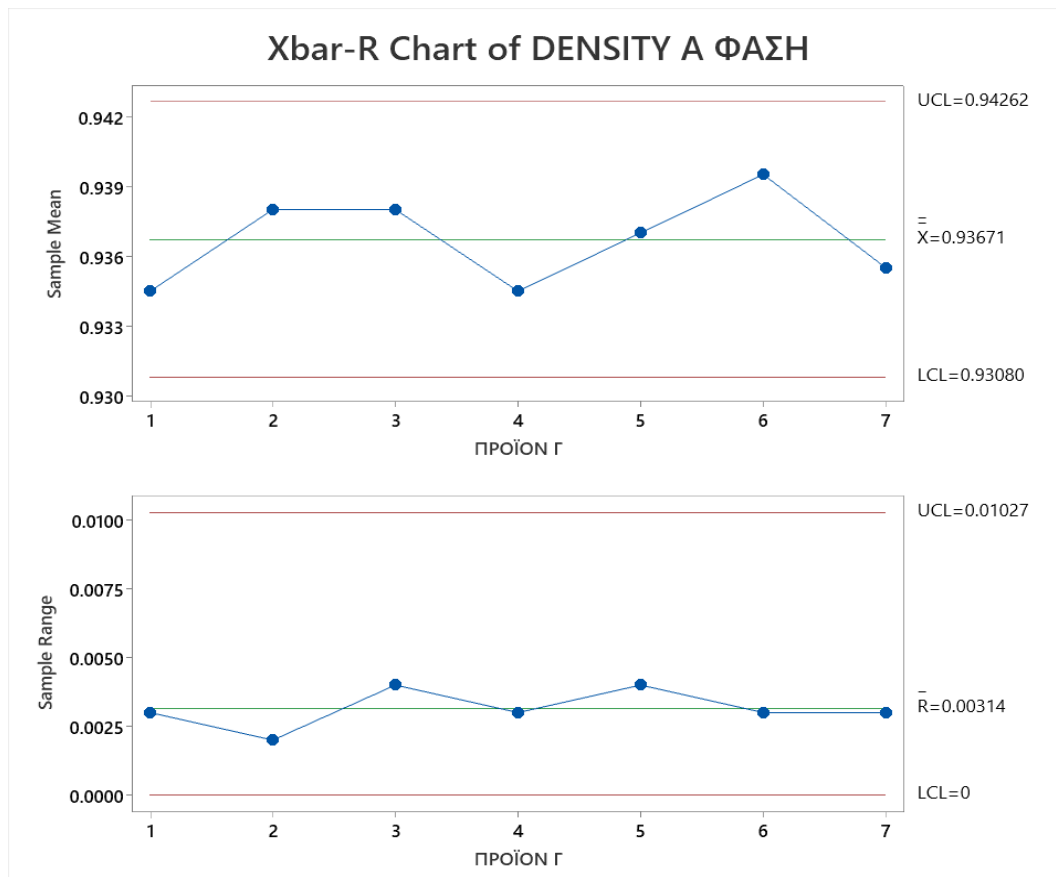
Αρχικά παρατηρούμε στο διάγραμμα 25 δύο ακραίες μεταβολές της ροής του παραγόμενου προϊόντος. Όμως από ιστορικά δεδομένα γνωρίζουμε πως τέτοιες μεταβολές στη ροή εμφανίζονται στο συγκεκριμένο προϊόν και μιας και τα όρια προδιαγραφών του πελάτη (mfi: 14-20) είναι πολύ μεγαλύτερα από τις μεταβολές που παρατηρούνται δεν λαμβάνονται κάποια μέτρα.

Αντιθέτως όσον αφορά την πυκνότητα αρχικά παρατηρούνται δύο χαμηλές τιμές πυκνότητας. Παρόλο που δεν είναι εκτός των προδιαγραφών του πελάτη (density: 0.93-0.94) έχει ζητηθεί από τον πελάτη η τιμή της πυκνότητας να είναι πιο υψηλή καθώς προστίθεται additive το οποίο ενισχύει την ανθεκτικότητα του υλικού. Έτσι λοιπόν μετά τις δυο πρώτες μετρήσεις ξεκίνησε η τροφοδοσία του additive όμως η ποσότητα που τροφοδοτήθηκε ήταν περισσότερη από ότι έπρεπε με αποτέλεσμα μεγάλη αύξηση της πυκνότητας αλλά και του κόστους του προϊόντος. Έτσι λοιπόν έγινε άλλη μια διόρθωση στην τροφοδοσία του additive.

Οι αρχικές όμως 5 τιμές στα πλαίσια της στατιστικής παρακολούθησης έπρεπε να απορριφθούν αφήνοντας μόνο άλλες 5 για την κατασκευή των διαγραμμάτων ελέγχου. Για το λόγο αυτό έγιναν άλλες 2 μετρήσεις μέχρι να βεβαιωθούμε πως η πυκνότητα σταθεροποιήθηκε. Μετά την απόρριψη των 5 πρώτων 5 τιμών και με την προσθήκη άλλων 2 μετρήσεων τα διαγράμματα ελέγχου διαμορφώθηκαν ως εξής:



**Διάγραμμα 27:** διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους ΡΟΗΣ παραγόμενου προϊόντος Γ (PP terracotta) μετά από τις αλλαγές στην παραγωγική διαδικασία.

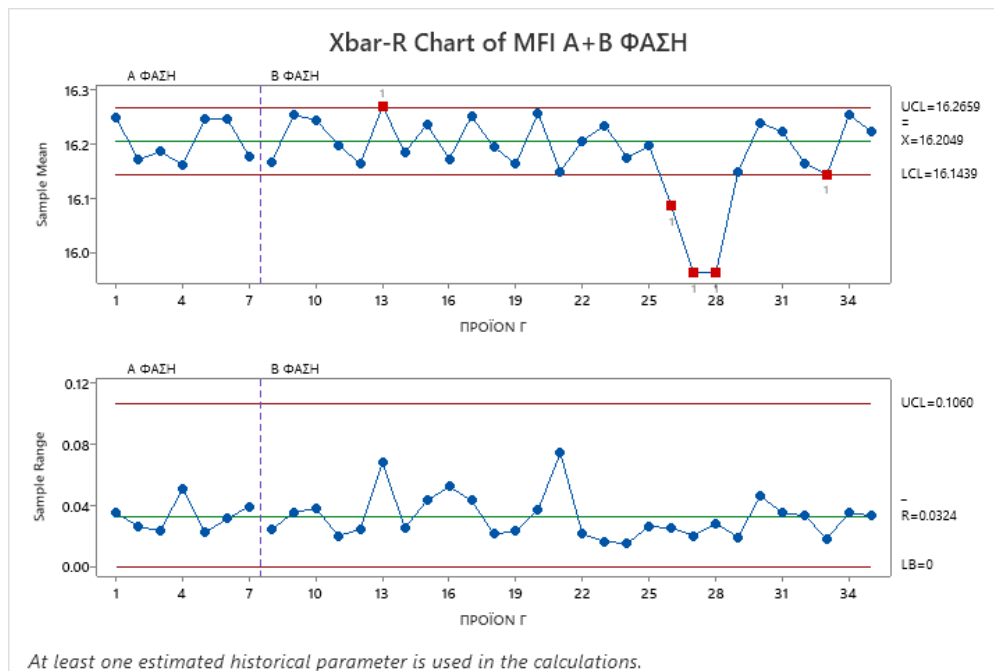


**Διάγραμμα 28:** διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ παραγόμενου προϊόντος Γ (PP terracotta) μετά από τις αλλαγές στην παραγωγική διαδικασία.

Παρατηρούμε μετά από τις αλλαγές πως τα χαρακτηριστικά του παραγόμενου προϊόντος έχουν σταθεροποιηθεί και από τα παραπάνω διαγράμματα κρατήσαμε τα όρια ελέγχου και τον μέσο για την μετέπειτα παρακολούθηση της παραγωγικής διαδικασίας.

Ακολούθως προσθέσαμε τις μετρήσεις κατά την Β φάση της παραγωγικής διαδικασίας και κατασκευάστηκαν τα ακόλουθα διαγράμματα:



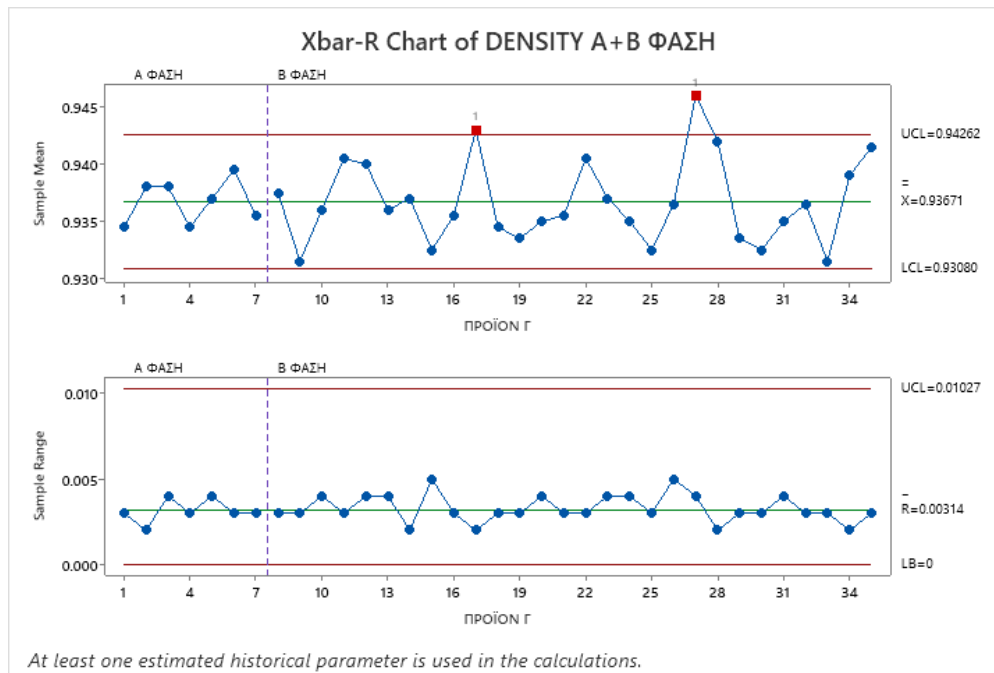


### Test Results for Xbar Chart of MFI 1, ..., MFI 2 by ΦΑΣΗ

TEST 1. One point more than 3.00 standard deviations from center line.

Test Failed at points: 13, 26, 27, 28, 33

**Διάγραμμα 29: διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους ΡΟΗΣ παραγόμενου προϊόντος Γ (PP terracotta) A+B ΦΑΣΗ.**



### Test Results for Xbar Chart of DENS 1, ..., DENS 2 by ΦΑΣΗ

TEST 1. One point more than 3.00 standard deviations from center line.

Test Failed at points: 17, 27

**Διάγραμμα 30: διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ παραγόμενου προϊόντος Γ (PP terracotta) A+B ΦΑΣΗ.**

Εδώ παρατηρούμε πως το λογισμικό εντοπίζει κάποιες τιμές οι οποίες απέτυχαν στα test και φαίνεται ότι κατά σε κάποια φάση της παραγωγικής διαδικασίας αυτή βγήκε εκτός στατιστικού ελέγχου. Ύστερα από προσεκτική μελέτη των διαγραμμάτων παρατηρήθηκε ότι οι μεταβολές στην ροή και την πυκνότητα τοποθετούνται χρονικά στην ίδια περίοδο. Κατόπιν διερεύνησης και σε συνεργασία με τον υπεύθυνο παραγωγής φάνηκε πως κάποια στιγμή κατά τη διάρκεια της νύχτας πέρασε σκληρό υλικό μέσα στα extruder με αποτέλεσμα να μειωθούν σημαντικά τα κιλά παραγόμενου προϊόντος /ώρα και δεδομένου ότι η τροφοδοσία του additive ήταν σταθερή αυτό είχε ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη συγκέντρωση additive ανά μονάδα βάρους παραγόμενου προϊόντος.

Βρέθηκε ότι θα μπορούσε να γίνει κάποια μικρή παρέμβαση από τον χειριστή της βάρδιας ώστε η μεταβολή στα κιλά παραγόμενου προϊόντος/ ώρα να μην είναι τόσο ακραία και του έγιναν συστάσεις να παρακολουθεί πιο προσεκτικά τα μηχανήματα που χειρίζεται. Ταυτόχρονα έγιναν συστάσεις και στο προσωπικό της διαλογής να εντοπίζει και να απομακρύνει πιο αποτελεσματικά υλικά που δημιουργούν πρόβλημα στη παραγωγική

διαδικασία και αυτό γιατί αν κάποιο ακατάλληλο υλικό περάσει από τις γραμμές διαλογής στα τροφοδοτικά των extruder ο μόνος τρόπος να βγει είναι σαν παραγόμενο προϊόν.

Παρ' όλα αυτά η ποσότητα υλικού εκτός προδιαγραφών που παράχθηκε ήταν μικρή και αφομοιώθηκε από τον μεγάλο όγκο προϊόντος στο σιλό ομογενοποίησης όπως εξετάστηκε στο επόμενο στάδιο της μελέτης μας.

### **5.3 Φάση Γ ομογενοποίησης σε σιλό**

Στην παρούσα ενότητα θα εξετάσουμε τα παραγόμενα προϊόντα, ύστερα από την ομογενοποίηση τους σε κατάλληλο σιλό το οποίο αναδεύει το υλικό και το βοηθάει να κρυώσει πριν αυτό σακιαστεί σε σακιά του ενός περίπου τόνου. Έπειτα ακολουθεί είτε η

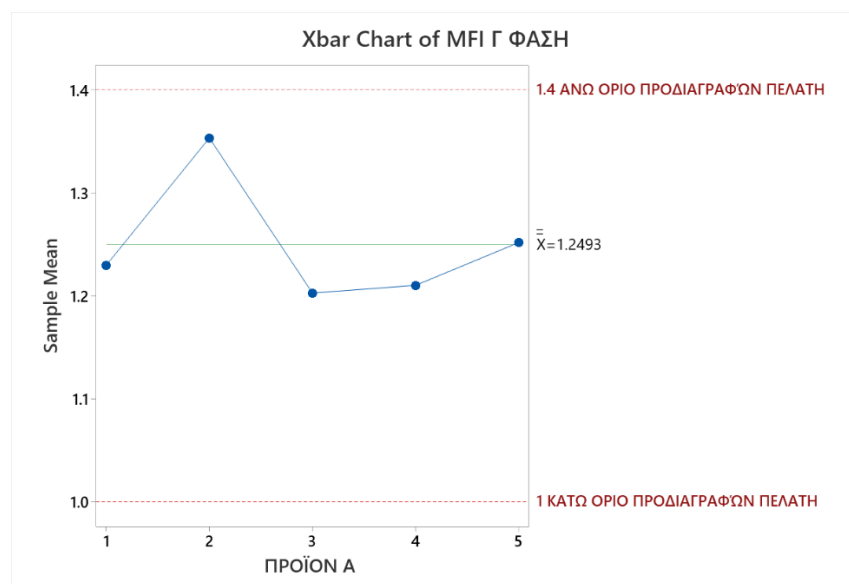
αποθήκευσή του σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο είτε η φόρτωσή του σε φορτηγό προς άμεση αποστολή σε πελάτη. Σκοπός σε αυτή τη φάση είναι να ελεγχθεί ότι το υλικό ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις του πελάτη.

Για το λόγο αυτό πριν την αποδέσμευση του προϊόντος γίνονται μετρήσεις σε 5 τυχαία δείγματα τα οποία λαμβάνονται από το σιλό αφού έχει περάσει ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα ώστε να μειωθεί η θερμοκρασία του υλικού. Στην συνέχεια καθεμία από αυτές τις μέτρησης ελέγχεται αν βρίσκεται εντός του ορίου προδιαγραφών του πελάτη. Στα πλαίσια της μελέτης αυτής πραγματοποιήθηκε και ο υπολογισμός του 99,73% διαστήματός εμπιστοσύνης της μέσης τιμής των 5 δειγμάτων στο λογισμικό MINITAB. Η μέθοδος του διαστήματος εμπιστοσύνης παρέχει στατιστική ακρίβεια στην απόφαση ελέγχου. Η επιλογή μικρού μεγέθους δείγματος αυξάνει την αβεβαιότητα, αλλά επιτρέπει γρήγορες αποφάσεις με χαμηλό κόστος.

Τα αποτελέσματα για κάθε προϊόν θα παρουσιαστούν παρακάτω.

### 5.3.1 Μαύρο HDPE (προϊόν Α)

Για το προϊόν Α με τη βοήθεια λογισμικού κατασκευάσαμε ένα διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων τιμών καθώς και το 99,73% διάστημα εμπιστοσύνης της μέσης τιμής για κάθε χαρακτηριστικού που επιθυμούμε να εξετάσουμε. Έτσι έχουμε:

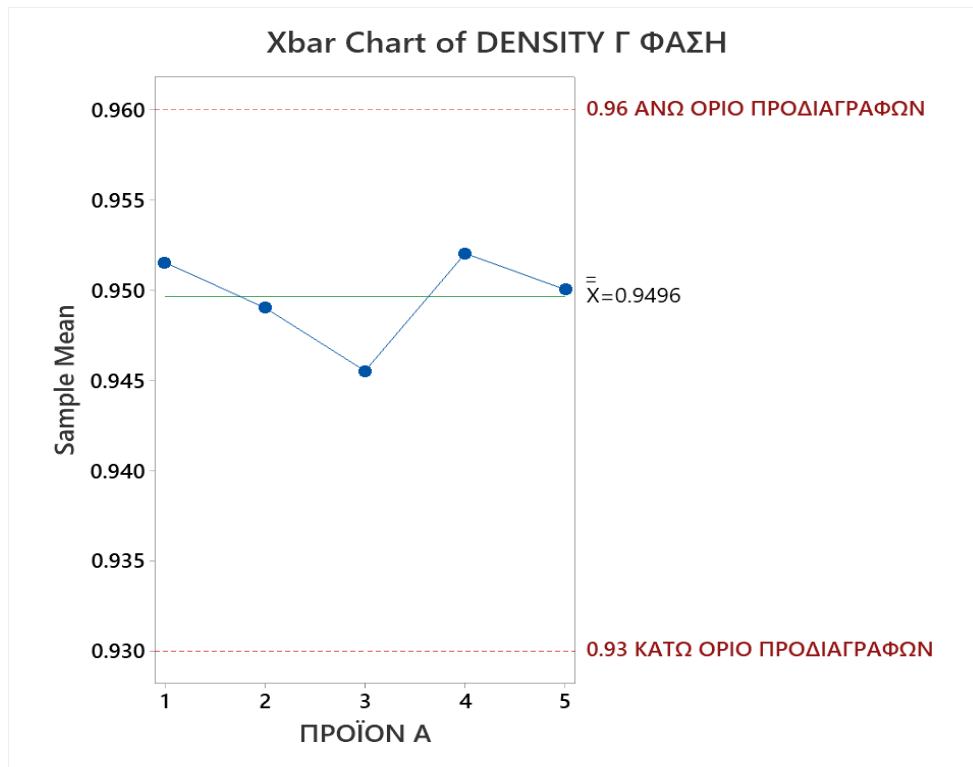


### Descriptive Statistics

N	Mean	StDev	SE Mean	99.73% CI for $\mu$
5	1.2493	0.0610	0.0273	(1.0687, 1.4299)

$\mu$ : population mean of MFI MEAN

Διάγραμμα 31: διάγραμμα μεμονωμένων τιμών και 99.73% Δ.Ε. μέσης τιμής ΡΟΗΣ .Δειγματοληψία φάσης Γ



### Descriptive Statistics

N	Mean	StDev	SE Mean	99.73% CI for $\mu$
5	0.94960	0.00258	0.00116	(0.94195, 0.95725)

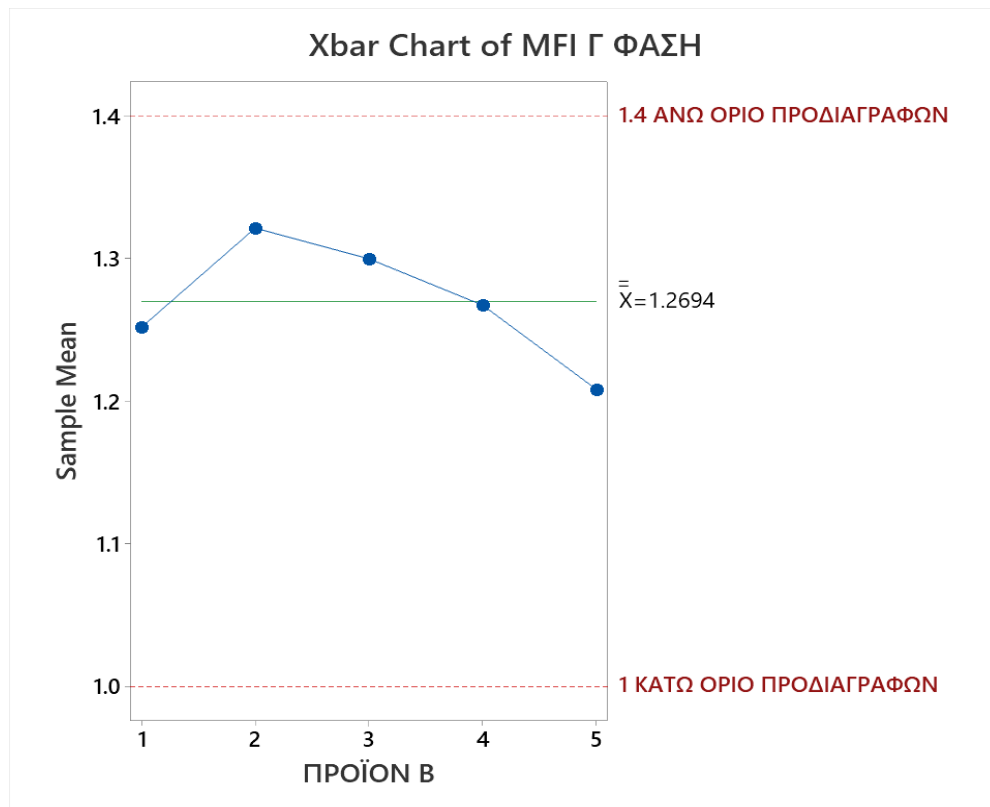
$\mu$ : population mean of DENSITY MEAN

Διάγραμμα 32: διάγραμμα μεμονωμένων τιμών και 99.73% Δ.Ε. ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ .Δειγματοληψία φάσης Γ

Παρατηρώντας τα διαγράμματα μεμονωμένων τιμών όλες οι τιμές πυκνότητας και ροής είναι εντός των προδιαγραφών και συνδυαστικά με τα Δ.Ε. μπορούμε να πούμε με 99,73% βεβαιότητα πως το φορτίο είναι εντός προδιαγραφών.

### 5.3.2 Άχρωμο HDPE (προϊόν Β)

Για το προϊόν Β αντίστοιχα, με τη βοήθεια λογισμικού κατασκευάσαμε ένα διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων τιμών καθώς και το 99,73% διάστημα εμπιστοσύνης της μέσης τιμής για κάθε χαρακτηριστικού που επιθυμούμε να εξετάσουμε. Έτσι έχουμε:

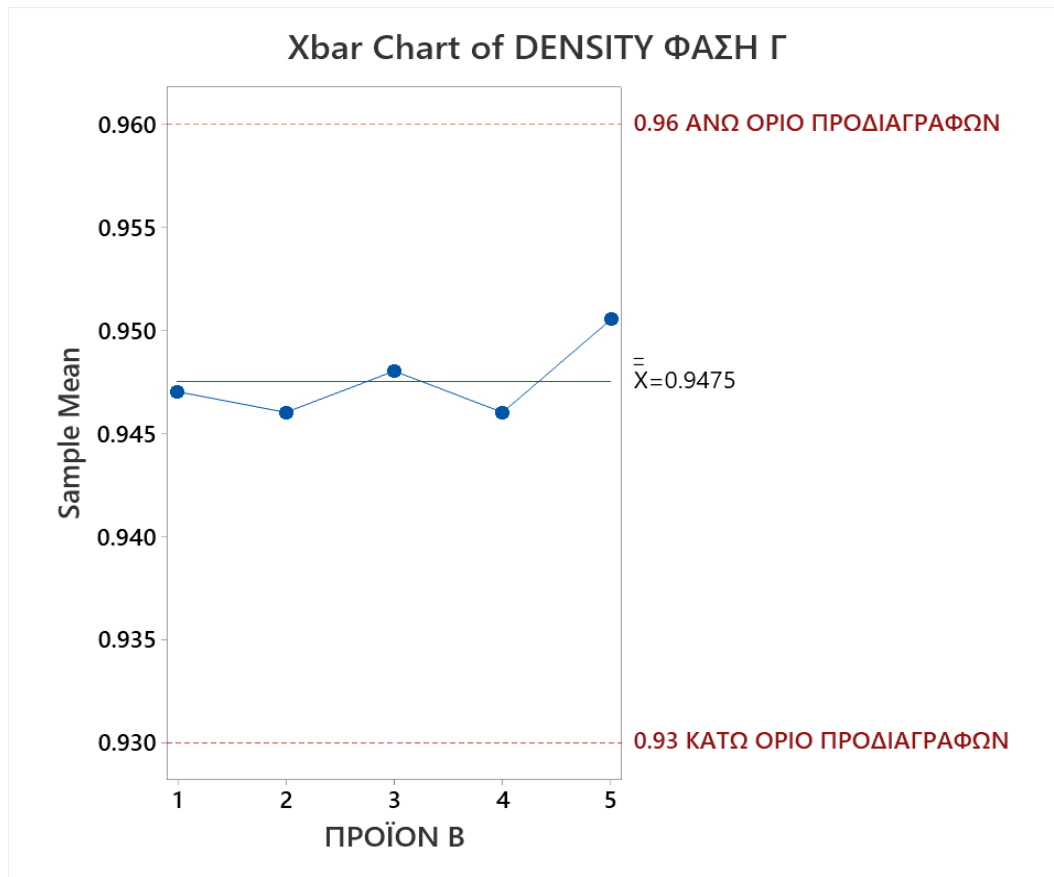


#### Descriptive Statistics MFI

N	Mean	StDev	SE Mean	99.73% CI for $\mu$
5	1.2694	0.0438	0.0196	(1.1398, 1.3990)

$\mu$ : population mean of MFI MEAN

**Διάγραμμα 33:** διάγραμμα μεμονωμένων τιμών και 99.73% Δ.Ε. μέσης τιμής ΡΟΗΣ .Δειγματοληψία φάσης Γ



### Descriptive Statistics DENSITY

N	Mean	StDev	SE Mean	99.73% CI for $\mu$
5	0.947500	0.001871	0.000837	(0.941961, 0.953039)

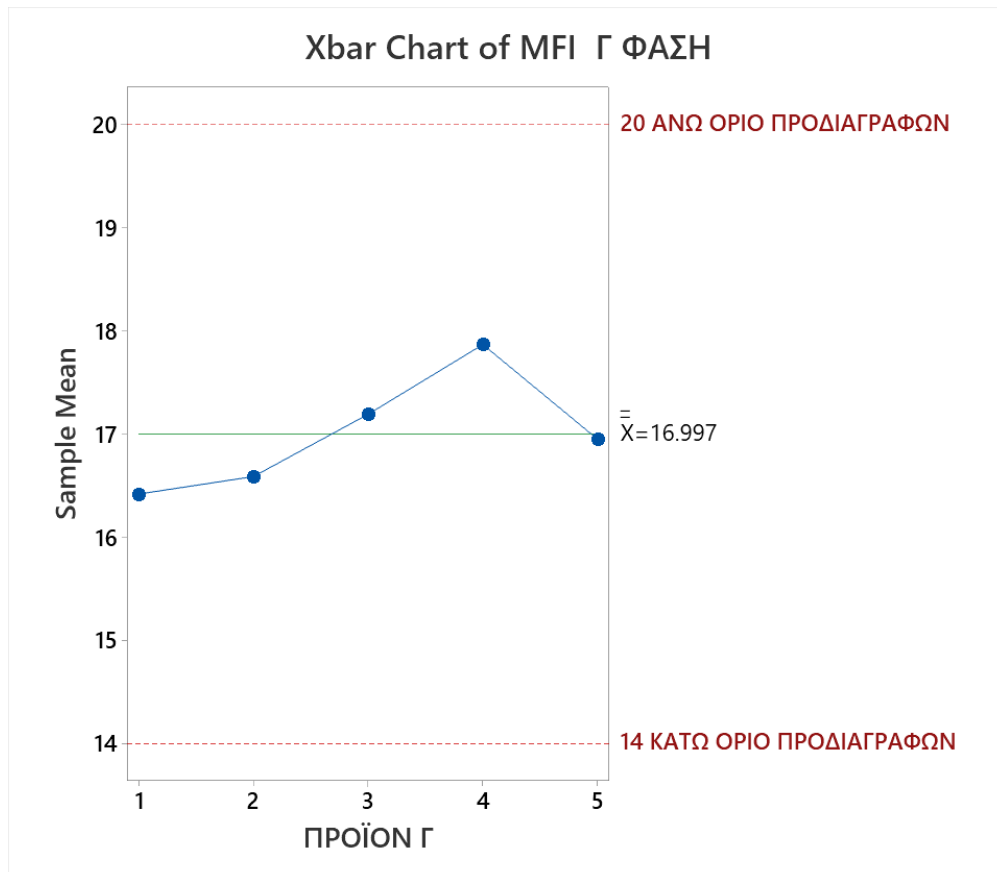
$\mu$ : population mean of DENSITY MEAN

**Διάγραμμα 34:** Διάγραμμα μεμονωμένων τιμών και 99.73 % Δ.Ε. μέσης τιμής ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ .Δειγματοληψία φάσης Γ

Όμοια κι εδώ μπορούμε να πούμε με 99.73% βεβαιότητα πως το φορτίο είναι εντός προδιαγραφών και μπορούμε να προχωρήσουμε στην αποδέσμευσή του.

### 5.3.3 Terracotta (προϊόν Γ)

Για το προϊόν Γ αντίστοιχα, με τη βοήθεια λογισμικού κατασκευάσαμε ένα διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων τιμών καθώς και το 99.73% διάστημα εμπιστοσύνης της μέσης τιμής για κάθε χαρακτηριστικού που επιθυμούμε να εξετάσουμε. Έτσι έχουμε:



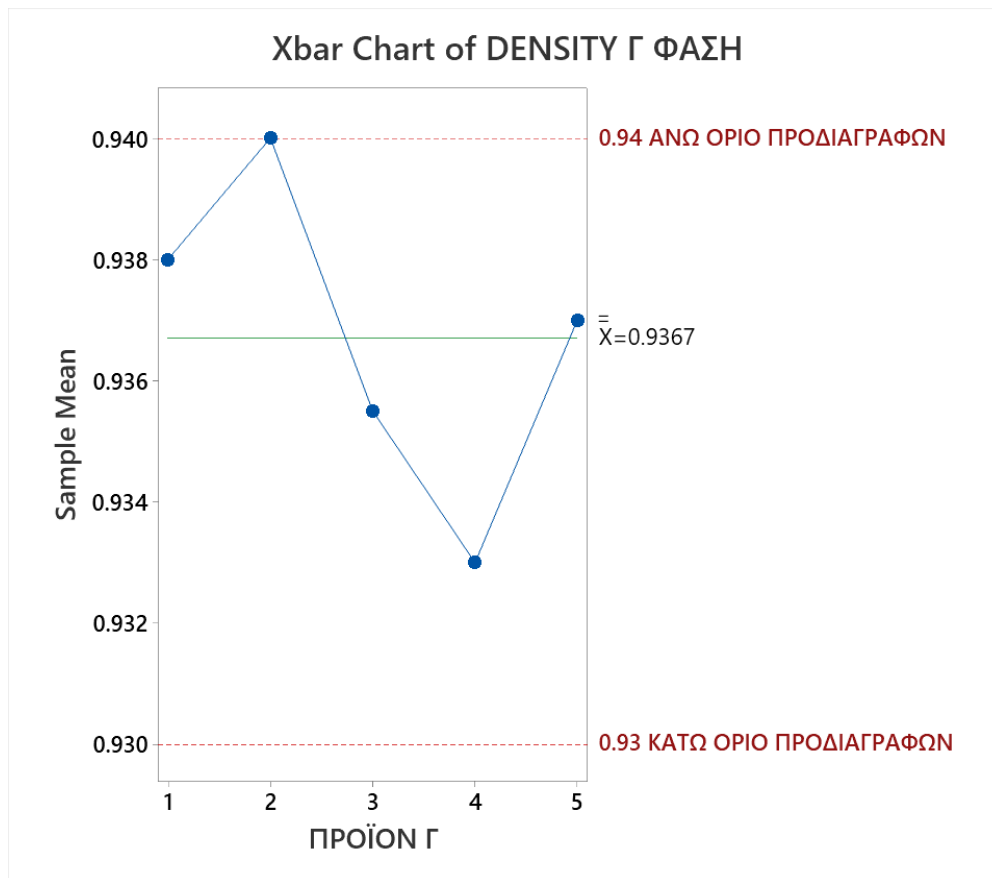
#### Descriptive Statistics MFI

N	Mean	StDev	SE Mean	99.73% CI for $\mu$
5	16.997	0.569	0.255	(15.312, 18.683)

$\mu$ : population mean of mfi mean

**Διάγραμμα 35:** διάγραμμα μεμονωμένων τιμών και 99.73 % Δ.Ε. μέσης τιμής ΡΟΗΣ .Δειγματοληψία φάσης Γ





#### Descriptive Statistics DENSITY

N	Mean	StDev	SE Mean	99.73% CI for $\mu$
5	0.93670	0.00264	0.00118	(0.92890, 0.94450)

$\mu$ : population mean of density mean

**Διάγραμμα 36:** διάγραμμα μεμονωμένων τιμών και 99.73 % Δ.Ε. μέσης τιμής ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ .Δειγματοληψία φάσης Γ

Όμοια κι εδώ μπορούμε να πούμε με 99.73% βεβαιότητα πως το φορτίο (ΠΡΟΪΟΝ Γ) είναι εντός προδιαγραφών και μπορούμε να προχωρήσουμε στην αποδέσμευσή του.

## ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η ανακύκλωση πλαστικών αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά και οικονομικά ζητήματα της σύγχρονης εποχής. Οι πλαστικές απορρίψεις συμβάλλουν σημαντικά στη ρύπανση του περιβάλλοντος, ενώ η εκ νέου χρήση τους, μέσω της ανακύκλωσης, παρέχει πολλαπλά οφέλη, όπως η μείωση της κατανάλωσης φυσικών πόρων και η μείωση των αποβλήτων. Η παρούσα εργασία εξετάζει τη διαδικασία ανακύκλωσης θερμοπλαστικών σε μια βιομηχανία, εστιάζοντας στην παρακολούθηση και αξιολόγηση της παραγωγικής διαδικασίας μέσω διαγραμμάτων ελέγχου. Συγκεκριμένα, εξετάζεται η χρήση του scrap πολυαιθυλενίου-πολυπροπυλενίου που συλλέγεται από κέντρα διαλογής και επεξεργάζεται με μηχανήματα extruders για την παραγωγή κόκκων πολυμερούς. Αυτοί στη συνέχεια χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη στην παραγωγή προϊόντων από πλαστικό. Η παρούσα εργασία πραγματεύεται το ζήτημα της παρακολούθησης της παραγωγικής διαδικασίας ανακύκλωσης πλαστικών εστιάζοντας στο δείκτη ροής του παραγόμενου προϊόντος και στην πυκνότητά του. Η μεθοδολογία περιλαμβάνει τη χρήση στατιστικών διαγραμμάτων ελέγχου και την εφαρμογή διορθωτικών ενεργειών για βελτίωση της ποιότητας και μείωση της φύρας. Η μελέτη καταλήγει σε σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με την αποδοτικότητα της παραγωγικής διαδικασίας και προτείνει κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα στην αυτόματη ανάλυση και βελτιστοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας. Παρόλο που υπάρχουν αρκετές έρευνες σχετικά με την ανακύκλωση πλαστικών και κάποιες έχουν εξετάσει τη χρήση διαγραμμάτων ελέγχου για τη βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας, η παρούσα μελέτη συμβάλλει στην υπάρχουσα γνώση, παρέχοντας μια συστηματική μεθοδολογία για την παρακολούθηση και βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας ανακύκλωσης των δύο συγκεκριμένων πολυμερών που εξετάζουμε σε αυτή.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε περιλαμβάνει τη χρήση στατιστικών διαγραμμάτων ελέγχου για την παρακολούθηση της παραγωγικής διαδικασίας. Αρχικά, συλλέχθηκαν δεδομένα από τη βιομηχανία ανακύκλωσης σχετικά με την πυκνότητα και τον δείκτη ροής του παραγόμενου υλικού. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν σε τακτά χρονικά διαστήματα κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας, εξασφαλίζοντας την ακρίβεια και την αντιπροσωπευτικότητα των δειγμάτων. Αξίζει εδώ να αναφερθεί πως κάποια από τα δεδομένα συλλέχθηκαν κατά τις νυχτερινές ώρες και μετρήθηκαν ως προς τα επιθυμητά

χαρακτηριστικά σε δεύτερο χρόνο. Δεν πραγματοποιούνται αναλύσεις κατά τις νυχτερινές ώρες και οι όποιες επεμβάσεις κατά την παραγωγική διαδικασία γίνονται έως τις 10:00 το βράδυ. Επιπλέον συλλέχθηκαν δείγματα από το σιλό ομογενοποίησης πριν την τελική αποδέσμευση του προϊόντος σε σακιά και ελέγχθηκε η συμμόρφωσή τους με τις απαιτήσεις των πελατών.

#### ➤ Ανάλυση Δεδομένων

Τα δεδομένα αναλύθηκαν με τη χρήση ειδικών λογισμικών στατιστικής επεξεργασίας και δημιουργήθηκαν διαγράμματα ελέγχου για κάθε χαρακτηριστικό, ώστε να αξιολογηθεί η σταθερότητα και η ποιότητα της παραγωγής. Τα διαγράμματα ελέγχου που χρησιμοποιήθηκαν περιλαμβάνουν τα διαγράμματα  $\bar{X}$  - R για συνεχή δεδομένα.

#### ➤ Ανίχνευση Αποκλίσεων

Η ανάλυση των δεδομένων επέτρεψε την ανίχνευση πιθανών αποκλίσεων και ανωμαλιών στη διαδικασία. Οι αποκλίσεις που παρουσιάστηκαν τις ώρες που πραγματοποιούνται αναλύσεις διερευνήθηκαν για να εντοπιστούν οι αιτίες τους και εφαρμόστηκαν διορθωτικές ενέργειες άμεσα. Οι αποκλίσεις που εντοπίστηκαν από δείγματα των νυχτερινών ωρών, τα οποία μετρήθηκαν την επόμενη μέρα, διερευνήθηκαν και έδωσαν πληροφορίες για την παραγωγική διαδικασία, ώστε στο μέλλον να μην επαναληφθούν. Θα μπορούσαν όμως να οδηγήσουν σε απόρριψη ενός ολόκληρου φορτίου, χωρίς τη λήψη άμεσων μέτρων. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης δείχνουν ότι η χρήση στατιστικών διαγραμμάτων ελέγχου είναι αποτελεσματική για την παρακολούθηση και βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας ανακύκλωσης πλαστικών ειδικά εάν εφαρμόζεται συνολικά κατά τη διαδικασία παραγωγής, δηλαδή και τις νυχτερινές ώρες.

#### ➤ Αποτελέσματα Πυκνότητας

Η μελέτη αποκάλυψε συγκεκριμένα πρότυπα και τάσεις στα δεδομένα της πυκνότητας. Τα διαγράμματα ελέγχου έδειξαν ότι οι περισσότερες αποκλίσεις οφείλονταν σε μεταβολές στις ρυθμίσεις των μηχανημάτων, γεγονός που επηρέαζε τη συνοχή του παραγόμενου υλικού. Σημαντική επίδραση έχει και η κατανομή της πυκνότητας του εισερχομένου scrap (flakes). Η εφαρμογή διορθωτικών ενεργειών, όπως η επαναρρύθμιση των μηχανημάτων, η προσθήκη κατάλληλων βελτιωτικών και η βελτίωση της διαδικασίας διαλογής του scrap, οδήγησε σε σημαντική μείωση των αποκλίσεων.

➤ Αποτελέσματα Δείκτη Ροής (Melt - Flow Index)

Οι αναλύσεις του δείκτη ροής έδειξαν ότι οι αποκλίσεις στη ροή του παραγόμενου προϊόντος οφείλονταν σε ασταθή ροή υλικού στον extruder, κάτι το οποίο δείχνει υψηλή μεταβλητότητα της ροής του εισερχομένου scrap.

➤ Συνολική Βελτίωση της Διαδικασίας

Έως τώρα η επιχείρηση εφαρμόζει διαδικασίες για την παρακολούθηση της παραγωγικής διαδικασίας οι οποίες δεν περιλαμβάνουν τη χρήση διαγραμμάτων ελέγχου και σχετίζονται κυρίως με τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων με τα όρια προδιαγραφών του πελάτη. Αυτή η μεθοδολογία μπορεί να εξασφαλίζει την παραγωγή προϊόντος εντός προδιαγραφών αλλά κάποιες φορές αδυνατεί να δείξει εγκαίρως μεταβολές στην παραγωγική διαδικασία οι οποίες χρήζουν επέμβασης-βελτίωσης. Για αυτό το λόγο η ένταξη των διαγραμμάτων ελέγχου στις διαδικασίες παρακολούθησης-ελέγχου της παραγωγικής διαδικασίας σε όλη τη διάρκεια του 24ώρου θα μπορούσε να προσφέρει έγκαιρη και τεκμηριωμένη πληροφόρηση βοηθώντας στη βελτίωση της σταθερότητας της εξώθησης και μειώνοντας τις απορρίψεις.

Τα συμπεράσματα της παρούσας μελέτης υπογραμμίζουν τη σημασία της στατιστικής παρακολούθησης στην παραγωγική διαδικασία ανακύκλωσης πλαστικών. Τα κυριότερα συμπεράσματα είναι τα εξής :

- Βελτίωση Ποιότητας: Η εφαρμογή διαγραμμάτων ελέγχου συνέβαλε στη βελτίωση της ποιότητας του παραγόμενου υλικού μέσω της έγκαιρης ανίχνευσης και διόρθωσης αποκλίσεων .
- Μείωση Φύρας: Η μείωση των αποκλίσεων οδήγησε σε μείωση της φύρας, βελτιώνοντας την οικονομική αποδοτικότητα της παραγωγής .
- Σταθερότητα Διαδικασίας: Η ανάλυση των δεδομένων επέτρεψε την κατανόηση των παραγόντων που επηρεάζουν τη σταθερότητα της παραγωγικής διαδικασίας, οδηγώντας σε βελτιωμένες πρακτικές παραγωγής.

Η μελλοντική έρευνα μπορεί να εστιάσει στη χρήση τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης για την αυτόματη ανάλυση και βελτιστοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας. Επιπλέον, η ανάπτυξη προηγμένων μοντέλων πρόβλεψης μπορεί να βοηθήσει στην πρόβλεψη και πρόληψη αποκλίσεων, βελτιώνοντας περαιτέρω την αποδοτικότητα της παραγωγής. Συνοπτικά, βάσει της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε, παρακάτω προτείνονται θέματα για μελλοντική έρευνα, τα οποία μπορούν να συμβάλλουν στην περαιτέρω κατανόηση και βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας σε βιομηχανίες ανακύκλωσης θερμοπλαστικών:

#### Ανάπτυξη και Βελτιστοποίηση Διαγραμμάτων Ελέγχου για Παραγωγικές Διαδικασίες Ανακύκλωσης Θερμοπλαστικών

- Έρευνα σχετικά με την προσαρμογή και την εφαρμογή διαφορετικών τύπων διαγραμμάτων ελέγχου για την παρακολούθηση ποικίλων μεταβλητών (π.χ. ροή προϊόντος, πυκνότητα)
- Σύγκριση της αποτελεσματικότητας μεταξύ κλασικών διαγραμμάτων ελέγχου και νεότερων ή προσαρμοσμένων μεθόδων για τις συγκεκριμένες μεταβλητές.

#### Ανάλυση Ανθεκτικότητας και Απόδοσης Ανακυκλωμένων Προϊόντων υπό Διάφορες Συνθήκες Παραγωγής

- Μελέτη της επίδρασης διαφορετικών συνθηκών παραγωγής (π.χ. θερμοκρασία, πίεση) στην απόδοση και την ανθεκτικότητα των ανακυκλωμένων θερμοπλαστικών.
- Χρήση στατιστικών μεθόδων για τον εντοπισμό κρίσιμων σημείων και μεταβλητών που επηρεάζουν την ποιότητα του τελικού προϊόντος.

#### Προγνωστικά Μοντέλα για την Ανίχνευση και Πρόβλεψη Δυσλειτουργιών στην Παραγωγική Διαδικασία

- Ανάπτυξη και δοκιμή προγνωστικών μοντέλων που χρησιμοποιούν ιστορικά δεδομένα από διαγράμματα ελέγχου και άλλες μεταβλητές για την πρόβλεψη δυσλειτουργιών.
- Ενσωμάτωση μηχανικής μάθησης για την αυτοματοποίηση της διαδικασίας ανίχνευσης και την λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο.

#### Ανάλυση Κόστους - Οφέλους της Εφαρμογής Διαγραμμάτων Ελέγχου στην Παραγωγική Διαδικασία Ανακύκλωσης

- Μελέτη της οικονομικής απόδοσης της εφαρμογής διαγραμμάτων ελέγχου σε σχέση με τις βελτιώσεις στην ποιότητα και την απόδοση της παραγωγής.
- Αξιολόγηση της σχέσης μεταξύ επένδυσης σε συστήματα παρακολούθησης και των οικονομικών ωφελειών από τη μείωση απορριμμάτων και τη βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας.

Εκτίμηση της Επίδρασης Περιβαλλοντικών Παραμέτρων στην Παραγωγική Διαδικασία και Ποιότητα των Ανακυκλωμένων Προϊόντων

- Διερεύνηση της επίδρασης εξωτερικών παραμέτρων (π.χ. υγρασία, θερμοκρασία περιβάλλοντος) στην απόδοση της παραγωγικής διαδικασίας.
- Χρήση στατιστικών εργαλείων για την ανάλυση της επίδρασης των περιβαλλοντικών συνθηκών και την ανάπτυξη στρατηγικών προσαρμογής.

Διασφάλιση Ποιότητας στην Παραγωγή Ανακυκλωμένων Θερμοπλαστικών μέσω Ολοκληρωμένων Συστημάτων Διαχείρισης

- Έρευνα για την ενσωμάτωση διαγραμμάτων ελέγχου και άλλων εργαλείων παρακολούθησης σε ολοκληρωμένα συστήματα διαχείρισης ποιότητας.
- Αξιολόγηση της συνολικής επίδρασης στην ποιότητα και την αξιοπιστία της παραγωγής με τη χρήση αυτών των συστημάτων.
- Κάθε μία από αυτές τις προτάσεις εστιάζει στη βελτίωση της κατανόησης, της απόδοσης και της ποιότητας στην παραγωγική διαδικασία ανακύκλωσης θερμοπλαστικών, αξιοποιώντας τη στατιστική παρακολούθηση και ανάλυση δεδομένων

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

### Διαδικτυακές πηγές

- Άτλας πλαστικού (2021). Στοιχεία και δεδομένα για τον κόσμο των συνθετικών πολυμερών. Διαθέσιμο στο : <https://gr.boell.org/el/o-atlas-toy-plastikoy> , (accessed 21/6/2024)
- Geo news (2022). Ανακύκλωση Ευρώπη – Ελλάδα. Διαθέσιμο στο : <https://www.ecoearth.gr/anaklyklosi/anakuklosi-europi-ellada> , (accessed 1/6/2024)
- Hahladakis, J.N., Iacovidou, E. & Gerassimidou, S. (2019). *Plastic waste in a circular economy*. Διαθέσιμο στο : [https://www.researchgate.net/profile/Mohanraj-Chandran/publication/339905534\\_Conversion\\_of\\_plastic\\_waste\\_to\\_fuel/links/5e982e474585150839e08d12/Conversion-of-plastic-waste-to-fuel.pdf#page=504](https://www.researchgate.net/profile/Mohanraj-Chandran/publication/339905534_Conversion_of_plastic_waste_to_fuel/links/5e982e474585150839e08d12/Conversion-of-plastic-waste-to-fuel.pdf#page=504) , (accessed 21/6/2024)
- Parker, L. (2018). *We Depend on Plastic. Now We're Drowning in It*. Διαθέσιμο στο : <https://www.nationalgeographic.com/> , (accessed 21/5/2024)
- Τριτοπούλου, Ε. & Μπακόλα, Ν. (2022). *Εκπαιδευτικό υλικό κυκλικής οικονομίας*. Διαθέσιμο στο: <https://www.vvv.gov.gr/index.php/component/k2/itemlist/category/463-kathariotita> , (accessed 21/5/2024)
- WWF Hellas (2020). *Πλαστικά*. Διαθέσιμο στο : [https://www.wwf.gr/ti\\_kanoume/anthropos/plastika](https://www.wwf.gr/ti_kanoume/anthropos/plastika) , (accessed 20/5/2024)
- Χαραλάμπους, Α. (2019). *Πλαστικά και μετάβαση στην κυκλική οικονομία: Προκλήσεις και Προοπτικές*. Διαθέσιμο στο: [http://www.oeb.org.cy/wp-content/uploads/2018/06/05\\_ACharalambous\\_Plastics\\_OEB.pdf](http://www.oeb.org.cy/wp-content/uploads/2018/06/05_ACharalambous_Plastics_OEB.pdf) , (accessed 21/5/2024)

## Διεθνής βιβλιογραφία

- Alwan, L. C., & Roberts, H. V. (1988). Time - series modeling for statistical process control. *Journal of Business & Economic Statistics*, 6 (1), 87 - 95.
- Keller, P. (2011). *Statistical Process Control Demystified*. Εκδότης: Mc Graw - Hill Education.
- Mitra, A. (2016). *Fundamentals of Quality Control and Improvement*. Auburn, John Wiley & Sons, Incorporated.
- Montgomery, D.C. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control*. Sixth Edition, John Wiley & Sons
- Tagaras, G. (1992). Quality control in recycling processes. *International Journal of Production Research*, 30 (10), 2399 -2408.
- Woodall, W. H. (2000). Controversies and contradictions in statistical process control. *Journal of Quality Technology*, 32 (4), 341-350.
- Zhang, S. (2017). *Half of All Plastic Was Made in the Past 13 Years*. The Atlantic, The Atlantic
- Zhang, Y. et al. (2021). SCADA systems and cybersecurity: A review. *IEEE Access*.
- Lee, J. et al. (2022). Industrial AI for smart manufacturing. *Journal of Industrial Information Integration*.
- Wang, X. & Yin, S. (2023). AI in Process Control: Challenges and Opportunities. *Computers in Industry*.
- Tao, F. et al. (2021). Digital twin-driven smart manufacturing. *Advanced Engineering Informatics*.
- Fernandez-Carames, T.M., & Fraga-Lamas, P. (2020). *Blockchain in industrial IoT. Sensors*.



## Ελληνική βιβλιογραφία

- Αντζουλάκος, Δ. (2009). *Στατιστικός Έλεγχος Ποιότητας*. Σημειώσεις παραδόσεων, Πειραιάς
- Γεωργακάκος, Γ.Σ. (2002). *Προηγμένα Εργαλεία και Μέθοδοι για τον Έλεγχο της Ποιότητας - Στατιστικός Έλεγχος Διεργασίας*. Πάτρα, Εκδόσεις: Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο
- Γεωργιάδου, Ζ. (2017). *Δομικά και Διακοσμητικά Υλικά*. Αθήνα : Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΝΗΜΕΡΤΗΣ.
- Γραφανάκης, Δ. (2008). *Εργαλεία Στατιστικού Ελέγχου Ποιότητας*. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα
- Καρτάλης Χ. (2001). *Ανακύκλωση Πλαστικών Υλικών: Εφαρμογή τεχνολογίας ανάτηξης - ανασταθεροποίηση σε απορρίμματα πολυαιθυλενίου και πολυπροπυλενίου*. Διδακτορική Διατριβή. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- Κούτρας, Μ. (2008). *Προηγμένα Εργαλεία και Μέθοδοι για τον Έλεγχο της Ποιότητας. Θέματα Στατιστικού Ελέγχου Διεργασίας*. Πάτρα, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο
- Σκορδίλης, Α. (1994). *Ανακύκλωση υλικών: Πλαστικά*. Τεύχος Ι , Αθήνα : Εκδόσεις Ίων.
- Στεφανάτος, Σ. (2000). *Προγραμματισμός για την Ποιότητα - Ολική Ποιότητα*. Πάτρα, Εκδόσεις: Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι – ΔΕΔΟΜΕΝΑ

## Μαύρο HDPE (προϊόν Α)

ΟΡΙΑ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ					
	MFI	1.00-1.40	DENSITY	0.93-0.94	
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ					
A/A	MFI 1	MFI 2	DENS 1	DENS 2	
1	1,278	1,358	0,936	0,942	Α ΦΑΣΗ
2	1,308	1,373	0,948	0,950	
3	1,356	1,463	0,938	0,940	
4	1,240	1,352	0,930	0,935	
5	1,332	1,417	0,929	0,934	
6	1,117	1,415	0,918	0,923	
7	1,180	1,245	0,945	0,948	
8	1,258	1,312	0,948	0,949	
9	1,190	1,256	0,947	0,950	
10	1,410	1,443	0,938	0,939	
11	1.295	1.320	0.946	0.948	Β ΦΑΣΗ
12	1.338	1.362	0.943	0.947	
13	1.246	1.275	0.948	0.949	
14	1.196	1.220	0.947	0.948	
15	1.205	1.285	0.948	0.951	
16	1.245	1.285	0.946	0.950	
17	1.277	1.338	0.947	0.948	
18	1.238	1.271	0.948	0.949	
19	1.215	1.242	0.947	0.947	
20	1.360	1.395	0.946	0.948	
21	1.192	1.252	0.953	0.948	
22	1.183	1.237	0.951	0.948	
23	1.227	1.300	0.946	0.950	
24	1.276	1.226	0.952	0.950	
25	1.113	1.157	0.945	0.948	
26	1.230	1.268	0.950	0.951	
27	1.242	1.312	0.950	0.950	
28	1.257	1.293	0.947	0.949	
29	1.342	1.378	0.944	0.947	
1	1.213	1.246	0.95	0.953	ΣΙΛΟ
2	1.325	1.381	0.948	0.95	

3	1.185	1.22	0.944	0.947	
4	1.192	1.228	0.946	0.958	
5	1.236	1.267	0.949	0.951	

**Λευκό HDPE (προϊόν Β)**

ΟΡΙΑ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ					
	MFI	1.00-1.40	DENSITY	0.93-0.94	
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ					
A/A	MFI 1	MFI 2	DENS 1	DENS 2	
1.	1.402	1.428	0.948	0.951	Α ΦΑΣΗ
2.	1.441	1.468	0.949	0.953	
3.	1.473	1.504	0.945	0.949	
4.	1.313	1.334	0.950	0.952	
5.	1.354	1.383	0.947	0.950	
6.	1.278	1.299	0.947	0.949	
7.	1.325	1.348	0.949	0.952	
8.	1.266	1.294	0.944	0.948	
9.	1.292	1.315	0.946	0.948	
10.	1.320	1.351	0.947	0.949	
11.	1.332	1.364	0.945	0.950	
12.	1.311	1.334	0.946	0.950	
13.	1.284	1.312	0.948	0.951	
14.	1.315	1.332	0.946	0.949	
15.	1.302	1.328	0.949	0.952	
16.	1.356	1.374	0.947	0.950	
17.	1.314	1.332	0.946	0.948	
18.	1.325	1.348	0.949	0.953	Β ΦΑΣΗ
19.	1.311	1.332	0.945	0.949	
20.	1.313	1.334	0.950	0.952	
21.	1.344	1.363	0.947	0.950	
22.	1.325	1.348	0.949	0.952	
23.	1.292	1.315	0.946	0.948	

24.	1.320	1.351	0.947	0.949	
25.	1.332	1.364	0.945	0.950	
26.	1.311	1.334	0.946	0.950	
27.	1.284	1.312	0.948	0.951	
28.	1.315	1.332	0.946	0.949	
29.	1.302	1.328	0.949	0.952	
30.	1.356	1.374	0.947	0.950	
31.	1.314	1.332	0.946	0.948	
32.	1.291	1.318	0.949	0.953	
33.	1.313	1.334	0.950	0.952	
34.	1.324	1.353	0.947	0.950	
35.	1.278	1.299	0.947	0.949	
36.	1.325	1.348	0.949	0.952	
37.	1.306	1.324	0.944	0.948	
38.	1.292	1.315	0.946	0.948	
39.	1.320	1.351	0.947	0.949	
40.	1.332	1.364	0.945	0.950	
41.	1.311	1.334	0.946	0.950	
42.	1.284	1.312	0.948	0.951	
43.	1.332	1.361	0.946	0.949	
44.	1.302	1.328	0.949	0.952	
45.	1.356	1.374	0.947	0.950	
46.	1.314	1.332	0.946	0.948	
1.	1.302	1.328	0.949	0.952	ΣΙΑΟ
2.	1.356	1.374	0.947	0.950	
3.	1.314	1.332	0.946	0.948	
4.	1.246	1.288	0.944	0.948	
5.	1.192	1.224	0.949	0.952	

## Terracotta PP (προϊόν Γ)

ΟΡΙΑ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ					
	MFI	14-20	DENSITY	0.93-0.94	
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ					
A/A	MFI 1	MFI 2	DENS 1	DENS 2	
1.	15.230	15.450	0.928	0.932	Α ΦΑΣΗ
2.	16.710	16.980	0.930	0.933	
3.	15.440	15.570	0.938	0.943	
4.	17.210	17.620	0.941	0.945	
5.	15.412	15.784	0.935	0.937	
6.	14.235	14.652	0.933	0.936	
7.	16.458	16.844	0.937	0.939	
8.	19.243	19.489	0.936	0.940	
9.	17.536	17.947	0.933	0.936	
10.	15.558	15.963	0.935	0.938	
11.	16.231	16.262	0.938	0.941	EXTRA ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ Α ΦΑΣΗΣ
12.	16.157	16.196	0.934	0.937	
13.	16.231	16.584	0.938	0.941	Β ΦΑΣΗ
14.	15.452	15.772	0.934	0.937	
15.	14.012	14.539	0.936	0.939	
16.	16.235	16.574	0.930	0.933	
17.	17.235	17.663	0.934	0.938	
18.	16.588	16.989	0.939	0.942	
19.	19.225	19.534	0.938	0.942	
20.	16.235	16.583	0.934	0.938	
21.	14.235	14.668	0.936	0.938	
22.	13.986	14.247	0.930	0.935	
23.	15.445	15.961	0.934	0.937	
24.	16.329	16.678	0.942	0.944	
25.	17.584	17.891	0.933	0.936	
26.	18.234	18.545	0.928	0.932	
27.	17.354	17.617	0.927	0.930	
28.	14.259	14.639	0.932	0.934	
29.	15.246	15.551	0.939	0.942	
30.	17.526	17.869	0.935	0.939	
31.	17.567	17.845	0.937	0.941	
32.	17.451	17.693	0.931	0.934	
33.	16.923	17.234	0.934	0.947	
34.	16.852	17.219	0.944	0.948	

35.	17.548	17.916	0.941	0.943	
36.	17.639	18.023	0.932	0.935	
37.	15.236	15.551	0.929	0.932	
38.	16.234	16.529	0.937	0.934	
39.	16.548	16.815	0.935	0.938	
40.	17.234	17.523	0.928	0.932	
41.	16.236	16.511	0.938	0.940	
42.	15.748	16.239	0.940	0.943	
1.	16.235	16.593	0.937	0.939	ΣΙΑΟ
2.	16.45	16.716	0.939	0.941	
3.	17.023	17.349	0.934	0.937	
4.	17.694	18.028	0.932	0.934	
5.	16.781	17.106	0.936	0.938	