



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΧΡΗΣΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ
ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΤΩΝ
ON-LINE ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΛΙΓΝΙΤΩΝ**

ΜΟΥΡΙΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΓΑΛΕΤΑΚΗΣ ΜΙΧΑΗΛ, Λέκτορας (Επιβλέπων)
ΑΓΙΟΥΤΑΝΤΗΣ ΖΑΧΑΡΙΑΣ, Καθηγητής
ΒΑΜΒΟΥΚΑ ΔΕΣΠΟΙΝΑ, Επίκουρος Καθηγήτρια

ΧΑΝΙΑ 2003

Στη μνήμη του πατέρα μου

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο την αξιολόγηση των μετρήσεων των on-line συστημάτων ελέγχου ποιότητας λιγνιτών με την χρήση στατιστικών διαγραμμάτων ελέγχου διεργασιών. Η επίτευξη του παραπάνω στόχου θα έχει ως αποτέλεσμα την βελτίωση του ποιοτικού ελέγχου του παραγόμενου λιγνίτη και κατ' επέκταση την αύξηση της απόδοσης καύσης του.

Σε αυτό το σημείο θα ήταν παράληψη να μην ευχαριστήσω όσους συνέδραμαν στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας και κυρίως τον λέκτορα του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, κ. Μιχαήλ Γαλετάκη, ο οποίος ήταν ο επιβλέπων της διπλωματικής εργασίας. Οι γνώσεις, οι παρατηρήσεις και η απεριόριστη υπομονή του ήταν πολύτιμος αρωγός της προσπάθειας αυτής. Επίσης ευχαριστώ θερμά τον καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, κ. Ζαχαρία Αγιουτάντη και την επίκουρο καθηγήτρια, κ. Δέσποινα Βάμβουκα που δέχθηκαν να αξιολογήσουν την διπλωματική αυτή.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένεια και τους φίλους μου που βοήθησαν με οποιοδήποτε τρόπο στην εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία αναφέρεται στο θέμα του ποιοτικού ελέγχου των στερεών καυσίμων. Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας επιχειρήθηκε μια πρώτη εκτίμηση αναφορικά με την δυνατότητα παρακολούθησης των διακυμάνσεων ποιότητας του λιγνίτη Πτολεμαΐδας με την τοποθέτηση on-line αναλυτών στους ταινιόδρους μεταφοράς. Η εκτίμηση αυτή βασίστηκε στα αποτελέσματα προκαταρτικών δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν στο Λιγνιτικό Κέντρο Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου με την εγκατάσταση on-line αναλυτή ακτινοβολίας γ διπλής ενέργειας. Στην συνέχεια αξιολογήθηκαν τα αποτελέσματα αυτά με την χρήση στατιστικών διαγραμμάτων ελέγχου διεργασιών.

Το θεωρητικό μέρος της διπλωματικής περιέχει στοιχεία που αφορούν:

- ⇒ την ποιότητα σαν έννοια,
- ⇒ τους πλέον διαδεδομένους on-line αναλυτές, την ακρίβεια, την επιλογή και την εγκατάσταση τους, την εκτίμηση της απόδοσης τους και
- ⇒ τον στατιστικό έλεγχο παραγωγικής διαδικασίας (δυνατότητες παραγωγικής διαδικασίας, γενικές αρχές διαγραμμάτων ελέγχου, διαγράμματα ελέγχου ιδιοτήτων, μεταβλητών, ειδικά διαγράμματα ελέγχου).

Το εφαρμοσμένο-υπολογιστικό μέρος της διπλωματικής αποτελείται από:

- ⇒ την μεθοδολογία αξιολόγησης των στοιχείων,
- ⇒ την περιγραφή των δεδομένων,
- ⇒ την στατιστική ανάλυση των δεδομένων,
- ⇒ τον στατιστικό έλεγχο της παραγωγικής διαδικασίας με την εφαρμογή στατιστικών διαγραμμάτων ελέγχου και τον χαρακτηρισμό της ικανότητας παραγωγικής διαδικασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΜΕΡΟΣ Α΄

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ _____ 1

1. Εισαγωγή	2
2. Ιστορία και εξέλιξη της ποιότητας και του ελέγχου	3
2.1 Έλεγχος ποιότητας	3
2.2 Στατιστικός έλεγχος ποιότητας	4
2.3 Διασφάλιση ποιότητας	4
2.3.1 Κόστος ποιότητας	5
2.3.2 Έλεγχος ολικής ποιότητας	6
2.4 Στρατηγική διοίκηση ποιότητας	7
3. Κόστος ποιότητας	8
3.1 Ορισμός – ανάλυση κόστους ποιότητας	8
3.2 Είδη κόστους ποιότητας	10
3.3 Μείωση του κόστους ποιότητας	12
4. Μέθοδοι βελτίωσης της ποιότητας	15
4.1 Η Έννοια της Βελτίωσης της Ποιότητας	15
4.2 Είδη Βελτιώσεων	16
5. Συστήματα διασφάλισης της ποιότητας και ολική ποιότητα	18
5.1 Πιστοποιητικά ISO	19
(International Organization for Standardization)	
5.1.1 Δομή της σειράς προτύπων 9000	20
5.1.2 Αρχές του συστήματος ποιότητας κατά ISO 9000	20
5.2 ISO 9000 Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα \ δυσκολίες εφαρμογής	21
5.3 Διοίκηση Ολικής ποιότητας (Δ.Ο.Π.)	23
5.3.1 Λόγοι για την υιοθέτηση της Δ.Ο.Π	24
5.3.2 Αρχές της διοίκησης ολικής ποιότητας	24

ΜΕΡΟΣ Β΄

ON-LINE ΑΝΑΛΥΤΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

(ON-LINE QUALITY ANALYZERS _____ 26

1. Εισαγωγή	27
2. Τύποι on line αναλυτών	29
2.1 Συστήματα μέτρησης της περιεκτικότητας σε τέφρα	29
2.2 Συστήματα μέτρησης της υγρασίας	39
2.3 Συστήματα προσδιορισμού της στοιχειακής ανάλυσης του γαιάνθρακα	42
2.4 On-line αναλυτές γαιανθράκων χαμηλής ποιότητας	47
2.5. Χρήση on-line αναλυτών για την παρακολούθηση άλλων παραμέτρων ποιότητας γαιανθράκων	52
3. Επιλογή και εγκατάσταση on-line αναλυτών	53
3.1 Επιλογή on-line αναλυτών	53
3.2 Εγκατάσταση on-line αναλυτών	55
4. Ακρίβεια και πηγές σφαλμάτων μέτρησης αναλυτών	56
4.1 Η βαθμονόμηση και ρύθμιση της ακρίβειας των on-line αναλυτών	56
4.2. Η έννοια της ακρίβειας ενός on-line αναλυτή	57

4.3. Πηγές σφαλμάτων μέτρησης	58
5. Συσχέτιση των μετρήσεων ενός on-line αναλυτή με εργαστηριακές μετρήσεις	61
5.1 Η διαδικασία δειγματοληψίας κατά την εκτίμηση της πιστότητας των μετρήσεων ενός on-line αναλυτή	63
6. Διαδικασία εκτίμησης της απόδοσης ενός on-line αναλυτή	64

ΜΕΡΟΣ Γ΄

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

(STATISTICAL PROCESS CONTROL)	67
1. Εισαγωγή	68
2. Ανάλυση δυνατοτήτων παραγωγικής διαδικασίας	70
2.1 Εκτίμηση διασποράς στην παραγωγική διαδικασία	71
2.2 Δείκτες δυνατότητας παραγωγικής διαδικασίας	71
3. Γενικές αρχές των διαγραμμάτων ελέγχου διαδικασιών	73
3.1 Αιτίες μεταβλητότητας και στατιστικός έλεγχος	73
3.2 Βασική στατιστική θεωρία των διαγραμμάτων ελέγχου	74
3.3 Μορφές χρονοσειρών και ερμηνεία διαγραμμάτων ελέγχου	76
4. Διαγράμματα ελέγχου μεταβλητών	80
4.1 Έλεγχος διασποράς – μέσης τιμής	80
4.1.1 Διάγραμμα ελέγχου μέσης τιμής - εύρους ($\bar{x} - R$)	80
4.1.2 Διάγραμμα ελέγχου μέσης τιμής – τυπικής απόκλισης ($\bar{x} - S$)	83
4.2 Διάγραμμα ελέγχου για μεμονωμένες τιμές	85
5. Διαγράμματα ελέγχου ιδιοτήτων	87
6. Ειδικά διαγράμματα ελέγχου	88
6.1 Αθροιστικό διάγραμμα	88
6.2 Διάγραμμα με εκθετική εξομάλυνση	90
6.3 Διάγραμμα ελέγχου αποδοχής	92
6.4 Διάγραμμα με ασύμμετρα όρια ελέγχου	98
6.5 Ομαδικό διάγραμμα ελέγχου	99
6.6 Διαγράμματα πολλαπλών χαρακτηριστικών	101
6.6.1 Σχέσεις υπολογισμού του T^2	102
7. Μέθοδοι σχεδίασης διαγραμμάτων ελέγχου	105
7.1 Στατιστικά κριτήρια	105
7.2 Οικονομικά κριτήρια	106

ΜΕΡΟΣ Δ΄

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΟ ΔΙΓΝΙΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΠΤΟΛΕΜΑΙΔΑΣ

1. Μεθοδολογία αξιολόγησης των στοιχείων	109
2. Περιγραφή δεδομένων	111
3. Στατιστική ανάλυση δεδομένων	115
3.1 Αριθμητική περιγραφή δεδομένων	117

3.1.1 Μέτρα Θέσης ή Κεντρικής Τάσης (Measures of Location or Central Tendency)	117
3.1.2 Μέτρα Μεταβλητότητας ή Διασποράς (Measures of Variation or Dispersion)	119
3.2 Συντελεστής συσχέτισης και συµµεταβλητότητα	122
3.3 Συντελεστής κύρτωσης	124
3.4 Σύγκριση των διακυµάνσεων (F-test)	125
3.5 Μέθοδοι γραφικής ανάλυσης	126
3.6 Κατανομή μετρήσεων του on-line αναλυτή και του εργαστηρίου αναφοράς	129
4. Στατιστικός έλεγχος παραγωγικής διαδικασίας με εφαρμογή στατιστικών διαγραμμάτων ελέγχου	134
4.1 Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} -R για µεμονωµένες τιμές	136
4.1.1 Κατασκευή διαγραμμάτων	136
4.1.2 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων	143
4.2 Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} -R κινούµενου μέσου (m=2, m=3, m=4)	145
4.2.1 Κατασκευή διαγραμμάτων	145
4.2.2 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων	165
4.3 Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} -R κινούµενου μέσου (m=8)	169
4.3.1 Κατασκευή διαγραμμάτων	169
4.3.2 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων	178
4.4 Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} -R μεγέθους δείγματος n=4	180
4.4.1 Κατασκευή διαγραμμάτων	180
4.4.2 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων	187
4.5 Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} -R μεγέθους δείγματος n=8	189
4.5.1 Κατασκευή διαγραμμάτων	189
4.5.2 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων	195
4.6 Ικανότητα παραγωγικής διαδικασίας	196
4.6.1 Δείκτης C_{pk}	197
4.6.2 Δείκτης C_{pm}	198

ΜΕΡΟΣ Ε΄

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ 201

1. Συμπεράσματα 202

2. Προτάσεις 209

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 210

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ 213

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α΄ 214

Οι προσεγγίσεις των Deming, Juran και Crosby για την ποιότητα 214

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β΄ 220

Διαγράμματα ελέγχου ιδιοτήτων 220

ΜΕΡΟΣ Α΄

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

- 1. Εισαγωγή**
- 2. Ιστορία και εξέλιξη της ποιότητας και του ελέγχου**
- 3. Κόστος ποιότητας**
- 4. Μέθοδοι βελτίωσης της ποιότητας**
- 5. Συστήματα ποιότητας και ολική ποιότητα**

1. Εισαγωγή

Η Ποιότητα είναι μια πολυσύνθετη έννοια, στην οποία έχουν δοθεί διάφοροι ορισμοί. Σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο ISO 8402 (1986):

«Ποιότητα είναι το σύνολο των ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών ενός προϊόντος, διαδικασίας ή υπηρεσίας που καθορίζουν την ικανότητα ανταπόκρισης σε δηλωμένες ή εννοούμενες ανάγκες.»

Άλλοι δημοφιλείς ορισμοί της ποιότητας είναι:

«Ποιότητα είναι καταλληλότητα για χρήση» (Juran, 1974) και

«Ποιότητα είναι συμμόρφωση προς τις απαιτήσεις ή προδιαγραφές» (Crosby, 1979).

Ανεξάρτητα από προτιμήσεις ως προς τον ορισμό, είναι κοινά αποδεκτό ότι υπάρχουν δυο γενικές πλευρές της ποιότητας: ποιότητα σχεδιασμού και ποιότητα κατασκευής.

Η *ποιότητα σχεδιασμού* (quality of design) αναφέρεται στα κύρια χαρακτηριστικά του προϊόντος. Διαφορές στην ποιότητα σχεδιασμού ομοειδών προϊόντων είναι απόρροια συνειδητών επιλογών της διοίκησης της επιχείρησης και ανάλογων επιλογών από τους μηχανικούς κατά τη φάση σχεδίασης του προϊόντος. *Ποιότητα κατασκευής* (manufactured quality, quality of conformance) είναι ο βαθμός συμμόρφωσης προς τις προδιαγραφές που προβλέπει ο σχεδιασμός του προϊόντος. Η ποιότητα κατασκευής αποτελεί το αντικείμενο του ελέγχου ποιότητας (quality control) και της διασφάλισης ποιότητας (quality assurance), που σύμφωνα με το πρότυπο ISO 9000 (1994) ορίζονται ως εξής:

«Έλεγχος ποιότητας είναι οι επιχειρησιακές τεχνικές και δραστηριότητες που χρησιμοποιούνται για να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις για ποιότητα.»

«Διασφάλιση ποιότητας είναι όλες εκείνες οι προγραμματισμένες και συστηματικές ενέργειες, που είναι απαραίτητες για να εξασφαλιστούν επαρκώς ότι ένα προϊόν ή υπηρεσία θα ανταποκρίνεται σε δεδομένες απαιτήσεις για ποιότητα.»

Οι μέθοδοι του ελέγχου ποιότητας κατασκευής έχουν καθολική εφαρμογή, ανεξάρτητα από την ποιότητα σχεδιασμού. Η εργασία αυτή επικεντρώνεται στη μελέτη των ποσοτικών μεθόδων του ελέγχου ποιότητας κατασκευής. Και ειδικότερα στις τεχνικές που περιλαμβάνονται στον όρο «στατιστικός έλεγχος ποιότητας».

2. Ιστορία και εξέλιξη της ποιότητας και του ελέγχου

Ως έννοια, η ποιότητα υπάρχει από πολύ παλιά. Όμως, σχετικά πρόσφατα υιοθετήθηκε από την επιστήμη της Διοίκησης. Και σήμερα, οι λειτουργίες που έχουν σχέση με την ποιότητα είναι διευρυμένες και θεωρούνται πολύ σημαντικές για την στρατηγική επιτυχία των επιχειρήσεων.

Κάποτε, ήταν αποκλειστική ασχολία των τμημάτων παραγωγής και ανάπτυξης προϊόντων. Τώρα όμως, ενδιαφέρει το σύνολο των τμημάτων μιας επιχείρησης και λαμβάνεται σοβαρά υπόψη από την ανώτατη διοίκηση.

Πώς προέκυψαν αυτές οι αλλαγές; Οι περισσότερες έρευνες που έχουν γίνει για την έννοια της ποιότητας δείχνουν ότι οι προσεγγίσεις που υπάρχουν για το θέμα έχουν προκύψει προοδευτικά, ως αποτέλεσμα σταθερής εξέλιξης παρά σαν επαναστατικές καινοτομίες. Είναι κυρίως αποτέλεσμα των θέσεων που διατυπώθηκαν στη διάρκεια του τελευταίου αιώνα. Οι θέσεις αυτές αφορούν τέσσερις βασικούς τομείς. Έλεγχος, στατιστικός έλεγχος ποιότητας, διασφάλιση ποιότητας και στρατηγική διοίκηση ποιότητας (Δερβιτσιώτης, 1993).

2.1 Έλεγχος ποιότητας

Τον 18^ο και 19^ο και αιώνα ο ποιοτικός έλεγχος όπως το ξέρουμε σήμερα δεν υπήρχε. Οι περισσότερες εργασίες γίνονταν από εξειδικευμένους τεχνίτες και τα αγαθά παράγονταν σε μικρές ποσότητες. Τα διάφορα κομμάτια συναρμολογούνταν με τα χέρια ενώ ο έλεγχος που υπήρχε ήταν τυπικός. Εκείνη τη περίοδο θεωρείτο ότι οι ικανότητες των τεχνιτών εξασφάλιζαν τη κατασκευή ενός αξιόπιστου αγαθού (Δερβιτσιώτης, 1993).

Ο ποιοτικός έλεγχος έγινε απαραίτητος μόνο με την εξάπλωση της μαζικής παραγωγής. Καθώς οι εργασίες γίνονταν όλο και πιο σύνθετες τα διάφορα μέρη δεν μπορούσαν να ενωθούν με τα χέρια ενώ και οι διάφορες διαδικασίες γίνονταν πιο

δαπανηρές. Η ύπαρξη σταδίων παραγωγής έδωσε λύση στα παραπάνω προβλήματα. Αυτή η εξέλιξη όμως δημιούργησε την ανάγκη λεπτομερούς ελέγχου. Και όπως τα στάδια παραγωγής έτσι και ο έλεγχος στηριζόταν σε τυπικές αρχές.

Στις αρχές του 19^{ου} αιώνα ο Frederic W. Taylor υποστήριξε ότι η ιδέα του ελέγχου ήταν μια από τις 8 απαραίτητες λειτουργίες για αποτελεσματική διοίκηση. Το 1922 ο G.S. Radford στο έργο του 'The control of Quality in management' θεωρεί ότι ο έλεγχος είναι ευθύνη αυτών που ασκούν διοίκηση και μια ανεξάρτητη λειτουργία. Επίσης, παραθέτει κάποιες αρχές που ακόμη και σήμερα θεωρούνται σημαντικές για το ποιοτικό έλεγχο : την ανάγκη για στενή συνεργασία των τμημάτων που ασχολούνται με τη ποιότητα, τη σημασία της βελτίωσης της ποιότητας για την αύξηση της παραγωγής με ταυτόχρονη μείωση του κόστους (Garrity, 1993).

2.2 Στατιστικός έλεγχος ποιότητας

Το 1931 ήταν έτος-σταθμός για την εξάπλωση της έννοιας της ποιότητας. Εκείνη τη χρονιά εκδόθηκε από τον W.A. Shewhart το βιβλίο 'Economic control of Quality of Manufactured Product ' που έδωσε για πρώτη φορά επιστημονική υπόσταση στην έννοια της ποιότητας. Πολλά από όσα εφαρμόζονται στη σύγχρονη εποχή βρίσκονται σε αυτό το βιβλίο. Ο Shewhart έδωσε ένα ακριβή και μετρήσιμο ορισμό του ποιοτικού ελέγχου στη παραγωγή, ανέπτυξε τεχνικές για καθημερινή επίβλεψη της παραγωγικής διαδικασίας και πρότεινε διάφορους τρόπους για τη βελτίωση της ποιότητας. Εκείνη τη περίοδο ο Shewhart ήταν υπεύθυνος για θέματα ποιότητας στη τηλεφωνική εταιρία Bell και μαζί με άλλους επιφανείς επιστήμονες όπως ο H. Dodge, ο H. Romig και αργότερα ο J. Juran ανέπτυξαν την έννοια του στατιστικού ελέγχου ποιότητας (Δερβιτσιώτης, 1993).

2.3 Διασφάλιση ποιότητας

Κατά τη διάρκεια αυτού του σταδίου η ποιότητα εξελίχθηκε από μία περιορισμένη και εστιασμένη στη παραγωγή έννοια σε μια έννοια με διευρυμένη

εφαρμογή στη Διοίκηση. Εδώ εξετάζονται κυρίως δύο διαφορετικά θέματα: η ποσοτικοποίηση του κόστους ποιότητας και η διατήρηση ολικής ποιότητας.

2.3.1 Κόστος ποιότητας

Μέχρι τη δεκαετία του '50 οι περισσότερες προσπάθειες που γίνονταν για τη βελτίωση της ποιότητας στηρίζονταν στη παραδοχή ότι τα σφάλματα κοστίζουν. Όμως, λίγες εταιρίες επιχειρούσαν να υπολογίσουν το κόστος από την παραγωγή ελαττωματικών προϊόντων. Και το κρίσιμο ερώτημα παρέμενε : Πόση ποιότητα ήταν αρκετή ;

Το 1951 ο J. Juran ασχολήθηκε με αυτό το ζήτημα στη πρώτη έκδοση του βιβλίου του 'Quality Control Handbook' ένα έργο που θα εξελιχθεί σε Βίβλο των ειδημόνων. Ο Juran παρατήρησε ότι για να επιτευχθεί ένα συγκεκριμένο επίπεδο ποιότητας θα έπρεπε να γίνει διάκριση ανάμεσα σε αποτρέψιμο και μη-αποτρέψιμο κόστος. Αποτρέψιμο είναι το κόστος που έχει σχέση με σφάλματα και ελαττωματική παραγωγή-ώρες εργασίας που χάνονται για επιδιορθώσεις και παράπονα πελατών. Υπολογίζεται ότι το αποτρέψιμο κόστος έφτανε τα \$500 με \$1000 το χρόνο για κάθε εργαζόμενο. Ο Juran θεώρησε ότι αυτό το κόστος θα μπορούσε να μειωθεί με επενδύσεις στο τομέα της ποιότητας (Besterfield, 1990).

Τώρα, οι managers είχαν ένα τρόπο για να υπολογίσουν το πόσο έπρεπε να επενδύσουν για τη βελτίωση της ποιότητας. Και όσο τα σφάλματα εξακολουθούσαν να υφίστανται τόσο οι διατιθέμενοι πόροι αυξάνονταν. Η σχετική μελέτη οδήγησε σε ένα επιπλέον συμπέρασμα : ότι οι αποφάσεις που λαμβάνονται στα πρώτα στάδια της παραγωγής αναπόφευκτα θα επηρεάσουν το ύψος του κόστους της ποιότητας στα επόμενα στάδια.

2.3.2 Έλεγχος ολικής ποιότητας

Το 1956 ο A. Freigenbaum ανέπτυξε αυτό το συμπέρασμα με την εισαγωγή της έννοιας του ελέγχου ολικής ποιότητας. Τόνισε ότι δεν μπορούσαν να παραχθούν

προϊόντα υψηλής ποιότητας αν το τμήμα παραγωγής λειτουργούσε αποκομμένο από τα άλλα τμήματα. Επίσης, υποστήριξε ότι οι διαδικασίες που είχαν σχέση με τη παραγωγή και διάθεση των προϊόντων θα ήταν επιτυχείς, από τη σκοπιά της ποιότητας, αν υπήρχε η συνεργασία όλων των τμημάτων μίας επιχείρησης. Σε αντίθετη περίπτωση, σφάλματα που θα γίνονταν στα αρχικά στάδια θα ήταν αδύνατο να εντοπισθούν παρά μόνο όταν τα προϊόντα έφταναν στα χέρια των καταναλωτών (Δερβιτσιώτης, 1993).

Με βάση αυτές τις απόψεις, πολλές εταιρίες δημιούργησαν πίνακες στους οποίους αναγράφονταν οι υποχρεώσεις κάθε τμήματος καθώς και οι λειτουργίες που απαιτούσαν συνεργασία μεταξύ τμημάτων. Για αυτές τις δραστηριότητες δημιουργήθηκαν διατμηματικές ομάδες εργασίας. Για την επιτυχία αυτών των δραστηριοτήτων την ευθύνη είχε η ανώτατη διοίκηση. Και ο Feigenbaum, όπως ο Juran, πρότεινε το ακριβή υπολογισμό και την αναφορά του κόστους της ποιότητας.

Τέλος, οι δύο ειδικοί συμφώνησαν ότι ήταν πλέον ανάγκη να δημιουργηθούν νέες τεχνικές για τη μελέτη της ποιότητας. Οι στατιστικές μέθοδοι ήταν ακόμη χρήσιμες, όπως επίσης και η διαδικασία του ελέγχου. Αλλά πλέον, η έννοια του ελέγχου εκτός από το τμήμα παραγωγής είχε γίνει σημαντική και για τα τμήματα ανάπτυξης προϊόντων και εξυπηρέτησης πελατών. Για το λόγο αυτό, δημιουργήθηκε μια νέα λειτουργία η μηχανική ποιοτικού ελέγχου. Αντικείμενο της θα ήταν ο συντονισμός των δραστηριοτήτων των διαφόρων τμημάτων, ο καθορισμός ποιοτικών κριτηρίων και η παροχή ποιοτικών μετρήσεων. Όλες αυτές οι ενέργειες απαιτούσαν αυξημένες διοικητικές ικανότητες και δε μπορούσαν πια να καλυφθούν με τις κλασικές μεθόδους.

Παρ' όλες τις εξελίξεις που αναφέρθηκαν, οι προσεγγίσεις στην έννοια της ποιότητας παρέμεναν παθητικές. Η ποιότητα εξακολουθούσε να αντιμετωπίζεται σαν κάτι που η έλλειψη του θα μπορούσε να δημιουργήσει προβλήματα στην επιχείρηση, παρά σαν ένα εν δυνάμει πλεονέκτημα έναντι του ανταγωνισμού. Αυτές οι θέσεις άλλαξαν στις δεκαετίες του '80 και '90 οπότε έγινε αντιληπτή η στρατηγική σημασία της ποιότητας (Lock, 1994).

2.4 Στρατηγική διοίκηση ποιότητας

Η πιο πρόσφατη εξέλιξη προβάλλει μια νέα αντίληψη. Για πρώτη φορά η ανώτατη διοίκηση δείχνει ενδιαφέρον για την ποιότητα. Τη συνδέει με τη κερδοφορία, εστιάζει στις ανάγκες των πελατών και την εντάσσει στο στρατηγικό σχεδιασμό της επιχείρησης. Και το σημαντικότερο, τη χρησιμοποιεί σαν όπλο έναντι του ανταγωνισμού (Lock, 1994).

3. Κόστος ποιότητας

Ο έλεγχος της ποιότητας χρησιμοποιείται από τις επιχειρήσεις εδώ και πολλές δεκαετίες. Ωστόσο επικρατεί μια ασυμφωνία αναφορικά με το αντικείμενο του και τη θέση που πρέπει να κατέχει στη δομή της επιχείρησης. Πολλοί πιστεύουν ότι αποτελεί ένα σύνολο μεθόδων που στηρίζεται σε στατιστικές και αφορά τις προηγμένες τεχνολογικά επιχειρήσεις. Άλλοι πάλι θεωρούν ότι ταυτίζεται με τον έλεγχο του προϊόντος οπότε δεν έχει ιδιαίτερη βαρύτητα ενώ άλλοι θεωρούν ότι αφορά το εργατικό δυναμικό. Ο έλεγχος της ποιότητας όμως είναι αποφασιστικής σημασίας για την επιχείρηση αφού από αυτόν αντλεί πληροφορίες για το κόστος έλλειψης ποιότητας ή κόστος ποιότητας όπως συχνά αναφέρεται στη βιβλιογραφία.

Το κόστος της ποιότητας – που εμφανίζεται μέσω του ετήσιου προϋπολογισμού – δίνει τη δυνατότητα στις επιχειρήσεις να ελέγχουν και να βελτιώνουν τα επίπεδα ποιότητας των προϊόντων ή υπηρεσιών που παράγουν. Μέχρι πρόσφατα ο ρόλος του κόστους της ποιότητας ήταν υποβαθμισμένος και δεν αντιμετωπιζόταν με την απαραίτητη προσοχή. Σήμερα όμως που ο ανταγωνισμός γίνεται ολοένα και πιο έντονος στο παγκόσμιο επιχειρησιακό περιβάλλον και οι επιχειρήσεις προσπαθούν να αυξήσουν τη δύναμη τους και να εδραιώσουν τη θέση τους, η συνειδητοποίηση της στρατηγικής σημασίας της ποιότητας οδηγεί αυτόματα και στην αξιοποίηση των πολύτιμων πληροφοριών που παρέχει το κόστος ποιότητας. Έτσι λοιπόν πολλές είναι οι επιχειρήσεις που αναζητούν μεθόδους για την πιο συστηματική παρακολούθηση και ανάλυση του κόστους ποιότητας (Ταγαράς, 2001).

3.1 Ορισμός – ανάλυση κόστους ποιότητας

Το κόστος έλλειψης ποιότητας κατά τον Philip Crosby είναι αυτό που θα απέφευγε η επιχείρηση αν κάθε προϊόν ή υπηρεσία που προσφέρει και κάθε δραστηριότητα για την παραγωγή και τη διάθεση τους ή δραστηριότητα υποστήριξης (προμήθειες, λογιστήριο κ.λ.π.) εκτελείται άψογα κάθε φορά την πρώτη φορά.

Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι πολλές φορές τα προϊόντα ή οι υπηρεσίες που προσφέρουν διάφορες επιχειρήσεις στους πελάτες τους εμφανίζουν προβλήματα και δυσλειτουργίες επιβαρύνοντας ακόμη περισσότερο το κόστος αλλά και πλήττοντας την ανταγωνιστικότητα των επιχειρήσεων στο επιχειρησιακό περιβάλλον στο οποίο δρουν. Χαρακτηριστικά παραδείγματα προβλημάτων που εμφανίζονται συχνά είναι τα εξής: Προϊόντα που είναι άχρηστα και δεν μπορούν να προωθηθούν στους καταναλωτές ή απαιτούν διόρθωση ή πολλές φορές και ανακατασκευή, περιττοί έλεγχοι που δεν έχουν καμία ουσιαστική χρησιμότητα, λάθη σε έγγραφα και βέβαια υπερβολική σπατάλη σε παραγωγικό χρόνο. Επειδή όμως μια τέτοια κατάσταση είναι ανεπιθύμητη για κάθε επιχείρηση, θα πρέπει η διοίκηση να διαμορφώνει κάποια συστήματα παρακολούθησης και αξιολόγησης του κόστους έλλειψης ποιότητας όπως πράττει και για τους άλλους δείκτες που προσδιορίζουν την οικονομική απόδοση και την πορεία της. Βέβαια τα συστήματα που χρησιμοποιούν οι επιχειρήσεις για την παρακολούθηση των δεικτών της οικονομικής απόδοσης λειτουργούν με βραδύτητα. Γι' αυτό είναι ανάγκη το κόστος ποιότητας να παρακολουθείται συστηματικά και να αξιολογούνται όλες οι πολύτιμες πληροφορίες που παρέχει (Garrrity, 1993).

Το κόστος της ποιότητας αποτελεί έναν πολύ χρήσιμο μηχανισμό με αρκετά πλεονεκτήματα για τις επιχειρήσεις που έχουν αναπτύξει τα κατάλληλα συστήματα παρακολούθησης και αποκωδικοποίησης του. Πρώτα απ' όλα δίνει τη δυνατότητα διάγνωσης των προβλημάτων που σχετίζονται με την ποιότητα. Η διάγνωση των προβλημάτων επιτρέπει την ιεράρχηση τους αλλά και την έγκαιρη και αποτελεσματική αντιμετώπιση τους. Ακόμη δίνει τη δυνατότητα στην επιχείρηση να βελτιώσει την ποιότητα των προϊόντων ή υπηρεσιών που προσφέρει μέσω ενός αποτελεσματικού προγράμματος. Έτσι η επιχείρηση, με τη βελτίωση της ποιότητας, θα αυξήσει την ανταγωνιστικότητα της στο χώρο που δρα και βέβαια θα ενισχύσει τη θέση της στο τμήμα της αγοράς στο οποίο απευθύνονται τα προϊόντα της.

Επίσης – λόγω της συνεχούς τεχνολογικής ανάπτυξης και της πολυπλοκότητας των παραγόμενων προϊόντων – η επιχείρηση με το κόστος της ποιότητας θα μπορεί να ελέγχει συνεχώς το προϊόν που παράγει και να παρακολουθεί τις τεχνολογικές εξελίξεις. Τέλος το κόστος ποιότητας αποτελεί τη γέφυρα επικοινωνίας ανάμεσα στο εξειδικευμένο προσωπικό που έχει ως αντικείμενο του την ποιότητα και τη διοίκηση ώστε τα στελέχη της τελευταίας να κατανοούν πλήρως τον τομέα αυτό και να

λαμβάνουν τις απαραίτητες και σωστές αποφάσεις που απαιτούνται (Δερβιτσιώτης, 1993).

3.2 Είδη κόστους ποιότητας

Το κόστος ποιότητας, με τον αποφασιστικής σημασίας ρόλο που έχει, χρησιμοποιείται από τις διοικήσεις των επιχειρήσεων ως δείκτης οικονομικής απόδοσης αλλά και ως εργαλείο για τη βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων τους. Από τη συστηματικά ανάλυση του κόστους ποιότητας προκύπτει ότι συνολικό άμεσο κόστος ποιότητας είναι το άθροισμα του κόστους για την αποφυγή ελαττωματικών προϊόντων πριν από την παραγωγή και του κόστους που προκαλείται όταν παράγονται ελαττωματικά προϊόντα.

Τέσσερις είναι οι βασικές κατηγορίες κόστους ποιότητας που χρησιμοποιούν οι επιχειρήσεις : **Τα κόστη πρόληψης (prevention costs), τα κόστη αξιολόγησης (appraisal costs), τα εσωτερικά κόστη των ελαττωματικών προϊόντων (internal failure costs) και τα εξωτερικά κόστη των ελαττωματικών προϊόντων (external failure costs)** (Ταγαράς, 2001).

Τα κόστη πρόληψης (prevention costs) σχετίζονται με το σχεδιασμό και την κατασκευή του προϊόντος και προκαλούνται από τις προσπάθειες να γίνουν όλα σωστά από την πρώτη φορά ώστε να μη χαθεί πολύτιμος παραγωγικός χρόνος για βελτιώσεις ή ανακατασκευή. Τα κόστη πρόληψης περιλαμβάνουν τις εξής υποδιαίρεσεις :

- *Σχεδιασμός ποιότητας και μηχανική (quality planning and engineering).*
- *Επιθεώρηση των νέων προϊόντων (new products review).*
- *Σχεδιασμός της διαδικασίας παραγωγής του προϊόντος (product/process design).*
- *Έλεγχος της παραγωγής (process control).*
- *Τελική δοκιμή (burn – in).*
- *Εκπαίδευση (training).*
- *Απόκτηση στοιχείων ποιότητας και ανάλυσης (quality data acquisition and analysis).*

Τα κόστη αξιολόγησης (appraisal costs) εμφανίζονται στο στάδιο εκείνο όπου τα προϊόντα προωθούνται στην αγορά, ελέγχονται και αξιολογούνται ώστε να διασφαλιστεί η τήρηση των προδιαγραφών παραγωγής. Προκαλούνται δηλαδή κατά τη διαδικασία εκτίμησης της ποιότητας των προϊόντων και της τήρησης των δεδομένων της παραγωγής. Περιλαμβάνει τις ακόλουθες κατηγορίες:

- *Επιθεώρηση και εξέταση των εισερχόμενων υλικών (inspection and test of incoming material).*
- *Επιθεώρηση και εξέταση προϊόντος (product inspection and test).*
- *Η ανάλωση υλικών και υπηρεσιών (materials and services consumed).*
- *Διατήρηση της ακρίβειας στον εξοπλισμό των ελέγχων (maintaining accuracy of test equipment).*

Τα εσωτερικά κόστη ελαττωματικών προϊόντων (internal failure costs) προκαλούνται όταν τα προϊόντα ή κάποιες πρώτες ύλες ή υπηρεσίες που χρησιμοποιούνται στην παραγωγική διαδικασία δεν ικανοποιούν τις προδιαγραφές ποιότητας που έχουν τεθεί από την επιχείρηση και το πρόβλημα γίνεται αντιληπτό προτού τα προϊόντα κυκλοφορήσουν στην αγορά. Είναι προφανές ότι τα κόστη αυτά δεν εμφανίζονται όταν τα προϊόντα δεν παρουσιάζουν κανένα ελάττωμα και τηρούν τους κανόνες ποιότητας. Περιλαμβάνουν:

- *Άχρηστα προϊόντα (scrap).*
- *Εργασίες επιδιόρθωσης (rework).*
- *Νέοι έλεγχοι (retest).*
- *Οι αναλύσεις της αποτυχίας (failure analysis).*
- *Αδράνεια παραγωγής (downtime).*
- *Διαφυγόντα κέρδη (yield losses).*
- *Ο υποβιβασμός του προϊόντος (downgrading/ off – spacing).*

Τέλος **τα εξωτερικά κόστη ελαττωματικών προϊόντων (external failure costs)** προκύπτουν από τη στιγμή που τα προϊόντα προωθούνται στην αγορά και δεν ανταποκρίνονται στις προσδοκίες των καταναλωτών. Όπως βέβαια και τα κόστη της προηγούμενης κατηγορίας έτσι και αυτά δεν παρουσιάζονται όταν τα προϊόντα

τηρούν αυστηρά τις προδιαγραφές ποιότητας των επιχειρήσεων. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα εξής:

- *Η διευθέτηση των παραπόνων (complaint adjustment).*
- *Προϊόντα που επιστρέφονται (returned product / material).*
- *Ποινές για την εγγύηση (warranty charges).*
- *Κόστη δικαστικών αγώνων (liability costs).*
- *Έμμεσα κόστη (indirect costs).*

3.3 Μείωση του κόστους ποιότητας

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η χαμηλή ποιότητα των προϊόντων ή υπηρεσιών που προσφέρονται προκαλεί υψηλό κόστος ποιότητας που είναι ανεπιθύμητο για κάθε επιχείρηση λόγω των σοβαρών επιπτώσεων του τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα. Οι επιχειρήσεις λοιπόν χρησιμοποιούν διάφορες προσεγγίσεις για τη συστηματική και συνεχή μείωση του κόστους ποιότητας. Οι προσεγγίσεις αυτές έχουν ως στόχο να δημιουργήσουν σταδιακά ένα ολοκληρωμένο και αξιόπιστο πρόγραμμα για τη βελτίωση της ποιότητας.

Πρώτα απ' όλα είναι ανάγκη να δεσμευτεί η διοίκηση της επιχείρησης ότι θα καταβάλλει κάθε δυνατή προσπάθεια για τη βελτίωση των παραγόμενων προϊόντων ή υπηρεσιών της. Η δέσμευση της διοίκησης είναι πολύ σημαντική αφού αυτή αποτελεί τον πυρήνα της οργανωτικής δραστηριότητας κάθε επιχείρησης, ενώ ταυτόχρονα αποτελεί και το πρώτο βήμα για την κατάρτιση ενός πλήρους προγράμματος βελτίωσης της ποιότητας. Βέβαια απαιτείται και η πλήρης υποστήριξη των προϊσταμένων όλων των τμημάτων της επιχείρησης ώστε να τελεσφορήσει η προσπάθεια αυτή. Στη συνέχεια το προσωπικό κάθε τμήματος ενημερώνεται για τα καθήκοντα του και η παραγωγική διαδικασία ξεκινάει με βάση την πολιτική για τη βελτίωση της ποιότητας που θα ακολουθηθεί (Ταγαράς, 2001).

Επίσης, θα πρέπει να συγκροτηθεί μια ομάδα βελτίωσης της ποιότητας η οποία θα καθοδηγεί το εργατικό δυναμικό κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας και

η οποία θα ελέγχει βήμα προς βήμα το πρόγραμμα βελτίωσης που έχει καταρτιστεί. Η ομάδα αυτή θα αποτελείται από έμπειρο προσωπικό που θα διαθέτει τα ανάλογα προσόντα και ικανότητες, ενώ σημαντική και η πλήρης υποστήριξη από τη διοίκηση. Στόχος της ομάδας αυτής θα είναι η δημιουργία ενός πλάνου εργασίας που θα δείχνει όλα τα στάδια βελτίωσης της ποιότητας και τα χρονικά όρια μέσα στα οποία θα πρέπει να έχουν ολοκληρωθεί. Έτσι, το υπόλοιπο προσωπικό θα γνωρίζει κάθε στιγμή τα καθήκοντα του αλλά και η ομάδα θα είναι σε θέση να παρακολουθεί με συνέπεια και αποτελεσματικότητα την πορεία του προγράμματος βελτίωσης των προϊόντων ή υπηρεσιών (Δερβιτσιώτης, 1993).

Ένα ακόμη βήμα που μπορεί να γίνει προς τη μείωση του κόστους ποιότητας είναι η ύπαρξη συστημάτων μέτρησης του. Τα συστήματα μέτρησης του κόστους ποιότητας παίζουν πολύ σπουδαίο ρόλο διότι παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες στη διοίκηση της επιχείρησης τόσο για το ύψος του κόστους όσο και για τα προβλήματα που εμφανίζονται στα διάφορα τμήματα και προκαλούν τη δημιουργία του. Είναι απαραίτητο για την επιχείρηση να αναπτύσσει και να χρησιμοποιεί τέτοιου είδους συστήματα γιατί έτσι θα μπορεί να εντοπίζει τα προβλήματα των προϊόντων ή υπηρεσιών της και θα τα αντιμετωπίζει έγκαιρα και αποτελεσματικά, γεγονός που σημαίνει μείωση του κόστους ποιότητας και ταυτόχρονη βελτίωση της ποιότητας. Εξάλλου τα συστήματα είναι αρκετά εύχρηστα και οικονομικά οπότε δεν είναι δύσκολο στην επιχείρηση να τα ενσωματώσει στη λειτουργία της.

Το κόστος της ποιότητας μπορεί επίσης να μειωθεί με στόχους για βελτίωση της ποιότητας που θα τίθενται από κάθε τμήμα της δομής της επιχείρησης. Κάθε τμήμα δηλαδή θα θέτει τους δικούς του στόχους και θα προσπαθεί να τους υλοποιήσει μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό πλαίσιο. Η μέθοδος αυτή για τη μείωση του κόστους ποιότητας είναι πολύ πιο αποδοτική όταν οι στόχοι που επιλέγονται είναι αποτέλεσμα της συλλογικής προσπάθειας του προσωπικού κάθε τμήματος και δεν επιβάλλονται από τους προϊσταμένους τους. Για την επιλογή και την ιεράρχηση των στόχων είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν τα συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου ποιότητας που εφαρμόζει κάθε επιχείρηση. Οι στόχοι έχουν διπλό όφελος για την επιχείρηση.

Από τη μια μεριά οι εργαζόμενοι έχουν κίνητρο να δουλέψουν συστηματικά για την υλοποίηση τους αφού οι ίδιοι τους έχουν επιλέξει και θέσει ενώ διοχετεύουν

ταυτόχρονα την ενεργητικότητα και τη δημιουργικότητα τους λαμβάνοντας μεγάλη ικανοποίηση από την εργασία τους. Από την άλλη, μειώνονται σημαντικά τα σφάλματα που προκαλούν ελαττωματικά προϊόντα. Έχει γίνει δηλαδή σε όλους συνείδηση να γίνουν όλα σωστά από την πρώτη φορά και η επιχείρηση αυξάνει την ανταγωνιστικότητά της στο επιχειρησιακό περιβάλλον στο οποίο δρα (Δερβιτσιώτης, 1993).

Τέλος, εκτός από τις προσεγγίσεις που αφορούν την καλύτερη οργάνωση και την αναβάθμιση του ανθρώπινου παράγοντα στην επιχείρηση, σημαντικές βελτιώσεις για τη μείωση του κόστους ποιότητας μπορούν να γίνουν με καλύτερη τεχνολογία τόσο στην παραγωγή όσο και στον έλεγχο. Η πρόοδος της τεχνολογίας σήμερα είναι τέτοια που επιτρέπει στην επιχείρηση, με τη χρήση κατάλληλων μηχανημάτων, να ελέγχει την παραγωγική διαδικασία και να τη διακόπτει όταν αρχίζουν να παράγονται ελαττωματικά προϊόντα μέχρι να εντοπιστεί το σφάλμα και να αποκατασταθεί πλήρως. Ακόμη, η επιχείρηση μπορεί να χρησιμοποιεί πλήρως αυτοματοποιημένα συστήματα ώστε η ανθρώπινη παρέμβαση στη παραγωγή – η οποία προκαλεί και τη δημιουργία ελαττωματικών προϊόντων – να είναι μικρή και να περιορίζεται απλώς στην εποπτεία. Σημαντικό ρόλο μπορεί να παίξει και η πληροφορική σε συνδυασμό με όργανα μέτρησης τελευταίας τεχνολογίας, που θα παρέχουν άμεσα πληροφορίες για την ποιότητα καθώς και για τα προϊόντα εκείνα που δεν τηρούν τις προδιαγραφές ποιότητας που έχουν τεθεί. Η αξιοποίηση της τεχνολογίας λοιπόν από τις επιχειρήσεις μπορεί να συμβάλλει αποφασιστικά στην παρακολούθηση, τον έλεγχο αλλά και τη σταδιακή μείωση του κόστους ποιότητας (Garrity, 1993).

4. Μέθοδοι βελτίωσης της ποιότητας

4.1 Η Έννοια της Βελτίωσης της Ποιότητας

Γενικά, ως βελτίωση της ποιότητας ορίζουμε κάθε αλλαγή στο επιχειρησιακό περιβάλλον με θετικές συνέπειες, τόσο για την επιχείρηση και τις διαδικασίες της, όσο και για τον πελάτη (βελτίωση των χαρακτηριστικών ενός προϊόντος συνεπάγεται καλύτερο προϊόν και μεγαλύτερη ικανοποίηση του πελάτη).

Από τον παραπάνω ορισμό γίνονται σαφείς και οι στόχοι της βελτίωσης της ποιότητας. Αναφορικά με την επιχείρηση, στόχος είναι να βελτιωθούν οι διαδικασίες της, κύριες (παραγωγή προϊόντος) και συμπληρωματικές (αποθήκευση, μεταφορά, αγορά πρώτων υλών κτλ.) και αναφορικά με το προϊόν, στόχος είναι να βελτιωθούν τα χαρακτηριστικά του, έτσι ώστε να καλύπτουν πιο αποτελεσματικά τις ανάγκες και απαιτήσεις των πελατών. Παραδείγματα τέτοιων βελτιώσεων ποιότητας μπορεί να είναι τα εξής:

- Η μείωση του κόστους παραγωγής,
- Η αύξηση της παραγωγικότητας,
- Η μείωση των ελαττωματικών προϊόντων, δηλαδή προϊόντων που δεν καλύπτουν κάποιες απαραίτητες προδιαγραφές,
- Η μείωση των παραπόνων από τους πελάτες, που είναι κατά κάποιον τρόπο αντίστοιχο του προηγούμενου,
- Η βελτίωση των συνθηκών εργασίας των εργαζομένων με συνέπειες όπως τη μείωση των ατυχημάτων και τη μείωση των αδικαιολόγητων απουσιών,
- Η όσο το δυνατόν πιο άμεση εξυπηρέτηση του πελάτη.

4.2 Είδη Βελτιώσεων

Στη σύγχρονη εποχή, διακρίνονται δύο είδη βελτιώσεων, οι καινοτομίες και οι συνεχείς βελτιώσεις ποιότητας ή διαφορετικά KAIZEN.

Η βελτίωση με καινοτομίες αναπτύχθηκε και είναι διαδεδομένη στις δυτικές χώρες και ιδιαίτερα στις Η.Π.Α. Το είδος αυτό περιλαμβάνει απότομες και δραστικές μεταβολές στις διαδικασίες της επιχείρησης και στη βελτίωση της ποιότητας του προϊόντος. Περαιτέρω διάκριση αυτών των καινοτομιών μπορεί να είναι η εξής:

- Τεχνολογικές μεταβολές, δηλαδή αλλαγές που έχουν σχέση με τη διαδικασία της παραγωγής του προϊόντος.
- Μεταβολές στη δομή, που περιλαμβάνει αλλαγές στη διοίκηση. Πιο συγκεκριμένα, η κατηγορία αυτή μπορεί να περιλαμβάνει αλλαγές στις ανώτερες θέσεις της διοίκησης, αλλαγές στον τρόπο διοίκησης και τέλος, καθορισμό νέων στόχων.
- Μεταβολές σε προϊόντα, που περιλαμβάνουν αλλαγές στην ποιότητα, στη μορφή του προϊόντος, αλλά και στη διαδικασία παροχής υπηρεσιών, εφόσον το προϊόν είναι μία υπηρεσία.
- Μεταβολές στην νοοτροπία του ανθρώπινου δυναμικού της επιχείρησης. Οι αλλαγές αυτές περιλαμβάνουν αλλαγές στην κουλτούρα, στον τρόπο συμπεριφοράς, ακόμα και στις αξίες που έχουν οι εργαζόμενοι.

Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν οι συνεχείς βελτιώσεις ποιότητας, γνωστές και με τον τίτλο KAIZEN. Αυτό το είδος αναπτύχθηκε από Ιάπωνες και αποτελεί τον κατεξοχήν τρόπο βελτίωσης της ποιότητας των ιαπωνικών επιχειρήσεων.

Η φιλοσοφία της συνεχούς βελτίωσης υλοποιείται μέσα από μία σειρά στόχων. Βασικότερος στόχος είναι η μείωση του κόστους παραγωγής που μπορεί να γίνει σταδιακά μέσω του εντοπισμού και της απομάκρυνσης ορισμένων περιττών στοιχείων στα πλαίσια της παραγωγικής διαδικασίας. Παραδείγματα τέτοιων περιττών στοιχείων είναι οι ανούσιες επιθεωρήσεις εργατών, η παραγωγή

ελαττωματικών προϊόντων, η άσκοπη μεταφορά εργατών και υλικού από τη μία παραγωγική μονάδα στην άλλη.

Άλλος στόχος είναι η αύξηση της παραγωγικότητας, η οποία γίνεται με συνεχή έλεγχο και χρονομέτρηση της παραγωγικής διαδικασίας και στη συνέχεια με συζήτηση και λήψη μέτρων για το στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας που αργούσε να εκτελεστεί. Επίσης, η βελτίωση του ηθικού των εργαζομένων, το οποίο επιτυγχάνεται σταδιακά με την απελευθέρωση των εργατών και την ανάληψη από αυτούς πρωτοβουλιών που παλαιότερα αποτελούσε προνόμιο των διοικητικών στελεχών (Δερβιτσιώτης, 1993).

5. Συστήματα διασφάλισης της ποιότητας και ολική ποιότητα

Σήμερα, ίσως περισσότερο από κάθε άλλη περίοδο στο παρελθόν, η ποιότητα έχει αναδειχθεί ως η ουσιώδης προϋπόθεση επιβίωσης των προϊόντων και των υπηρεσιών, κάτω από τους όρους ενός ανελέητου και εξοντωτικού ανταγωνισμού, που έχει πια ξεφύγει από τα όρια των εθνικών αγορών. Αυτή η διαπίστωση είναι πλέον κατανοητή σε κάθε αγορά και από κάθε παραγωγό και πελάτη.

Έτσι, στις συνθήκες ενός διεθνοποιημένου εμπορίου, η παραγωγή, ο ανταγωνισμός, η ανάπτυξη, παύουν πλέον να εξαρτώνται αποκλείστηκα από το κόστος, καθώς νέες παράμετροι καθορίζουν σήμερα το βαθμό εμπορικής επιτυχίας ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας. Η ποιότητα η καινοτομία ο χρόνος πρόσβασης, η ορθολογική εκμετάλλευση των πόρων, συνθέτουν τα νέα κριτήρια, βάσει των οποίων ο καταναλωτής επιλέγει ή απορρίπτει προϊόντα και υπηρεσίες.

Με τα δεδομένα αυτά, η εισαγωγή συστημάτων διασφάλισης ποιότητας είναι ανατρεπτική για την καταστημένη νοοτροπία της παραγωγικής διαδικασίας σε οποιαδήποτε επιχείρηση ή σύστημα. Καθίσταται αδήριτη αναγκαιότητα, όχι τόσο εξαιτίας της συμμόρφωσης προς θεσμικές ρυθμίσεις, όσο γιατί η απελευθέρωση του παγκόσμιου εμπορίου και οι απαιτήσεις που απορρέουν από αυτήν διαμορφώνουν νέα σύνορα, τα σύνορα ποιότητας για τα προϊόντα που διακινούνται.

Προκειμένου να μην δημιουργούνται προβλήματα στην αγορά των προϊόντων και υπηρεσιών, αλλά και στην προστασία των καταναλωτών- πολιτών, επιβάλλεται να υπάρχουν σαφώς καθορισμένα, διαπιστωμένα και κοινώς αποδεκτά κριτήρια τα οποία συγκροτούν ένα ολοκληρωμένο σύστημα, με βάση το οποίο θα πιστοποιείται η ποιότητα. Αυτό το γεγονός αποτέλεσε και έναν από τους βασικούς στόχους ίδρυσης της ευρωπαϊκής κοινότητας, η οποία θεσμοθέτησε ενιαίες μεθόδους πιστοποίησης προϊόντων και υπηρεσιών που προσφέρονται στην ευρωπαϊκή ένωση σήμερα και που εξάγονται από αυτήν.

Είναι σαφές ότι η πιστοποιημένη ποιότητα προϊόντων και υπηρεσιών είναι δικαίωμα αλλά και υποχρέωση κάθε επιχείρησης που επιθυμεί να ακολουθήσει τις σύγχρονες τάσεις της ενιαίας αγοράς και να εισέλθει στο διεθνές παιχνίδι του γόνιμου ανταγωνισμού. οι καταναλωτές από την πλευρά τους εύλογα απαιτούν την πιστοποιημένη και σταθερή ποιότητα των προϊόντων και των υπηρεσιών που τους προσφέρονται, ενώ υποχρέωση τους είναι να κάνουν την ποιότητα βασική αρχή στην καθημερινή ζωή τους (Δερβιτσιώτης, 1993).

5.1 Πιστοποιητικά ISO

(International Organization for Standardization)

Η ποιότητα είναι μια συνεχής διαδικασία. Θα πρέπει να έχει διάρκεια και συνεχεία. Δεν είναι κάτι που εφαρμόζεται εφάπαξ, ούτε πρόκειται για ένα κενό γράμμα που στηρίζεται σε ορισμένες γραφειοκρατικές διαδικασίες. Η ίδια η ποιότητα και τα συστήματα που την διασφαλίζουν είναι σχεδιασμένα ώστε να επηρεάζει όλες τις λειτουργίες της επιχείρησης προωθώντας τη συνεχή βελτίωση που οδηγεί στην πλήρη ικανοποίηση του πελάτη.

Στην πορεία προς την ολική ποιότητα μια εταιρία πρέπει να περάσει από μεταβατικά σταδία, ξεκινώντας εφαρμόζοντας κάποιο σύστημα έλεγχου ποιότητας, στη συνέχεια να το αναβαθμίσει εφαρμόζοντας κάποιο σύστημα διασφάλισης ποιότητας και, τέλος, να εισέλθει στο στάδιο της Ολικής Ποιότητας, το οποίο αποτελεί και τον τελικό στόχο. Για την πιστοποίηση αυτού του Συστήματος Διασφάλισης Ποιότητας υπάρχουν τα διεθνή πρότυπα ISO. Τα πιστοποιητικά ISO αναφέρονται στην αξιολόγηση της συμμόρφωσης του Συστήματος Διασφάλισης Ποιότητας μιας επιχείρησης σύμφωνα με τις απαιτήσεις που περιλαμβάνονται σε ένα από τα τρία πρότυπα της σειράς, που χρησιμοποιούνται για σκοπούς πιστοποίησης Συστημάτων Διασφάλισης Ποιότητας (Δερβιτσιώτης, 1993).

5.1.1 Δομή της σειράς προτύπων 9000

Από τα διάφορα πρότυπα που κατά καιρούς έχουν κυκλοφορήσει και περιγράφουν τη δομή ενός Συστήματος Ποιότητας, το επικρατέστερο όλων σήμερα είναι τα πρότυπα της σειράς ISO 9000, που εκδόθηκαν για πρώτη φορά το 1987 προερχόμενα από το βρετανικό BS 5750 και αναθεωρήθηκαν το 1994. σήμερα κυκλοφορεί η πιο πρόσφατη έκδοσή τους, αυτή της σειράς ISO 9000:2000 (γνωστή και ως VISION 2000). Τα πρότυπα αυτά επιτρέπουν μια πιο πλούσια αλλά ενίοτε και πιο επίπονη προσέγγιση στη Διαχείριση της Ποιότητας. Αρχικά δημιουργήθηκαν για να καλύψουν τις ανάγκες για την διασφάλιση της ποιότητας σε συγκεκριμένους τομείς όπως η αεροδιαστημική, η αεροναυπηγική και η άμυνα. Σήμερα κυριαρχούν στον ιδιωτικό αλλά και στον δημόσιο τομέα. Τα νέα πρότυπα της σειράς ISO9000:2000 είναι:

ISO 9000:2000	Συστήματα Διαχείρισης της Ποιότητας – Θεμελιώδεις αρχές και λεξιλόγιο.
ISO 9001:2000	Συστήματα διαχείρισης της ποιότητας – Απαιτήσεις.
ISO 9004:2000	Συστήματα διαχείρισης της ποιότητας – Κατευθυντήριες οδηγίες για βελτίωση της επίδοσης.

Η ευρύτατη αποδοχή τους είναι απόδειξη μιας σημαντικότητας αλλαγής: στο πλαίσιο της παγκοσμιοποίησης της αγοράς, τα πρότυπα της σειράς ISO 9000:2000 αντιπροσωπεύουν σήμερα μια γλώσσα κοινή σε ολόκληρο τον κόσμο μια γλώσσα που εκφράζει τον επιχειρησιακό πολιτισμό (VISION, 2000).

5.1.2 Αρχές του συστήματος ποιότητας κατά ISO 9000

Μια επιχείρηση η οποία θέλει να πιστοποιηθεί με τα πρότυπα της σειράς ISO 9000, θα πρέπει να ακολουθήσει τα παρακάτω βήματα :

- Απόφαση της διοίκησης.
- Δημιουργία ομάδας εργασίας.
- Εξέταση της υπάρχουσας κατάστασης σε σχέση με τα ISO 9000.
- Επισήμανση διάφορων και εκπόνηση προγράμματος ενεργειών.
- Αναθεώρηση ή δημιουργία διαδικασιών.
- Δημιουργία εγχειριδίου διασφάλισης ποιότητας.
- Επιλογή φορέα πιστοποίησης.
- Υποβολή του εγχειριδίου στο φορέα πιστοποίησης για έγκριση.
- Αξιολόγηση της εφαρμογής.
- Πιστοποίηση.

5.2 ISO 9000 Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα \ δυσκολίες εφαρμογής

Η σειρά ISO 9000 είναι ένα είδος προτύπου – προδιαγραφής. Έτσι έχει τόσο τα πλεονεκτήματα όσο και τα μειονεκτήματα που γενικά έχουν τα εγχειρίδια προδιαγραφών.

Τα πλεονεκτήματα που θα έχει η εφαρμογή της σειράς αυτής σε μία επιχείρηση, χωρίζονται σε εσωτερικά και εξωτερικά και μερικά από αυτά παραθέτονται παρακάτω (Δερβιτσιώτης, 1993).

Εσωτερικά πλεονεκτήματα:

- Είναι μια καινούργια μέθοδος διοίκησης επιχειρήσεων με την οποία βελτιώνεται η ανταγωνιστικότητα χωρίς να χρειάζεται να γίνουν προσθετές επενδύσεις στον τεχνολογικό εξοπλισμό.
- Η ευαισθησία του προσωπικού σε θέματα ποιότητας αυξάνεται.

- Οι σχέσεις μεταξύ των διαφορετικών τμημάτων βελτιώνονται με την αποσαφήνιση των αόριστων διατμηματικών καθηκόντων και ευθυνών.
- Η συστηματική προσέγγιση στις εργασιακές λειτουργίες και η επαρκώς καθορισμένη και εκσυγχρονισμένη σύνδεση των διαφόρων λειτουργιών έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγικότητας των εργαζομένων.
- Εμφανίζεται μείωση της αστάθειας και βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων ή των υπηρεσιών. Όταν τυποποιούνται οι διαδικασίες παραγωγής είναι επόμενο να τυποποιούνται και τα προϊόντα που αυτές παράγουν.
- Εμφανίζεται σαφής μείωση των ελαττωματικών, των επανακατεργασιών και των επισκευών.
- Η εφαρμογή της σειράς ISO 9000 είναι το ορθολογικότερο και σταθερότερο υπόβαθρο για κάθε επιχείρηση που έχει σαν στόχο να προχωρήσει στην ανάπτυξη ενός συστήματος Ολικού Ποιοτικού Έλεγχου.

Εξωτερικά πλεονεκτήματα:

- Παρέχει ικανοποίηση της ζήτησης ή πίεσης της αγοράς.
- Η σταθερή ποιότητα δημιουργεί ικανοποιημένους και έλκει νέους πελάτες.
- Προσφέρει ισχυρό ανταγωνιστικό πλεονέκτημα
- Βελτιώνει την αξιοπιστία, την φήμη και την εμπιστοσύνη στα προϊόντα της επιχείρησης.
- Ελαχιστοποιεί ή εξαλείφει τις απορρίψεις των προϊόντων της από τους πελάτες.
- Υποστηρίζει και διευκολύνει τις εξαγωγές όπου αυτές υπάρχουν και βοηθά γενικά στη διεισδύσει σε νέες αγορές και σε αύξηση του μεριδίου της αγοράς.

Μειονεκτήματα \ Δυσκολίες:

- Απαιτείται εκτεταμένη επένδυση σε διαρκή προγράμματα εκπαίδευσης των εργαζομένων στη εφαρμογή τέτοιων συστημάτων.
- Δημιουργεί υπερβολική γραφειοκρατία.
- Απαιτεί σημαντικές επενδύσεις και κατανάλωση πολλών ανθρωποωρών στην προετοιμασία για την πιστοποίηση.
- Δεν εγγυάται βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων ή των υπηρεσιών.

- Προκαλεί αντίδραση των στελεχών και των εργαζομένων στις απότομες αλλαγές
- Παρουσιάζονται σημαντικές δυσκολίες στην αλλαγή νοοτροπίας των υπευθύνων της επιχείρησης σε διάφορα ζωτικά θέματα, όπως η μετάβαση από τον φθηνότερο στον καλύτερο ή καταλληλότερο προμηθευτή.

Από όσα αναφέρθηκαν παραπάνω γίνεται φανερό πόσο σημαντικό είναι για μια επιχείρηση να υιοθετήσει και να εφαρμόσει ένα σύστημα διασφάλισης ποιότητας. Για να βοηθηθούν οι επιχειρήσεις που αποφασίζουν να διασφαλίσουν την ποιότητα της παραγωγικής τους διαδικασίας αλλά και για να υπάρξει διεθνώς μια κοινή γλώσσα πάνω στο θέμα αυτό δημιουργήθηκαν από τον διεθνή οργανισμό τυποποίησης (ISO International Standards Organization) ειδικές σειρές προτύπων σύμφωνα με τις απαιτήσεις των οποίων γίνεται η πιστοποίηση των επιχειρήσεων.

Σήμερα όλο και περισσότεροι πελάτες των διαφόρων επιχειρήσεων, είτε ανήκουν στον ιδιωτικό είτε στο δημόσιο τομέα, ζητούν από αυτές ή τις παροτρύνουν να εφαρμόσουν συστήματα ποιότητας και ακολούθως να αποκτήσουν το σχετικό πιστοποιητικό. Στην πορεία προς την ολική ποιότητα, μια εταιρία πρέπει να περάσει από μεταβατικά στάδια. Ξεκινώντας μπορεί να εφαρμόσει κάποιο σύστημα έλεγχου ποιότητας στη συνέχεια να το αναβαθμίσει εφαρμόζοντας κάποιο σύστημα διασφάλισης ποιότητας και τέλος να εισέλθει στο στάδιο της ολικής ποιότητας, το οποίο αποτελεί και τον τελικό στόχο της επιχείρησης (Δερβιτσιώτης, 1993).

5.3 Διοίκηση Ολικής ποιότητας

Η Διοίκηση Ολικής Ποιότητας (ΔΟΠ) είναι ένας νέος τρόπος διοίκησης με βάση την οποία επιδιώκεται η καλύτερη δυνατή ικανοποίηση των απαιτήσεων των πελατών. Η έννοια του πελάτη σε αυτή τη νέα φιλοσοφία διευρύνεται και καλύπτει τόσο τους εξωτερικούς πελάτες (καταναλωτές), όσο και τους εσωτερικούς (εργαζομένους).

5.3.1 Λόγοι για την υιοθέτηση της Δ.Ο.Π

Η ανάγκη υιοθέτησης της διοίκησης ολικής ποιότητας δημιουργήθηκε από τους ακόλουθους λόγους (Δερβιτσιώτης, 1993) :

- Ο διεθνής ανταγωνισμός σε μία κορεσμένη παγκόσμια αγορά.
- Η απώλεια πωλήσεων από την έλλειψη ποιότητας.
- Η αδυναμία των υπαρχουσών προσεγγίσεων για την ποιότητα να οδηγήσουν στη βελτίωση της.

5.3.2 Αρχές της διοίκησης ολικής ποιότητας

Η αποτελεσματική εφαρμογή διοίκησης ολικής ποιότητας σε κάθε δραστηριότητα μέσα και έξω από την επιχείρηση απαιτεί την αποδοχή και τήρηση ορισμένων αρχών (Δερβιτσιώτης, 1993):

Εστίαση στον πελάτη : Μια βασική έννοια στη ΔΟΠ είναι ο πελάτης. Είναι προφανές ότι η παραγωγή κάποιου προϊόντος γίνεται για τη κάλυψη συγκεκριμένων αναγκών. Οι βασικότεροι πελάτες για μια επιχείρηση είναι οι καταναλωτές. Η προσωπική σχέση με τους πελάτες δεν συνίσταται απλά στην παροχή των προϊόντων προς αυτούς αλλά και με τη πλήρη ικανοποίηση των απαιτήσεων τους. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό η επιχείρηση να δημιουργήσει ένα σύστημα για τη μέτρηση της ικανοποίησης των πελατών με τη διεξαγωγή ερευνών αγοράς.

Συνεχής βελτίωση : Με τη νέα προσέγγιση της διοίκησης υιοθετείται η αρχή ότι η ποιότητα θα πρέπει να έχει την πρώτη προτεραιότητα. Αποτέλεσμα αυτής της αντίληψης είναι η προσπάθεια για συνεχή βελτίωση. Η βελτίωση θα προκύψει τόσο από την εξέλιξη των τεχνικών που χρησιμοποιούνται στη παραγωγή όσο και από τη μεγαλύτερη αξιοποίηση του ανθρώπινου δυναμικού της επιχείρησης.

Λήψη αποφάσεων με αντικειμενικά στοιχεία : Προϋπόθεση για τη βελτίωση κάθε διαδικασίας είναι η καταγραφή της. Για τη καταγραφή χρησιμοποιούνται στατιστικά εργαλεία που μετρούν κρίσιμα χαρακτηριστικά ποιότητας. Η επιτυχημένη αξιολόγηση των συμπερασμάτων από τη ανώτατη διοίκηση θα διευκολύνει τη λήψη αποφάσεων που θα επιλύουν προβλήματα όταν και όπου υπάρχουν.

Ενθάρρυνση του προσωπικού : Οι εργαζόμενοι θα πρέπει να ενθαρρυνθούν ώστε να λαμβάνουν ενεργά μέρος στο σχεδιασμό διαδικασιών και στα θέματα πολιτικής της επιχείρησης που τους αφορούν.

Δημιουργία διατμηματικών ομάδων : Θα πρέπει να καλλιεργηθεί η αντίληψη ότι το κλειδί για την επιτυχία είναι η συνεργασία. Η δημιουργία μεικτών ομάδων στις οποίες εκπροσωπούνται όλα τα τμήματα της εταιρίας, ακόμα και οι προμηθευτές, συμβάλλει στην αντιμετώπιση των δυσκολιών.

ΜΕΡΟΣ Β΄

ON-LINE ΑΝΑΛΥΤΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ (ON-LINE QUALITY ANALYZERS)

- 1. Εισαγωγή**
- 2. Τύποι on line αναλυτών**
- 3. Επιλογή και εγκατάσταση on-line αναλυτών**
- 4. Ακρίβεια και πηγές σφαλμάτων μέτρησης αναλυτών**
- 5. Συσχέτιση μετρήσεων των on-line αναλυτών με εργαστηριακές μετρήσεις**
- 6. Διαδικασία εκτίμησης της απόδοσης ενός on-line αναλυτή**

1. Εισαγωγή

Για όλο και περισσότερους μηχανικούς, σήμερα περισσότερο από ποτέ, η έρευνα, η επιλογή, η αγορά, η εγκατάσταση και η διατήρηση on-line αναλυτικών οργάνων αποτελεί ένα μεγάλο μέρος των εργασιών τους. Η on-line ανάλυση σύνθεσης του άνθρακα αποτελεί μια καλή λύση στο πώς μπορεί κανείς να βελτιώσει την ποιότητα των προϊόντων, να αυξήσει την παραγωγικότητα, με χαμηλότερο κόστος και να πληροί τις όλο και περισσότερο αυστηρές περιβαλλοντικές προδιαγραφές. Για να υπερνικηθούν οι χαρακτηριστικές καθυστερήσεις της τυπικής εργαστηριακής ανάλυσης, οι συνεχείς, τεχνικές on-line παρακολούθησης και ελέγχου είναι κάτω από συνεχή ανάπτυξη.

Η εγκατάσταση των on-line αναλυτών απαιτεί πολύ διορατικότητα και προγραμματισμό. Οι συσκευές on-line ανάλυσης εξελίσσονται και γίνονται αποτελεσματικότερες μέσα από συνεχή έρευνα. Η εμπειρία έχει δείξει ότι η επιτυχία των προγραμμάτων on-line ανάλυσης εξαρτάται από κατάλληλη εκτέλεση των παρακάτω πέντε φάσεων:

- α) επιλογή του οργάνου
- β) ανάπτυξη της εφαρμογής
- γ) εγκατάσταση του οργάνου
- δ) αξιολόγηση του οργάνου
- ε) παροχή μακροπρόθεσμης υποστήριξης

Η επιλογή, η αγορά, η εγκατάσταση και η διατήρηση ενός on-line συστήματος ανάλυσης απαιτεί τη συγκέντρωση πολλών στοιχείων και γνώσεων. Δεν είναι αρκετό ο on-line αναλυτής να είναι "ειδικός" μόνο στη χημική ανάλυση ή μόνο στο λογισμικό ή στα υλικά που αναλύονται, μια γενική κατανόηση όλων των προβλημάτων και παραμέτρων θα τον κάνει αποτελεσματικό. Πολλά άτομα διαφόρων επιστημονικών πεδίων μπορούν να βοηθήσουν στη γενική ανάπτυξη του προγράμματος.

Είναι σημαντικό να γίνουν κατανοητές οι σχέσεις που υπάρχουν μεταξύ των αποτελεσμάτων που επιτυγχάνονται από μια on-line συσκευή ανάλυσης και εκείνων που επιτυγχάνονται από τα εργαστήρια χρησιμοποιώντας τις αναγνωρισμένες πρότυπες τεχνικές. Οι on-line αναλυτές κοιτάζουν άμεσα στο ακατέργαστο υλικό (π.χ. άνθρακα), συχνά χωρίς την ανάγκη της δειγματοληψίας, τα μεγαλύτερα δείγματα αναλύονται και τα αποτελέσματα είναι πιθανόν να είναι αντιπροσωπευτικότερα. Για τις τυπικές δοκιμές το δείγμα που αναλύεται τελικά μπορεί να είναι λιγότερο από 1g. Τα εργαστήρια αναλύουν τα δείγματα που συλλέγονται κατά τη διάρκεια του χρόνου, σύμφωνα με τις πρότυπες μεθόδους. Οι διαδικασίες δειγματοληψίας είναι υπαγόμενες σε διάφορες μεθόδους ενώ μερικές από τις εργαστηριακές τεχνικές, όπως η παραγωγή τέφρας παραδείγματος χάριν, οδηγούν απαραίτητως στην τροποποίηση της σύνθεσης πριν από την ανάλυση (καταστρεπτική δοκιμή). Κάθε ένα από τα τρία βασικά βήματα που περιλαμβάνονται στην εργαστηριακή ανάλυση, δηλ. δειγματοληψία, προετοιμασία και η εργαστηριακή δοκιμή δειγμάτων, εξαρτάται άμεσα από τον τύπο του υλικού προς εξέταση. Η βαθμολόγηση συσκευών ανάλυσης μπορεί να ακυρωθεί εάν το όργανο χρησιμοποιείται για νέο και διαφορετικό τύπο υλικού (π.χ. είδος άνθρακα) για το οποίο οι σχετικοί συσχετισμοί βρίσκονται έξω από τη σειρά που καλύπτεται από τις ήδη υπάρχουσες βαθμολογήσεις. Μια κατανόηση των πηγών, που συμβάλλουν στα σφάλματα της μέτρησης της συσκευής ανάλυσης και οποιουδήποτε συστήματος ανάλυσης με το οποίο συγκρίνεται, είναι απαραίτητη για το κατάλληλο σχέδιο των δοκιμών και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

Αντίθετα από πολλούς τύπους κύριου εξοπλισμού, οι on-line συσκευές ανάλυσης απαιτούν σημαντική προσπάθεια να αποδείξουν ότι εκτελούν το έργο τους στα επίπεδα που υπόσχονται από τον κατασκευαστή. Η διαδικασία της δοκιμής απόδοσης είναι επίπονη και χρονοβόρος, αλλά είναι ζωτικής σημασίας και απαραίτητο μέρος οποιασδήποτε on-line πιστοποίησης λειτουργικής ικανότητας συσκευών ανάλυσης. Είναι σημαντικό για μας να βεβαιωθούμε ότι οι απαιτήσεις είναι ρεαλιστικές, ότι έχουμε μια σαφή κατανόηση το πώς αυτό θα επιτευχθεί (Μιχαηλίδης, 1999).

2. Τύποι on line αναλυτών

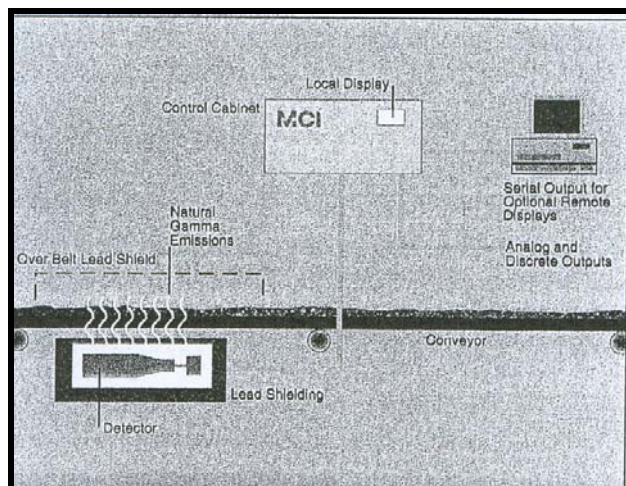
Στη συνέχεια παραθέτονται τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά των κυριοτέρων και πλέον διαδεδομένων on-line αναλυτών, με έμφαση στα χαρακτηριστικά εκείνα που θεωρούνται κρίσιμα για την επιλογή του καταλληλότερου συστήματος για τα ορυχεία γαιάνθρακα

2.1 Συστήματα μέτρησης της περιεκτικότητας σε τέφρα

On-line αναλυτές μέτρησης της φυσικής ραδιενέργειας

Τα απλούστερα on-line συστήματα παρακολούθησης της περιεκτικότητας του γαιάνθρακα σε τέφρα βασίζονται στη μέτρηση της φυσικής ραδιενέργειας ακτινών γ που εκπέμπονται από το ουράνιο, το θόριο και το κάλλιο που περιέχονται στο γαιάνθρακα (natural γ-radiation). Τα στοιχεία αυτά συναντούνται σε όλα τα πετρώματα σε διαφορετικές, όμως, ποσότητες, ανάλογα με τη γεωλογική τους ιστορία και την ορυκτολογική τους σύσταση. Άργιλοι και σχιστόλιθοι εκπέμπουν συνήθως περισσότερη ραδιενέργεια σε σχέση με τους ψαμμίτες και τους ασβεστόλιθους, ενώ οι γαιάνθρακες εκπέμπουν πολύ λίγη (Παυλουδάκης, 2001).

Οι αναλυτές που μετρούν τη φυσική ραδιενέργεια εκμεταλλεύονται το γεγονός της αυξημένης περιεκτικότητας σε ραδιενέργεια της ανόργανης ύλης που περιέχεται στο γαιάνθρακα σε σύγκριση με τη ραδιενέργεια που περιέχεται στην οργανική ύλη του. Για το λόγο αυτό, η καταγραφή της εκπεμπόμενης ραδιενέργειας από κατάλληλο δέκτη, όταν συνδυαστεί με την καταγραφή της μεταφερόμενης μάζας γαιάνθρακα, είναι δυνατό να δώσει μία σχετικά ακριβή εκτίμηση της περιεκτικότητας σε τέφρα. Η ακρίβεια αυτή είναι της τάξης του 1% για το λειοτριβιμμένο καύσιμο και του 2-3% για τον γαιάνθρακα στη μορφή που εξέρχεται από το ορυχείο (run-of-mine).



Σχήμα 2.1 Διάταξη του δέκτη ραδιενεργούς ακτινοβολίας και του βοηθητικού εξοπλισμού που περιλαμβάνει ένα σύστημα μέτρησης της φυσικής ραδιενέργειας των γαιανθράκων (MCI-Mineral Control Instrumentation Pty Ltd)

Τα συστήματα μέτρησης της φυσικής ραδιενέργειας αποτελούνται από τον κύριο δέκτη, τον δέκτη της ακτινοβολίας του υποβάθρου (background radiation) και ένα ταινιοζυγό, ο οποίος μπορεί και να υφίσταται ήδη σε μία εγκατάσταση (Σχήμα 2.1). Ο κύριος δέκτης αποτελείται από ένα κρύσταλλο ιωδιούχου κεσίου, με πρόσμιξη θαλίου, και ένα φωτοπολλαπλασιαστή, τα οποία είναι τοποθετημένα εντός ενός καλύμματος με επίστρωση μολύβδου ώστε να μην δέχονται ακτινοβολία από άλλες φυσικές πηγές πλην του εξεταζόμενου γαιάνθρακα. Αξίζει σε αυτό το σημείο να αναφερθεί ότι η ραδιενεργός ακτινοβολία της ατμόσφαιρας λόγω της διάσπασης των θυγατρικών στοιχείων του ραδονίου και θορίου μπορεί να μεταβληθεί σημαντικά με την αλλαγή των μετεωρολογικών συνθηκών. Όσον αφορά την εξίσωση που δίνει την περιεκτικότητα του γαιάνθρακα σε τέφρα, αυτή έχει την ακόλουθη μορφή (Παυλουδάκης, 2001):

$$A = a_1M + a_2C_n + a_3MC_n$$

όπου: A, η περιεκτικότητα σε τέφρα, ,

a_i , σταθερές βαθμονόμησης του αναλυτή,

M, το ολικό φορτίο μάζας,

C_n , ο αριθμός των σπινθηρισμών που καταγράφηκαν (αφού αφαιρεθούν οι σπινθηρισμοί της ακτινοβολίας του υποβάθρου).

Τα συστήματα μέτρησης της φυσικής ραδιενέργειας δεν είναι κατά κανόνα τόσο ακριβή όσο συστήματα άλλων τύπων, πλεονεκτούν όμως ως προς το κόστος, την απουσία εξωτερικής πηγής ραδιενεργού ακτινοβολίας και τις μικρές απαιτήσεις υποστήριξης από ηλεκτρονικά βοηθητικά συστήματα (Sicora, 1999).

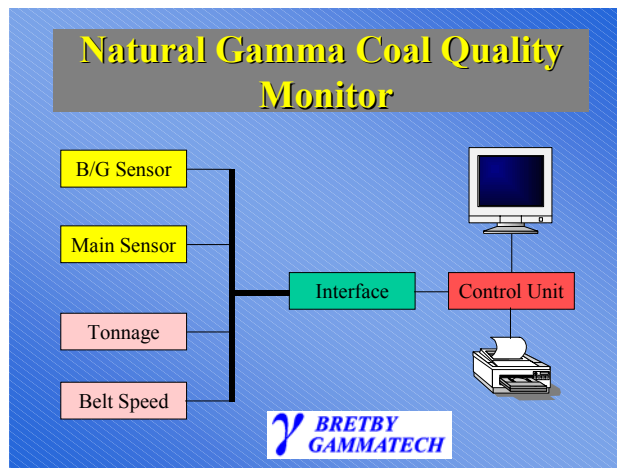
Τα σφάλματα που επηρεάζουν τα συστήματα μέτρησης της φυσικής ραδιενέργειας προέρχονται από τις ακόλουθες πηγές (Παυλουδάκης, 2001):

- την ύπαρξη ταινιοζυγού χαμηλής ακρίβειας: σφάλματα της τάξης του 10% στην καταγραφή της μεταφερόμενης ποσότητας γαιάνθρακα οδηγούν σε σφάλματα 1-2% στη μέτρηση της περιεκτικότητας του γαιάνθρακα σε τέφρα,
- την ανομοιογενή διαστρωμάτωση των υλικών πάνω στη μεταφορική ταινία,
- την ύπαρξη μεγάλων τεμαχίων γαιάνθρακα (το ιδανικό εύρος κοκκομετρίας είναι μεταξύ 0-75mm, ενώ εύρος κοκκομετρίας 0-300mm θεωρείται επίσης αποδεκτό),
- την μείωση του ρυθμού μεταφοράς γαιάνθρακα κάτω από ένα όριο 25kg/m σε ταινίες πλάτους 1000mm ή 40kg/m σε ταινίες πλάτους 2000mm.

Ωστόσο στην πράξη οι αναλυτές αυτού του τύπου φαίνεται να επηρεάζονται ελάχιστα από τις διακυμάνσεις της περιεκτικότητας σε σίδηρο. Οι ιδανικές συνθήκες για την εγκατάσταση αναλυτών μέτρησης της φυσικής ραδιενέργειας των γαιανθράκων συνοψίζονται παρακάτω (Παυλουδάκης, 2001):

- περιεκτικότητα του γαιάνθρακα σε τέφρα μεγαλύτερη από 10%,
- φόρτιση της μεταφορικής ταινίας με ρυθμό μεγαλύτερο από 25kg/m,
- ομοιογενής διαστρωμάτωση των υλικών πάνω στη μεταφορική ταινία,
- ύπαρξη περιορισμένων ποσοτήτων ψαμμίτη στην ανόργανη ύλη του γαιάνθρακα,
- ύπαρξη ταινιοζυγού με ακρίβεια 1% και με ικανότητα μέτρησης τόσο της μεταφερόμενης μάζας, όσο και της ταχύτητας κίνησης της ταινίας, τοποθετημένου σε απόσταση 200m από το σημείο τοποθέτησης του αναλυτή,

- ύπαρξη χώρου μήκους 3m, κατά μήκος της μεταφορικής ταινίας, για την τοποθέτηση του αναλυτή, και
- τοποθέτηση του σημείου ελέγχου και διαχείρισης της ποιότητας του γαιάνθρακα σε απόσταση μικρότερη από 1.5km.



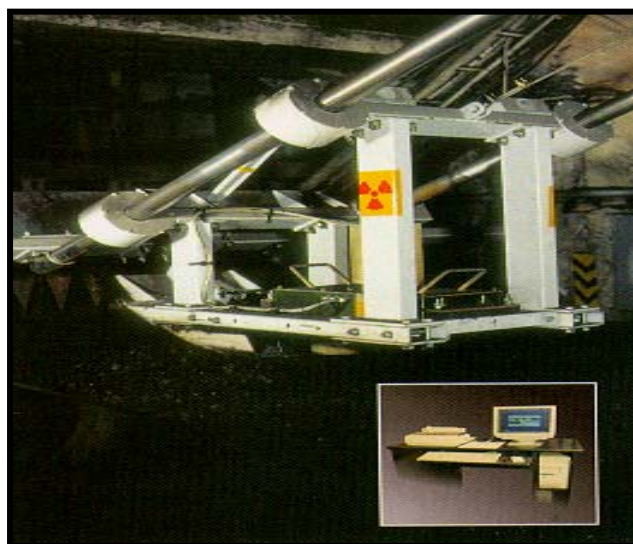
Σχήμα 2.2 Διάγραμμα λειτουργίας NGCQM αναλυτή (Bretby Gammatech Ltd, 1999).

Περίπου 40 on-line αναλυτές μέτρησης της φυσικής ραδιενέργειας είχαν εγκατασταθεί μέχρι το 1994 σε ορυχεία του Ηνωμένου Βασιλείου, είτε για την παρακολούθηση της ποιότητας του γαιάνθρακα που εξέρχεται από το ορυχείο (run-of-mine), είτε για την παρακολούθηση της ποιότητας του ομογενοποιημένου καυσίμου. Αρκετά συστήματα του ίδιου τύπου είναι επίσης εγκατεστημένα σε ορυχεία φαιάνθρακα της Αυστραλίας και της Πολωνίας (Sikora et al., 1999).

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι έχουν αναπτυχθεί ειδικοί φορητοί αναλυτές (Ash probes) που καταγράφουν τη φυσική ραδιενέργεια γαιανθράκων που έχουν αποτεθεί σε σωρούς (Εικόνες 4.1,2). Στην πράξη και κάτω από δυσμενείς συνθήκες λειτουργίας έχει αποδειχτεί ότι αναλυτές αυτού του τύπου μετρούν την περιεκτικότητα σε τέφρα με ακρίβεια της τάξης του 0.5-1.0% (Παυλουδάκης, 2001).

On-line αναλυτές καταγραφής της σκέδασης των ακτίνων γ

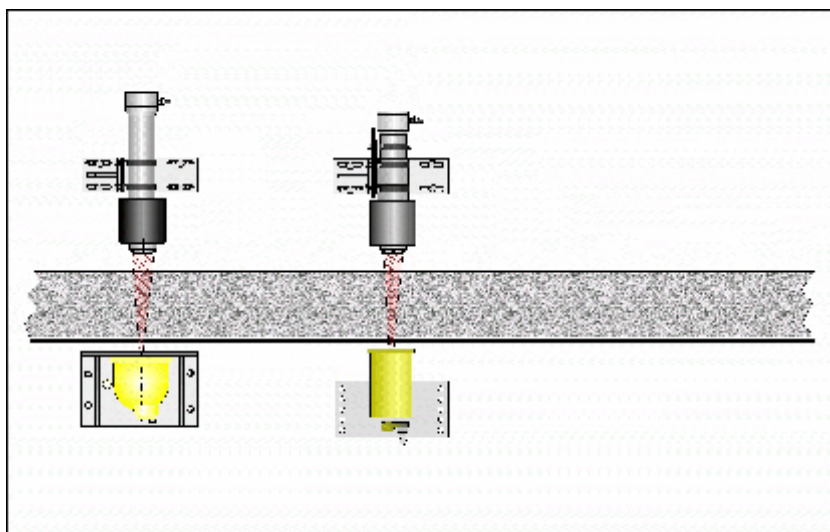
Η πλέον διαδεδομένη τεχνική προσδιορισμού της περιεκτικότητας του γαιάνθρακα σε τέφρα είναι αυτή της σκέδασης των ακτίνων γ (γ-ray backscatter). Οι ακτίνες γ έχουν μεγαλύτερη διεισδυτική ικανότητα σε σχέση με τις ακτίνες Χ, οι οποίες ήταν και οι πρώτες που δοκιμάστηκαν σε τέτοιες εφαρμογές, και κατά συνέπεια μπορούν να αναλύσουν με μεγαλύτερη ακρίβεια δείγματα μεγάλης μάζας, όπως τα δείγματα γαιάνθρακα που κινείται πάνω σε μια μεταφορική ταινία. Παρόλα αυτά η συγκεκριμένη τεχνική αντιμετωπίζει προβλήματα λόγω της ευαισθησίας των αποτελεσμάτων στην ανώμαλη επιφάνεια του μεταφερόμενου γαιάνθρακα που συνεπάγεται συνεχείς αυξομειώσεις της απόστασης της επιφάνειας του γαιάνθρακα από το επίπεδο της πηγής και του δέκτη των ακτίνων γ. Για το λόγο οι αναλυτές αυτού του τύπου είναι προτιμότερο να μην εγκαθίστανται στην κύρια μεταφορική ταινία, αλλά σε μία ταινία εκτροπής (by-pass) όπου πριν τη διέλευση του γαιάνθρακα από τον αναλυτή θα προηγείται εξομάλυνση της επιφάνειάς του (Παυλουδάκης, 2001).



Σχήμα 2.3 ALFA - 05 σύστημα αναλυτή σε λιγνιτωρυχείο (EMAG, 1999).

On-line αναλυτές μετάδοσης ακτίνων γ διπλής ενέργειας

Την τελευταία ,εξέλιξη στους αναλυτές ακτίνων γ αποτελεί η τεχνική της μετάδοσης ακτίνων γ διπλής ενέργειας (dual energy γ-ray transmission): δύο πηγές εκπομπής ακτίνων γ, η μια υψηλής ενέργειας 660 keV αποτελούμενη από κέσιο (^{137}Cs) και η άλλη χαμηλής 60 keV αποτελούμενη από αμερίκιο (^{241}Am), τοποθετούνται είτε μαζί είτε χωριστά κάτω από τη μεταφορική ταινία (Σχήμα 2.4). Η μετάδοση της ακτίνας υψηλής ενέργειας εξαρτάται κύρια από τη μάζα του μεταφερόμενου γαιάνθρακα, ενώ η μετάδοση της ακτίνας χαμηλής ενέργειας εξαρτάται από τη μάζα και την ποσότητα της τέφρας που περιέχεται στον γαιάνθρακα. Οι εντάσεις των δύο ακτίνων που πέρασαν μέσα από το δείγμα του γαιάνθρακα μετρούνται χωριστά και τα αποτελέσματα συνδυάζονται για να δώσουν ένα μέτρο της περιεκτικότητας σε τέφρα το οποίο δεν εξαρτάται από το πάχος και τη μάζα του στρώματος γαιάνθρακα πάνω στη μεταφορική ταινία (Storer et al., 1999).



Σχήμα 2.4 Διάταξη των πηγών και των δεκτών ακτινοβολίας γ ενός on-line αναλυτή μετάδοσης ακτίνων γ διπλής ενέργειας (INDUTECH Bachmann und Klein GmbH, 1999).

Τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, περιγράφονται από την ακόλουθη εξίσωση (Παυλουδάκης, 2001):

$$I = I_0 e^{-\mu \rho d}$$

όπου: I , η ένταση της ακτινοβολίας μετά τη διέλευσή της από τον γαιάνθρακα,
 I_o , η ένταση της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την πηγή (^{127}Cs ή ^{241}Am),
 μ , η σταθερά απορρόφησης της ακτινοβολίας,
 ρ , η πυκνότητα του γαιάνθρακα, και
 d , το πάχος του στρώματος γαιάνθρακα.

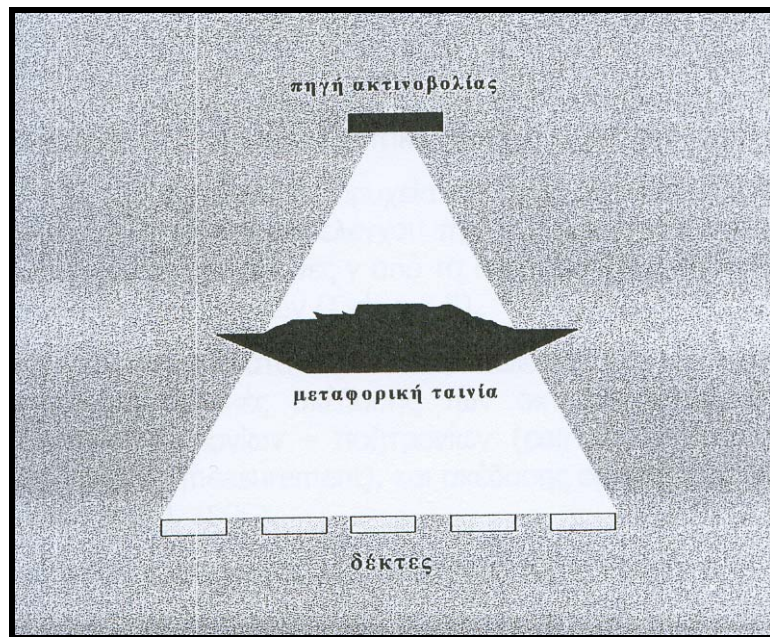
Η σταθερά απορρόφησης της ακτινοβολίας εξαρτάται από την ακτινοβολουμένη ενέργεια και από τη σύσταση του γαιάνθρακα. Από την παραπάνω εξίσωση γίνεται κατανοητός ο λόγος για τον οποίο πρέπει να αλλάξει η ένταση της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τις χρησιμοποιούμενες πηγές όταν αλλάζει και η πυκνότητα ή το πάχος της στρώσης του γαιάνθρακα. Η περιεκτικότητα του γαιάνθρακα σε τέφρα (A) δίνεται τελικά από μία εξίσωση της μορφής (Παυλουδάκης, 2001):

$$A=a.Q+b$$

όπου: a , b , οι σταθερές ρύθμισης του οργάνου, και
 $Q = [\log(I_{\text{Amo}}) - I_o \log(I_{\text{Am}})] / [\log(I_{\text{CsO}}) - \log(I_{\text{Cs}})]$,

όπου: I_{Amo} , I_{Am} , I_{CsO} και I_{Cs} είναι η ένταση της ακτινοβολίας του αμερίκιου και του κέσιου με άδεια και με γεμάτη μεταφορική ταινία γαιάνθρακα, αντίστοιχα.

Μια βελτιωμένη έκδοση του παραπάνω συστήματος αποτελείται από μια συστοιχία πέντε καναλιών - δεκτών των ακτίνων γ (Σχήμα 2.5) και χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου παρατηρούνται σημαντικές αλλαγές στην περιεκτικότητα της τέφρας κατά το πλάτος της μεταφορικής ταινίας.



Σχήμα 2.5 Αναλυτής μετάδοσης ακτινών γ διπλής ενέργειας με 5 κανάλια – δέκτες της ακτινοβολίας γ (Παυλουδάκης, 2001).

Πλεονέκτημα του συστήματος μετάδοσης ακτινών γ διπλής ενέργειας είναι η ευκολία εγκατάστασης του σε υπάρχουσες μεταφορικές διατάξεις, η ικανοποιητική ακρίβεια, ο σύντομος χρόνος αναλύσεων, η ασφάλεια σε σχέση με την εκπεμπόμενη ραδιενέργεια και το αποδεκτό κόστος. Ο ποιοτικός έλεγχος του γαιάνθρακα με συστήματα μετάδοσης ακτινών γ διπλής ενέργειας εφαρμόζεται κύρια για την παρακολούθηση της περιεχόμενης τέφρας σε λιθάνθρακες. Η εφαρμογή τέτοιων συστημάτων στον ποιοτικό έλεγχο των λιγνιτών είναι δύσκολη λόγω των συχνών και μεγάλης κλίμακας μεταβολών στα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους. Παρόλα αυτά, έρευνες που πραγματοποιήθηκαν την περασμένη δεκαετία στη Γερμανία κατέληξαν στην ανάπτυξη ενός συστήματος που μπορεί να παρακολουθήσει με αξιοπιστία τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του λιγνίτη. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί μια ισχυρότερη πηγή ραδιενεργής ακτινοβολίας για να μπορεί να καταγράφει μεγαλύτερες περιεκτικότητες σε τέφρα. Επιπλέον διαφοροποιήσεις του συγκεκριμένου συστήματος ως προς τα συμβατικά συστήματα προσδιορισμού της τέφρας αφορούν τον μικρότερο χρόνο καταγραφής της ακτινοβολίας, την απόρριψη μετρήσεων περιεκτικότητας της τέφρας που βρίσκονται έξω από ένα προκαθορισμένο εύρος και τη δυνατότητα παρακολούθησης μεγάλων μεταβολών της περιεκτικότητας της τέφρας σε σίδηρο. Σε περιπτώσεις που το ύψος του λιγνίτη στον κεντρικό άξονα της

μεταφορικής ταινίας ξεπερνά τα 60 cm, η ακτίνες γ διέρχονται από την άκρη της ταινίας όπου το ύψος του λιγνίτη είναι μικρότερο και κατά συνέπεια είναι μικρότερη η εξασθένηση της ακτινοβολίας που διαπερνά το δείγμα. Το παραπάνω σύστημα μπορεί να προσαρμοστεί τόσο σε καδοφόρους εκσκαφείς όσο και σε μεταφορικές ταινίες. Έξι συστήματα αυτού του τύπου έχουν εγκατασταθεί πάνω σε καδοφόρους εκσκαφείς ορυχείου της ENDESA στη βόρειο-δυτική Ισπανία ενώ ένα έβδομο είναι τοποθετημένο στην έξοδο της αυλής του ορυχείου. Το σύστημα αυτό καταγράφει τόσο την ποσότητα όσο και την ποιότητα του εξορυσσόμενου λιγνίτη. Οι αρχικές ρυθμίσεις του συστήματος έγιναν για ρυθμούς παραγωγής 400-600 t/h και περιεκτικότητες σε τέφρα που κυμαίνονται μεταξύ 10 και 90 %. Το σύστημα λειτούργησε με επιτυχία αφού προσδιορίστηκαν διαφορετικοί συντελεστές διόρθωσης για το κάθε λιγνιτικό στρώμα (Παυλουδάκης, 2001).

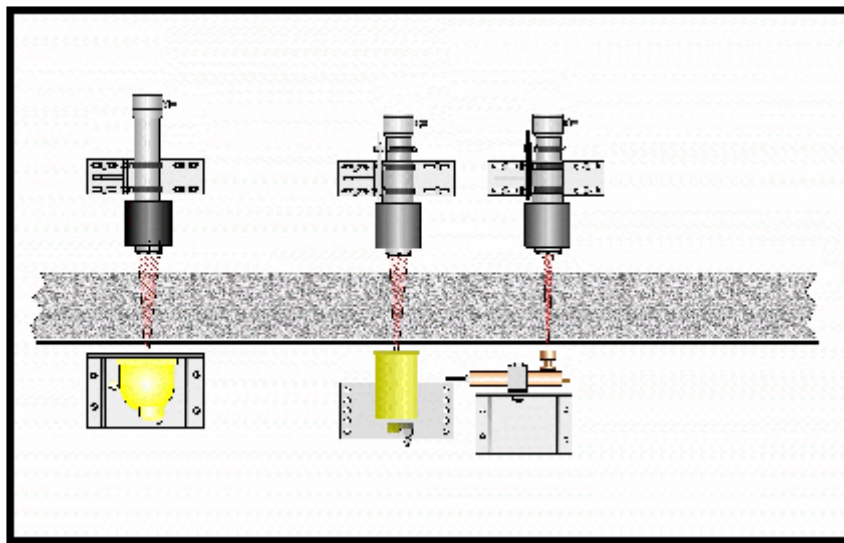
Λιγότερο διαδεδομένα συστήματα on-line παρακολούθησης της περιεκτικότητας σε τέφρα βασίζονται σε τεχνικές σκέδασης των ακτινών X (X-ray backscatter), παραγωγής ζευγών ηλεκτρονίων - ποζιτρονίων (pair production), μέτρησης της πυκνότητας (bulk density measurement), και σκέδασης οπτικής ακτινοβολίας (optical radiation scattering) (Ganguli, 2001).

Η διόρθωση ως προς την περιεκτικότητα σε σίδηρο και ασβέστιο

Ένα φαινόμενο που συμβαίνει συχνά σε πολυστρωματικά κοιτάσματα γαιανθράκων είναι η έντονη διακύμανση της περιεκτικότητας των στοιχείων που έχουν μεγάλο ατομικό αριθμό, όπως ο σίδηρος και το ασβέστιο. Ειδικά για το ασβέστιο, έντονες διακυμάνσεις της περιεκτικότητάς του παρατηρούνται επίσης σε ΑΗΣ όπου η προσθήκη ασβεστίου χρησιμοποιείται για τον έλεγχο των εκπομπών διοξειδίου του θείου. Η διακύμανση της περιεκτικότητας των παραπάνω στοιχείων επιδρά δυσμενώς στην ακρίβεια των μετρήσεων των on-line αναλυτών που λειτουργούν με βάση την αρχή της μετάδοσης ακτινοβολίας γ διπλής ενέργειας. Μεταβολή της περιεκτικότητας του σιδήρου κατά 1% συνεπάγεται μεταβολή της μετρούμενης τιμής της περιεκτικότητας σε τέφρα κατά περίπου 6-7%.

Για την αντιμετώπιση του παραπάνω προβλήματος υπάρχουν δύο δυνατές λύσεις:

- Η ύπαρξη πολλαπλών ρυθμίσεων - βαθμονομήσεων του on-line αναλυτή, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την μετατροπή του σήματος που καταγράφεται από το όργανο σε μέτρηση της περιεκτικότητας του γαιάνθρακα σε τέφρα. Προϋπόθεση για την εφαρμογή αυτής της λύσης είναι η έγκαιρη γνώση της μεταβολής της ποιότητας του γαιάνθρακα που διακινείται (π.χ. ενημέρωση του ΑΗΣ για αλλαγή του ορυχείου προέλευσης του γαιάνθρακα) έτσι ώστε να υπάρχει χρόνος για τη επιλογή των κατάλληλων ρυθμίσεων στον αναλυτή.
- Η εγκατάσταση μιας επιπλέον μετρητικής διάταξης, η οποία θα καταγράφει αποκλειστικά την περιεκτικότητα του σιδήρου. Η διάταξη αυτή αποτελείται από μία πηγή ακτινών X και ένα μετρητή σπινθηρισμών για την καταγραφή ακτινοβολίας αντίστοιχου φάσματος, η οποία τοποθετείται δίπλα στον αναλυτή ακτινών γ και τροφοδοτείται με στρώμα γαιάνθρακα μεγίστου πάχους 150mm (Bachmann, 1999).

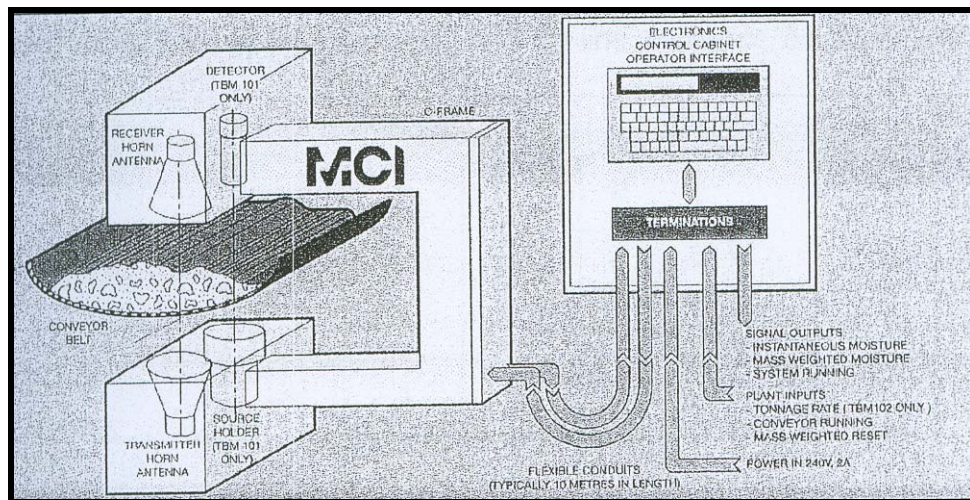


Σχήμα 2.6 Εγκατάσταση μίας επιπλέον μετρητικής διάταξης, η οποία καταγράφει αποκλειστικά την περιεκτικότητα σε σίδηρο (INDUTECH Bachmann und Klein GmbH, 1999).

2.2 Συστήματα μέτρησης της υγρασίας

Η περιεκτικότητα του γαιάνθρακα σε υγρασία επηρεάζει την ποσότητα ωφέλιμης θερμότητας που παράγεται κατά την καύση του και κατά συνέπεια την ποσότητα του γαιάνθρακα που πρέπει να καεί για να παραχθούν οι ζητούμενες κιλοβατώρες ηλεκτρικού ρεύματος. Η αύξηση της υγρασίας προκαλεί επίσης αύξηση της πυκνότητας του γαιάνθρακα, η οποία με τη σειρά της επιβαρύνει το κόστος μεταφοράς του, ενώ κατά τους χειμερινούς μήνες προκαλεί προβλήματα λόγω του σχηματισμού πάγου. Επιπλέον, η ακριβής γνώση της περιεχόμενης υγρασίας επιτρέπει επίσης τον υπολογισμό κατά τη στοιχειακή ανάλυση του ποσοστού του υδρογόνου που περιέχεται στον γαιάνθρακα. Η συμβατική μέθοδος μέτρησης της υγρασίας του γαιάνθρακα προβλέπει τη λήψη ενός δείγματος γαιάνθρακα και τη θέρμανσή του κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες. Η μέθοδος αυτή υστερεί ως προς την ταχύτητά της και την αδυναμία εξέτασης μεγάλων, άρα και περισσότερο αντιπροσωπευτικών, δειγμάτων.

Η αρχή λειτουργίας των on-line συστημάτων παρακολούθησης της υγρασίας βασίζεται στην απορρόφηση της ενέργειας μικροκυμάτων που διέρχονται μέσα από το γαιάνθρακα, η οποία καταγράφεται ως εξασθένηση της έντασης και αλλαγή της φάσης του κύματος που εξέρχεται από τη μάζα του γαιάνθρακα (Σχήμα 2.7). Το νερό σε σχέση με τα άλλα συστατικά του γαιάνθρακα απορροφά περισσότερη ενέργεια από τα μικροκύματα προκαλώντας μεγαλύτερη εξασθένηση στο πλάτος τους και μεγαλύτερη μετατόπιση της φάσης τους σε σύγκριση με τα υπόλοιπα συστατικά του γαιάνθρακα. Η ταυτόχρονη παρακολούθηση των μεταβολών του πλάτους και της διαφοράς φάσης των μικροκυμάτων αποτελεί μια τεχνική μεγάλης ακρίβειας που επιπλέον είναι λιγότερο ευαίσθητη σε διαφοροποιήσεις της υγρασίας κατά την κατακόρυφη διεύθυνση σε σύγκριση με παλαιότερες μεθόδους, όπως αυτή της



Σχήμα 2.7 Διάταξη του πομπού και του δέκτη μικροκυμάτων και του περιφερειακού εξοπλισμού που περιλαμβάνει ένα on-line σύστημα μέτρησης της υγρασίας των γαιανθράκων (Παυλουδάκης, 2001).

χωρητικότητα (capacitance method) που βασίζονταν στην αλλαγή της διηλεκτρικής σταθεράς του γαιάνθρακα σε συνάρτηση με την περιεχόμενη σε αυτόν υγρασία. Επιπλέον, η επίδραση της πυκνότητας του γαιάνθρακα και του πάχους της στρώσης του πάνω στη μεταφορική ταινία μπορεί να εξαλειφθεί συσχετίζοντας τη μέτρηση της υγρασίας με το βάρος του μεταφερόμενου γαιάνθρακα ανά μονάδα επιφάνειας. (Παυλουδάκης, 2001).

Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζονται συνοπτικά τα συμπεράσματα δοκιμών που αφορούν στην επίδραση διαφόρων ποιοτικών χαρακτηριστικών του γαιάνθρακα στην ακρίβεια της μέτρησης της υγρασίας από on-line αναλυτές διαφορετικών τύπων. Οι δοκιμές αυτές έγιναν αρχικά σε γερμανικούς γαιάνθρακες και στη συνέχεια επιβεβαιώθηκαν σε γαιάνθρακες της Αυστραλίας. Δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν σε γαιάνθρακες της Αυστραλίας για τη σύγκριση της απόδοσης διαφορετικών τεχνικών on-line παρακολούθησης της περιεχόμενης υγρασίας έδειξαν ότι η μέθοδος της παρακολούθησης της διαφοράς φάσης μικροκυμάτων, σε συνδυασμό με την καταγραφή της μεταφερόμενης μάζας ανά μονάδα επιφάνειας, δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα. Ειδικότερα, χρησιμοποιώντας μικροκύματα συχνότητας 2-4GHz κατέστη δυνατή η μέτρηση της υγρασίας με ακρίβεια μεγαλύτερη από 0.37%, σε γαιάνθρακα με διακύμανση της περιεκτικότητας σε υγρασία από 0 ως 15%, ο οποίος

σχημάτιζε επί της μεταφορικής ταινίας στρώση πάχους από 50 ως 250mm. Οι ίδιες δοκιμές απέδειξαν ότι η επίδραση της κοκκομετρίας, της πυκνότητας διάστρωσης και της θερμοκρασίας στις μετρήσεις υγρασίας που πραγματοποιήθηκαν με τη μέθοδο της διαφοράς φάσης είναι ασθενέστερη σε σχέση με τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν με τη μέθοδο της εξασθένησης της έντασης των μικροκυμάτων (Παυλουδάκης, 2001).

Πίνακας 2.1 Επίδραση διαφόρων ποιοτικών χαρακτηριστικών του γαιάνθρακα στην ακρίβεια της μέτρησης της υγρασίας από on-line αναλυτές διαφορετικών τύπων.

Τεχνική μέτρησης της υγρασίας	Ποιοτικά χαρακτηριστικά του γαιάνθρακα						
	Πάχος – στρωμάτωση	Πυκνότητα	Περιεκτικότητα αλάτων	Περιεκτικότητα τέφρας	Κοκκομετρία	Περιεκτικότητα πτητικών	Θερμοκρασία
Μέθοδος αγωγιμότητας	↗	→	↓	→	↓	↗	↘
Μέθοδος χωρητικότητας	↗	↘	↘	→	→	↗	→
Μέθοδος έντασης μικροκυμάτων	↑	↗	→	↗	↘	↗	→
Μέθοδος διαφοράς φάσης μικροκυμάτων	↑	↗	↑	↗	→	↑	↑
Μέθοδος υπέρυθρης ακτινοβολίας	→	↑	↑	↗	↓	↑	↗

Ένταση επίδρασης: ↑ (αμελητέα), ↗ (χαμηλή), → (μέση), ↘ (ισχυρή), ↓ (πολύ ισχυρή)

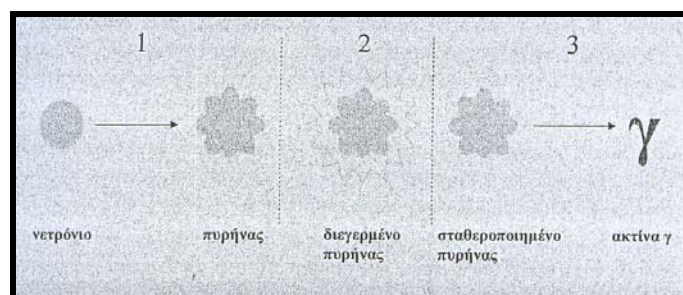
Πρόσφατες έρευνες που εφαρμόστηκαν σε ορυχείο της γερμανικής εταιρίας DMT και βασίστηκαν σε γαιάνθρακες με έντονη διακύμανση της κοκκομετρίας τους, η υγρασία των οποίων ήταν αδύνατο να μετρηθεί με τις τυποποιημένες τεχνικές, έδειξαν ότι η περιεκτικότητα του γαιάνθρακα σε υγρασία συσχετίζεται με την εξασθένηση του πλάτους των μεταδιδόμενων μικροκυμάτων συχνότητας από 4 ως 7 GHz.

Άλλες παράμετροι, όπως η διαφορά φάσης των μεταδιδόμενων ή των ανακλώμενων μικροκυμάτων στη συγκεκριμένη περίπτωση δε μεταβαλλόταν σε αντιστοιχία με την

περιεκτικότητα σε υγρασία (Παυλουδάκης, 2001).

2.3 Συστήματα προσδιορισμού της στοιχειακής ανάλυσης του γαιάνθρακα

Τα πλέον εξελιγμένα on-line συστήματα ποιοτικού ελέγχου είναι εκείνα που προσδιορίζουν τη στοιχειακή ανάλυση του γαιάνθρακα και έμμεσα την περιεκτικότητά του σε τέφρα και τη θερμογόνο δύναμή του. Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στην εκπομπή ακτινοβολίας γ από ένα πυρήνα ατόμου που επιστρέφει από τη διεγερμένη στην σταθερή του κατάσταση (prompt gamma neutron activation analysis - PGNAA). Η διέγερση του πυρήνα επιτυγχάνεται με τον βομβαρδισμό του με νετρόνια που εκπέμπονται από κάποια πηγή ραδιενεργής ακτινοβολίας (Σχήμα 2.8). Στο συγκεκριμένο σύστημα μία μονάδα όγκου γαιάνθρακα εκτίθεται σε ακτινοβολία νετρονίων που εκπέμπονται από ένα ραδιενεργό ισότοπο. Όταν ένα νετρόνιο πλησιάσει τον πυρήνα οποιουδήποτε ατόμου απορροφάται από αυτόν. Με τον τρόπο αυτό ο πυρήνας μεταπίπτει στιγμιαία σε μία κατάσταση διέγερσης από την οποία εξέρχεται εκπέμποντας σχεδόν άμεσα ακτινοβολία γ .



Σχήμα 2.8 Αρχή λειτουργίας της μεθόδου on-line στοιχειακής ανάλυσης PGNAA με βάση την εκπεμπόμενη ακτινοβολία γ κατά τη μετάβαση των πυρήνων των ατόμων από τη διεγερμένη στη σταθερή τους κατάσταση (IEA, 1994)

Κάθε στοιχείο αντιδρά διαφορετικά κατά την διέγερσή του από τα εκπεμπόμενα νετρόνια. Η διαφοροποίηση αυτή καθορίζεται από δύο παραμέτρους:

- Κάποια στοιχεία έχουν την τάση να διεγείρονται ευκολότερα από κάποια άλλα. Το υδρογόνο, ο σίδηρος και το χλώριο διεγείρονται πολύ εύκολα, ενώ το θείο και τα περισσότερα στοιχεία της τέφρας δυσκολότερα. Αντίθετα, ο στοιχειακός άνθρακας και το οξυγόνο διεγείρονται ελάχιστα.
- Κάθε στοιχείο εκπέμπει, με γνωστή πιθανότητα, ένα χαρακτηριστικό σεί ακτινών γ συγκεκριμένων ενεργειακών στάθμεων. Το ασβέστιο, για παράδειγμα, παράγει ακτίνες γ πολλών ενεργειακών στάθμεων και κυρίως στα 4.42 και 6.42 MeV.

Η εκπομπή χαρακτηριστικών ακτινών γ από τους πυρήνες των διαφόρων στοιχείων που περιέχονται στον γαιάνθρακα δημιουργεί ένα φάσμα αντιπροσωπευτικό για το εξεταζόμενο δείγμα. Οι κορυφές που εμφανίζονται στο φάσμα δηλώνουν τόσο την παρουσία ενός στοιχείου όσο και την ποσότητά του στο εξεταζόμενο δείγμα. Όπως προαναφέρθηκε, ο στοιχειακός άνθρακας διεγείρεται ελάχιστα από την απορρόφηση νετρονίων, αλλά λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων του σε κάθε τύπο γαιάνθρακα είναι εύκολο να προσδιοριστεί. Το οξυγόνο είναι το μοναδικό στοιχείο που δεν μπορεί να μετρηθεί άμεσα από τα PGNAΑ συστήματα ανάλυσης που έχουν εξελιχτεί μέχρι σήμερα. Τούτο βέβαια ισχύει και για τις εργαστηριακές μεθόδους διεξαγωγής στοιχειακών αναλύσεων γαιανθράκων (Bachmann et al., 1999).

Ένας τυπικός PGNAΑ αναλυτής παρέχει τη δυνατότητα άμεσου προσδιορισμού των συγκεντρώσεων των εξής ποιοτικών παραμέτρων των γαιανθράκων: τέφρα, υγρασία, περιεκτικότητα στοιχειακού άνθρακα, υδρογόνου, θείου, αζώτου, χλωρίου, πυριτίου, αργιλίου, σιδήρου, τιτανίου, ασβεστίου, καλίου και νατρίου. Έμμεσα, με τη βοήθεια κατάλληλων υπολογισμών, προσδιορίζονται επίσης η θερμογόνος δύναμη, οι εκπομπές διοξειδίου του θείου, το σημείο τήξης της τέφρας και η περιεκτικότητα οξυγόνου. Μία μέτρηση διάρκειας 10 min με τη συγκεκριμένη μέθοδο δίνει ακρίβεια στον προσδιορισμό της θερμογόνου δύναμης του εξεταζόμενου δείγματος της τάξης των 75 BTU/lb. Σε ότι αφορά τις περιεκτικότητες σε τέφρα, υγρασία και θείο, οι ακρίβειες που επιτυγχάνονται, σύμφωνα πάντα με τους κατασκευαστές, είναι της

τάξης του 0.4%, 0.2% και 0.04%, αντίστοιχα. Πρέπει, βέβαια, να τονιστεί ότι η ακρίβεια αναλυτών αυτού του τύπου που τοποθετούνται σε ταινιόδρους εκτροπής (by-pass), όπως για παράδειγμα οι αναλυτές 1812C της Gamma-Metrics (Εικόνα 2.1) και CoalScan 9500 της MCI, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη λήψη αντιπροσωπευτικών δειγμάτων ή, με άλλα λόγια, από την αποτελεσματικότητα του χρησιμοποιούμενου μηχανικού συστήματος εκτροπής μέρους της μεταφερόμενης ποσότητας γαιάνθρακα (Παυλουδάκης, 2001).



Εικόνα 2.1 On-line αναλυτής τύπου PGNAA

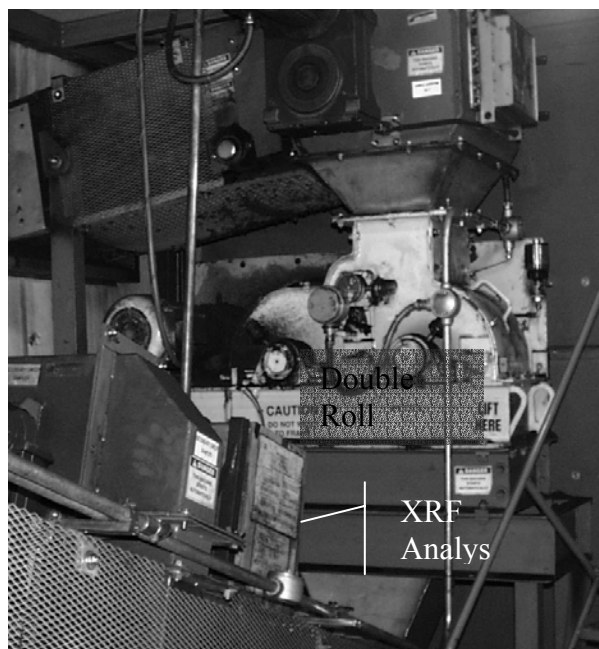
On-line αναλυτής τύπου PGNAA που τοποθετήθηκε στο ορυχείο Kemmerer του Wyoming, όπου ο εξορυσσόμενος γαιάνθρακας εμφανίζεται σε 20 διακριτές στρώσεις, έδωσε μετρήσεις ακρίβειας 0.014% για την περιεκτικότητα σε θείο και 0.28% για την περιεκτικότητα σε τέφρα, οι οποίες εμπίπτουν στις απαιτήσεις των προτύπων ASTM για τις αντίστοιχες αναλύσεις που διεξάγονται εργαστηριακά. Επιπλέον, η συστηματική απόκλιση (bias) των μετρήσεων περιεκτικότητας θείου που πραγματοποιήθηκαν με τον αναλυτή σε σχέση με τις μετρήσεις εργαστηρίου αναφοράς ήταν της τάξης του 0.01%, η οποία και θεωρήθηκε ασήμαντη (Παυλουδάκης, 2001).

Ένας από τους πρώτους ΑΗΣ που εγκατέστησαν on-line αναλυτή τύπου PGNAA ήταν ο Muskingum River Plant που ανήκει στην Ohio Power Company. Ο αναλυτής χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία για την ανάμιξη ενός γαιάνθρακα υψηλής περιεκτικότητας σε θείο, ο οποίος αποτελούσε την παραδοσιακή πηγή τροφοδοσίας καυσίμου του εν λόγω ΑΗΣ, και ενός γαιάνθρακα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, ο οποίος προέρχονταν από ορυχείο που ανήκε σε άλλη εταιρία. Στόχος της ανάμιξης ήταν να καταστεί δυνατή η συμμόρφωση των εκπομπών διοξειδίου του θείου του ΑΗΣ με τα νέα, αυστηρά όρια που τέθηκαν από την Αμερικανική Υπηρεσία Περιβάλλοντος (Παυλουδάκης, 2001).

Ένας άλλος ΑΗΣ που εγκατέστησε on-line αναλυτή αυτού του τύπου ήταν αυτός της εταιρίας Gibson στο Owensville της Ιντιάνας. Ο συγκεκριμένος αναλυτής πραγματοποιεί προσεγγιστικές αναλύσεις, στοιχειακές αναλύσεις, ορυκτολογικές αναλύσεις της τέφρας και προσδιορισμούς των κρίσιμων θερμοκρασιών της τέφρας, συμβάλλοντας με αυτό τον τρόπο στην εντός μερικών ωρών προσαρμογή των λειτουργικών συνθηκών του ΑΗΣ σε κάθε αλλαγή των τροφοδοτούμενων μειγμάτων καυσίμου (Παυλουδάκης, 2001).

On-line συστήματα που βασίζονται στην αρχή λειτουργίας PGNAA, μαζί με το λογισμικό που είναι απαραίτητο για τη διαχείρισή τους, κοστίζουν από \$450.000 ως \$850.000. Για λόγους σύγκρισης, αξίζει να αναφερθεί ότι ένας on-line αναλυτής άλλου τύπου που μετρά μόνο την περιεκτικότητα σε τέφρα μπορεί να κοστίζει 80% λιγότερο. On-line αναλυτές τύπου PGNAA κατασκευάζονται από δύο εταιρίες: την αμερικάνικη Gamma-Metrics και την αυστραλιανή MCI. Το 1994, υπήρχαν ήδη εγκατεστημένα σε βιομηχανίες γαιάνθρακα και άλλων ορυκτών 90 PGNAA συστήματα on-line στοιχειακής ανάλυσης γαιανθράκων. Εκτός από τον τομέα εξόρυξης και αξιοποίησης γαιανθράκων, η χρήση PGNAA αναλυτών είναι επίσης αρκετά διαδεδομένη και σε άλλους τομείς εκμετάλλευσης ορυκτών και ιδιαίτερα στον τομέα παραγωγής τσιμέντου. Αξίζει τέλος να σημειωθεί ότι PGNAA αναλυτές είναι εγκατεστημένοι και σε εργαστήρια (off-line) παρέχοντας τη δυνατότητα ανάλυσης ενός δείγματος μέσα σε χρονικό διάστημα 10 min (Παυλουδάκης, 2001).

Εκτός από το σύστημα PGNAA, η στοιχειακή ανάλυση του γαιάνθρακα μπορεί να προσδιοριστεί με τη μέθοδο της φθορισμομετρίας ακτίνων X (X-ray fluorescence). Η μέθοδος αυτή πλεονεκτεί έναντι της μεθόδου PGNAA τόσο στο κόστος, όσο και στην απουσία πηγής ραδιενεργούς ακτινοβολίας, η οποία απλουστεύει σημαντικά τη διαδικασία λήψης άδειας για την εγκατάσταση του on-line αναλυτή. Παρόλο που η συγκεκριμένη τεχνική εφαρμόζεται κύρια σε εργαστηριακή κλίμακα, πρόσφατα αναπτύχθηκε ένα σύστημα που έχει τη δυνατότητα να αναλύει δείγμα σκόνης γαιάνθρακα που λαμβάνεται από μια κινούμενη μεταφορική ταινία. Το σύστημα αυτό παρουσιάζεται εκτενέστερα στην επόμενη παράγραφο. Αξίζει να τονιστεί ότι όλα τα on-line συστήματα που διεξάγουν στοιχειακές αναλύσεις, αν έχουν ρυθμιστεί σωστά και παρέχουν αξιόπιστα αποτελέσματα, πλεονεκτούν έναντι των συμβατικών εργαστηριακών αναλύσεων επειδή εφαρμόζονται σε δείγματα που δεν έχουν αλλοιωθεί από προηγούμενη επεξεργασία (non-destructive measurements) και άρα αντιπροσωπεύουν πιστά την πραγματική μορφή της ορυκτής ύλης μέσα στο γαιάνθρακα (Bachmann et al., 1999).



Εικόνα 2.2 PCI-Indutech XRF-elemental analyser in online application at Detroit Edison's Monroe Power Plant, Illinois (INDUTECH GmbH, 1999).

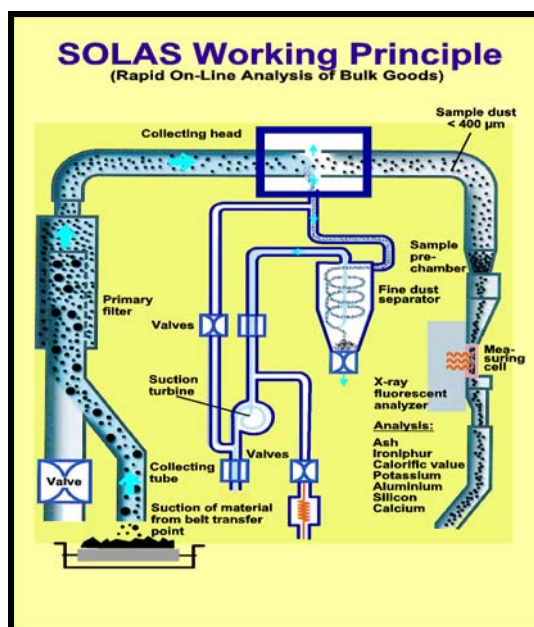
2.4 On-line αναλυτές γαιανθράκων χαμηλής ποιότητας

Τα τυπικά συστήματα on-line αναλύσεων όταν εφαρμόζονται σε γαιάνθρακες χαμηλής ποιότητας συνήθως δεν είναι σε θέση να ανταποκριθούν στις προδιαγραφές που έχουν τεθεί από τους χρήστες τους. Αυτό κύρια οφείλεται στην έντονη διακύμανση των ποιοτικών χαρακτηριστικών και ιδιαίτερα στην υψηλή περιεκτικότητα υγρασίας, η οποία περιορίζει την ευαισθησία του on-line αναλυτή. Μια από τις πρώτες εφαρμογές on-line αναλυτών σε γαιάνθρακες υψηλής περιεκτικότητας σε τέφρα αναπτύχθηκε στην πιλοτική εγκατάσταση εμπλουτισμού γαιάνθρακα της BHP στο Newcastle της Νέας Νότιας Ουαλίας. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, αναλυτής τύπου SIROASH που αναπτύχθηκε από το ερευνητικό κέντρο CSIRO και βασίζεται στην τεχνική της παραγωγής ζευγών ηλεκτρονίων - ποζιτρονίων από ακτινοβολία γ υψηλής ενέργειας αποδείχτηκε στην πράξη αποτελεσματικότερος σε σχέση με αναλυτή της ίδιας εταιρίας που βασίζεται στην τεχνική μετάδοσης ακτινοβολίας γ χαμηλής ενέργειας. Η πρώτη από τις παραπάνω τεχνικές έδωσε RMS σφάλμα (RMS: ρίζα της μέσης τιμής των τετραγώνων) της τάξης του 0.6% για περιεκτικότητες σε τέφρα που κυμαίνονταν από 12-22% (Παυλουδάκης, 2001).

Η Rheinbraun AG έχει επίσης αναπτύξει και εφαρμόσει ένα σύστημα on-line αναλύσεων της ποιότητας του φαιάνθρακα που εξορύσσεται στα ορυχεία της Ρηνανίας. Το σύστημα αυτό ονομάζεται RODOS (Rapid On-Line Determination On Site) και αποτελείται από τη μονάδα δειγματοληψίας, τη μονάδα επεξεργασίας και αποθήκευσης των δειγμάτων, τη μονάδα ανάλυσης των δειγμάτων και τη μονάδα επεξεργασίας των μετρήσεων και σύνδεσης με το κεντρικό σύστημα διαχείρισης και ελέγχου ποιότητας του φαιάνθρακα. Για την ανάλυση των δειγμάτων χρησιμοποιείται η τεχνική του φθορισμομετρίας των ακτινών X (X-ray fluorescence) για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας του φαιάνθρακα σε τέφρα, πυρίτιο, ασβέστιο, σίδηρο, κάλιο και θείο. Ο αναλύσεις δειγμάτων από το συγκεκριμένο σύστημα ολοκληρώνονται σε διάστημα 70sec, συχνότητα η οποία για τις απαιτήσεις της συγκεκριμένης εφαρμογής ισοδυναμεί με συνεχή παρακολούθηση των ποιοτικών διακυμάνσεων. Ιδιαιτερότητα του συγκεκριμένου συστήματος αποτελεί το σύστημα

δειγματοληψίας το οποίο αποσπά, με τη βοήθεια ενός σωλήνα αναρρόφησης, ένα αντιπροσωπευτικό κλάσμα σκόνης από τον διακινούμενο φαιάνθρακα. Η αρχική σχεδιαστική ιδέα του συγκεκριμένου δειγματολήπτη αναπτύχθηκε στο ορυχείο σιδηρομεταλλεύματος της Kiruna. Βασικό πλεονέκτημα του αποτελεί η ικανότητα προσαρμογής σε διαφορετικές συνθήκες σε ότι αφορά τη θέση δειγματοληψίας και την κοκκομετρία του γαιάνθρακα (Koenig, 1999).

Η δεύτερη γενιά του παραπάνω συστήματος φέρει την εμπορική ονομασία SOLAS (Σχήμα 2.9) και μελλοντικά πρόκειται να ενσωματώσει νέα τεχνικά χαρακτηριστικά που θα βελτιώσουν την ευελιξία του, όπως τη δυνατότητα ταυτόχρονης λήψης πολλαπλών δειγμάτων από διαφορετικές θέσεις δειγματοληψίας και τη δυνατότητα διεξαγωγής επιπρόσθετων αναλύσεων με την προσθήκη επιπλέον αναλυτών εκτός του XRF αναλυτή (Koenig, 1999). Ειδικά για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας του νατρίου, η οποία μέχρι σήμερα είναι αδύνατο να πραγματοποιηθεί από το σύστημα SOLAS, έχει διαπιστωθεί ότι μπορεί να πραγματοποιηθεί με τεχνικές ακτινοβολίας laser, με τεχνικές φθορισμομετρίας ακτίνων X σε ατμόσφαιρα ηλίου ή σε κενό και με συμβατικές εργαστηριακές τεχνικές χημικών αναλύσεων (Hofmann et al., 1999).



Σχήμα 2.9 Σχηματική αναπαράσταση του συστήματος δειγματοληψίας και της μετρητικής διάταξης στοιχειακού αναλυτή που ενσωματώνει το σύστημα SOLAS (Hofmann et al, 1999).

Εκτεταμένες ερευνητικές προσπάθειες για την ανάπτυξη ενός συστήματος αυτόματης ανάλυσης ανθράκων χαμηλής ποιότητας έχουν γίνει στα ορυχεία Latrobe Valley της Αυστραλίας. Το συγκεκριμένο κοίτασμα χαρακτηρίζεται από πολύ υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία (60%), χαμηλή περιεκτικότητα σε τέφρα (2-3%) και θερμογόνο δύναμη που κυμαίνεται μεταξύ 1900 και 2400 kcal/kg, ενώ ο ρυθμός παραγωγής είναι 46Mt/yr. Η τεχνική που αναπτύχθηκε από την εταιρία CSIRO επιτρέπει τον προσδιορισμό της υγρασίας, της τέφρας, της θερμογόνου δύναμης και του λόγου νατρίου προς τέφρα. Ο τελευταίος αποτελεί κρίσιμο δείκτη για την εκτίμηση της τάσης της ορυκτής ύλης του γαιάνθρακα να επικάθεται στα εσωτερικά τοιχώματα των λεβήτων. Οι απαιτήσεις στην ακρίβεια των μετρήσεων του συγκεκριμένου συστήματος ήταν για την υγρασία 0.5% κ.β., για την τέφρα 0.2% κ.β. και για το νάτριο 0.3% κ.β. Το σύστημα μέτρησης αποτελείται από ένα σωλήνα διαμέτρου 30 cm μέσα στον οποίο κινείται το δείγμα του γαιάνθρακα. Ο μετρητής που είναι τοποθετημένος δίπλα στο σωλήνα αποτελείται από μια πηγή νετρονίων υψηλής ενέργειας $^{238}\text{Pu-Be}$ και ένα δέκτη γερμανιούχου βισμούθιου (BGO) υψηλής απόδοσης για βελτιωμένη ανάλυση του φάσματος. Το συγκεκριμένο σύστημα αποδείχτηκε στην πειραματική εφαρμογή του ότι πλεονεκτεί σε σύγκριση με άλλες διατάξεις που προσαρμόζονται πάνω από τη μεταφορική ταινία τόσο σε ακρίβεια όσο και σε αντοχή (καλύτερη προστασία από χτυπήματα, σκόνισμα, κλπ.) (Παυλουδάκης, 2001).

Το παραπάνω σύστημα συνεργάζεται με μια βελτιωμένη τεχνική μικροκυμάτων που αναπτύχθηκε για τον ανεξάρτητο προσδιορισμό της υγρασίας. Ωστόσο, η συσχέτιση των αποτελεσμάτων έδειξε ότι είναι δυνατός ο προσδιορισμός της υγρασίας με βάση τις μετρήσεις του γαιάνθρακα, του υδρογόνου και την τέφρας. Ένα τελευταίο παράδειγμα εφαρμογής on-line αναλυτών σε γαιάνθρακες κακής ποιότητας αφορά το ορυχείο Puentes στην La Coruna της Ισπανίας. Ο γαιάνθρακας του συγκεκριμένου ορυχείου χαρακτηρίζεται από μεγάλη περιεκτικότητα σε τέφρα που λαμβάνει μέση ετήσια τιμή της τάξης του 36-38%. Οι προδιαγραφές του on-line αναλυτή που σχεδιάστηκε από την εταιρία Anatec για την εν λόγω εφαρμογή συνοψίζονται ως εξής:

- Δυνατότητα μέτρησης περιεκτικοτήτων σε τέφρα από 10 ως 90%.
- Δυνατότητα ανάλυσης ποσοτήτων γαιάνθρακα που κυμαίνονται από 100 ως 6500 t/h.
- Δυνατότητα λήψης μετρήσεων ακριβείας για μεταβλητή κοκκομετρία.
- Αποδεχτό σφάλμα μέτρησης της περιεκτικότητας σε τέφρα $< +2.5\%$.
- Αποδεχτό σφάλμα μέτρησης της μεταφερόμενης ποσότητας γαιάνθρακα $< \pm 5\%$ (μέση τιμή σε t/h).

Ο μετρητής μετάδοσης ακτινοβολίας γ διπλής ενέργειας που χρησιμοποιήθηκε στην συγκεκριμένη περίπτωση έδωσε μετρήσεις της περιεκτικότητας σε τέφρα που συμφωνούσαν με τη ζητούμενη ακρίβεια σε όλο το εύρος περιεκτικοτήτων από 10% ως 90% αλλά μόνο όταν οι μεταφερόμενες ποσότητες γαιάνθρακα δεν ξεπερνούσαν τους 3000 t/h. Λύση στο συγκεκριμένο πρόβλημα μπορούσε να δοθεί με δύο τρόπους:

- Την αύξηση της έντασης της εκπεμπόμενης από τις δύο πηγές ακτινοβολίας χαμηλής και υψηλής ενέργειας. Η συγκεκριμένη λύση, όμως, εγκυμονούσε κινδύνους ως προς την ασφάλεια του προσωπικού που εργάζεται κοντά στον αναλυτή.
- Την τοποθέτηση ενός δεύτερου συστήματος πομπών-δεκτών της ακτινοβολίας γ στην άκρη της μεταφορικής ταινίας, έτσι ώστε η ακτινοβολία να διέρχεται από λεπτότερο στρώμα γαιάνθρακα, με συνέπεια τη μείωση της απορροφούμενης ενέργειας.

Το δεύτερο αυτό σύστημα πομπών - δεκτών, το οποίο και τελικά επιλέχτηκε να τοποθετηθεί, καταγράφει την περιεκτικότητα σε τέφρα όταν η μεταφερόμενη ποσότητα γαιάνθρακα ξεπερνά τους 3000 t/h. Στην αντίθετη περίπτωση η μέτρηση εξακολουθεί να λαμβάνεται από το σύστημα πομπών-δεκτών που είναι τοποθετημένο στον κεντρικό άξονα της μεταφορικής ταινίας (Schingnitz, 1993).

Μετά την παραπάνω προσαρμογή τα μοναδικά προβλήματα που συνέχισαν να υφίστανται, στη λειτουργία του on-line αναλυτή ήταν τα εξής:

- Μέτρηση περιεκτικότητας σε τέφρα μεγαλύτερη από την πραγματική σε περιπτώσεις που ο γαιάνθρακας ήταν πλούσιος σε σιδηροπυρίτη.
- Μέτρηση περιεκτικότητας σε τέφρα μικρότερη από την πραγματική σε περιπτώσεις που ο γαιάνθρακας ήταν κορεσμένος σε υγρασία.

Επιπρόσθετα μέτρα για την προσαρμογή της εγκατάστασης και την επεξεργασία των μετρήσεων που λαμβάνονται από on-line αναλυτές μετάδοσης ακτινών γ διπλής ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε γαιάνθρακες κακής ποιότητας αναφέρονται από τον Schingnitz (Παυλουδάκης, 2001).

Τέλος, σε ότι αφορά την on-line παρακολούθηση της περιεχόμενης υγρασίας σε γαιάνθρακες φτωχής ποιότητας, πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι η Rheinbraun AG έχει αναπτύξει αναλυτές δύο τύπων. Ο αναλυτής τύπου ACCU-SENSE είναι σε θέση να προσδιορίσει περιεκτικότητες σε υγρασία που κυμαίνονται από 0% ως 50%, γεγονός που σημαίνει ότι μπορεί να αναλύσει μόνο δείγματα φαιάνθρακα που έχουν προηγούμενα ξηραθεί. Ο συγκεκριμένος αναλυτής μετρά την εξασθένιση της έντασης μικροκυμάτων που διέρχονται από το δείγμα. Ο δεύτερος αναλυτής, με την εμπορική ονομασία MICRO-MOIST μετρά τόσο την εξασθένιση της έντασης μικροκυμάτων, όσο και τη διαφορά φάσης τους, και είναι σε θέση να αναλύει δείγματα φαιάνθρακα που βρίσκονται στη μορφή που εξορύχτηκαν και περιέχουν υγρασία από 50% ως 65%. Δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν σε πραγματική κλίμακα έδωσαν μετρήσεις ακρίβειας μεγαλύτερης από 0.7%. Οι δυο παραπάνω on-line αναλυτές πραγματοποιούν ταυτόχρονα με τη βασική μέτρηση της υγρασίας και μετρήσεις για διορθώσεις ως προς τη θερμοκρασία και την πυκνότητα του γαιάνθρακα. Η τελευταία διόρθωση βασίζεται στην απορρόφηση ακτινοβολίας γ που εκπέμπεται από κέσιο ¹³⁷Cs (Παυλουδάκης, 2001).

2.5. Χρήση on-line αναλυτών για την παρακολούθηση άλλων παραμέτρων ποιότητας γαιανθράκων

Συστήματα on-line αναλύσεων χρησιμοποιούνται επίσης για την παρακολούθηση της σύστασης πολφών γαιανθράκων σε εγκαταστάσεις εμπλουτισμού που εφαρμόζουν μεθόδους βαρέων διαμέσων και ιδιαίτερα μεθόδους επίπλευσης. Άλλα συστήματα χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της περιεκτικότητας άκαυστου γαιάνθρακα στην τέφρα των ΑΗΣ. Η συγκεκριμένη ποιοτική παράμετρος είναι κρίσιμη για την μείωση των απωλειών θερμότητας που προκαλούνται από την απώλεια καυσίμου που δεν πρόλαβε να καεί και για τη διαφυγή καυσαερίων προς την καπνοδόχο. Οι δύο αυτοί παράγοντες που καθορίζουν την απώλεια θερμότητας είναι αντικρουόμενοι. Ο έλεγχος της περιεκτικότητας του άκαυστου γαιάνθρακα στην τέφρα μπορεί να βοηθήσει στον προσδιορισμό του βέλτιστου σημείου ισορροπίας. Επιπρόσθετα, η παρακολούθηση της συγκεκριμένης παραμέτρου επιτρέπει τη ρύθμιση της λειτουργίας των μύλων έτσι ώστε να μειωθεί το ποσοστό των χονδρομερών σωματιδίων που τροφοδοτούνται στο λέβητα, τα οποία και δεν προλαβαίνουν να καούν ολοκληρωτικά κατά την παραμονή τους στο θάλαμο καύσης. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η περιεκτικότητα άκαυστου γαιάνθρακα στην τέφρα επηρεάζει σημαντικά τη δυνατότητα οικονομικής αξιοποίησης της τελευταίας σε κατασκευές όπλου σκυροδέματος, στην οδοποιία και σε άλλου είδους εφαρμογές (Παυλουδάκης, 2001).

3. Επιλογή και εγκατάσταση on-line αναλυτών

3.1 Επιλογή on-line αναλυτών

Οι παράμετροι που πρέπει να εξεταστούν με ιδιαίτερα μεγάλη προσοχή ώστε να γίνει η βέλτιστη επιλογή και χρήση του on-line αναλυτή, προς όφελος του χρήστη και των καταναλωτών παρουσιάζονται παρακάτω με την μορφή βημάτων(Μιχαηλίδης, 1999).

Επιλογή κατάλληλης αναλυτικής μεθόδου

- Ποια παράμετρος πρόκειται να ελεγχθεί;
- Ποια είναι η τρέχουσα αναλυτική μέθοδος ;
- Εμφάνιση λίστα όλες τις πιθανές μεθόδους για την παράμετρο.
- Ποια είναι η προτιμότερη μέθοδος ανάλυσης;
- Περιγραφή της φυσικοχημείας και της απόδοσης της μεθόδου
 - Πώς είναι οι αλληλεπιδράσεις εξαρτώμενες από τη συγκέντρωση;
 - Ποιες ενώσεις/στοιχεία παρεμβαίνουν στην ακρίβεια της τεχνικής;
 - Ποια από αυτά τα είδη παρέμβασης είναι παρόντα στο δείγμα;
 - Σε ποια επίπεδα αυτά τα είδη παρεμβαίνουν;
- Ποιες είναι οι κανονικά, και αναμενόμενα επίπεδα ελέγχου της τεχνικής ανάλυσης;
- Ποια είναι η επιθυμητή ακρίβεια για τη συσκευή ανάλυσης στο επίπεδο ελέγχου;
- Πόσο ακριβής είναι η μέθοδος;
- Είναι γραμμική η τεχνική ανάλυσης;
- Είναι μετρήσεις που γίνονται άμεσα στη ζώνη μεταφορέων mainline ή σε μια υπογραμμή δειγμάτων.
- Πόσο ευαίσθητη είναι η μέθοδος στις αλλαγές στη χημική σύνθεση του υλικού (π.χ. άνθρακα);
- Ποια είναι η σταθερότητα του οργάνου;
- Ποια είναι η συγκριτική ακρίβεια;
- Ποια είναι η δυναμική επανάληψη;
- Ποιά είναι η δηλωμένη εγγύηση απόδοσης του κατασκευαστή;

- Είναι η διαδικασία βαθμολόγησης "στατική" ή δυναμική;

Επιλογή συσκευών on-line ανάλυσης, ανάπτυξη, εγκατάσταση

- Στόχος η εγκατάσταση της on-line συσκευής ανάλυσης (επιτήρηση, έλεγχος διαδικασίας, βελτιστοποίηση, ταξινόμηση, συνδυασμός κ.τ.λ.).
- Συλλογή των πληροφοριών της διαδικασίας (ιστορικά στοιχεία).
- Αξιολόγηση των αναλυτικών μεθόδων.
- Επιλογή της συσκευής ανάλυσης
- Συγκρότηση μιας ομάδας εφαρμογής της συσκευής ανάλυσης.
- Σχεδίαση του φυσικού και μηχανικού σχεδιαγράμματος.
- Ανάπτυξη του ηλεκτρικού συστήματος
- Αξιολόγηση των ραδιενεργών κινδύνων.

Περιβάλλον εφαρμογής

- Περιβαλλοντικοί περιορισμοί.
 - Ποιες είναι οι κανονικές, χαμηλές και οι υψηλές θερμοκρασίες στον προτεινόμενο τόπο εγκατάστασης
 - Είναι η συσκευή ανάλυσης υπαγόμενη σε:
 - α. Υψηλή δόνηση;
 - β. Υψηλό φορτίο ρεύματος;
 - Πώς η υγρασία έχει επιπτώσεις στη συσκευή ανάλυσης;
 - Υπάρχουν οποιαδήποτε περιβαλλοντικά προβλήματα διάβρωσης;
 - Υπάρχει κίνδυνος πυρκαγιάς;
 - Οι ραδιενεργές πηγές είναι απόλυτα ασφαλείς
 - Είναι το σύστημα on-line ανάλυσης αδιάβροχο και προστατευμένο από την σκόνη;
 - Απαιτεί την προστασία ενάντια στην υπερθέρμανση ή ενάντια στις υπό το μηδέν θερμοκρασίες;
- Λειτουργία του μικροεπεξεργαστή της συσκευής ανάλυσης.

3.2 Εγκατάσταση on-line αναλυτών

Ο τρόπος εγκατάστασης ενός on-line αναλυτή εξαρτάται από τον τύπο του αναλυτή, από την κοκκομετρική κατανομή του εξεταζόμενου γαιάνθρακα και από την ποσότητά του (ρυθμός μεταφοράς). Διακρίνονται οι ακόλουθες δύο περιπτώσεις (Παυλουδάκης, 2001):

- Εγκατάσταση του on-line αναλυτή στην κύρια γραμμή μεταφοράς
Στην περίπτωση αυτή το σύνολο της ποσότητας του μεταφερόμενου γαιάνθρακα διέρχεται από τον αναλυτή.
- Εγκατάσταση του on-line αναλυτή σε βοηθητική γραμμή μεταφοράς
Στην περίπτωση αυτή ένα ποσοστό του γαιάνθρακα εκτρέπεται από την κύρια γραμμή μεταφοράς με τη βοήθεια κατάλληλου μηχανισμού δειγματοληψίας και στη συνέχεια διέρχεται από τον αναλυτή αφού πιθανά υποστεί κάποια επεξεργασία (π.χ. θραύση).

4. Ακρίβεια και πηγές σφαλμάτων μέτρησης αναλυτών

4.1 Η βαθμονόμηση και ρύθμιση της ακρίβειας των on-line αναλυτών

Όλα τα συστήματα on-line αναλύσεων βασίζονται στη μέτρηση κάποιων φυσικών χαρακτηριστικών του γαιάνθρακα που συνδέονται με την περιεκτικότητα συγκεκριμένων συστατικών εντός αυτού. Για παράδειγμα, η περιεκτικότητα σε τέφρα συσχετίζεται με τον μέσο ατομικό αριθμό των συστατικών του γαιάνθρακα. Επειδή τα καύσιμα συστατικά του γαιάνθρακα έχουν μέσο ατομικό αριθμό γύρω στο 6 και τα ορυκτά συστατικά έχουν μέσο ατομικό αριθμό γύρω στο 12, είναι φανερό ότι όσο πιο κοντά στο 12 βρίσκεται ο ατομικός αριθμός του εξεταζόμενου δείγματος τόσο περισσότερη τέφρα αυτό περιέχει. Ο παραπάνω τρόπος λειτουργίας υποδηλώνει ότι πριν ένας on-line αναλυτής τεθεί σε λειτουργία σε ένα συγκεκριμένο ορυχείο ή ΑΗΣ πρέπει να γίνει κατάλληλη ρύθμιση για να προσδιοριστεί η σχέση που συνδέει τον μετρούμενο ατομικό αριθμό με την περιεκτικότητα σε τέφρα.

Στην περίπτωση on-line αναλυτών που διεξάγουν στοιχειακές αναλύσεις εμφανίζονται προβλήματα στην ανίχνευση ορισμένων στοιχείων, όπως το Νάτριο, το Μαγνήσιο και ο Φώσφορος, τα οποία βρίσκονται στο γαιάνθρακα σε χαμηλές συγκεντρώσεις. Ο στοιχειακός άνθρακας δημιουργεί προβλήματα λόγω της περιορισμένης τάσης του να έλκει νετρόνια. Το πρόβλημα αυτό συνήθως ξεπερνιέται λόγω της αυξημένης συγκέντρωσης στοιχειακού άνθρακα στο δείγμα. Τέλος, το οξυγόνο, όπως και στις εργαστηριακές αναλύσεις, είναι αδύνατο να προσδιοριστεί άμεσα και υπολογίζεται ως το υπόλοιπο της αφαίρεσης από τη μονάδα του αθροίσματος όλων των άλλων στοιχείων. Όλες οι προαναφερόμενες μετρητικές αδυναμίες των στοιχειακών αναλυτών καθιστούν απαραίτητη τη χρήση υπολογιστή για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων, προκειμένου να εξαχθεί κάποιο συμπέρασμα για την τιμή της ζητούμενης ποιοτικής παραμέτρου. Για παράδειγμα, ο υπολογισμός της περιεκτικότητας σε τέφρα γίνεται αναγκαστικά με υπολογισμούς που βασίζονται μόνο στα 6 μετρούμενα στοιχεία: Πυρίτιο, Αργίλιο, Σίδηρος, Ασβέστιο, Κάλιο και Τιτάνιο. Ο υπολογισμοί αυτοί συνήθως δίνουν ικανοποιητικά

αποτελέσματα. Προβλήματα παρατηρούνται σε περιπτώσεις γαιανθράκων χαμηλής ποιότητας, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από υψηλές και μεταβαλλόμενες συγκεντρώσεις των μη μετρήσιμων στοιχείων (Παυλουδάκης, 2001).

Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι η σωστή απόδοση των on-line αναλυτών όλων των τύπων στηρίζεται:

- Στην ακρίβεια της μετρητικής διάταξης.
- Στη σωστή βαθμονόμηση των μετρητικών οργάνων και τον προσδιορισμό κατάλληλων αλγορίθμων υπολογισμού και διορθωτικών συντελεστών που ενσωματώνονται στα ηλεκτρονικά συστήματα λειτουργίας των αναλυτών.

Το σύνολο των παραπάνω ρυθμίσεων αφορά αποκλειστικά μια και μοναδική ποιότητα γαιάνθρακα και δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε γαιάνθρακες με διαφορετικά ποιοτικά χαρακτηριστικά (Παυλουδάκης, 2001).

4.2. Η έννοια της ακρίβειας ενός on-line αναλυτή

Η πιστότητα (accuracy) των μετρήσεων ενός on-line αναλυτή καθορίζεται από δύο διακριτό μεγέθη: την απόκλιση (bias) και την ακρίβεια (precision). Επειδή η απόκλιση εξαρτάται από τη βαθμονόμηση του αναλυτή και θεωρητικό μπορεί να μηδενιστεί, στην πράξη η πιστότητα του αναλυτή είναι ίση με την ακρίβειά του.

Η ακρίβεια, με τη σειρά της, εξαρτάται από το χρόνο ανταπόκρισης του αναλυτή και προσδιορίζεται με βάση το Θεώρημα του Κεντρικού Ορίου (Central Limit Theorem), το οποίο για τους σκοπούς του συγκεκριμένου προβλήματος μπορεί να διατυπωθεί ως εξής: η διακύμανση (variance) της μέσης τιμής n μετρήσεων είναι n φορές μικρότερη από τη διακύμανση των διακριτών μετρήσεων (Παυλουδάκης, 2001).

$$\text{var}(x) = \text{var}(x_0) / n$$

όπου: $\text{var}(x)$, η διακύμανση των μέσων τιμών

$\text{var}(x_0)$, η διακύμανση των αρχικών τιμών

n , ο αριθμός των μετρήσεων που συμπεριλαμβάνονται στις μέσες τιμές

Τα παραπάνω σημαίνουν ότι όταν το χρονικό διάστημα που διαρκεί μία μέτρηση αυξάνει 4 φορές, η τυπική απόκλιση της χρονοσειράς των μετρήσεων μειώνεται στο μισό. Άρα, τα παρατηρούμενα σφάλματα των on-line αναλυτών τείνουν να ελαττωθούν με την αύξηση του χρόνου ανταπόκρισης. Με άλλα λόγια, χαμηλή τυπική απόκλιση, για παράδειγμα της τάξης του 0.5%, μπορεί εύκολα να επιτευχθεί για τις μέσες μηνιαίες αναλύσεις περιεκτικότητας του λιγνίτη σε τέφρα, όχι όμως και για τις αναλύσεις δειγμάτων που λαμβάνονται με περίοδο 1 min (Παυλουδάκης, 2001).

Αντιστρέφοντας την παραπάνω λογική, ο διπλασιασμός της ενδογενούς ακρίβειας (intrinsic precision) ενός δείγματος γαιάνθρακα, η οποία μετριέται με τη βοήθεια του συντελεστή διακύμανσης (coefficient of variation), προϋποθέτει τον τετραπλασιασμό του αριθμού των πρωτογενών υποδειγμάτων (primary increments) που λαμβάνονται από τον κύριο όγκο του γαιάνθρακα (Παυλουδάκης, 2001).

4.3. Πηγές σφαλμάτων μέτρησης

Τα σφάλματα μέτρησης προκύπτουν ως αποτέλεσμα διακυμάνσεων που σημειώνονται τόσο στον αναλυτή όσο και στο σύστημα αναφοράς ή σε άλλες συνιστώσες του συστήματος προετοιμασίας των δειγμάτων.

Οι πηγές σφαλμάτων που αφορούν τον αναλυτή με τη σειρά τους διακρίνονται (Παυλουδάκης, 2001):

- Σε πηγές σφαλμάτων που έχουν σχέση με τον τρόπο εισόδου του δείγματος στον αναλυτή, όπως για παράδειγμα οι οριζόντιες ή οι κατακόρυφες διαφοροποιήσεις της ποιότητας του γαιάνθρακα πάνω στη μεταφορική ταινία.
- Σε πηγές σφαλμάτων που αφορούν τα όργανα μέτρησης, όπως για παράδειγμα η αστάθεια των ηλεκτρονικών συστημάτων του οργάνου ή η επίδραση της θερμοκρασίας και της υγρασίας.
- Σε πηγές σφαλμάτων που έχουν σχέση με τη βαθμονόμηση του οργάνου. Σφάλματα αυτού του τύπου προκύπτουν συνήθως όταν η περιοχή των μετρήσεων βρίσκεται εκτός των ορίων για τα οποία έχει ρυθμιστεί η ακρίβεια των μετρήσεων του οργάνου.
- Σε πηγές σφαλμάτων που έχουν σχέση με τη δειγματοληψία και την προετοιμασία των δειγμάτων. Σφάλματα αυτής της προέλευσης συναντούνται κυρίως σε αναλυτές που δεν τοποθετούνται στην κύρια γραμμή μεταφοράς του γαιάνθρακα και για το λόγο αυτό δεν εξετάζουν τη συνολική ποσότητα του διακινούμενου γαιάνθρακα.

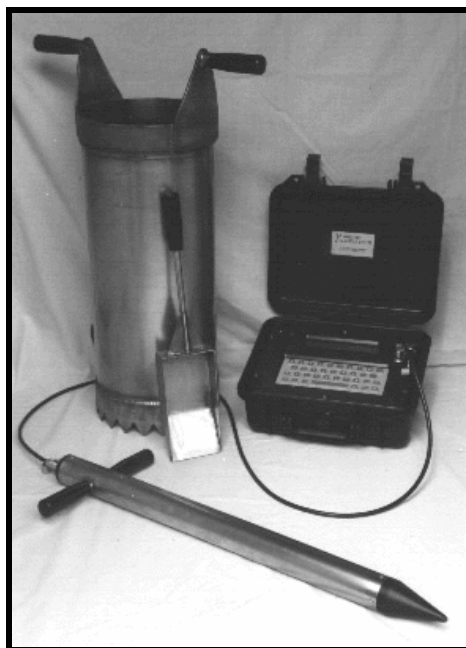
Σε ότι αφορά την εξάλειψη σφαλμάτων που υπεισέρχονται από τις μετρήσεις αναφοράς, πρωταρχικό παράγοντα αποτελεί η επαλήθευση της απουσίας συστηματικών αποκλίσεων. Για το λόγο αυτό αν η διαδικασία δειγματοληψίας δεν είναι αυτή που προβλέπεται από τα πρότυπα ISO 9411 και ISO 1988, θα πρέπει να διεξάγεται έλεγχος για τον εντοπισμό συστηματικών αποκλίσεων σύμφωνα με το πρότυπο ISO 9411.

Οι πηγές σφαλμάτων που αφορούν το σύστημα αναφοράς διακρίνονται (Παυλουδάκης, 2001):

- Σε πηγές σφαλμάτων που σχετίζονται με τη δειγματοληψία και συγκεκριμένα με (α) το μέγεθος του δείγματος, (β) τον αριθμό και το μέγεθος των υποδειγμάτων (increments) από τα οποία σχηματίζεται το κάθε δείγμα, και (γ) τη διαδικασία ελάττωσης της μάζας του δείγματος που τελικά αναλύεται.
- Σε πηγές σφαλμάτων που σχετίζονται με τη διαδικασία προετοιμασίας του

δείγματος (π.χ. μείωση μεγέθους κόκκων, ανάμιξη, ξήρανση, κλπ).

- Σε πηγές σφαλμάτων που αφορούν την εφαρμοζόμενη διαδικασία ανάλυσης και μπορεί να συνδέονται είτε με τις χρησιμοποιούμενες συσκευές, είτε με τους υπολογισμούς που διεξάγονται για τη λήψη τελικών αποτελεσμάτων.



Εικόνα 4.1,2 Φορητός αναλυτής μέτρησης της φυσικής ραδιενέργειας του λιγνίτη της εταιρίας Brethby Gammatech (Brethby Gammatech Ltd.,1999).

5. Συσχέτιση των μετρήσεων ενός on-line αναλυτή με εργαστηριακές μετρήσεις

Ο προσδιορισμός της βέλτιστης σειράς υπολογισμών για την μετατροπή της ένδειξης του μετρητικού οργάνου σε αξιόπιστη μέτρηση του εξεταζόμενου ποιοτικού χαρακτηριστικού απαιτεί τη διεξαγωγή εκτεταμένων εργαστηριακών αναλύσεων που αντιπαραβάλλονται με τις ενδείξεις του on-line αναλυτή. Τα δείγματα που αναλύονται είναι απαραίτητο να αντιπροσωπεύουν τις διακυμάνσεις ποιότητας του εξεταζόμενου γαιάνθρακα. Για το λόγο αυτό, ενδείκνυται η ρύθμιση ενός αναλυτή να γίνεται με τη χρήση δειγμάτων που λήφθηκαν στιγμιαία (spot samples) ή δειγμάτων που αντιπροσωπεύουν μέσες τιμές 1 ώρας, παρά με τη χρήση δειγμάτων που αντιπροσωπεύουν μέσες τιμές μεγάλων χρονικών διαστημάτων τα οποία είναι πιθανό να συγκαλύπτουν διακυμάνσεις μικρής περιόδου.

Η συσχέτιση μετρήσεων που λαμβάνονται από ένα on-line αναλυτή με μετρήσεις που διεξάγονται στο εργαστήριο εφαρμόζοντας τυποποιημένες μεθόδους είναι μία διαδικασία περίπλοκη. Ο on-line αναλυτής συνήθως μετρά ένα ποιοτικό χαρακτηριστικό του γαιάνθρακα στο σύνολο της ποσότητάς του, χωρίς να προηγηθεί δειγματοληψία. Αντίθετα, οι εργαστηριακές αναλύσεις διεξάγονται χρησιμοποιώντας μικροποσότητες γαιάνθρακα που συλλέγονται εφαρμόζοντας προδιαγεγραμμένες τεχνικές δειγματοληψίας. Επιπλέον, οι εργαστηριακές αναλύσεις πολλές φορές εφαρμόζονται σε δείγματα που, λόγω προηγούμενης επεξεργασίας, έχουν διαφοροποιηθεί από αρχική κατάσταση και δεν αντιπροσωπεύουν με ακρίβεια τις ιδιότητες του κυρίως όγκου του γαιάνθρακα.

Η πιστότητα των μετρήσεων ενός on-line αναλυτή εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες που υπεισέρχονται στη διαδικασία ρύθμισής του (Παυλιδάκης, 2001):

- Την αντιπροσωπευτικότητα του δείγματος αναφοράς.
- Τη μέση τιμή και το εύρος διακύμανσης της μετρούμενης ιδιότητας.

- Την εφαρμοζόμενη μέθοδο σύγκρισης μεταξύ των μετρήσεων του on-line αναλυτή και των μετρήσεων αναφοράς.

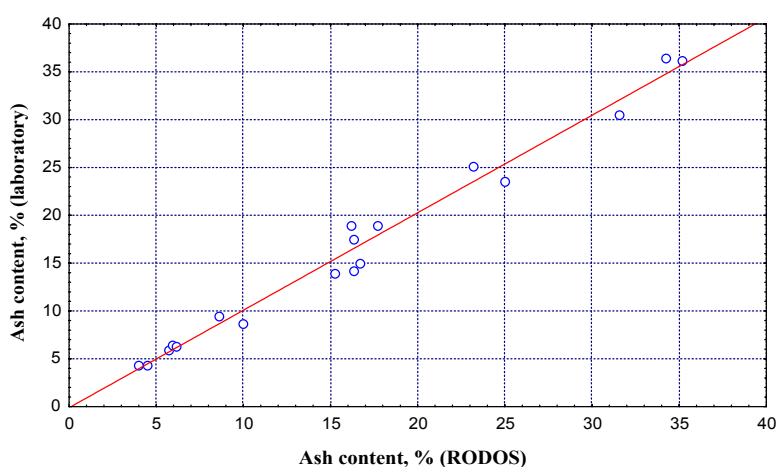
Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι οι τυποποιημένες εργαστηριακές μέθοδοι δεν μπορούν να εγγυηθούν την ακριβή ρύθμιση της λειτουργίας on-line αναλυτών, αν και τούτο αποτέλεσε τη συνήθη πρακτική κατά τα πρώτα στάδια εξέλιξης των αναλυτών. Γενικότερα, οι ειδικοί που ασχολούνται με τις εφαρμογές on-line αναλυτών στην μεταλλευτική συμφωνούν πλέον ότι δεν υπάρχει απόλυτο πρότυπο για τη βαθμονόμηση ενός on-line αναλυτή, όπως για παράδειγμα υπάρχει για ένα ζυγό ή ένα πιεσόμετρο. Η εμπειρία απέδειξε ότι οι τυποποιημένες διαδικασίες εργαστηριακών αναλύσεων κατά τα τρία στάδια διεξαγωγής τους (δειγματοληψία, προετοιμασία δείγματος, ανάλυση) υπόκεινται σε διακυμάνσεις που δεν μπορούν να αγνοηθούν.

Οι κατασκευαστές on-line αναλυτών έχουν καταλήξει ότι η βέλτιστη μέθοδος για τη διαπίστωση της πιστότητας ενός αναλυτή είναι ο *Εκτιμητής του Grubbs* (Grubbs' Estimator). Το βασικό πλεονέκτημα του Εκτιμητή του Grubbs είναι η δυνατότητα να διακρίνει το σφάλμα ή τη διακύμανση που υπεισέρχεται σε μία μέτρηση λόγω του online αναλυτή, από το σφάλμα ή τη διακύμανση που οφείλεται στη δειγματοληψία και το σφάλμα ή τη διακύμανση που οφείλεται στη μέθοδο ανάλυσης που εφαρμόστηκε στο εργαστήριο. Σε ότι αφορά την εφαρμογή του Εκτιμητή του Grubbs με βάση τη σύγκριση των μετρήσεων του on-line αναλυτή με ένα μόνο εργαστήριο, παρουσιάζει το σημαντικό μειονέκτημα της εξάρτησης του κανονικού σφάλματος του αναλυτή από τις ενδογενείς διακυμάνσεις ποιότητας του εξεταζόμενου γαιάνθρακα. Ο Lombard έχει προτείνει ένα νέο εκτιμητή που επηρεάζεται πολύ λιγότερο από τις ενδογενείς διακυμάνσεις, ξεπερνώντας σε πολλές περιπτώσεις την απόδοση του Εκτιμητή του Grubbs που βασίζεται στη διπλή σύγκριση με 2 εργαστήρια αναφοράς. Η προτεινόμενη μέθοδος για να λειτουργήσει αποτελεσματικά προϋποθέτει την ύπαρξη προηγούμενης γνώσης για την εσωτερική διακύμανση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του γαιάνθρακα και τη διακύμανση του σφάλματος των μετρήσεων του αναλυτή. Σε πολλές περιπτώσεις τα στοιχεία αυτά είναι διαθέσιμα και αποτελεί αδυναμία του Εκτιμητή του Grubbs το ότι δεν τα αξιοποιεί (Παυλουδάκης, 2001).

5.1 Η διαδικασία δειγματοληψίας κατά την εκτίμηση της πιστότητας των μετρήσεων ενός on-line αναλυτή

Η μέθοδος δειγματοληψίας που εφαρμόζεται σε περιπτώσεις εκτίμησης της πιστότητας των μετρήσεων ενός on-line αναλυτή πρέπει να ακολουθεί τα ισχύοντα πρότυπα κατά ISO ή ASTM. Οι βασικές αρχές για την επιτυχή διεξαγωγή της δειγματοληψίας είναι οι ακόλουθες (Παυλουδάκης, 2001):

- Ο αριθμός των συγκρίσεων μεταξύ των μετρήσεων του on-line αναλυτή και των εργαστηριακών μετρήσεων πρέπει να είναι σχετικά μεγάλος. Για παράδειγμα, για την χρησιμοποίηση του Εκτιμητή του Grubbs απαιτούνται 50 - 60 δείγματα.
- Το χρονικό διάστημα δειγματοληψίας πρέπει να είναι ανάλογο με το χρονικό διάστημα που σε κάθε περίπτωση κρίνεται καθοριστικό για τον έλεγχο ποιότητας του γαιάνθρακα. Στην περίπτωση που το κρίσιμο αυτό διάστημα αντιστοιχεί σε μεγάλη ποσότητα γαιάνθρακα (π.χ. μερικές δεκάδες φορτηγά), είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί η ελάχιστη μάζα δείγματος καθώς και ο ελάχιστος αριθμός και η ελάχιστη μάζα των υποδειγμάτων από τα οποία σχηματίζεται το κάθε δείγμα.
- Το χρονικό διάστημα δειγματοληψίας για τη διεξαγωγή των εργαστηριακών αναλύσεων πρέπει να έχει συγχρονιστεί με την αντίστοιχη περίοδο μέτρησης του on-line αναλυτή.



Σχήμα 5.1 Συγκριτικά αποτελέσματα μετρήσεων περιεκτικότητας σε τέφρα με την χρήση αναλυτή τύπου RODOS στο ορυχείο λιγνίτη Belchatow (Poland) (EMAG, 1999).

6. Διαδικασία εκτίμησης της απόδοσης ενός on-line αναλυτή

Για την πλήρη εκτίμηση της απόδοσης ενός on-line αναλυτή είναι απαραίτητο να εξεταστούν οι ακόλουθες 3 παράμετροι (Παυλουδάκης, 2001):

Σταθερότητα του οργάνου

Τα σφάλματα που οφείλονται στη σταθερότητα του αναλυτή μπορεί να είναι τυχαία ή συστηματικά. Τα τυχαία σφάλματα εκτιμούνται με τη διεξαγωγή δοκιμών στατικής επαναληψιμότητας (λήψη πολλών μετρήσεων με χρήση του ίδιου δείγματος). Τα συστηματικά σφάλματα, τα οποία αν είναι αρκετά μεγάλα είναι δυνατό να επηρεάσουν τη βαθμονόμηση του αναλυτή, εντοπίζονται εύκολα και συνήθως διορθώνονται αυτόματα από εσωτερικούς ελέγχους που εκτελεί ο αναλυτής ανά τακτά διαστήματα.

Βαθμονόμηση

Εκτός από τα σφάλματα βαθμονόμησης που προκύπτουν από την αστάθεια του οργάνου, τα οποία αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, υπάρχουν και σφάλματα βαθμονόμησης που οφείλονται σε αλλαγές της ποιότητας του εξεταζόμενου γαιάνθρακα, σε αλλαγές του τρόπου που το δείγμα εισέρχεται στη μετρητική διάταξη ή ακόμα και σε αλλαγές στο χρησιμοποιούμενο σύστημα μετρήσεων αναφοράς. Σφάλματα βαθμονόμησης που οφείλονται στους παραπάνω παράγοντες μπορεί να εντοπιστούν διεξάγοντας συγκριτικές δοκιμές.

Απόδοση του αναλυτή σε συνθήκες λειτουργίας

Μετά τη διαπίστωση της απουσίας σημαντικής συστηματικής απόκλισης των μετρήσεων του αναλυτή, διεξάγονται σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας οι ακόλουθες δοκιμές:

- Δοκιμή προσδιορισμού της εσωτερικής δυναμικής ακρίβειας.

Η συγκεκριμένη δοκιμή είναι περίπλοκη και συνήθως διεξάγεται μόνο στο στάδιο της παραλαβής ενός νέου οργάνου. Περιλαμβάνει τη σύγκριση των μετρήσεων του αναλυτή με εγγυημένες μετρήσεις αναφοράς και έχει ως στόχο την ασφαλή εκτίμηση της απόδοσης του αναλυτή.

- Δοκιμή προσδιορισμού της συγκριτικής δυναμικής ακρίβειας.

Η δοκιμή αυτή είναι απλούστερη σε σχέση με την προηγούμενη και περιλαμβάνει επίσης σύγκριση των μετρήσεων του αναλυτή με μετρήσεις αναφοράς που αυτή τη φορά λαμβάνονται από το εργαστήριο στο οποίο εκτελούνται οι αναλύσεις ρουτίνας του συγκεκριμένου ορυχείου ή ΑΗΣ. Στόχος της δοκιμής αυτής είναι η καταγραφή μιας ένδειξης της απόδοσης του αναλυτή και ο εντοπισμός τυχόν αποκλίσεων σε σύγκριση με παλιότερες μετρήσεις.

Ο παραπάνω στόχος επιτυγχάνεται πολλές φορές χωρίς συγκριτικές μετρήσεις, με την ανάλυση των ίδιων τυποποιημένων δειγμάτων από τον on-line αναλυτή. Οι νέες μετρήσεις που λαμβάνονται κάθε φορά από τον αναλυτή συγκρίνονται με τις παλαιότερες για να διαπιστωθεί αν έχουν εξασθενήσει ή έχουν υποστεί μετατόπιση.

Τα στατιστικά μεγέθη που χρησιμοποιούνται από τις παραπάνω δύο δοκιμές για την εκτίμηση της απόδοσης του αναλυτή είναι τα εξής:

- Η ρίζα της μέσης τετραγωνικής απόκλισης (root mean squared deviation), η οποία βοηθά στην εκτίμηση της ακρίβειας του αναλυτή.
- Το άθροισμα των διακυμάνσεων των συγκρινόμενων ζευγών μετρήσεων, το οποίο αποτελεί ένδειξη της απόκλισης του αναλυτή.
- Το διάγραμμα (χρονοσειρά) των μετρήσεων του on-line αναλυτή σε αντιπαραβολή των μετρήσεων αναφοράς (άξονας x: αριθμός δείγματος, άξονας y: μετρήσεις on-line αναλυτή και αναφοράς).
- Το διάγραμμα διασποράς των αντιπαραβαλλόμενων μετρήσεων (άξονας x: μετρήσεις αναφοράς, άξονας y: μετρήσεις on-line αναλυτή)

- Δοκιμή προσδιορισμού της δυναμικής επαναληψιμότητας.

Η δυναμική επαναληψιμότητα είναι μία δοκιμή ρουτίνας που βασίζεται στη λήψη δύο μετρήσεων εντός χρονικού διαστήματος στο οποίο η ποιότητα του

γαιάνθρακα θεωρείται ότι δεν έχει μεταβληθεί. Η δοκιμή αυτή είναι προσεγγιστική αφού βασίζεται στη θεώρηση της μη μεταβολής της ποιότητας του γαιάνθρακα, αποτελεί όμως χρήσιμο δείκτη της εσωτερικής ακρίβειας του αναλυτή.

ΜΕΡΟΣ Γ΄

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ (STATISTICAL PROCESS CONTROL)

- 1. Εισαγωγή**
- 2. Δυνατότητες παραγωγικής διαδικασίας**
- 3. Γενικές αρχές των διαγραμμάτων ελέγχου διαδικασιών**
- 4. Διαγράμματα ελέγχου μεταβλητών**
- 5. Διαγράμματα ελέγχου ιδιοτήτων**
- 6. Ειδικά διαγράμματα ελέγχου**
- 7. Μέθοδοι σχεδίασης διαγραμμάτων ελέγχου**

1. Εισαγωγή

Ο στατιστικός έλεγχος ποιότητας είναι η εφαρμογή στατιστικών μεθόδων για την εκτίμηση της ποιότητας ενός προϊόντος με συγκεκριμένη βεβαιότητα και με τον πιο οικονομικό τρόπο. Ο στατιστικός έλεγχος της ποιότητας διακρίνεται στον στατιστικό έλεγχο της αποδοχής και τον στατιστικό έλεγχο της παραγωγικής διαδικασίας. Ο στατιστικός έλεγχος αποδοχής χρησιμοποιείται προκειμένου να ελεγχθεί αν μια παρτίδα παραγωγής ικανοποιεί τις προδιαγραφές ποιότητας, ενώ ο στατιστικός έλεγχος της παραγωγικής διαδικασίας έχει ως στόχο να προλάβει την παραγωγή ελαττωματικών προϊόντων – παρτίδων ελέγχοντας την παραγωγική διαδικασία (Γαλετάκης, 2000).

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής θα γίνει μια γενική περιγραφή του στατιστικού ελέγχου παραγωγικής διαδικασίας που αναμφισβήτητα αποτελεί σήμερα την ευρύτερα χρησιμοποιούμενη μέθοδο ελέγχου και διασφάλισης της ποιότητας. Αυτό συμβαίνει γιατί μεταφέρει τις ενέργειες ελέγχου ένα βήμα πιο έγκαιρα στον κύκλο σχεδίασης – παραγωγής – αποστολής του προϊόντος. Για τον λόγο αυτό ο στατιστικός έλεγχος παραγωγικής διαδικασίας αναφέρεται και ως προληπτικός έλεγχος ποιότητας.

Κύριο στατιστικό εργαλείο εφαρμογής του στατιστικού ελέγχου παραγωγικής διαδικασίας είναι τα διαγράμματα ελέγχου, τα οποία είναι η περισσότερο διαδεδομένη τεχνική του στατιστικού ελέγχου ποιότητας. Βασικός σκοπός των διαγραμμάτων αυτών είναι ο εντοπισμός συστηματικών μεταβολών των παραμέτρων της παραγωγικής διαδικασίας, που έχουν σαν αποτέλεσμα παρεκκλίσεις των χαρακτηριστικών ποιότητας από τις επιθυμητές τιμές τους. Στην βιβλιογραφία αναφέρονται και ως διαγράμματα **Shewhart** προς τιμήν του **Walter A. Shewhart** που πρώτος τα ανέπτυξε και τα εφάρμοσε στα εργαστήρια της Bell Telephone (Γαλετάκης, 2000).

Η σχεδίαση και λειτουργία ενός διαγράμματος ελέγχου προϋποθέτει την γνώση της στατιστικής συμπεριφοράς της παραγωγικής διαδικασίας υπό κανονικές συνθήκες έτσι ώστε να είναι δυνατή η ανίχνευση αποκλίσεων από τις συνθήκες αυτές. Άρα

είναι απαραίτητη, κατά το στάδιο της εφαρμογής του ελέγχου παραγωγικής διαδικασίας, η συστηματική μελέτη των χαρακτηριστικών της σε ελεγχόμενη κατάσταση ομαλής λειτουργίας. Η μελέτη αυτή ονομάζεται ανάλυση δυνατοτήτων παραγωγικής διαδικασίας. Από την στιγμή που έχει εξασφαλιστεί ότι η παραγωγική διαδικασία ανταποκρίνεται στις δεδομένες απαιτήσεις ποιότητας των προϊόντων που πρόκειται να παράγει, είναι πλέον σκόπιμη η σχεδίαση του κατάλληλου διαγράμματος ελέγχου που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση της παραγωγικής διαδικασίας (Ταγαράς, 2001).

2. Ανάλυση δυνατοτήτων παραγωγικής διαδικασίας

Η ανάλυση δυνατοτήτων παραγωγικής διαδικασίας προσδιορίζει τον βαθμό στον οποίο μια συγκεκριμένη παραγωγική διαδικασία έχει την δυνατότητα να παράγει ορισμένο προϊόν με ικανοποιητική ποιότητα. Οι κυριότεροι λόγοι που επιβάλλουν την γνώση της στατιστικής συμπεριφοράς των χαρακτηριστικών ποιότητας των διαδικασιών και επομένως των δυνατοτήτων τους είναι οι εξής δύο (Ταγαράς, 2001):

- Η συσχέτιση των τεχνικών προδιαγραφών του προϊόντος που πρόκειται να παράγει η διαδικασία με τις φυσικές ανοχές της διαδικασίας επιτρέπει τον προσδιορισμό του βαθμού στον οποίο η συγκεκριμένη παραγωγική διαδικασία είναι σε θέση να ανταποκριθεί στις προδιαγραφές.
- Η καταγραφή των δυνατοτήτων διαφόρων παραγωγικών διαδικασιών διευκολύνει την επιλογή της καταλληλότερης διαδικασίας για την παραγωγή ορισμένου προϊόντος με συγκεκριμένες προδιαγραφές στην περίπτωση βέβαια που υπάρχουν εναλλακτικές δυνατότητες για την παραγωγή του προϊόντος.

Κατά την ανάλυση δυνατοτήτων παραγωγικής διαδικασίας σε πρώτη φάση προσδιορίζονται τα φυσικά όρια ανοχών. Αν μ είναι η μέση τιμή και σ είναι η τυπική απόκλιση του χαρακτηριστικού ποιότητας της παραγωγικής διαδικασίας, το άνω όριο ελέγχου (Upper Control Limit ή UCL) είναι $\mu+3\sigma$ και το κάτω όριο ελέγχου (Low Control Limit ή LCL) είναι $\mu-3\sigma$. Όταν η κατανομή του χαρακτηριστικού ποιότητας είναι κανονική, τα όρια ελέγχου περιέχουν 99,73% των τιμών της τυχαίας μεταβλητής που αντιστοιχεί στο χαρακτηριστικό ποιότητας. Οπότε το υπόλοιπο 0,27% των προϊόντων της χαρακτηριστικής διαδικασίας θα βρίσκεται έξω από τα επιτρεπτά όρια ελέγχου.

Η δυνατότητα της παραγωγικής διαδικασίας εκφράζεται κατά κύριο λόγο από την διασπορά του παραγόμενου πληθυσμού και ειδικότερα από την από την τυπική απόκλιση σ ή από την διακύμανση σ^2 . Η δεύτερη φάση ανάλυσης περιλαμβάνει τη σύγκριση των ορίων ελέγχου με τις απαιτούμενες προδιαγραφές. Το αποτέλεσμα της σύγκρισης αυτής εκφράζεται συνήθως με την μορφή απλών δεικτών, οι οποίοι ονομάζονται δείκτες δυνατότητας παραγωγικής διαδικασίας.

2.1 Εκτίμηση διασποράς στην παραγωγική διαδικασία

Η εκτίμηση της διασποράς των τιμών του πληθυσμού που παράγει η παραγωγική διαδικασία γίνεται είτε από το εύρος R είτε από την τυπική απόκλιση s (ή την διακύμανση s^2). Πρέπει να πούμε ότι η κατανομή του χαρακτηριστικού ποιότητας θα πρέπει να έχει σταθεροποιηθεί ώστε η διαδικασία να βρίσκεται σε στατιστικό έλεγχο. Η συλλογή των στοιχείων πραγματοποιείται με λήψη m τυχαίων δειγμάτων μεγέθους n κατά τακτά χρονικά διαστήματα.

- Εκτίμηση με βάση τα εύρη δειγμάτων.
- Εκτίμηση με βάση την τυπική απόκλιση.

Τα παραπάνω αφορούν την ανάλυση δυνατοτήτων παραγωγικής διαδικασίας όπου το χαρακτηριστικό ποιότητας είναι το χαρακτηριστικό μέτρησης. Όταν το χαρακτηριστικό ποιότητας είναι χαρακτηριστική ιδιότητα, η αντίστοιχη ανάλυση περιορίζεται στην εκτίμηση του ποσοστού των ελαττωματικών ή του αριθμού των ελαττωμάτων ανά μονάδα υπό ομαλές συνθήκες.

2.2 Δείκτες δυνατότητας παραγωγικής διαδικασίας

Δείκτης δυνατότητας παραγωγικής διαδικασίας είναι ένας απλός δείκτης (λόγος δύο ποσοτήτων) που συνδέει τα φυσικά όρια ανοχών με τις προδιαγραφές. Αποτελεί δηλαδή ένα περιληπτικό μέτρο των δυνατοτήτων μιας παραγωγικής διαδικασίας σε σχέση με συγκεκριμένες τεχνικές προδιαγραφές L και U .

Ο παλαιότερος και απλούστερος δείκτης δυνατότητας παραγωγικής διαδικασίας είναι ο δείκτης C_p , που χρησιμοποιείται όταν ορίζονται αμφίπλευρα όρια προδιαγραφών (L , U) και εκφράζει ποσοτικά τη σχέση ανάμεσα στο εύρος $U-L$ των προδιαγραφών και το εύρος 6σ των φυσικών ορίων ανοχών (Ταγαράς, 2001) :

$$C_p = \frac{U - L}{6\sigma} \quad (2.1)$$

Ο δείκτης C_p αποδίδει τις δυνατότητες της παραγωγικής διαδικασίας με την προϋπόθεση ότι η μέση τιμή μ ταυτίζεται με το μέσο $M = (L + U)/2$ του διαστήματος (L, U) . Όταν η μέση τιμή της παραγωγικής διαδικασίας διαφέρει από το μέσο του διαστήματος προδιαγραφών, οι δυνατότητες της παραγωγικής διαδικασίας εκφράζονται από τον δείκτη C_{pk} που ορίζεται από τη σχέση (Γαλετάκης, 2000) :

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{\mu - L}{3\sigma}, \frac{U - \mu}{3\sigma} \right\} \quad (2.2)$$

- Αρνητικές τιμές του C_{pk} δείχνουν ότι η μέση τιμή της ποιότητας είναι εκτός προδιαγραφών.
- Αν $C_{pk} = 0.0$ τότε η μέση τιμή της ποιότητας ταυτίζεται με ένα από τα όρια των προδιαγραφών.
- Αν $0.0 < C_{pk} < 1.0$ τότε η μέση ποιότητα είναι εντός των ορίων των προδιαγραφών, αλλά ένα τμήμα της παραγωγής εκτός.
- Αν $C_{pk} = 1.0$ τότε ένα από τα στατιστικά όρια συμπίπτει με εκείνα των προδιαγραφών.
- Αν $C_{pk} > 1.0$ τότε η παραγωγή είναι εντός των προδιαγραφών.

Τα τελευταία χρόνια έχει προταθεί και νέος δείκτης δυνατότητας παραγωγικής διαδικασίας, ο οποίος θεωρείται καταλληλότερος όταν η επιθυμητή τιμή T ($T = \text{target value}$) του χαρακτηριστικού ποιότητας δεν ταυτίζεται με το μέσο M του διαστήματος προδιαγραφών. Ο δείκτης αυτός συμβολίζεται με C_{pm} και ορίζεται από τη σχέση (Ταγαράς, 2001) :

$$C_{pm} = \frac{U - L}{6\sqrt{(\mu - T)^2 + \sigma^2}} \quad (2.3)$$

3. Γενικές αρχές των διαγραμμάτων ελέγχου διαδικασιών

Τα διαγράμματα ελέγχου διαδικασιών (SPC) είναι το σημαντικότερο εργαλείο του στατιστικού ελέγχου παραγωγικής διαδικασίας. Η κύρια χρήση των διαγραμμάτων έγκειται στον εντοπισμό συστηματικών μεταβολών της διαδικασίας, που έχουν αρνητικές συνέπειες για την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων. Επιπλέον χρησιμοποιούνται στην ανάλυση δυνατοτήτων παραγωγικής διαδικασίας και στην επεξεργασία μετρήσεων για διαγνωστικούς σκοπούς. Η σωστή εφαρμογή τους αποφέρει τα ακόλουθα άμεσα και έμμεσα οφέλη (Ταγαράς, 2001) :

- Μείωση του κόστους εσωτερικών αστοχιών και αύξηση της παραγωγικότητας, αποφυγή ελαττωματικών προϊόντων
- Βελτίωση της απόδοσης και ποιότητας της παραγωγικής διαδικασίας
- Αποφυγή υπερβολικά συχνών και όχι απαραίτητων επεμβάσεων στην παραγωγική διαδικασία
- Αξιόπιστη ανάλυση δυνατοτήτων παραγωγικής διαδικασίας
- Συστηματική παρακολούθηση των διαδικασιών, καταγραφή μετρήσεων και δημιουργία αρχείου για την αξιολόγηση των διαδικασιών
- Έμφαση στην πρόληψη δημιουργίας ελαττωματικών προϊόντων

3.1 Αιτίες μεταβλητότητας και στατιστικός έλεγχος

Κοινό χαρακτηριστικό όλων των διαδικασιών παραγωγής είναι σίγουρα η ύπαρξη εγγενούς ή φυσικής μεταβλητότητας. Πάντα, σε οποιαδήποτε διαδικασία θα υπάρχουν κάποιες διαφορές, έστω μικρές στα χαρακτηριστικά των παραγόμενων προϊόντων ή υπηρεσιών. Εκείνο που διαφοροποιεί την ποιότητα των διαδικασιών είναι το μέγεθος της ποιότητας.

Η φυσική μεταβλητότητα αποτελεί την συνισταμένη της επίδρασης πολλών αναπόφευκτων παραγόντων, που ονομάζονται τυχαίες αιτίες (random causes). Οι τυχαίες αιτίες, όπως οι μικρές διαφοροποιήσεις μιας φυσικής πρώτης ύλης, είναι

πρακτικά αδύνατο να απαλειφθούν κατά την διαδικασία παραγωγής. Οι τυχαίες αιτίες δεν είναι οι μόνες που επηρεάζουν το αποτέλεσμα μιας παραγωγικής διαδικασίας. Η μεταβλητότητα αυξάνεται εξαιτίας της εμφάνισης και επίδρασης πρόσθετων παραγόντων που ονομάζονται συστηματικές αιτίες (special causes). Οι συστηματικές αιτίες οφείλονται σε μηχανικές ή ηλεκτρικές βλάβες, ελαττωματικές πρώτες ύλες και ανθρώπινα σφάλματα κατά την ρύθμιση των μηχανών ή την εκτέλεση των εργασιών. Σε αντίθεση με τις τυχαίες αιτίες, οι συστηματικές αιτίες είναι δυνατό να απαλειφθούν μετά από διορθωτική κίνηση. Η επίπτωση των συστηματικών αιτιών στην διασπορά τιμών της διαδικασίας είναι γενικά μεγαλύτερη από την επίπτωση των τυχαίων αιτιών και κατά κανόνα οδηγεί σε μη αποδεκτή στάθμη της διαδικασίας (Ταγαράς, 2001).

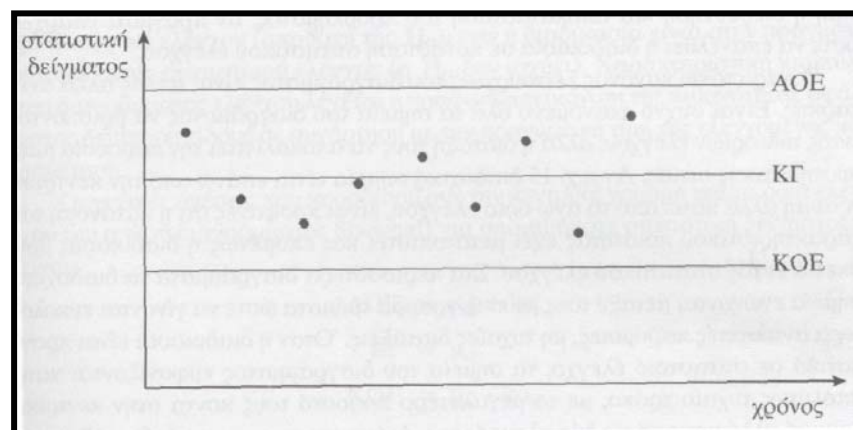
Όταν μια παραγωγική διαδικασία είναι απαλλαγμένη από την παρουσία και επίδραση συστηματικών αιτιών, λέγεται ότι βρίσκεται σε κατάσταση στατιστικού ελέγχου (in statistical control). Η κατάσταση στατιστικού ελέγχου σημαίνει ότι η κατανομή του χαρακτηριστικού ποιότητας παραμένει σταθερή κατά την διάρκεια της παραγωγής με την μικρότερη δυνατή μεταβλητότητα. Αυτό όμως δεν σημαίνει απαραίτητα ότι το επίπεδο ποιότητας είναι αποδεκτό σε σχέση με κάποιες προδιαγραφές.

Τα διαγράμματα ελέγχου αποτελούν ουσιαστικά μια γραφική τεχνική παρακολούθησης της παραγωγικής διαδικασίας on-line, η οποία αποσκοπεί στον έγκαιρο εντοπισμό συστηματικών αιτιών μεταβολής των παραμέτρων της παραγωγικής διαδικασίας, ώστε να αποφευχεται η λειτουργία της όταν είναι εκτός ελέγχου για μεγάλο χρονικό διάστημα ώστε να αποφεύγεται η μεγάλη παραγωγή απορριπτέων προϊόντων (Bissel, 1994).

3.2 Βασική στατιστική θεωρία των διαγραμμάτων ελέγχου

Τα διαγράμματα ελέγχου είναι γραφική παράσταση της πορείας μιας εκτιμήτριας σε συνάρτηση με το χρόνο ή τον αριθμό του δείγματος. Η εκτιμήτρια αφορά ορισμένη παράμετρο της κατανομής του χαρακτηριστικού ποιότητας και υπολογίζεται από τα τυχαία δείγματα που λαμβάνονται κατά διαστήματα από την παραγωγική διαδικασία.

Αν το χαρακτηριστικό ποιότητας είναι χαρακτηριστικό διαλογής, η εκτιμήτρια αφορά το ποσοστό των ελαττωματικών ή τον αριθμό των ελαττωμάτων, ενώ αν χαρακτηριστικό μέτρησης αφορά την θέση ή την διασπορά της κατανομής. Η εκτιμήτρια στην ορολογία του στατιστικού ελέγχου παραγωγικής διαδικασίας ονομάζεται στατιστική δείγματος (Ταγαράς, 2001).



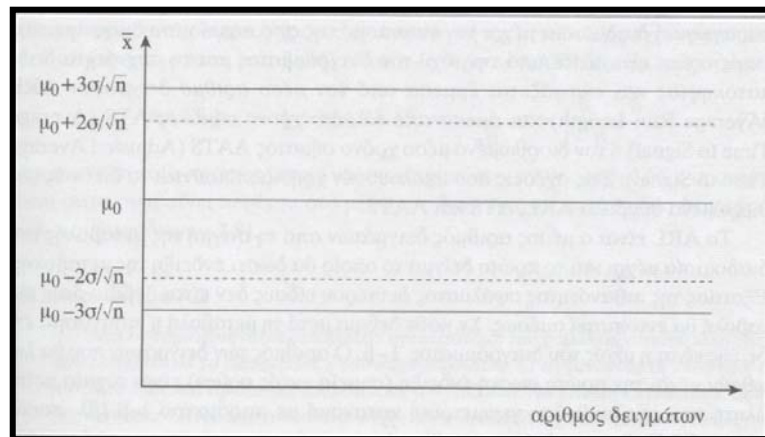
Σχήμα 3.1 Τυπική μορφή απλού διαγράμματος ελέγχου (Ταγαράς, 2001).

Σε ένα απλό διάγραμμα ελέγχου η κεντρική γραμμή (center line, CL) του διαγράμματος αντιστοιχεί στην τιμή της παραμέτρου όταν η διαδικασία βρίσκεται σε στατιστικό έλεγχο, δηλαδή σε κατάσταση ομαλής λειτουργίας. Οι άλλες δύο οριζόντιες γραμμές είναι τα όρια ελέγχου (control limits) και ειδικότερα το άνω όριο ελέγχου (upper control limit, UCL) και το κάτω όριο ελέγχου (lower control limit, LCL). Εφόσον τα σημεία του διαγράμματος, δηλαδή οι διαδοχικές τιμές δείγματος, βρίσκονται εντός των ορίων ελέγχου, η διαδικασία θεωρείται ότι βρίσκεται σε στατιστικό έλεγχο. Εδώ πρέπει να τονίσουμε ότι ο παραπάνω κανόνας λειτουργίας των διαγραμμάτων ελέγχου είναι απλός αλλά ανεπαρκής. Είναι συχνό φαινόμενο όλα τα σημεία του διαγράμματος να βρίσκονται εντός των ορίων ελέγχου, αλλά η διαταξη τους να αποκαλύπτει την παρουσία μιας συστηματικής αιτίας. Αυτό θα γίνει περισσότερο κατανοητό κατά την ερμηνεία των διαγραμμάτων ελέγχου που ακολουθεί.

Η λειτουργία και οι στατιστικές ιδιότητες του απλού διαγράμματος ελέγχου προσδιορίζονται πλήρως από τις τιμές των παραμέτρων σχεδίασης, που είναι οι εξής (Ταγαράς, 2001) :

- Το χρονικό διάστημα h μεταξύ των λήψεων δύο διαδοχικών δειγμάτων
- Το μέγεθος δείγματος n
- Η παράμετρος θέσης των ορίων ελέγχου k

Όσο στενότερα είναι τα όρια (πιο κοντά στην κεντρική γραμμή), τόσο πιο ευαίσθητο είναι το διάγραμμα, καθώς μεγαλύτερο ποσοστό των σημείων βρίσκονται εκτός των ορίων. Εκτός από τα όρια ελέγχου, σε ορισμένα διαγράμματα σχεδιάζονται επικουρικά δύο ακόμα οριζόντιες γραμμές μεταξύ των ορίων ελέγχου και της κεντρικής γραμμής, οι οποίες ονομάζονται προειδοποιητικά όρια (warning limits). Τα προειδοποιητικά απέχουν συνήθως ± 2 τυπικές αποκλίσεις της στατιστικής δείγματος από την κεντρική γραμμή (Bissel, 1994).



Σχήμα 3.2 Διάγραμμα ελέγχου με προειδοποιητικά όρια (Ταγαράς, 2001).

3.3 Μορφές χρονοσειρών και ερμηνεία διαγραμμάτων ελέγχου

Ο απλός κανόνας ένδειξης διαδικασίας εκτός ελέγχου όταν η στατιστική δείγματος βρίσκεται εκτός των ορίων ελέγχου είναι επαρκής μόνο όταν οι συστηματικές αιτίες προκαλούν σχετικά μεγάλες μεταβολές στην παραγωγική διαδικασία. Όταν η μεταβολή είναι σχετικά μικρή, ανάλογα μικρή είναι και η ισχύς του διαγράμματος με αποτέλεσμα καθυστέρηση στον εντοπισμό της συστηματικής αιτίας. Ακόμη ορισμένες συστηματικές αιτίες δεν επιφέρουν μόνιμη και σταθερή αλλαγή στην παράμετρο της κατανομής του ελεγχόμενου χαρακτηριστικού, αλλά προκαλούν

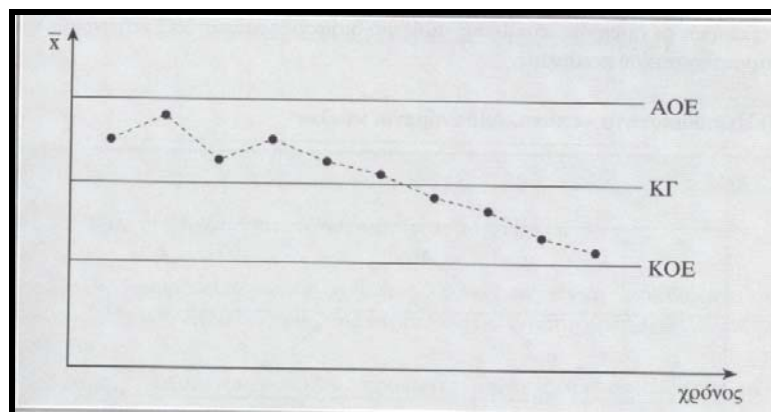
σταδιακές μεταβολές που χαρακτηρίζονται από περιοδικότητα, τάση κ.λ.π. και μεταφράζονται σε αντίστοιχες μορφές χρονοσειρών στο διάγραμμα ελέγχου τις οποίες ο μηχανικός ποιοτικού ελέγχου θα πρέπει να ξεχωρίζει

Τις διάφορες μορφές μη τυχαίων χρονοσειρών μπορούμε να τις κατατάξουμε σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το τύπο της μεταβολής που τις δημιουργεί :

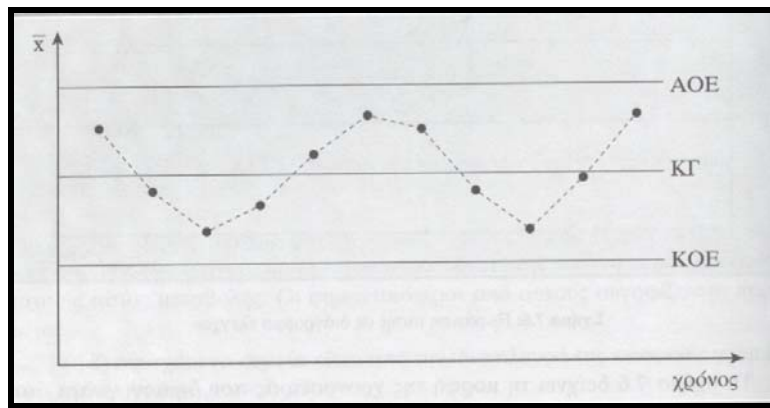
- Χρονοσειρές που οφείλονται σε στιγμιαία μεταβολή της τιμής μιας παραμέτρου, η οποία διατηρείται στην συνέχεια σταθερή στη νέα της τιμή
- Χρονοσειρές που οφείλονται σε συνεχή μεταβολή μιας παραμέτρου ή σε άλλες αιτίες

Οι κυριότερες μορφές χρονοσειρών που εμφανίζονται σε διαγράμματα ελέγχου παρουσιάζονται παρακάτω (Bissel, 1994).

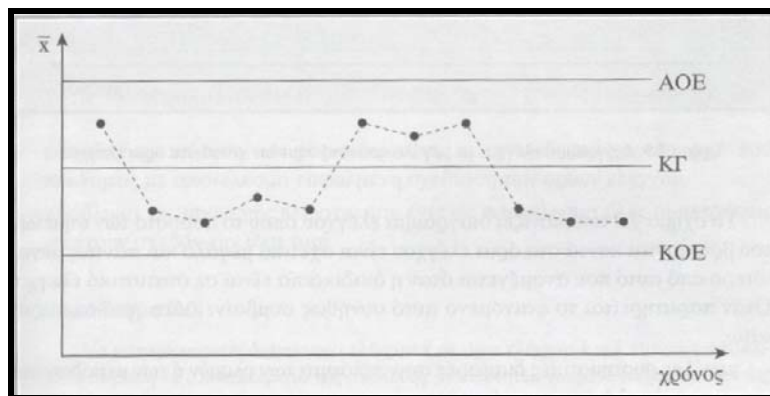
- Τάσεις,
- περιοδικότητα – επαναλαμβανόμενοι κύκλοι,
- άλματα,
- μεγάλο ποσοστό σημείων κοντά στα όρια ελέγχου και
- έλλειψη μεταβλητότητας.



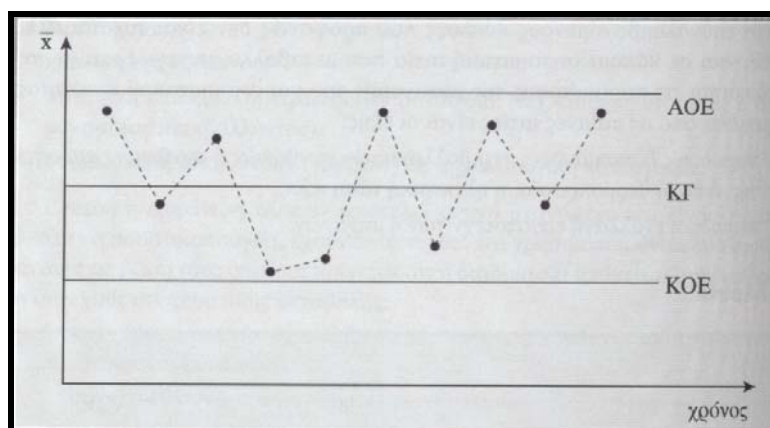
Σχήμα 3.3 Εμφάνιση τάσης σε διάγραμμα ελέγχου (Ταγαράς, 2001).



Σχήμα 3.4 Περιοδικά επαναλαμβανόμενοι κύκλοι σε διάγραμμα ελέγχου (Ταγαράς, 2001).



Σχήμα 3.5 Εμφάνιση αλμάτων σε διάγραμμα ελέγχου (Ταγαράς, 2001).



Σχήμα 3.6 Διάγραμμα ελέγχου με μεγάλο ποσοστό σημείων κοντά στα όρια ελέγχου (Ταγαράς, 2001).

4. Διαγράμματα ελέγχου μεταβλητών

Τα διαγράμματα ελέγχου μεταβλητών, ή αλλιώς διαγράμματα ελέγχου χαρακτηριστικών μέτρησης, χρησιμοποιούνται όταν η μετρούμενη παράμετρος ποιότητας είναι ένα αριθμητικό μέγεθος που μπορεί να λάβει μετρούμενες αριθμητικές τιμές, όπως βάρος, πίεση, θερμοκρασία, μήκος, διάμετρος κ.α. Για την κατασκευή ενός διαγράμματος ελέγχου γίνεται μέτρηση της παραμέτρου ποιότητας x με λήψη ενός καθορισμένου αριθμού δειγμάτων κάθε φορά (Γαλετάκης, 2000).

Κατά την παρακολούθηση της διαδικασίας με χαρακτηριστικό μέτρησης είναι συνήθως αναγκαίο να ελέγχεται τόσο η θέση όσο και η διασπορά της κατανομής του χαρακτηριστικού ποιότητας, δεδομένου ότι είναι ενδεχόμενο να επιδράσουν συστηματικές αιτίες, οι οποίες μπορεί να μεταβάλλουν είτε την μέση τιμή ή την μεταβλητότητα είτε ταυτόχρονα και τα δύο. Επειδή σε κάθε περίπτωση η ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων επηρεάζεται δυσμενώς, διαγράμματα ελέγχου μέσης τιμής και διασποράς χρησιμοποιούνται κατά κανόνα παράλληλα, ώστε να είναι εφικτή η έγκαιρη ανίχνευση μεταβολής οποισδήποτε μορφής. Στη συνέχεια θα γίνει παρουσίαση των διαγραμμάτων ελέγχου διασποράς, μέσης τιμής και για μεμονωμένες τιμές (όταν το μέγεθος δείγματος είναι ίσο με 1).

4.1 Έλεγχος διασποράς – μέσης τιμής

Ο στατιστικός έλεγχος της διασποράς των τιμών των χαρακτηριστικών ποιότητας x που χαρακτηρίζει την παραγωγική διαδικασία γίνεται είτε με διαγράμματα ελέγχου εύρους δείγματος (R) είτε με διαγράμματα ελέγχου τυπικής απόκλισης δείγματος (S) σε συνδιασμό πάντα με διάγραμμα ελέγχου μέσης τιμής (\bar{x}).

4.1.1 Διάγραμμα ελέγχου μέσης τιμής - εύρους ($\bar{x} - R$)

Για την κατασκευή ενός διαγράμματος $\bar{x} - R$ λαμβάνονται k δείγματα μεγέθους n το καθένα κατά την παραγωγική διαδικασία. Συνηθισμένες ελάχιστες τιμές των k και n είναι αντίστοιχα 20 και 5, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ότι η ενυπάρχουσα μεταβλητότητα στην παραγωγή απεικονίζεται ικανοποιητικά από τα δείγματα. Για κάθε δείγμα υπολογίζεται ο μέσος όρος \bar{x} και το εύρος R από τις σχέσεις (Γαλετάκης, 2000) :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4.1)$$

$$R = x_{\max} - x_{\min} \quad (4.2) \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Στην συνέχεια ο γενικός μέσος $\bar{\bar{x}}$ και το μέσο εύρος διακύμανσης \bar{R} από τους αντίστοιχους τύπους :

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \bar{x}_j \quad (4.3)$$

$$\bar{R} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k R_j \quad (4.4)$$

Τα ανώτερα (UCL) και κατώτερα (LCL) όρια ελέγχου υπολογίζονται ξεχωριστά για το διάγραμμα \bar{x} και το διάγραμμα R σύμφωνα με τις παρακάτω σχέσεις (Aft, 1998):

➤ Διάγραμμα \bar{x} : $UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R} \quad (4.5)$

$$LCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R} \quad (4.6)$$

➤ Διάγραμμα R : $UCL_R = D_4 \bar{R} \quad (4.7)$

$$LCL_R = D_3 \bar{R} \quad (4.8)$$

➤ Τυπική απόκλιση $\hat{\sigma} : \hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$ (4.9)

Οι συντελεστές A_2 , D_3 και D_4 είναι συνάρτηση του μεγέθους n του δείγματος και δίνονται από τον πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1 Τιμές των συντελεστών A_2 , D_3 , και D_4 συναρτήσει του μεγέθους n του δείγματος για τα διαγράμματα $\bar{x} - R$.

n	A_2	D_3	D_4	d_2
2	1.880	0	3.267	1.128
3	1.023	0	2.574	1.693
4	0.729	0	2.282	2.059
5	0.577	0	2.114	2.326
6	0.483	0	2.004	2.534
7	0.419	0.076	1.924	2.704
8	0.373	0.136	1.864	2.847
9	0.337	0.184	1.816	2.970
10	0.308	0.223	1.777	3.078
11	0.285	0.256	1.744	3.173
12	0.266	0.283	1.717	3.258
13	0.249	0.307	1.693	3.336
14	0.235	0.328	1.672	3.407
15	0.223	0.347	1.653	3.472
16	0.212	0.363	1.637	3.532
17	0.203	0.378	1.622	3.588
18	0.194	0.391	1.608	3.640
19	0.187	0.403	1.597	3.689
20	0.180	0.415	1.585	3.735
21	0.173	0.425	1.575	3.778
22	0.167	0.434	1.566	3.819
23	0.162	0.443	1.557	3.858
24	0.157	0.451	1.548	3.895
25	0.153	0.459	1.541	3.931

4.1.2 Διάγραμμα ελέγχου μέσης τιμής – τυπικής απόκλισης ($\bar{x} - S$)

Η μόνη διαφορά στη λειτουργία του διαγράμματος ελέγχου τυπικής απόκλισης σε σχέση με το διάγραμμα \bar{x} έγκειται στην χρησιμοποιούμενη στατιστική δείγματος, η οποία στο διάγραμμα S είναι η τυπική απόκλιση δείγματος. Το διάγραμμα $\bar{x} - S$ χρησιμοποιείται για μεγάλα σχετικά μεγέθη δείγματος $n > 12$ και κατασκευάζεται όπως το διάγραμμα $\bar{x} - R$.

Η τυπική απόκλιση S κάθε δείγματος και η μέση τυπική απόκλιση \bar{S} υπολογίζονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n-1}} \quad (4.10) \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$\bar{S} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k S_j \quad (4.11) \quad j = 1, 2, \dots, k$$

Τα ανώτερα (UCL) και κατώτερα (LCL) όρια ελέγχου υπολογίζονται ξεχωριστά για το διάγραμμα \bar{x} και το διάγραμμα S σύμφωνα με τις παρακάτω σχέσεις (Aft, 1998):

➤ Διάγραμμα \bar{x} : $UCL_{\bar{x}} = \bar{x} + A_3 \bar{S}$ (4.12)

$$LCL_{\bar{x}} = \bar{x} - A_3 \bar{S} \quad (4.13)$$

➤ Διάγραμμα S : $UCL_S = B_4 \bar{S}$ (4.14)

$$LCL_S = B_3 \bar{S} \quad (4.15)$$

➤ Τυπική απόκλιση $\hat{\sigma}$: $\hat{\sigma} = \frac{\bar{S}}{c_4}$ (4.16)

Οι συντελεστές A_3 , B_3 και B_4 είναι συνάρτηση του μεγέθους n του δείγματος και δίνονται από τον πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2 Τιμές των συντελεστών A_3 , B_3 , και B_4 συναρτήσει του μεγέθους n του δείγματος για τα διαγράμματα $\bar{x} - s$.

n	A_3	B_3	B_4	c_4
2	2.659	0	3.267	0.7979
3	1.954	0	2.568	0.8862
4	1.628	0	2.266	0.9213
5	1.427	0	2.089	0.9400
6	1.287	0.030	1.970	0.9515
7	1.182	0.118	1.882	0.9594
8	1.099	0.185	1.815	0.9650
9	1.032	0.239	1.761	0.9693
10	0.975	0.284	1.716	0.9727
11	0.927	0.321	1.679	0.9754
12	0.886	0.354	1.646	0.9776
13	0.850	0.382	1.618	0.9794
14	0.817	0.406	1.594	0.9810
15	0.789	0.428	1.572	0.9823
16	0.763	0.448	1.552	0.9835
17	0.739	0.466	1.534	0.9845
18	0.718	0.482	1.518	0.9854
19	0.698	0.497	1.503	0.9862
20	0.680	0.510	1.490	0.9869
21	0.663	0.523	1.477	0.9876
22	0.647	0.534	1.466	0.9882
23	0.633	0.545	1.455	0.9887
24	0.619	0.555	1.445	0.9892
25	0.606	0.565	1.435	0.9896

4.2 Διάγραμμα ελέγχου για μεμονωμένες τιμές

Σε πολλές παραγωγικές διαδικασίες το κάθε δείγμα που λαμβάνεται για τον στατιστικό έλεγχο της διαδικασίας αποτελείται από μια μόνο μέτρηση ($n = 1$). Οι σημαντικότεροι λόγοι που καθιστούν είτε αδύνατη είτε άσκοπη τη λήψη μεγαλύτερων δειγμάτων είναι οι ακόλουθοι (Ταγαράς, 2001) :

- Η διαδικασία χαρακτηρίζεται από την συνεχή ροή ενός απολύτως ομογενούς προϊόντος οπότε περισσότερες μετρήσεις του χαρακτηριστικού ποιότητας θα έδιναν ακριβώς το ίδιο αποτέλεσμα.
- Η διαδικασία υποστηρίζεται από μέθοδο αυτόματου ελέγχου και μετρήσεων (on-line), οπότε το χαρακτηριστικό ποιότητας κάθε παραγόμενης μονάδας μετρείται ούτως ή άλλως.
- Ο ρυθμός παραγωγής είναι ιδιαίτερα χαμηλός και επομένως δεν είναι σκόπιμη η δημιουργία μεγάλων δειγμάτων, διότι οι μετρήσεις θα έχουν σημαντική χρονική απόσταση.

Σε αυτές τις παραγωγικές διαδικασίες δεν πληρούνται οι προϋποθέσεις για χρήση διαγραμμάτων $\bar{x} - R$ ή $\bar{x} - S$ επειδή $n = 1$. Στις περιπτώσεις αυτές σχηματίζεται ένα ψευδές δείγμα που απαρτίζεται από την τρέχουσα τιμή και την προηγούμενη και ο μέσος \bar{x} υπολογίζεται ως ο κινητός μέσος εύρους m και το R ή το S , από τα m δείγματα σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους (Bissel, 1994):

$$\bar{x}_i = \frac{X_{i-m+1} + X_{i-m+2} + \dots + X_{i-1} + X_i}{m} \quad (4.17)$$

$$R_i = x_{\max} - x_{\min} \quad (4.18)$$

Για την πιο συνηθισμένη περίπτωση όπου $m = 2$ οι σχέσεις υπολογισμών μετατρέπονται στις παρακάτω :

$$\bar{x}_i = \frac{X_{i-1} + X_i}{2} \quad (4.19)$$

$$R_i = |x_i - x_{i-1}| \quad (4.20)$$

Τα άνω και κάτω όρια για το \bar{x} και το R υπολογίζονται όπως στα συνήθη διαγράμματα ενώ οι συντελεστές επιλέγονται στο μέγεθος δείγματος που αντιστοιχεί στο πλάτος του κινητού μέσου που έχει χρησιμοποιηθεί (Γαλετάκης, 2000).

Λόγω της μικρής ισχύος τους, τα διαγράμματα αυτά χρησιμοποιούνται όταν δεν υπάρχουν υψηλές απαιτήσεις ικανότητας ανίχνευσης μεταβολών της μέσης τιμής. Όταν είναι αναγκαίο να ανιχνεύονται γρήγορα ακόμα και τέτοιες μικρές μεταβολές αλλά με μέγεθος δείγματος $n = 1$, τότε συνιστάται η χρήση ειδικών διαγραμμάτων ελέγχου, όπως το αθροιστικό διάγραμμα και το διάγραμμα εκθετικής εξομάλυνσης, τα οποία παρουσιάζονται σε επόμενο κεφάλαιο.

5. Διαγράμματα ελέγχου ιδιοτήτων

Τα διαγράμματα ελέγχου ιδιοτήτων χρησιμοποιούνται όταν ο ποιοτικός έλεγχος εντοπίζει αν παραγόμενη μονάδα πληροί τις προδιαγραφές ή όχι (χαρακτηρίζεται αποδεκτή ή ελαττωματική), ή εάν ένα προϊόν έχει ένα ή περισσότερα ελαττώματα. Αυτός ο έλεγχος γίνεται χωρίς τη μέτρηση κάποιας μεταβλητής ποιότητας. Τα διαγράμματα ελέγχου ιδιοτήτων χρησιμοποιούνται στις παρακάτω συνήθως περιπτώσεις ποιοτικού ελέγχου (Γαλετάκης, 2000):

- Έλεγχος κομμάτι – κομμάτι όπου χαρακτηρίζεται ως αποδεκτό ή ελαττωματικό.
- Έλεγχος για προσδιορισμό του αριθμού των ελαττωματικών προϊόντων ή των ελαττωμάτων.
- Έλεγχος για προσδιορισμό του ποσοστού των ελαττωματικών προϊόντων ή των ελαττωμάτων.
- Σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν περιορισμοί για την χρησιμοποίηση διαγραμμάτων ελέγχου μεταβλητών.

Η κατασκευή και ερμηνεία των διαγραμμάτων ελέγχου ιδιοτήτων βασίζεται στις ίδιες αρχές με αυτές των διαγραμμάτων ελέγχου μεταβλητών. Η βασική διαφορά τους είναι ότι είναι λιγότερο ευαίσθητα από τα διαγράμματα ελέγχου μεταβλητών και απαιτείται άλλη στρατηγική δειγματοληψίας. Απαιτείται με λίγα λόγια μεγαλύτερος αριθμός δειγμάτων για να αυξηθεί η ευαισθησία του διαγράμματος.

Για την επιλογή του κατάλληλου τύπου διαγράμματος ελέγχου πρέπει να ληφθεί υποψη αν το μέγεθος του δείγματος είναι σταθερό και αν για χαρακτηριστικό του ελέγχου ποιότητας λαμβάνεται ο αριθμός των ελαττωματικών μονάδων ή τα ελαττώματα. Ελαττωματική θεωρείται μια μια μονάδα παραγωγής όταν ένα ή περισσότερα χαρακτηριστικά της δεν συμμορφώνονται με τις προδιαγραφές ή τις απαιτήσεις. Ελάττωμα θεωρείται ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό της μονάδας που δεν συμμορφώνεται με την αντίστοιχη προδιαγραφή ή απαίτηση. Τα σημαντικότερα διαγράμματα ελέγχου ιδιοτήτων αποτελούν αντικείμενο του Παραρτήματος Β

6. Ειδικά διαγράμματα ελέγχου

Τα διαγράμματα ελέγχου των κεφαλαίων 4 και 5 είναι τα απλούστερα διαγράμματα ελέγχου που βασίζονται στις αρχές που ανέπτυξε ο Shewhart. Αν και τα διαγράμματα αυτά είναι εύχρηστα και για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην πράξη, χαρακτηρίζονται ταυτόχρονα από το σημαντικό μειονέκτημα ότι χρησιμοποιούν μόνο τις πληροφορίες που περιέχονται στο τελευταίο σημείο του διαγράμματος και κατά κανόνα αγνοούν τα προηγούμενα δείγματα. Συνέπεια του χαρακτηριστικού αυτού είναι η αδυναμία των διαγραμμάτων Shewhart να αντιληφθούν γρήγορα και αποτελεσματικά την επίδραση συστηματικών αιτιών που επιφέρουν σχετικά μικρές μεταβολές στις παραμέτρους του παραγόμενου πληθυσμού, δηλαδή μεταβολές της τάξης του 1,5σ ή μικρότερες. Υπάρχει βέβαια η δυνατότητα να εξετάζονται τα διαδοχικά σημεία του διαγράμματος και να εφαρμόζονται κανόνες σειρών, ώστε να εντοπίζονται έγκαιρα μικρότερες τάσεις και αλλαγές. Με τον τρόπο αυτό όμως, αφενός η λειτουργία του διαγράμματος περιπλέκεται και αφετέρου η πιθανότητα σφαλμάτων πρώτου είδους αυξάνεται σημαντικά. Για να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα αυτά αλλά και κάποιες άλλες ειδικές περιπτώσεις έχουν αναπτυχθεί και άλλοι τύποι διαγραμμάτων ελέγχου, που είναι πιο αποτελεσματικοί και κατάλληλοι κατά περίπτωση.

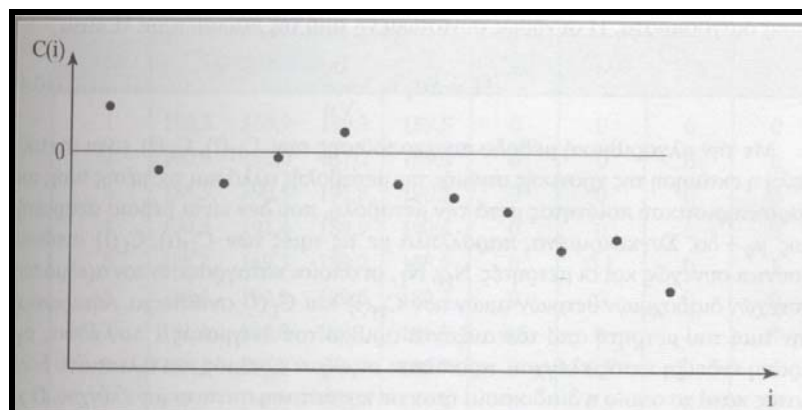
6.1 Αθροιστικό διάγραμμα

Το Αθροιστικό διάγραμμα ελέγχου (cumulative-sum control chart, cusum control chart) υπολογίζει και χρησιμοποιεί το άθροισμα των αποκλίσεων των κατάλληλων στατιστικών εκτιμητριών (\bar{x} , s κλπ.) διαδοχικών δειγμάτων από την αντίστοιχη ονομαστική τιμή. Ειδικότερα, το αθροιστικό διάγραμμα μέσης τιμής χρησιμοποιεί ως συνολική στατιστική του διαγράμματος το μέγεθος (Ταγαράς, 2001).:

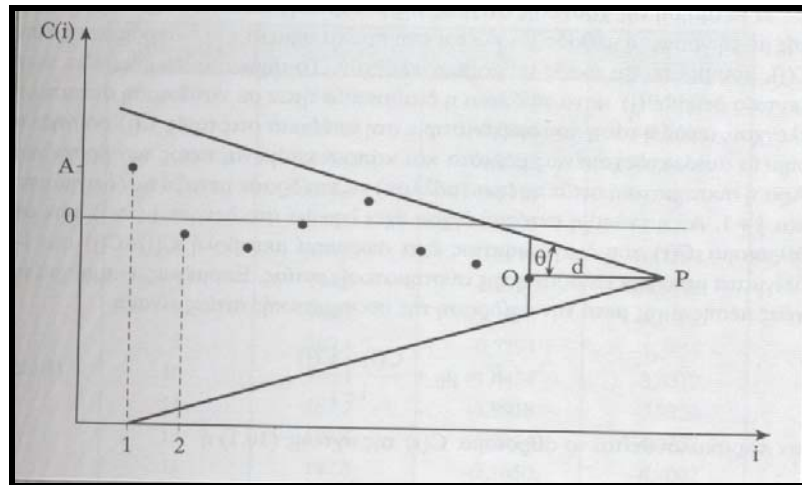
$$C_i = \sum_{j=i}^i (\bar{x}_i - \mu_0) \quad (6.1.1)$$

Όπου \bar{x}_j είναι η μέση τιμή του δείγματος j και μ_0 είναι η ονομαστική μέση τιμή του ελεγχόμενου χαρακτηριστικού ποιότητας x , το οποίο κατά κανόνα θεωρείται ως τυχαία μεταβλητή που ακολουθεί κανονική κατανομή $N(\mu, \sigma^2)$. Επειδή το άθροισμα $C(i)$ συνδυάζει πληροφορίες από όλα τα i διαθέσιμα δείγματα, το αθροιστικό διάγραμμα είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό για τον εντοπισμό μικρών μεταβολών της μέσης τιμής μ της τάξης του $0,5\sigma$ - $1,5\sigma$. Ειδικά, το αθροιστικό διάγραμμα είναι πολύ καταλληλότερο και αποτελεσματικότερο του διαγράμματος \bar{x} στον εντοπισμό μικρών μεταβολών με δείγματα μεγέθους $n = 1$.

Όταν η παραγωγική διαδικασία βρίσκεται σε στατιστικό έλεγχο με μέση τιμή μ_0 , το άθροισμα $C(i)$ θα κινείται γύρω από το 0. Αν όμως η μέση τιμή αυξηθεί σε $\mu > \mu_0$ ή μειωθεί σε $\mu < \mu_0$, τότε θα αρχίσει να δημιουργείται αντίστοιχα μια ανοδική ή καθοδική τάση στο άθροισμα $C(i)$, όπως αυτή που παριστάνεται γραφικά στο σχήμα 6.1.1. Συνεπώς η εμφάνιση μιας τέτοιας τάσης αποτελεί κατ'αρχήν ένδειξη μεταβολής της μέσης τιμής, αλλά χρειάζεται συγκεκριμένη μέθοδος και μορφή διαγράμματος ελέγχου για να καθορίζεται πότε η διαδικασία θα θεωρείται εκτός στατιστικού ελέγχου, ώστε να ερευνηθεί η ύπαρξη της συστηματικής αιτίας που προκάλεσε τη μεταβολή. Άλλωστε, το διάγραμμα του σχήματος 6.1.1 δεν είναι διάγραμμα ελέγχου, αφού δεν διαθέτει όρια ελέγχου. Στην πράξη συνιστώνται και χρησιμοποιούνται εναλλακτικά είτε η αλγοριθμική μέθοδος "πινακοποίησης" (tabular cusum) είτε η γραφική μέθοδος (V-mask) (Montgomery, 1997).



Σχήμα 6.1.1 Ενδεικτικό διάγραμμα τιμών αθροίσματος $C(i)$ σε περίπτωση μείωσης της μέσης τιμής της παραγωγικής διαδικασίας (Ταγαράς, 2001).



Σχήμα 6.1.2 Γραφική μέθοδος λειτουργίας του αθροιστικού διαγράμματος (Ταγαράς, 2001).

6.2 Διάγραμμα με εκθετική εξομάλυνση

Το *διάγραμμα με εκθετική εξομάλυνση* ή *διάγραμμα EWMA* (Exponentially Weighted Moving Average) λαμβάνει επίσης υπόψη του όλα τα προηγούμενα δείγματα. Σε αντίθεση όμως με το αθροιστικό διάγραμμα, το οποίο υπολογίζει εξίσου όλες τις μέσες τιμές δειγμάτων, το διάγραμμα EWMA δίνει μεγαλύτερη βαρύτητα στα πιο πρόσφατα δείγματα. Συγκεκριμένα, το διάγραμμα EWMA για έλεγχο της μέσης τιμής χρησιμοποιεί ως συνολική στατιστική του διαγράμματος τον εκθετικά σταθμισμένο κινούμενο μέσο όρο Z_i , ο οποίος ορίζεται από τη σχέση (Ταγαράς, 2001):

$$Z_i = \lambda \bar{x}_i + (1-\lambda) Z_{i-1} \quad (6.2.1)$$

με αρχική τιμή $z_0 = \mu_0$. Ο συντελεστής εκθετικής εξομάλυνσης λ λαμβάνει τιμές $0 < \lambda < 1$ και καθορίζει τη σχετική βαρύτητα των διαφόρων \bar{x}_i . Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του λ , τόσο μεγαλύτερη είναι η σχετική βαρύτητα των μέσων τιμών

των πιο πρόσφατων δειγμάτων. Συγκεκριμένα, με διαδοχική αντικατάσταση των Z_{i-1} , Z_{i-2}, \dots προκύπτει ότι:

$$Z_i = \lambda \sum_{j=0}^{i-1} (1-\lambda)^j \overline{x_{i-j}} + (1-\lambda)^i Z_0 \quad (6.2.2)$$

Επειδή οι βαρύτητες όλων των δειγμάτων αθροίζονται στη μονάδα, όταν η διαδικασία βρίσκεται σε στατιστικό έλεγχο με μέση τιμή του χαρακτηριστικού ποιότητας μ_0 και μεταβλητότητα σ^2 η μέση τιμή του Z_i είναι $E(Z_i) = \mu_0$. Η μεταβλητότητα όμως του Z , είναι συνάρτηση των λ και i :

$$\sigma_{Z_i}^2 = \frac{\sigma^2}{n} \left(\frac{\lambda}{2-\lambda} \right) [1 - (1-\lambda)^{2i}] \quad (6.2.3)$$

Επομένως η κεντρική γραμμή και τα όρια ελέγχου k τυπικών αποκλίσεων του διαγράμματος EWMA είναι (Ταγαράς, 2001):

$$AOE = \mu_0 + k \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}} [1 - (1-\lambda)^{2i}] \quad (6.2.4)$$

$$K\Gamma = \mu_0 \quad (6.2.5)$$

$$KOE = \mu_0 - k \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}} [1 - (1-\lambda)^{2i}] \quad (6.2.6)$$

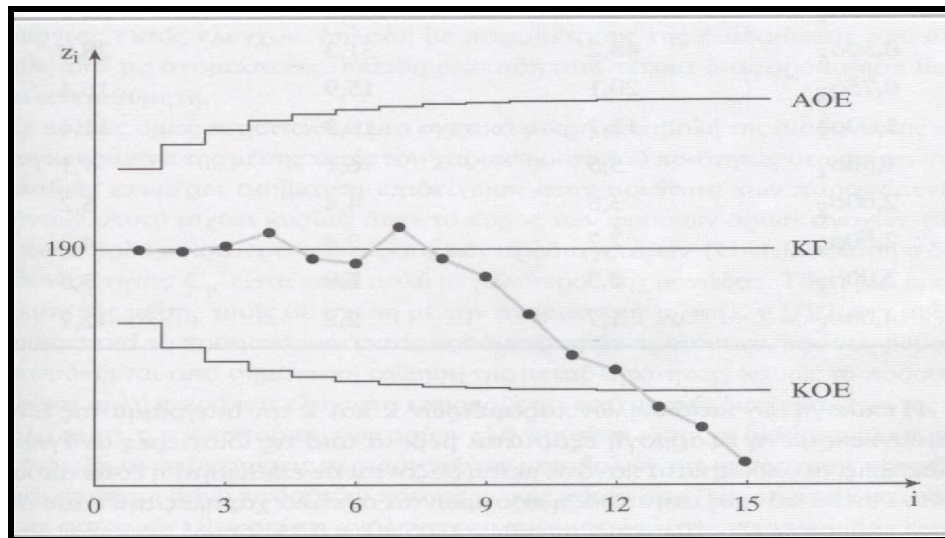
Όταν ο αριθμός των δειγμάτων που συμμετέχουν στη διαμόρφωση του Z_i αυξηθεί αρκετά, τότε ο όρος $(1-\lambda)^{2i}$ γίνεται αμελητέος και η μεταβλητότητα του Z , τείνει να σταθεροποιηθεί στην τιμή (Ταγαράς, 2001):

$$\sigma_{Z_i}^2 = \frac{\sigma^2}{n} \left(\frac{\lambda}{2-\lambda} \right) \quad (6.2.7)$$

Τα όρια ελέγχου διευρύνονται επίσης σταδιακά, προσεγγίζοντας τις τιμές

$$AOE = \mu_0 + k\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)n}} \quad (6.2.8)$$

$$KOE = \mu_0 - k\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)n}} \quad (6.2.9)$$



Σχήμα 6.2.1 Παράδειγμα διαγράμματος ελέγχου μέσης τιμής με εκθετική εξομάλυνση (Ταγαράς, 2001).

Όπως και το αθροιστικό διάγραμμα, το διάγραμμα EWMA είναι ιδιαίτερα κατάλληλο για χρήση με δείγματα μεγέθους $n=1$ και για τον εντοπισμό σχετικά μικρών μεταβολών της μέσης τιμής. Όταν οι μεταβολές της μέσης τιμής είναι σχετικά μεγάλες, το διάγραμμα EWMA υστερεί του απλού διαγράμματος Shewhart στην ταχύτητα εντοπισμού, αλλά υπερτερεί έναντι του αθροιστικού διαγράμματος. Ο συνδυασμός απλού διαγράμματος Shewhart με διάγραμμα EWMA (combined Shewhart-EWMA scheme) διευκολύνει σημαντικά την ανίχνευση τόσο μεγάλων όσο και μικρών μεταβολών (Ταγαράς, 2001).

6.3 Διάγραμμα ελέγχου αποδοχής

Βασικός αντικειμενικός σκοπός όλων των διαγραμμάτων ελέγχου που παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια και παραγράφους είναι ο εντοπισμός συστηματικών μεταβολών των παραμέτρων της παραγωγικής διαδικασίας, οι οποίες έχουν αρνητικές συνέπειες στην ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων. Επομένως,

με αυτά τα διαγράμματα ελέγχου επιχειρείται η αποφυγή της λειτουργίας εκτός ελέγχου, δηλαδή με παραμέτρους της διαδικασίας που διαφέρουν από τις ονομαστικές, επειδή οποιαδήποτε τέτοια διαφοροποίηση θεωρείται ανεπιθύμητη.

Σε πολλές όμως περιπτώσεις μια σχετικά μικρή μεταβολή της διαδικασίας και πιο συγκεκριμένα της μέσης τιμής του χαρακτηριστικού ποιότητας θεωρείται ανεκτή, καθώς επιφέρει ασήμαντη επιδείνωση στην ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων. Αυτό ισχύει κυρίως όταν το εύρος των φυσικών ορίων ανοχών (6σ) είναι κατά πολύ μικρότερο του εύρους των προδιαγραφών ($U - L$), δηλαδή ο δείκτης δυνατότητας C_p είναι κατά πολύ μεγαλύτερος της μονάδας. Τότε, μια μικρή απόκλιση της μέσης τιμής σε σχέση με την ονομαστική $\mu_0 = (L + U)/2$ δεν αυξάνει ουσιαστικά το ποσοστό των εκτός προδιαγραφών προϊόντων, εφόσον βέβαια δεν συνοδεύεται από σημαντική αύξηση της μεταβλητότητας, καθώς το ποσοστό αυτό είναι πολύ μικρό και ελάχιστα επηρεάζεται από μικρές διακυμάνσεις της μ . Παρόλα αυτά, η τροποποίηση των ορίων ελέγχου έτσι ώστε το διάγραμμα να μην δίνει ένδειξη σε περιπτώσεις περιορισμένων μεταβολών της μέσης τιμής είναι θεμιτή και σκόπιμη μόνο εφόσον το κόστος κακής ποιότητας (εσωτερικών και εξωτερικών αστοχιών) θεωρείται ανάλογο του ποσοστού ελαττωματικών. Εάν όμως το σχετικό κόστος εξαρτάται από την απόκλιση του χαρακτηριστικού ποιότητας από την επιθυμητή -ονομαστική τιμή ακόμη και εντός των ορίων προδιαγραφών, τότε για τον έλεγχο της παραγωγικής διαδικασίας εξακολουθεί να είναι προτιμότερη η χρήση των συμβατικών διαγραμμάτων, χωρίς τροποποίηση των ορίων ελέγχου.

Συνοψίζοντας, η χρήση διαγράμματος ελέγχου μέσης τιμής με τροποποιημένα όρια ελέγχου (σε σχέση με αυτά του διαγράμματος Shewhart) και κύριο στόχο τον έλεγχο του ποσοστού ελαττωματικών προϊόντων που παράγει η διαδικασία συνιστάται εφόσον συντρέχουν οι ακόλουθες τρεις προϋποθέσεις (Ταγαράς, 2001):

- Η διαδικασία έχει σταθεροποιηθεί και εμφανίζει υψηλό δείκτη δυνατότητας.
- Η μεταβλητότητα της διαδικασίας διατηρείται σε στατιστικό έλεγχο με πρακτικά σταθερή τυπική απόκλιση του χαρακτηριστικού ποιότητας.
- Το κόστος αστοχιών είναι ανάλογο του ποσοστού ελαττωματικών και θεωρείται αμελητέο όταν η τιμή του χαρακτηριστικού ποιότητας είναι εντός των ορίων προδιαγραφών.

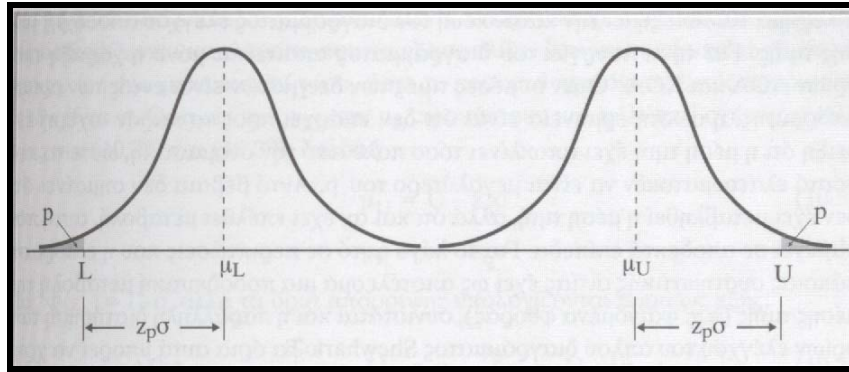
Όταν ικανοποιούνται όλες οι παραπάνω συνθήκες, ο στατιστικός έλεγχος της διαδικασίας πραγματοποιείται με διαγράμματα ελέγχου τα οποία διαφοροποιούνται από τα διαγράμματα Shewhart κατά το ότι τα όρια ελέγχου προσδιορίζονται λαμβάνοντας υπόψη και τα όρια προδιαγραφών L και U . Τα νέα όρια λέγονται *τροποποιημένα όρια ελέγχου (modified control limits)* ή *όρια απόρριψης (reject control limits)*. Τα αντίστοιχα διαγράμματα αποκαλούνται στη διεθνή βιβλιογραφία είτε *διαγράμματα ελέγχου αποδοχής (acceptance control charts)* είτε *τροποποιημένα διαγράμματα ελέγχου (modified control charts)*, ανάλογα με τον τρόπο προσδιορισμού των ορίων. Για απλούστευση της παρουσίασης, τα διαγράμματα αυτής της κατηγορίας θα αποκαλούνται στη συνέχεια διαγράμματα ελέγχου αποδοχής, επειδή ο όρος αυτός αποδίδει πιστότερα, κατά την προσωπική άποψη του συγγραφέα, τη λογική του διαγράμματος, η οποία προσομοιάζει τη λογική των σχημάτων ελέγχου αποδοχής. Από την άλλη πλευρά, ο όρος *τροποποιημένα διαγράμματα ελέγχου* είναι αρκετά ευρύτερος και επομένως περισσότερο ευεπίφορος σε παρερμηνεία (Bissel, 1994).

Από τα προηγηθέντα γίνεται φανερό ότι το διάγραμμα ελέγχου αποδοχής ελέγχει αν η μέση τιμή μ βρίσκεται μέσα στα ανεκτά όρια $\mu_L \leq \mu \leq \mu_U$, όπου τα μ_L και μ_U είναι αντίστοιχα η μικρότερη και η μεγαλύτερη επιτρεπτή μέση τιμή του χαρακτηριστικού ποιότητας, που αντιστοιχούν σε παραγωγή ποσοστού ελαττωματικών ίσου προς το μέγιστο αποδεκτό p . Εάν το χαρακτηριστικό ποιότητας ακολουθεί κανονική κατανομή, τα μ_L και μ_U υπολογίζονται από τις σχέσεις (Ταγαράς, 2001):

$$\mu_U = U - z_p \sigma \quad (6.3.1)$$

$$\mu_L = L + z_p \sigma \quad (6.3.2)$$

όπου η τιμή της ανηγμένης κανονικής μεταβλητής Z_p προσδιορίζεται από τη σχέση $\Phi(Z_p) = 1-p$ με τη βοήθεια των πινάκων της κανονικής κατανομής. Το σχήμα 6.3.1 διευκρινίζει τις σχέσεις ανάμεσα στις διάφορες μέσες τιμές του χαρακτηριστικού ποιότητας, τα όρια προδιαγραφών και τα ποσοστά ελαττωματικών.



Σχήμα 6.3.1 Κατανομή χαρακτηριστικού ποιότητας στις οριακά αποδεκτές τιμές μ_L και μ_U (Ταγαράς, 2001).

Οι οριακές μέσες τιμές μ_L και μ_U μπορούν να ερμηνευθούν ως κάτω και άνω κεντρική γραμμή του υπό κατασκευή διαγράμματος ελέγχου αποδοχής. Άλλωστε, το διάγραμμα αποτελεί γραφική απεικόνιση των διαδοχικών στατιστικών ελέγχων της σύνθετης μηδενικής υπόθεσης

$$H_0: \mu_L \leq \mu \leq \mu_U \quad (6.3.3)$$

Τα όρια ελέγχου του διαγράμματος, τα οποία θα ονομάζονται στη συνέχεια όρια απόρριψης, προσδιορίζονται συνήθως με τέτοιο τρόπο, ώστε να εξασφαλίζεται συγκεκριμένη πιθανότητα σφάλματος πρώτου είδους, α . Αφού λοιπόν η κατανομή της μέσης τιμής δείγματος \bar{x} είναι κανονική, $N(\mu, \sigma^2/n)$, το άνω όριο απόρριψης ΑΟΑ και το κάτω όριο απόρριψης ΚΟΑ συνδέονται με τις αντίστοιχες "κεντρικές γραμμές" μέσω των σχέσεων (Ταγαράς, 2001):

$$ΑΟΑ = \mu_U + \frac{z_\alpha \sigma}{\sqrt{n}} \quad (6.3.4)$$

$$ΚΟΑ = \mu_L - \frac{z_\alpha \sigma}{\sqrt{n}} \quad (6.3.5)$$

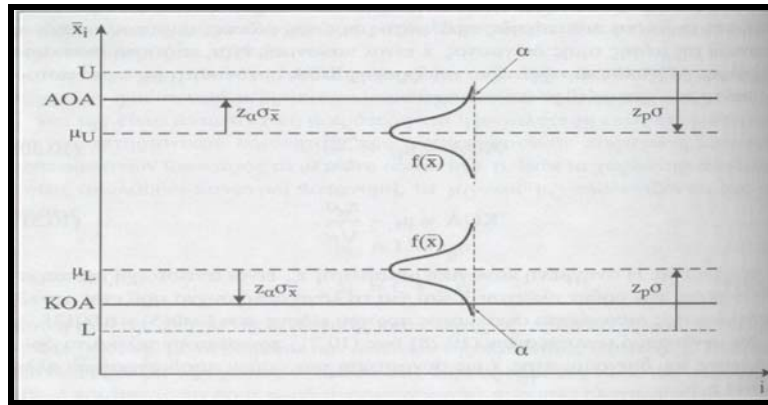
με $\Phi(z_\alpha) = 1-\alpha$. Η ανηγμένη κανονική μεταβλητή z_α είναι αντίστοιχη της παραμέτρου θέσης των ορίων ελέγχου k και για το λόγο αυτό συχνά ορίζεται $z_\alpha = 3$, υποδηλώνοντας πιθανότητα σφάλματος πρώτου είδους $\alpha = 1 - \Phi(3) = 0,00135$.

Με συνδυασμό των παραπάνω σχέσεων προκύπτουν τελικά τα όρια απόρριψης του διαγράμματος \bar{x} ως συνάρτηση των ορίων προδιαγραφών αλλά και των ρ , α (Ταγαράς, 2001):

$$AOA = U - z_p\sigma + \frac{z_\alpha\sigma}{\sqrt{n}} \quad (6.3.6)$$

$$KOA = L + z_p\sigma - \frac{z_\alpha\sigma}{\sqrt{n}} \quad (6.3.7)$$

Το σχήμα 6.3.2 επεξηγεί την κατασκευή του διαγράμματος ελέγχου αποδοχής μέσης τιμής. Για τη λειτουργία του διαγράμματος απαιτείται μόνο η χάραξη των ορίων AOA και KOA. Όταν οι μέσες τιμές των δειγμάτων είναι εντός των ορίων απόρριψης, η σωστή ερμηνεία είναι ότι δεν υπάρχει προς το παρόν ισχυρή ένδειξη ότι η μέση τιμή έχει αποκλίνει τόσο πολύ από την ονομαστική, ώστε το ποσοστό ελαττωματικών να είναι μεγαλύτερο του p . Αυτό βέβαια δεν σημαίνει ότι δεν έχει μεταβληθεί η μέση τιμή, αλλά ότι και αν έχει επέλθει μεταβολή, αυτή παραμένει σε αποδεκτά επίπεδα. Για το λόγο αυτό σε περιπτώσεις που η επίδραση κάποιας συστηματικής αιτίας έχει ως αποτέλεσμα μια προοδευτική μεταβολή της μέσης τιμής (π.χ. φαινόμενα φθοράς), συνιστάται και η παράλληλη διατήρηση των ορίων ελέγχου του απλού διαγράμματος Shewhart. Τα όρια αυτά μπορεί να χρησιμοποιηθούν επικουρικά ως προειδοποιητικά όρια: αν και υπέρβαση τους δεν συνιστά λόγο επέμβασης στη διαδικασία, εφόσον η μέση τιμή δείγματος παραμένει εντός των ορίων απόρριψης, ωστόσο αποτελεί μια χρήσιμη ένδειξη αρχικής μετακίνησης της μέσης τιμής.



Σχήμα 6.3.2 Διάγραμμα ελέγχου αποδοχής μέσης τιμής με όρια απόρριψης για δεδομένα p και α (Ταγαράς, 2001).

6.4. Διάγραμμα με ασύμμετρα όρια ελέγχου

Το απλό διάγραμμα Shewhart σχεδιάζεται με άνω και κάτω όρια ελέγχου σε ίση απόσταση, k τυπικών αποκλίσεων της στατιστικής δείγματος, από την κεντρική γραμμή ΚΓ. Αυτή η συμμετρική τοποθέτηση των ορίων ελέγχου σε σχέση με την ΚΓ είναι απολύτως λογική εφόσον η παραγωγική διαδικασία και ιδίως η επίδραση συστηματικών αιτιών χαρακτηρίζονται από ανάλογη συμμετρία. Συχνά όμως παρατηρούνται ασυμμετρίες που οφείλονται σε διάφορους παράγοντες, όπως οι εξής (Ταγαράς, 2001):

- Διαφορετικές *επιπτώσεις* μεταβολής της μέσης τιμής προς τα άνω και προς τα κάτω.
- Διαφορετική *συχνότητα* επίδρασης συστηματικών αιτιών που αυξάνουν ή μειώνουν τη μέση τιμή του χαρακτηριστικού ποιότητας.
- Το *σύννηθες μέγεθος* μεταβολής της μέσης τιμής προς τα άνω διαφέρει από το σύννηθες μέγεθος μεταβολής προς τα κάτω.
- Διαφορετική *μεταβλητότητα* του χαρακτηριστικού ποιότητας όταν η μέση τιμή είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη της ονομαστικής.

Σε περιπτώσεις όπως οι παραπάνω είναι σκόπιμη η χρησιμοποίηση διαγράμματος \bar{x} με κεντρική γραμμή $K\Gamma = \mu_0$ αλλά ασύμμετρα όρια ελέγχου της μορφής

$$AOE = \mu_0 + k_1 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (6.4.1)$$

$$KOE = \mu_0 - k_2 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (6.4.2)$$

όπου γενικά $k_1 \neq k_2$. Η επιλογή των κατάλληλων τιμών των παραμέτρων θέσης των ορίων ελέγχου k_1 και k_2 βασίζεται σε ανάλυση των ιδιοτήτων κάθε περίπτωσης. Αν π.χ. πιθανή αύξηση της μέσης τιμής έχει σοβαρότερες αρνητικές επιπτώσεις στην ποιότητα και το κόστος ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων απ' ότι ανάλογη μείωση, τότε $k_1 < k_2$ προκειμένου να εντοπίζονται ταχύτερα ανοδικές μετατοπίσεις.

6.5 Ομαδικό διάγραμμα ελέγχου

Το ομαδικό διάγραμμα ελέγχου (group control chart) συνιστάται για την παρακολούθηση μιας φάσης της παραγωγής που χαρακτηρίζεται από πολλές παράλληλες επιμέρους διαδικασίες, οι οποίες είναι, θεωρητικά τουλάχιστον, πανομοιότυπες.

Ο έλεγχος της μέσης τιμής (και της διασποράς) θα μπορούσε βέβαια να πραγματοποιηθεί με ξεχωριστά διαγράμματα \bar{x} για κάθε επιμέρους διαδικασία, αλλά αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα την παράλληλη τήρηση πολλών διαγραμμάτων που θα δημιουργούσε πρακτικά προβλήματα. Αν πάλι οι επιμέρους διαδικασίες παρουσίαζαν πολύ υψηλό βαθμό συσχέτισης, θα αρκούσε ο έλεγχος μιας και μόνο διαδικασίας. Τις περισσότερες φορές όμως η συσχέτιση των επιμέρους διαδικασιών δεν είναι τόσο υψηλή που να καθιστά αυτού του είδους τον έλεγχο ασφαλή. Έτσι, η περισσότερο πρακτική και αποτελεσματική λύση είναι η χρησιμοποίηση του ομαδικού διαγράμματος ελέγχου.

Ο στόχος του ομαδικού διαγράμματος είναι διπλός: αφενός να εντοπίσει μεταβολές στη *συνολική* μέση τιμή (ή διασπορά) όλων των επιμέρους διαδικασιών και αφετέρου να ανιχνεύσει διαφορές *μεταξύ* των επιμέρους διαδικασιών.

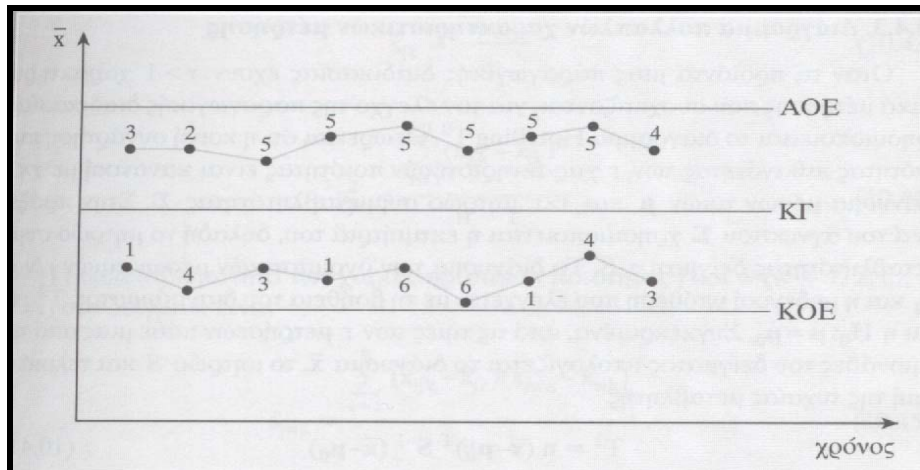
Η κατασκευή του ομαδικού διαγράμματος ελέγχου \bar{x} διαφέρει από αυτήν του αντίστοιχου διαγράμματος Shewhart μόνο ως προς την εκτίμηση της τυπικής απόκλισης και, ενδεχομένως, ως προς τον προσδιορισμό της κεντρικής γραμμής $\bar{\bar{x}}$, όταν η ακριβής ρύθμιση της μέσης τιμής στην επιθυμητή μ_0 είναι τεχνικά ανέφικτη. Η διαφορά έγκειται στο ότι οι εκτιμήσεις αυτές βασίζονται στο σύνολο των δεδομένων από όλες τις επιμέρους διαδικασίες.

Κατά τη λειτουργία του διαγράμματος λαμβάνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα δείγματα μεγέθους n από κάθε επιμέρους διαδικασία, υπολογίζονται οι μέσες τιμές όλων των επιμέρους δειγμάτων, αλλά σημειώνονται στο διάγραμμα μόνο η ελάχιστη και η μέγιστη από αυτές μαζί με τον αντίστοιχο αύξοντα αριθμό της επιμέρους διαδικασίας στην οποία η κάθε μια αντιστοιχεί. Στο σχήμα 6.5.1 παρουσιάζεται η μορφή ενός ομαδικού διαγράμματος ελέγχου μέσης τιμής. Όταν η ελάχιστη και μέγιστη μέση τιμή δείγματος είναι εντός των ορίων, τότε και οι υπόλοιπες θα είναι επίσης εντός των ορίων (αν και δεν καταγράφονται στο διάγραμμα) και συνεπώς δεν υπάρχει ένδειξη μεταβολής της συνολικής μέσης τιμής. Ακόμη όμως και αν δεν υπάρχει σημείο εκτός των ορίων ελέγχου, είναι σκόπιμη η εξέταση της σειράς των αυξόντων αριθμών προκειμένου να διαπιστωθεί αν κάποια από τις επιμέρους διαδικασίες διαφέρει σημαντικά από τις υπόλοιπες. Στο σχήμα 6.5.1 έξι συνεχόμενες μέγιστες τιμές προέρχονται από την επιμέρους διαδικασία με αύξοντα αριθμό 5, γεγονός ασφαλώς όχι τυχαίο που σημαίνει ότι η μέση τιμή αυτής της διαδικασίας είναι κατά πάσα πιθανότητα μεγαλύτερη από τις υπόλοιπες. Ορισμένοι από τους κανόνες ένδειξης διαφοροποίησης μεταξύ των επιμέρους διαδικασιών, που προτείνονται στη διεθνή βιβλιογραφία, είναι οι εξής (Ταγαράς, 2001):

- Σειρά 7 συνεχόμενων μέγιστων ή ελάχιστων τιμών από την ίδια επιμέρους διαδικασία, αν τα δεδομένα προέρχονται από 3 παράλληλες διαδικασίες.
- Σειρά 6 συνεχόμενων μέγιστων ή ελάχιστων τιμών από την ίδια επιμέρους

διαδικασία, αν τα δεδομένα προέρχονται από 4 παράλληλες διαδικασίες.

- Σειρά 5 συνεχόμενων μέγιστων ή ελάχιστων τιμών από την ίδια επιμέρους διαδικασία, αν τα δεδομένα προέρχονται από 5 ή 6 παράλληλες διαδικασίες.
- Σειρά 4 συνεχόμενων μέγιστων ή ελάχιστων τιμών από την ίδια επιμέρους διαδικασία, αν τα δεδομένα προέρχονται από 7 έως και 10 παράλληλες διαδικασίες.



Σχήμα 6.5.1 Ομαδικό διάγραμμα ελέγχου μέσης τιμής(Ταγαράς, 2001).

Σημειώνεται ότι η κατασκευή του ομαδικού διαγράμματος ελέγχου στηρίζεται στην εκτίμηση μιας κοινής τυπικής απόκλισης, το οποίο σημαίνει ότι εάν η μεταβλητότητα μιας από τις διαδικασίες είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την κοινή εκτίμηση, η πιθανότητα σφάλματος πρώτου είδους θα είναι αυξημένη. Επιπλέον, η λειτουργία του διαγράμματος, όπως περιγράφηκε παραπάνω, αυξάνει ακόμη περισσότερο την πιθανότητα αυτή σε σχέση με το απλό διάγραμμα Shewhart.

6.6 Διαγράμματα πολλαπλών χαρακτηριστικών

Στα διαγράμματα Shewhart ελέγχεται μια μεταβλητή ποιότητας \bar{x} κάθε φορά. Για p ποιοτικά χαρακτηριστικά που το καθένα εμφανίζει πιθανότητα $1-\alpha$ (α είναι η σταθμη σημαντικότητας) να λάβει τιμές εντός των ορίων $\mu \pm 3\sigma$ (διαδικασία ελεγχόμενη) η

πιθανότητα να είναι όλα τα ποιοτικά χαρακτηριστικά ταυτόχρονα εντός της περιοχής $\mu \pm 3\sigma$ είναι (Ταγαράς, 2001):

$$P(\mu - 3\sigma \leq \bar{x} \leq \mu + 3\sigma) = (1 - \alpha)^p \quad (6.6.1)$$

Όπως φαίνεται από την παραπάνω σχέση η πιθανότητα αυτή ελαττώνεται σημαντικά με την αύξηση του p . Αν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά δεν είναι στατικά ανεξάρτητα τότε η παραπάνω σχέση δεν ισχύει, αλλά δεν υπάρχει εύκολος τρόπος να διορθωθεί η επίδραση της συσχέτισης στον υπολογισμό. Για την λύση παρόμοιων προβλημάτων ελέγχου της ποιότητας προτάθηκε από τον Hotelling, 1947, και καθιερώθηκε η χρήση του στατιστικού μεγέθους T^2 Hotelling. Ο έλεγχος μιας μόνο παραμέτρου, αντί για πολλών, παρουσιάζει το πλεονέκτημα να μην επηρεάζεται η στάθμη σημαντικότητας του ελέγχου από τον αριθμό των παραμέτρων ποιότητας και να απαιτείται η κατασκευή ενός μόνο διαγράμματος ελέγχου. Οι υπολογιστικές δυσκολίες που υπήρχαν στο παρελθόν λόγω της πολυπλοκότητας των σχέσεων υπολογισμού του T^2 δεν υφίστανται πλέον με την καθιέρωση των υπολογιστών και την ανάπτυξη κατάλληλου λογισμικού. Η δυσκολία που υπάρχει είναι να ερμηνευθεί η εκτός στατιστικού ελέγχου κατάσταση που έχει εντοπιστεί με τα διαγράμματα Hotelling επειδή το μέγεθος T^2 δεν αποτελεί φυσικό ποιοτικό χαρακτηριστικό. Για να βρεθεί ποιες παράμετροι ποιότητας οδήγησαν σε εκτός ελέγχου κατάσταση, απαιτείται συνήθως η κατασκευή και των μεμονωμένων διαγραμμάτων ελέγχου κάθε μιας παραμέτρου ξεχωριστά.

6.6.1 Σχέσεις υπολογισμού του T^2

Συμβολισμοί:

α = στάθμη σμαντικότητας (στατιστικό σφάλμα τύπου I)

n = μέγεθος δείγματος

p = αριθμός μετρούμενων χαρακτηριστικών ανά δείγμα

s = τυπική απόκλιση

T^2 στατιστική παράμετρος

x = διάνυσμα ποιοτικών χαρακτηριστικών (διάνυσμα ποιότητας)

\bar{x} = μέση τιμή διανύσματος ποιότητας δείγματος

S = πίνακας συνδιακυμάνσεων

$\bar{\bar{x}}$ = τελική μέση τιμή ποιότητας όλων των δειγμάτων

m = αριθμός των δειγμάτων

F = η τιμή της κατανομής

Αν για την εκτίμηση της ποιότητας μετρούνται p διαφορετικά ποιοτικά χαρακτηριστικά σε m δείγματα, μεγέθους n, τότε η μέση τιμή \bar{x} κάθε δείγματος είναι:

$$\bar{x} = \begin{bmatrix} \bar{x}_1 \\ \bar{x}_2 \\ \vdots \\ \bar{x}_p \end{bmatrix} \quad (6.6.2)$$

σύμφωνα με τον Hotelling ο δείκτης ελέγχου ποιότητας T^2 ορίζεται όπως παρακάτω (Montgomery, 1997):

$$T^2 = n (\bar{x} - \bar{\bar{x}})' S^{-1} (\bar{x} - \bar{\bar{x}}) \quad (6.6.3)$$

Όπου:

$\bar{\bar{x}} = [\bar{\bar{x}}_1 + \bar{\bar{x}}_2 + \dots + \bar{\bar{x}}_p]$ είναι ο πίνακας των τελικών μέσων τιμών των δειγμάτων για τα ποιοτικά x_1, x_2, \dots, x_p και S είναι ο πίνακας (p x p) των συνδιακυμάνσεων των p χαρακτηριστικών ποιότητας.

Το διάγραμμα ελέγχου για το T^2 έχει ένα ανώτερο όριο (Upper Control Limit ή UCL) που ορίζεται σύμφωνα με τη σχέση (Montgomery, 1997):

$$UCL = \left(\frac{mnp - mp - np + 1}{mn - m - p + 1} \right) F_{\alpha, p, (mn - m + p + 1)}, \quad (6.6.4) \quad \text{για } n = p$$

Όπου $F_{\alpha, p, (mn - m + p + 1)}$ η τιμή που προκύπτει από τους πίνακες της κατανομής F για βαθμούς ελευθερίας p, (mn - m + p + 1) και στάθμη σημαντικότητας α.

Ο υπολογισμός των \bar{x} και S βασίζεται στα δείγματα μεγέθους n που ελήφθησαν με την παραδοχή ότι κατά την χρονική διάρκεια λήψης των η παραγωγική διαδικασία ήταν υπό έλεγχο. Αν ελήφθησαν m τέτοια δείγματα τότε οι υπολογισμοί βασίζονται στις παρακάτω σχέσεις (Γαλετάκης, 2000):

$$\bar{x}_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_{ijk} \quad (6.6.5)$$

$$s_{ij}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (x_{ijk} - \bar{x}_{ijk})^2 \quad (6.6.6), \quad \text{όπου } i = 1, 2, 3 \dots p \quad j = 1, 2, 3 \dots m$$

$$k = 1, 2 \dots n$$

Η συνδιακύμανση μεταξύ του ποιοτικού χαρακτηριστικού i και h στο δείγμα j είναι:

$$s_{ihj} = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (x_{ijk} - \bar{x}_{ij})(x_{hjk} - \bar{x}_{hj}) \quad (6.6.7), \quad \text{όπου } j = 1, 2, 3 \dots m \text{ και } h \neq i$$

Οι μέσες τιμές για τα μεγέθη \bar{x}_{ij} , S_{ij}^2 και S_{ihj} για όλα τα m δείγματα είναι:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \bar{x}_{ij} \quad (6.6.8)$$

$$s_i^2 = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m S_{ij}^2 \quad (6.6.9)$$

$$s_{ih} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m S_{ihj} \quad (6.6.10)$$

Τα στοιχεία του πίνακα \bar{x} είναι τα \bar{x}_i , ενώ ο πίνακας συνδιακυμάνσεων S είναι:

$$S = \begin{bmatrix} s_1^2 & s_{12} & s_{13} & \dots & s_{1p} \\ & s_2^2 & s_{23} & & \\ & & & & \\ & & & & s_p^2 \end{bmatrix} \quad (6.6.11)$$

7. Μέθοδοι σχεδίασης διαγραμμάτων ελέγχου

Η αποτελεσματικότητα του στατιστικού ελέγχου παραγωγικής διαδικασίας εξαρτάται από τον τύπο του διαγράμματος ελέγχου και από τις παραμέτρους που καθορίζουν τη λειτουργία του. Το είδος του διαγράμματος επιλέγεται λαμβάνοντας υπόψη τη φύση του χαρακτηριστικού ποιότητας (διαλογής ή μέτρησης) και το σκοπό του ελέγχου με βάση τις ιδιαιτερότητες της παραγωγικής διαδικασίας. Αν π.χ. ο έλεγχος αποσκοπεί κυρίως στον εντοπισμό μεταβολών μικρού μεγέθους, τότε το αθροιστικό διάγραμμα ή το διάγραμμα με εκθετική εξομάλυνση είναι προτιμότερο από το απλό διάγραμμα Shewhart. Εφόσον αποφασιστεί ο τύπος του διαγράμματος, θα πρέπει στη συνέχεια να επιλεγούν οι κατάλληλες τιμές των παραμέτρων του, δηλαδή ο χρόνος μεταξύ δειγματοληψιών h , το μέγεθος δείγματος n και η παράμετρος θέσης των ορίων ελέγχου k . Στην περίπτωση των απλών διαγραμμάτων ελέγχου Shewhart, k είναι η απόσταση κάθε ορίου ελέγχου από την κεντρική γραμμή σε αριθμό τυπικών αποκλίσεων της ελεγχόμενης εκτιμήτριας. Αν και σε ορισμένα ειδικά διαγράμματα τα όρια ελέγχου προσδιορίζονται κατά διαφορετικό τρόπο, για την οικονομία της παρουσίασης θα χρησιμοποιείται γενικά ο συμβολισμός k για την παράμετρο που καθορίζει τη θέση των ορίων ελέγχου.

Η διαδικασία επιλογής των τιμών των τριών παραμέτρων (h , n , k) λέγεται σχεδίαση του διαγράμματος ελέγχου. Η σχεδίαση του διαγράμματος μπορεί να γίνει με στατιστικά ή οικονομικά κριτήρια. Στην πρώτη περίπτωση οι τιμές των παραμέτρων σχεδίασης h , n , k επιλέγονται με γνώμονα τις επιθυμητές στατιστικές ιδιότητες του διαγράμματος, ενώ στη δεύτερη περίπτωση προκύπτουν από την ελαχιστοποίηση κατάλληλης συνάρτησης κόστους ποιότητας (Ταγαράς, 2001).

7.1 Στατιστικά κριτήρια

Οι βασικότερες στατιστικές ιδιότητες που χρησιμοποιούνται ως κριτήρια σχεδίασης ενός διαγράμματος ελέγχου είναι (Ταγαράς, 2001) :

- Η πιθανότητα σφάλματος πρώτου είδους α , ή ο μέσος αριθμός δειγμάτων μέχρι την πρώτη εσφαλμένη ένδειξη εκτός ελέγχου ARL_0
- Η πιθανότητα σφάλματος δεύτερου είδους β , ή η ισχύς του διαγράμματος $1-\beta$, ή ο μέσος αριθμός δειγμάτων μέχρι την πρώτη ορθή ένδειξη εκτός ελέγχου ARL .
- Ο μέσος χρόνος σήματος ATS ή ο διορθωμένος μέσος χρόνος σήματος $AATS$.

Στα απλά διαγράμματα ελέγχου το πρώτο από τα παραπάνω κριτήρια καθορίζει την παράμετρο θέσης των ορίων ελέγχου k . Για δεδομένη τιμή του k , από το δεύτερο κριτήριο προσδιορίζεται το μέγεθος του δείγματος n , ενώ το τρίτο κριτήριο καθορίζει την τιμή της παραμέτρου h για δεδομένο συνδυασμό k, n . Σημειώνεται πάντως ότι ο παραδοσιακός και πλέον συνήθης τρόπος στατιστικής σχεδίασης δεν περιλαμβάνει το τρίτο κριτήριο και επομένως δεν προτείνει συγκεκριμένο τρόπο επιλογής της συχνότητας δειγματοληψίας. Ο υπεύθυνος ποιοτικού ελέγχου καθορίζει την παράμετρο h λαμβάνοντας υπόψη το ρυθμό παραγωγής, τη συχνότητα μεταβολών της μέσης τιμής και τις συνέπειες των μεταβολών αυτών. Στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται σχετικά διάφοροι κανόνες, όπως π.χ. ότι πρέπει να ελέγχεται το 1-10% του συνόλου της παραγωγής, χωρίς όμως θεωρητική θεμελίωση (Ταγαράς, 2001)..

Ορισμένες φορές η απαιτούμενη ταχύτητα εντοπισμού μιας συστηματικής αιτίας με αντίστοιχη ένδειξη από το διάγραμμα ελέγχου εκφράζεται όχι ως μέσος χρόνος (ATS , $AATS$), αλλά ως πιθανότητα ένδειξης σε συγκεκριμένο χρόνο. Στα ειδικά διαγράμματα ελέγχου η μεθοδολογία σχεδίασης με στατιστικά κριτήρια είναι πιο περίπλοκη εξαιτίας των πιο σύνθετων σχέσεων που συνδέουν τις παραμέτρους των διαγραμμάτων με τις στατιστικές ιδιότητες.

7.2 Οικονομικά κριτήρια

Η επιλογή των παραμέτρων h, n, k με στατιστικά κριτήρια καθοδηγείται από συγκεκριμένες απαιτήσεις στατιστικής συμπεριφοράς, χωρίς να λαμβάνει υπόψη, άμεσα τουλάχιστον, οικονομικά στοιχεία της διαδικασίας παραγωγής και στατιστικού ελέγχου. Όμως είναι σαφές ότι η σχεδίαση ενός διαγράμματος ελέγχου έχει οικονομικές συνέπειες, καθώς επηρεάζει το συνολικό κόστος δειγματοληψίας, εσφαλμένων διαγνώσεων, λειτουργίας εκτός στατιστικού ελέγχου και αποκατάστασης

βλαβών. Η μέθοδος οικονομικής ανάλυσης για τη σχεδίαση διαγραμμάτων ελέγχου αποσκοπεί στην επιλογή των παραμέτρων h , n , k με κριτήριο την ελαχιστοποίηση της κατάλληλης συνάρτησης συνολικού κόστους ποιότητας.

Η μεθοδολογία σχεδίασης με οικονομικά κριτήρια περιλαμβάνει γενικά τρία στάδια (Ταγαράς, 2001):

- Αναγνώριση στοιχείων κόστους και χαρακτηριστικών λειτουργίας και ελέγχου της διαδικασίας που έχουν άμεση σχέση με τη σχεδίαση του διαγράμματος.
- Κατάστρωση της συνάρτησης κόστους που αποδίδει κατά τον ακριβέστερο τρόπο τα στοιχεία και χαρακτηριστικά που αναγνωρίστηκαν κατά το προηγούμενο στάδιο.
- Βελτιστοποίηση της συνάρτησης ζ κόστους, δηλαδή προσδιορισμός των παραμέτρων σχεδίασης h , n , k που ελαχιστοποιούν το μέσο συνολικό κόστος.

Ακόμα και στην περίπτωση του απλού διαγράμματος \bar{x} , η παραπάνω μεθοδολογία υλοποιείται πρακτικά με ποικίλους τρόπους και καταλήγει σε διαφορετικά αποτελέσματα, ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες που αναγνωρίζονται κατά το πρώτο στάδιο και οδηγούν με τη σειρά τους σε διαφορετικές συναρτήσεις κόστους και βέλτιστες λύσεις.

ΜΕΡΟΣ Δ΄

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΟ ΛΙΓΝΙΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΠΤΟΛΕΜΑΙΔΑΣ

- 1. Μεθοδολογία αξιολόγησης των στοιχείων**
- 2. Περιγραφή δεδομένων**
- 3. Στατιστική ανάλυση δεδομένων**
- 4. Στατιστικός έλεγχος παραγωγικής διαδικασίας με εφαρμογή
στατιστικών διαγραμμάτων ελέγχου**

1. Μεθοδολογία αξιολόγησης των στοιχείων

Το κεφάλαιο αυτό ουσιαστικά αποτελεί μια εισαγωγή στους στόχους που τέθηκαν και στην μεθοδολογία που ακολουθήθηκε. Η μεθοδολογία αξιολόγησης των στοιχείων χωρίζεται σε τρεις επιμέρους τομείς.

Έχοντας 120 ‘διπλές’ μετρήσεις περιεκτικότητας τέφρας επί φυσικού στον παραγόμενο λιγνίτη, που ελήφθησαν από σύστημα on-line αναλυτή ποιοτικού ελέγχου (το οποίο λειτουργεί με βάση την αρχή της μετάδοσης ακτινοβολίας γ διπλής ενέργειας) και από χημικό εργαστήριο, αρχικός στόχος είναι να αξιολογηθεί η πιστότητα των μετρήσεων του on-line αναλυτή σε σχέση με τις τιμές του εργαστηρίου. Τα κριτήρια που συνέτειναν στην επιλογή του αναλυτή ήταν τα εξής (Παυλουδάκης, 2001):

- i. η αποδεκτή ακρίβεια μετρήσεων που έχει επιδείξει σε ανάλογες εφαρμογές,
- ii. ο μειωμένος κίνδυνος σε σχέση με την εκπεμπόμενη ραδιενεργή ακτινοβολία,
- iii. η ευκολία τοποθέτησης του σε ήδη υπάρχουσες μεταφορικές διατάξεις και
- iv. το αποδεκτό κόστος.

Δηλαδή πιο απλά, σκοπός είναι η στατιστική εκτίμηση της απόδοσης του on-line αναλυτή του συγκεκριμένου τύπου και κάτω από τις συνθήκες μέτρησης που ίσχυαν, κατά την δοκιμαστική λειτουργία του στο Λιγνιτικό Κέντρο Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου. Έτσι στον πρώτο τομέα, η μεθοδολογία αξιολόγησης βασίζεται στις μετρήσεις συνήθων στατιστικών παραμέτρων όπως ο αριθμητικός μέσος, η διάμεσος, η επικρατούσα τιμή, το εύρος, η διακύμανση και η τυπική απόκλιση. Επίσης εφαρμόστηκαν και αξιολογήθηκαν περισσότερο σύνθετες μέθοδοι όπως: ο συντελεστής συσχέτισης, ο συντελεστής κύρτωσης, η σύγκριση των διακυμάνσεων (F-test), οι μέθοδοι γραφικής ανάλυσης και οι κατανομές των μετρήσεων.

Επόμενος στόχος είναι να εξεταστεί, με βάση τα στοιχεία που υπάρχουν, αν η παραγωγική διαδικασία βρίσκεται υπό στατιστικό έλεγχο. Ελέγχεται η παραγωγική διαδικασία ξεχωριστά τόσο με βάση τις τιμές που ελήφθησαν από τον αναλυτή όσο και από το εργαστήριο. Στην συνέχεια συγκρίνοντας τα αποτελέσματα αξιολογείται,

αν χρησιμοποιώντας μεμονωμένα τον συγκεκριμένο on-line αναλυτή μπορούμε να οδηγηθούμε σε ασφαλή συμπεράσματα όσον αφορά τον στατιστικό έλεγχο παραγωγικής διαδικασίας. Η μεθοδολογία της αξιολόγησης που χρησιμοποιείται είναι η κατασκευή διαγραμμάτων ελέγχου Shewhart και πιο συγκεκριμένα:

- Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} -R για μεμονωμένες τιμές.
- Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} -R κινούμενου μέσου (για $m=2, m=3, m=4$ και $m=8$).
- Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} -R με μέγεθος δείγματος $n=4$ (ωριαίο).
- Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} -R με μέγεθος δείγματος $n=8$ (δίωρο).

Για την κατασκευή των διαγραμμάτων ελέγχου απαιτείται η εύρεση των ανώτερων και κατώτερων ορίων ελέγχου (UCL και LCL) για κάθε τύπο διαγράμματος ξεχωριστά. Αυτό επιτυγχάνεται με την κατασκευή ειδικών πινάκων από όπου λαμβάνονται τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για την εύρεση των παραπάνω ορίων. Επιβεβλημένη είναι και η χρήση του πίνακα 4.1 του μέρους Γ', των συντελεστών A_2 , D_3 και D_4 . Στα διαγράμματα αυτά σημειώνονται και τα όρια προδιαγραφών (USL και LSL) της τέφρας επί φυσικού όπως αυτά ορίστηκαν με βάση τις απαιτήσεις του ΑΚΠ-Α.

Προκειμένου να διαπιστωθεί αν η παραγωγική διαδικασία παράγει προϊόντα που εμπίπτουν στα προκαθορισμένα όρια των προδιαγραφών ή των απαιτήσεων, δηλαδή να αξιολογηθεί η ικανότητα παραγωγικής διαδικασίας, η μέθοδος αξιολόγησης που ακολουθούμε έχει να κάνει με τον προσδιορισμό ορισμένων δεικτών όπως: ο δείκτης C_{pk} και ο δείκτης C_{pm} .

Πρέπει να τονιστεί ότι οι δείκτες προσφέρουν μια καταρχήν αίσθηση των δυνατοτήτων μιας παραγωγικής διαδικασίας σε σχέση με ορισμένες προδιαγραφές, προσφέρουν μια απλή, γρήγορη και συνοπτική αξιολόγηση αλλά είναι επικίνδυνοι για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων. Η χρήση τους προϋποθέτει ευχέρεια ρύθμισης της μέσης τιμής και εξαρτάται από την θέση (μ) και τη διασπορά (σ) της κατανομής των χαρακτηριστικών ποιότητας x .

2. Περιγραφή δεδομένων

Η εκτίμηση της πιστότητας του on-line αναλυτή και ο στατιστικός έλεγχος της παραγωγικής διαδικασίας βασίστηκε σε αναλύσεις 120 δειγμάτων λιγνίτη. Τα δείγματα αυτά αναλύθηκαν τόσο από τον on-line αναλυτή, ο οποίος τοποθετήθηκε στον ταινιόδρομο μεταφοράς λιγνίτη από το Ορυχείο Καρδιάς προς την αυλή του ίδιου Ορυχείου, όσο και από ένα χημικό εργαστήριο.

Η θέση στην οποία τοποθετήθηκε δοκιμαστικά ο on-line αναλυτής επιλέχτηκε με το σκεπτικό της διευκόλυνσης της διαδικασίας λήψης αντιπροσωπευτικών δειγμάτων λιγνίτη που θα στέλνονταν για εργαστηριακές αναλύσεις, δειγμάτων δηλαδή που θα αντιστοιχούσαν στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του λιγνίτη που διήλθε από τον on-line αναλυτή.

Η χρονική περίοδος μέτρησης του on-line αναλυτή ήταν 15 λεπτά της ώρας. Έτσι, ο on-line αναλυτής κάθε 15 λεπτά έδινε μια μέτρηση, περιεκτικότητας σε τέφρα επί φυσικού, του υλικού που διήλθε από αυτόν. Η ποσότητα του λιγνίτη που περνούσε από τον αναλυτή στη διάρκεια κάθε μέτρησης συγκεντρώνονταν σε ξεχωριστό σωρό στην αυλή του ορυχείου από τον οποίο λαμβάνονταν το κατάλληλο δείγμα εφαρμόζοντας πρότυπες τεχνικές δειγματοληψίας. Στην συνέχεια από το δείγμα αυτό, το χημικό εργαστήριο έδινε μια τιμή σε τέφρα επί φυσικού που αντιστοιχούσε στην ίδια ποσότητα του δείγματος που αναλύθηκε και από τον αναλυτή. Δηλαδή για την ίδια ποσότητα υλικού έχουμε ουσιαστικά δύο μετρήσεις, από τον on-line αναλυτή και από το χημικό εργαστήριο.

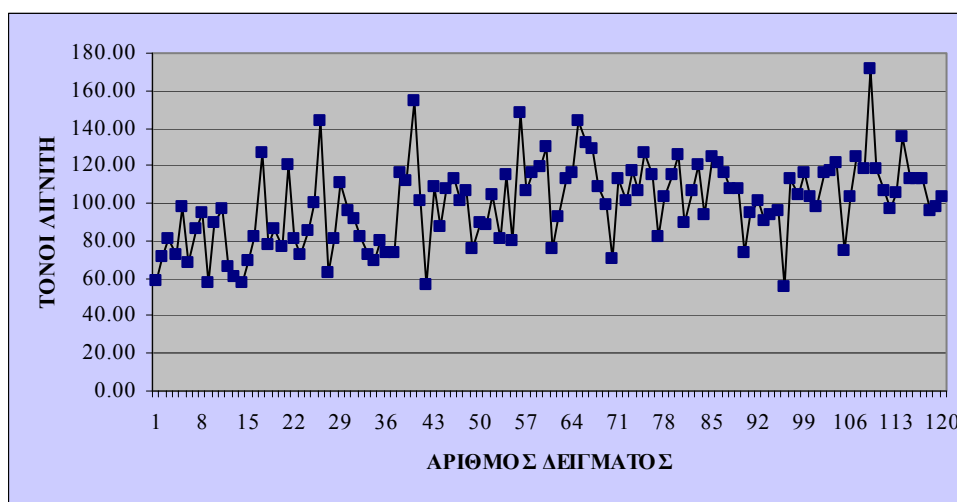
Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι κατά την δειγματοληψία από μεταφορικές ταινίες τα δείγματα μπορούν να ληφθούν με δύο τρόπους.

- Είτε στα σημεία τροφοδοσίας ή εκκένωσης.
- Είτε πάνω στην κινούμενη ταινία.

Στην δειγματοληψία αυτή τα δείγματα πρέπει να παίρνονται με την ίδια συχνότητα και να είναι του ίδιου όγκου. Οι τιμές αυτές που είναι αποφασιστικής σημασίας

καθορίζονται για κάθε περίπτωση. Η ανάγκη αυτή καθιέρωσε την χρήση αυτόματων δειγματοληπτών. Η καλύτερη τεχνική είναι εκείνη που αποκόπτει δείγμα σε όλο το πάχος του ρεύματος του κινούμενου όγκου στην χρονική στιγμή της δειγματοληψίας (Δρυμωνίτης, 2000).

Στην περίπτωση που εξετάζεται η συχνότητα δειγματοληψίας είναι ίση με 15 λεπτά, αντίστοιχη της περιόδου μέτρησης του συστήματος του on-line αναλυτή. Τα δείγματα δεν είναι του ίδιου όγκου, αντίθετα αυτός μεταβάλλεται από 55 έως 170 τόνους με μέση τιμή 99.58 τόνους. Η μεταβολή του όγκου των δειγμάτων προς ανάλυση φαίνεται στο διάγραμμα 2.1.



Διάγραμμα 2.1

Στον πίνακα 2.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της τέφρας επί φυσικού που ελήφθησαν από τον on-line αναλυτή και από τις αναλύσεις του εργαστηρίου αναφοράς. Καθώς επίσης, σε τόνους, οι ποσότητες υλικού που αντιστοιχούν σε κάθε δείγμα.

Πίνακας 2.1: Μετρήσεις περιεκτικότητας τέφρας επί φυσικού που ελήφθησαν από τον on-line αναλυτή και από το εργαστήριο αναφοράς

Αριθμός δείγματος	Μάζα δείγματος (τόνοι)	Τέφρα επί φυσικού (μέτρηση εργαστηρίου)	Τέφρα επί φυσικού (μέτρηση αναλυτή)	Αριθμός δείγματος	Μάζα δείγματος (τόνοι)	Τέφρα επί φυσικού (μέτρηση εργαστηρίου)	Τέφρα επί φυσικού (μέτρηση αναλυτή)
1	58.40	11.40	10.30	45	107.10	10.20	9.30
2	71.30	9.00	9.20	46	112.90	7.30	8.50
3	81.40	8.70	9.10	47	101.70	6.80	8.80
4	72.40	10.70	11.70	48	106.40	7.00	11.70
5	97.70	12.60	13.60	49	75.70	7.90	9.90
6	68.60	9.60	11.40	50	90.00	11.80	12.30
7	85.80	9.70	10.60	51	88.70	11.80	10.90
8	94.80	9.90	9.70	52	104.60	12.70	13.50
9	57.00	11.80	10.80	53	81.30	9.20	10.10
10	89.00	12.60	10.70	54	115.30	11.50	12.10
11	96.60	11.70	15.00	55	80.00	9.20	11.20
12	65.70	12.30	13.70	56	148.50	9.60	10.00
13	61.00	12.20	14.90	57	106.30	12.10	10.30
14	57.80	10.80	12.20	58	116.00	12.20	12.30
15	69.50	13.30	11.80	59	119.00	10.30	11.40
16	81.60	7.80	8.20	60	129.50	13.20	14.10
17	126.90	10.10	9.40	61	75.10	12.30	13.70
18	77.50	8.60	8.50	62	92.50	18.50	12.70
19	86.70	6.10	7.50	63	113.40	13.60	11.10
20	77.10	6.10	7.60	64	116.60	13.90	12.00
21	120.80	6.70	9.60	65	143.40	14.90	14.90
22	80.60	7.30	9.30	66	131.90	14.30	15.60
23	72.80	6.60	8.00	67	129.30	15.20	14.80
24	85.20	7.30	8.50	68	108.40	9.50	8.80
25	100.10	10.40	10.20	69	98.80	11.10	9.30
26	144.00	9.80	9.70	70	70.60	11.80	9.80
27	63.30	20.30	14.00	71	112.70	12.80	12.60
28	80.70	10.40	11.00	72	101.40	14.00	12.80
29	110.40	12.60	10.80	73	116.70	19.20	12.00
30	95.70	15.70	11.50	74	106.20	18.10	11.70
31	91.90	14.90	10.80	75	127.00	16.10	12.90
32	82.30	16.10	12.00	76	115.30	12.00	11.90
33	72.60	14.30	11.70	77	82.30	11.00	11.60
34	69.30	14.10	11.10	78	102.80	12.50	10.30
35	79.60	10.40	10.10	79	114.60	17.00	11.60
36	73.10	10.30	10.50	80	125.50	13.30	11.80
37	73.10	15.60	11.40	81	89.60	14.50	11.20
38	116.20	10.30	8.90	82	106.50	13.50	9.80
39	112.10	10.60	9.30	83	120.50	11.30	10.20
40	154.20	11.00	11.10	84	93.60	14.20	12.10
41	101.00	13.40	11.80	85	124.70	9.10	9.70
42	56.40	10.60	10.70	86	121.50	11.00	12.00
43	108.80	9.50	8.80	87	116.30	11.20	11.90
44	87.00	9.40	9.30	88	107.80	13.20	13.80

Αριθμός δείγματος	Μάζα δείγματος (τόνοι)	Τέφρα επί φυσικού (μέτρηση εργαστηρίου)	Τέφρα επί φυσικού (μέτρηση αναλυτή)	Αριθμός δείγματος	Μάζα δείγματος (τόνοι)	Τέφρα επί φυσικού (μέτρηση εργαστηρίου)	Τέφρα επί φυσικού (μέτρηση αναλυτή)
89	107.10	8.70	10.50	105	74.10	10.50	10.80
90	74.00	7.30	9.90	106	103.80	10.40	10.30
91	94.80	7.40	9.30	107	124.80	19.40	12.50
92	101.50	7.20	9.60	108	118.50	20.30	13.20
93	91.00	7.60	9.00	108	118.50	20.30	13.20
94	94.00	7.60	9.20	109	171.20	17.70	13.40
94	94.00	7.60	9.20	110	118.30	14.80	11.50
95	95.50	13.10	13.20	111	106.50	11.10	10.50
96	55.50	13.00	13.90	112	97.10	9.50	9.50
97	112.80	8.80	9.50	113	105.00	9.60	10.80
98	104.60	8.20	9.20	114	135.40	7.20	9.20
99	116.00	8.60	10.20	115	112.80	6.90	9.80
100	103.60	14.60	12.30	116	112.70	7.60	9.60
101	98.00	10.90	10.10	117	113.00	6.50	8.80
102	116.60	12.50	10.20	118	95.70	12.90	13.90
103	117.00	11.50	9.50	119	98.00	15.20	12.00
104	121.50	11.70	9.80	120	103.20	15.30	11.90

3. Στατιστική ανάλυση δεδομένων

Η Στατιστική επιστήμη χωρίζεται σε δύο μεγάλους τομείς. Ο πρώτος τομέας ασχολείται με την συλλογή, την ανάλυση και την ερμηνεία δεδομένων. Αυτή η πλευρά των δραστηριοτήτων της Στατιστικής αποτελεί αυτό που ονομάζεται Περιγραφική Στατιστική. Η άλλη διάσταση της Στατιστικής είναι εκείνη η οποία ασχολείται με την συμπερασματολογία. Για αυτή την πλευρά της Στατιστικής θα μπορούσαμε να δώσουμε τον ορισμό ότι Στατιστική είναι η προσπάθεια εξαγωγής συμπερασμάτων κάτω από συνθήκες αβεβαιότητας.

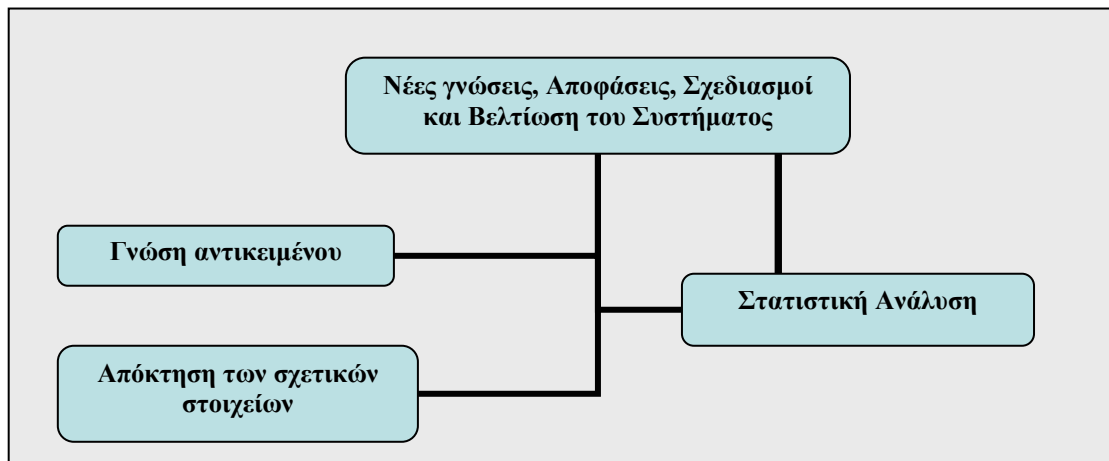
Θα μπορούσε να ισχυρισθεί κανείς ότι η Στατιστική συμπερασματολογία είναι περισσότερο σημαντική. Ο λόγος, ίσως, είναι ότι χρειάζεται περισσότερο πολύπλοκα "εργαλεία" προκειμένου να αναπτυχθεί. Τα τελευταία χρόνια όμως και η περιγραφική Στατιστική βρίσκει όλο και περισσότερες εφαρμογές. Αυτό οφείλεται στο ότι σε όλες σχεδόν τις επιστήμες υπάρχει ανάγκη ποσοτικής προσέγγισης των διαφόρων εννοιών και μεθόδων. Αυτό γίνεται με συγκέντρωση, ανάλυση και παρουσίαση των υπαρχόντων στοιχείων.

Ένα από τα σημαντικότερα βήματα για να μεγιστοποιήσει κανείς τη χρησιμότητα των στατιστικών εννοιών και μεθόδων βρίσκεται στην επιλογή των δεδομένων. Όσο πιο σχετικά είναι τα δεδομένα με το πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπιστεί τόσο χρησιμότερη είναι η ανάλυσή τους. Η ενασχόληση με τον τρόπο συλλογής των υπό ανάλυση δεδομένων μπορεί να αποδώσει ιδιαίτερα χρήσιμα αποτελέσματα στο στάδιο της αξιοποίησης τους. Η συλλογή των δεδομένων και η ανάλυση που θα επακολουθήσει επηρεάζεται από τη γνώση του αντικειμένου από εκείνον, ο οποίος ενδιαφέρεται να πάρει κάποια απόφαση και από τις πληροφορίες που είναι αναγκαίες προκειμένου να ληφθεί απόφαση για ένα συγκεκριμένο πρόβλημα.

Καθοριστικό ρόλο στην ανάλυση δεδομένων παίζει η αντίληψη της έννοιας της διακύμανσης (variation) ή μεταβλητότητας. Έτσι, ανεξάρτητα από το φαινόμενο από το οποίο προέρχεται ένα σύνολο δεδομένων, υπάρχει μεταβλητότητα στις τιμές των δεδομένων αυτών. Κατανόηση της μεταβλητότητας και των λόγων που την προκαλούν είναι απαραίτητα για την ερμηνεία των δεδομένων. Θα μπορούσε κανείς

να ισχυρισθεί ότι η κατανόηση και ερμηνεία της μεταβλητότητας σε ένα σύνολο δεδομένων είναι ακριβώς αυτό με το οποίο ασχολείται η Στατιστική. Η κατανόηση της μεταβλητότητας των δεδομένων οδηγεί στην ανακάλυψη, περιγραφή και κατανόηση συσχετίσεων και επαναλαμβανόμενων διαδικασιών (patterns). Η γνώση αυτή αποτελεί συχνά τη βάση για αποφάσεις που παίρνουμε σε σχέση με φαινόμενα που προκάλεσαν τα υπό ανάλυση δεδομένα.

Το σχήμα 3.1 εξηγεί την χρησιμοποίηση της Στατιστικής ανάλυσης σε συνδυασμό με την γνώση του αντικειμένου και την κρίση αυτού που λαμβάνει τις αποφάσεις όπως αυτά συνδέονται με το σχεδιασμό, τη λήψη αποφάσεων και τη βελτίωση συστημάτων. Όπως φαίνεται από το σχήμα αυτό πρόκειται για μία διαδικασία συνεχούς βελτίωσης. Όσο περισσότερο κατανοείται ένα φαινόμενο με τη χρήση της Στατιστικής ανάλυσης, τόσο περισσότερο βελτιώνεται η γνώση για το αντικείμενο και έτσι καθίσταται εφικτή η καλύτερη κατανόηση της διαδικασίας την επόμενη φορά (Πανάρετος-Ξεκαλάκη, 1997).



Σχήμα 3.1

3.1 Αριθμητική περιγραφή δεδομένων

Οι γραφικές μέθοδοι είναι εξαιρετικά χρήσιμες στην παρουσίαση δεδομένων και στο να προσφέρουν μια γρήγορη γενική περιγραφή των δεδομένων. Υπάρχουν όμως περιορισμοί στη χρησιμοποίηση των γραφικών τεχνικών για παρουσίαση και ανάλυση δεδομένων. Οι περιορισμοί των γραφικών μεθόδων περιγραφής δεδομένων μπορούν να αρθούν με τη χρησιμοποίηση αριθμητικών περιγραφικών μέτρων (numerical descriptive measures). Αριθμητικά περιγραφικά μέτρα που αναφέρονται στον πληθυσμό ονομάζονται "παράμετροι" (parameters). Τα αντίστοιχα αριθμητικά περιγραφικά μέτρα που αναφέρονται σε ένα δείγμα υπολογίζονται ως τιμές στατιστικών συναρτήσεων (statistics). Επομένως, το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στη χρησιμοποίηση των δειγματικών δεδομένων για να υπολογιστεί ένα σύνολο τιμών στατιστικών συναρτήσεων που θα δώσει μια καλή θεωρητική εικόνα της δειγματικής κατανομής σχετικής συχνότητας και τα οποία θα είναι χρήσιμα στη στατιστική συμπερασματολογία που αναφέρεται στην κατανομή της σχετικής συχνότητας του πληθυσμού (Πανάρετος-Ξεκαλάκη, 1997).

Δύο είναι, κυρίως, τα χαρακτηριστικά ενός δείγματος που μπορούν να δώσουν μια καλή συνοπτική εικόνα για το δείγμα. Το ένα είναι κάποια τιμή γύρω από την οποία τα δεδομένα τείνουν να συσσωρεύονται. Μέτρα που αναφέρονται στον καθορισμό μιας τέτοιας τιμής ονομάζονται μέτρα θέσης (measures of location) ή μέτρα κεντρικής τάσης (measures of central tendency).

Μια άλλη έννοια αναφέρεται στη μεταβλητότητα των δεδομένων. Στον καθορισμό δηλαδή της διασποράς των δεδομένων γύρω από κάποιο μέτρο αριθμητικής θέσης. Η περιγραφή των εννοιών αυτών θα γίνει στη συνέχεια.

3.1.1 Μέτρα Θέσης ή Κεντρικής Τάσης (Measures of Location or Central Tendency)

Τα κυριότερα μέτρα κεντρικής τάσης είναι ο αριθμητικός μέσος (arithmetic mean), η διάμεσος (median) και η επικρατούσα τιμή (mode) (Bissel, 1994).

Αριθμητικός Μέσος (arithmetic mean)

Ο αριθμητικός μέσος (arithmetic mean) που συνήθως αναφέρεται απλά ως μέσος, είναι ο μέσος των δεδομένων. Αναφορά στον δειγματικό μέσο γίνεται όταν υπολογίζεται ο μέσος ενός δείγματος και στην μέση τιμή του πληθυσμού όταν γίνεται αναφορά στο γενικό μέσο του πληθυσμού. Συνήθως συμβολίζεται με \bar{x} ο αριθμός των παρατηρήσεων ενός δείγματος και με N ο αριθμός των μονάδων ενός πληθυσμού. Με X συμβολίζεται ο μέσος των παρατηρήσεων $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ ενώ με μ συμβολίζεται ο μέσος των τιμών $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$ των N μονάδων του πληθυσμού.

Προφανώς ισχύει ότι:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (3.1)$$

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (3.2)$$

Διάμεσος (median)

Η διάμεσος (median) είναι η τιμή που χωρίζει ένα σύνολο δεδομένων περίπου στη μέση όταν τα δεδομένα αυτά τοποθετηθούν με σειρά τάξης μεγέθους.

Επικρατούσα τιμή (mode)

Ως επικρατούσα τιμή (mode) χαρακτηρίζεται η τιμή εκείνη των δεδομένων που έχει τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης. Όταν υπάρχουν δύο τιμές οι οποίες έχουν την ίδια συχνότητα εμφάνισης, τότε λέμε ότι τα δεδομένα αυτά έχουν δύο επικρατούσες τιμές. Η κατανομή των δεδομένων που έχουν μια μόνο επικρατούσα τιμή λέγεται μονοκόρυφη (unimodal) ενώ εάν έχει δύο επικρατούσες τιμές λέγεται δικόρυφη (bimodal).

Η επικρατούσα τιμή χρησιμοποιείται όταν τα δεδομένα είναι ποιοτικά. Στην

περίπτωση αυτή ούτε ο μέσος ούτε η διάμεσος έχουν έννοια.

Οι παράμετροι που υπολογίστηκαν από τις μετρήσεις του εργαστηρίου αναφοράς καθώς και του on-line αναλυτή παρουσιάζονται στον πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1: Παράμετροι που υπολογίστηκαν από τις μετρήσεις του εργαστηρίου αναφοράς και του on-line αναλυτή

<i>Μετρούμενη παράμετρος ποιότητας</i>	<i>Εργαστήριο</i>	<i>On- line αναλυτής</i>
<i>Αριθμός δειγμάτων</i>	120	120
<i>Μέση τιμή</i>	11.48	10.98
<i>Διάμεσος</i>	11.15	10.80
<i>Επικρατούσα τιμή</i>	11.80	9.30

3.1.2 Μέτρα Μεταβλητότητας ή Διασποράς (Measures of Variation or Dispersion)

Έχει ήδη τονιστεί στα προηγούμενα κεφάλαια η σημασία της μελέτης της μεταβλητότητας σε μια σειρά δεδομένων. Όπως είναι φυσικό, μεταβλητότητα υπάρχει σε κάθε σύνολο δεδομένων αφού, αντίστοιχα, υπάρχει μεταβλητότητα σε κάθε πληθυσμό ή διαδικασία. Με απλά λόγια, θα μπορούσε να πει κανείς ότι *μεταβλητότητα είναι το "άπλωμα" ή η διασπορά των τιμών σε ένα σύνολο δεδομένων*. Είναι επομένως σημαντικό να μετρηθεί η διασπορά αυτή, να κατανοηθεί και να καθοριστούν οι αιτίες που την προκαλούν έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα να παρθούν οι κατάλληλες αποφάσεις.

Έχουν ήδη μελετηθεί κάποια μέτρα θέσης των οποίων οι τιμές συνοψίζουν μία σειρά δεδομένων. Όπως όμως είναι φυσικό από τη στιγμή που ορίζεται ένα μέτρο θέσης για μία σειρά μετρήσεων, τίθεται στη συνέχεια το ερώτημα: πόσο αντιπροσωπευτικό είναι αυτό το μέτρο θέσης σε σχέση με όλες τις μετρήσεις του συνόλου των δεδομένων; Με άλλα λόγια, πώς "απλώνονται" οι μετρήσεις (οι παρατηρήσεις) γύρω

από αυτό το μέτρο θέσης; Είναι οι μετρήσεις πολύ απλωμένες γύρω από το μέτρο θέσης ή συγκεντρώνονται κοντά σε αυτό;

Επομένως, για να κατανοήσει κανείς τη μεταβλητότητα και να την αντιμετωπίσει με σωστό τρόπο θα πρέπει πρώτα να την μετρήσει. Στην ενότητα αυτή εξετάζεται μία σειρά από τα πιο σημαντικά μέτρα μεταβλητότητας που χρησιμοποιούνται στην πράξη. Συγκεκριμένα, θα παρουσιαστούν τις έννοιες της έκτασης (εύρους), της μέσης απόλυτης απόκλισης, της διακύμανσης (διασποράς) και της τυπικής απόκλισης (Πανάρετος-Ξεκαλάκη,1997).

Έκταση ή Εύρος (Range)

Ως έκταση ή εύρος (range) ορίζεται η διαφορά μεταξύ της μεγαλύτερης και της μικρότερης τιμής ενός συνόλου δεδομένων.

Δηλαδή

$$R = X_{\max} - X_{\min} \quad (3.3)$$

Όπου X_{\max} η μέγιστη τιμή του συνόλου των δεδομένων και X_{\min} η ελάχιστη τιμή του συνόλου αυτού.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της έννοιας της έκτασης είναι η απλότητά της και η ευκολία στον υπολογισμό της. Το μεγαλύτερο μειονέκτημά της είναι ότι εξαρτάται από δύο μόνο τιμές του συνόλου των παρατηρήσεων. Είναι δηλαδή απόλυτα εξαρτημένη (και επομένως ευαίσθητη) από τις δύο ακραίες τιμές των παρατηρήσεων χωρίς να λαβαίνει καθόλου υπόψη της τις άλλες τιμές.

Διακύμανση ή Διασπορά (Variance)

Ορισμός: Ορίζεται ως διακύμανση ή διασπορά (variance) ενός πληθυσμού N τιμών $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$ με μέση τιμή μ την μέση τετραγωνική απόκλιση των n μετρήσεων από τη μέση τιμή μ του πληθυσμού. Για τη διακύμανση χρησιμοποιείται ο συμβολισμός σ^2 (Πανάρετος-Ξεκαλάκη,1997).

Επομένως:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N} \quad (3.4)$$

Δεδομένου ότι στη Στατιστική σπανίως είναι γνωστές οι τιμές για το σύνολο των στοιχείων ενός πληθυσμού, χρησιμοποιούνται δειγματικά δεδομένα με βάση τα οποία ορίζονται δειγματικές στατιστικές συναρτήσεις για να εκτιμηθούν οι τιμές των παραμέτρων του πληθυσμού. Προκειμένου, επομένως, να εκτιμηθεί η τιμή της διακύμανσης ενός πληθυσμού χρειάζεται να οριστεί ένα αντίστοιχο μέτρο δειγματικής διακύμανσης.

Όσο αφορά την θεωρητική κατασκευή ενός μέτρου της δειγματικής διακύμανσης, αυτή γίνεται με τρόπο αντίστοιχο αυτού που ακολουθήθηκε για την κατασκευή του μέτρου της διακύμανσης του πληθυσμού (στην οποία αναφερθήκαμε προηγουμένως) με αντικατάσταση της άγνωστης μέσης τιμής μ του πληθυσμού με τον δειγματικό μέσο \bar{x} και του μεγέθους N του πληθυσμού με το μέγεθος n του δείγματος. Η δειγματική διακύμανση συμβολίζεται με S^2 .

Επομένως, για τη δειγματική διακύμανση ισχύει ότι (Bissel, 1994):

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n} \quad (3.5)$$

Έχει παρατηρηθεί, όμως, ότι η χρησιμοποίηση του παραπάνω τύπου, ο οποίος είναι το ακριβές ανάλογο του αντίστοιχου τύπου για τη διακύμανση του πληθυσμού, τείνει να οδηγήσει σε μια εκτιμήτρια του σ^2 η οποία είναι "χαμηλότερη" από την πραγματική του τιμή. Με στατιστική ορολογία δηλαδή αν κανείς θεωρήσει πολλά τυχαία δείγματα μεγέθους n , η εκτιμήτρια S^2 του σ^2 , όπως αυτή ορίσθηκε παραπάνω, οδηγεί τις περισσότερες φορές σε τιμές μικρότερες από την πραγματική τιμή του σ^2 από ότι σε τιμές μεγαλύτερες του σ^2 . Η κατάσταση αυτή ονομάζεται μεροληπτικότητα (bias) (Πανάρετος-Ξεκαλάκη, 1997).

Η θεωρία, αλλά και η πράξη, έχουν αποδείξει ότι αν χρησιμοποιηθεί ως διαιρέτης στον τύπο του S^2 το $n-1$ αντί του n η εκτιμήτρια στην οποία καταλήγουμε, και την οποία συμβολίζουμε με S^{*2} είναι αμερόληπτη εκτιμήτρια του σ^2 .

Τυπική Απόκλιση (Standard Deviation)

Η αριθμητική τιμή της διακύμανσης ενός πληθυσμού, ή ενός δείγματος, είναι δύσκολο να ερμηνευθεί δεδομένου ότι εκφράζεται σε τετράγωνα των μονάδων των παρατηρήσεων. Για να αποφευχθεί το πρόβλημα αυτό ορίστηκε ένα μέτρο μεταβλητότητας που να εκφράζεται στις ίδιες μονάδες όπως τα αρχικά δεδομένα (Πανάρετος-Ξεκαλάκη, 1997).

Ορισμός: Ορίζεται ως τυπική απόκλιση (standard deviation) η θετική τετραγωνική ρίζα της διακύμανσης.

$$\text{Δηλαδή, όσο αφορά τον πληθυσμό: } \sigma = +\sqrt{\sigma^2} \quad (3.6)$$

$$\text{και, όσο αφορά το δείγμα: } S = +\sqrt{S^2} \quad (3.7) \text{ και } S^* = +\sqrt{S^{*2}} \quad (3.8)$$

Είναι προφανές ότι ούτε η διακύμανση ούτε η τυπική απόκλιση μπορούν να έχουν αρνητικές τιμές. Η διακύμανση δεν είναι δυνατόν να πάρει αρνητική τιμή γιατί είναι ένας μέσος τετραγωνικών ποσοτήτων. Αντίστοιχα, η τυπική απόκλιση δεν μπορεί να πάρει αρνητική τιμή γιατί από τον ορισμό της είναι η θετική τετραγωνική ρίζα της διακύμανσης.

3.2 Συντελεστής συσχέτισης και συμμεταβλητότητα

Έστω μ_x, μ_y οι μέσες τιμές των X, Y και σ_x^2, σ_y^2 οι μεταβλητότητες των X, Y . Η συμμεταβλητότητα και ο συντελεστής συσχέτισης είναι μέτρα του βαθμού της γραμμικής σχέσης μεταξύ των X και Y . Η συμμεταβλητότητα συμβολίζεται με $\text{Cov}(X, Y)$ ή σ_{xy} και ορίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$\text{Cov}(X, Y) = \sigma_{xy} = E[(X - \mu_x)(Y - \mu_y)] = E(XY) - \mu_x \mu_y \quad (3.9)$$

Ο συντελεστής συσχέτισης συμβολίζεται $\rho(X, Y)$ ή ρ_{xy} και ορίζεται από τη σχέση:

$$\rho(XY) = \rho_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \quad (3.10)$$

Επειδή ο συντελεστής ρ είναι αδιάστατος με τιμές στο διάστημα $[-1, +1]$, διευκολύνει την άμεση σύγκριση του βαθμού συσχέτισης μεταξύ ζευγών τυχαίων μεταβλητών. Υψηλές τιμές του ρ (θετικές ή αρνητικές) υποδηλώνουν υψηλό βαθμό γραμμικής συσχέτισης (θετικής ή αρνητικής αντίστοιχα).

Αν οι τυχαίες μεταβλητές X, Y είναι ανεξάρτητες, τότε $\text{Cov}(X, Y) = 0$ και $\rho_{xy} = 0$. Το αντίστροφο όμως δεν ισχύει απαραίτητα. Αν $\rho = 0$, οι X, Y λέγονται ασυσχέτιστες (γραμμικά), αλλά μπορεί να μην είναι ανεξάρτητες.

Η μεταβλητότητα γραμμικού συνδυασμού τυχαίων μεταβλητών $Y = a_1 X_1 + \dots + a_k X_k$ εξαρτάται από τις συμμεταβλητότητες $\text{Cov}(X_i, X_j)$. Αν $k = 2$ και $a_1 = a_2 = 1$, τότε $Y = X_1 + X_2$ και μετά από πράξεις η μεταβλητότητα του αθροίσματος Y βρίσκεται ίση με:

$$\text{Var}(X_1 + X_2) = \text{Var}(X_1) + \text{Var}(X_2) + 2 \text{Cov}(X_1, X_2) \quad (3.11)$$

Η παραπάνω σχέση γενικεύεται για γραμμικό συνδυασμό $k > 2$ μεταβλητών:

$$\text{Var}(Y) = \sum_{i=1}^k a_i^2 \text{Var}(X_i) + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k a_i a_j \text{Cov}(X_i, X_j) \quad (3.12), j \neq i$$

Αν όλες οι μεταβλητές είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους, τότε

$$\text{Var}(Y) = \sum_{i=1}^k a_i^2 \text{Var}(X_i) \quad (3.13)$$

Επειδή $\text{Cov}(X_i, X_j) = 0$ για κάθε i, j (Πανάρετος-Ξεκαλάκη, 1997).

Ο συντελεστής συσχέτισης (correlation coefficient) αποτελεί μία παράμετρο που συνδυάζεται με τη γραφική απεικόνιση της διασποράς των μετρήσεων του on-line

αναλυτή και των μετρήσεων των εργαστηρίων αναφοράς. Η τιμή του συντελεστή συσχέτισης κυμαίνεται από -1 έως 1, με την τιμή 1 να αντιστοιχεί σε απόλυτα ανάλογη συσχέτιση, την τιμή 0 σε ελάχιστη συσχέτιση και την τιμή -1 σε απόλυτα αντιστρόφως ανάλογη συσχέτιση.

Με τη βοήθεια του ευρύτατα διαδεδομένου προγράμματος Excel, ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ των μετρήσεων του αναλυτή και του εργαστηρίου αναφοράς βρέθηκε 0.69. Η τιμή υποδηλώνει μέτρια συσχέτιση μεταξύ των μετρήσεων του υπό δοκιμή αναλυτή και του εργαστηρίου αναφοράς.

3.3 Συντελεστής κύρτωσης

Η στατιστική συνάρτηση $\frac{m_4}{S^4} - 3$ ονομάζεται συντελεστής κύρτωσης (coefficient of kurtosis) και χρησιμοποιείται ως μέτρο της οξύτητας της κορυφής της κατανομής των δεδομένων. Αποδίδει την κύρτωση ενός συνόλου δεδομένων. Η κύρτωση χαρακτηρίζει τη σχετική οξύτητα ή ομαλότητα μιας κατανομής, σε σύγκριση με την κανονική κατανομή. Θετική κύρτωση υποδηλώνει κατανομή με σχετικές οξύνσεις. Αρνητική κύρτωση υποδηλώνει σχετικά ομαλή κατανομή.

Στην περίπτωση που ο συντελεστής αυτός είναι 0 η κατανομή των δεδομένων έχει μέτρια κύρτωση και ονομάζεται μεσόκυρτη (*mesokurtic*). Αν είναι θετικός ή αρνητικός αριθμός η κατανομή έχει οξεία ή ελαφρά κύρτωση και ονομάζεται λεπτόκυρτη (*leptokurtic*) ή πλατύκυρτη (*platykurtic*) αντίστοιχα.

Και στην περίπτωση του συντελεστή αυτού χρησιμοποιείται πολλές φορές η

$$m_4^* = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4 \quad (3.14)$$

αντί της m_4 και η S^* αντί της S .

3.4 Σύγκριση των διακυμάνσεων (F-test)

Η δοκιμή αυτή χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της ύπαρξης στατιστικώς σημαντικής διαφοράς μεταξύ των διακυμάνσεων δύο σειρών μετρήσεων. Η χρησιμοποιούμενη εξίσωση έχει ως εξής:

$$F_C = \frac{V_1}{V_2} \quad (3.15)$$

όπου: V_1 , η μεγαλύτερη των διακυμάνσεων των δύο σειρών μετρήσεων

V_2 , η μικρότερη των διακυμάνσεων των δύο σειρών μετρήσεων

Η τιμή της F_C συγκρίνεται με την τιμή της στατιστικής παραμέτρου F που προσδιορίζεται από σχετικό Πίνακα (Mendenhall & Sincich, 1994) με βάση τους βαθμούς ελευθερίας των δύο σειρών μετρήσεων, που στην εξεταζόμενη περίπτωση είναι 119 (ίσοι με τον αριθμό των μετρήσεων - 1). Όταν $F_C > F$ τότε υπάρχει στατιστικώς σημαντική διαφορά (Παυλουδάκης, 2001).

Με βάση τις τιμές της διακύμανσης των σειρών μετρήσεων του on-line αναλυτή και του εργαστηρίου αναφοράς που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2, υπολογίστηκε η τιμή της στατιστικής παραμέτρου F_C , η οποία είναι 3.69, για τη περίπτωση σύγκρισης των μετρήσεων του αναλυτή με το εργαστήριο αναφοράς. Η τιμή αυτή, συγκρινόμενη με την τιμή του συντελεστή F , ο οποίος κυμαίνεται γύρω στο 1.5, για τους βαθμούς ελευθερίας που προαναφέρθηκαν και για πιθανότητα 95%, κρίνονται ως σημαντικό αυξημένες και υποδηλώνουν σημαντική διαφορά στις διακυμάνσεις των μετρήσεων της τέφρας από το εργαστήριο και τον on-line αναλυτή.

Συνοπτικά τα μέτρα μεταβλητότητας που υπολογίστηκαν παρουσιάζονται στον πίνακα 3.2.

Πίνακας 3.2: Μέτρα μεταβλητότητας που υπολογίστηκαν για τις μετρήσεις του εργαστηρίου και του on-line αναλυτή.

<i>Μέτρα Μεταβλητότητας</i>	<i>εργαστήριο</i>	<i>on line αναλυτής</i>
<i>Κύρτωση</i>	0.17	-0.29
<i>Διακύμανση</i>	10.18	3.03
<i>Τυπική απόκλιση</i>	3.19	1.75
<i>Εύρος</i>	14.20	8.10
<i>Συντελεστής συσχέτισης</i>	0.69	
<i>F-Test</i>	3.36	

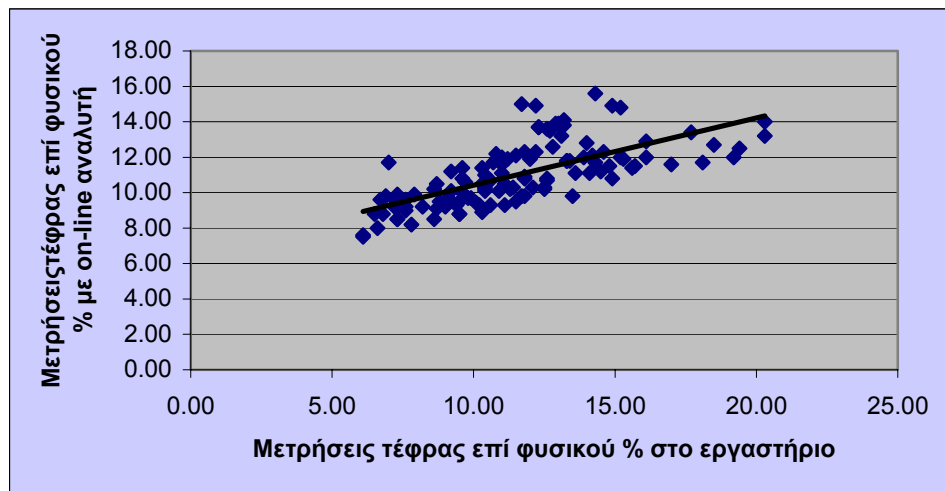
3.5 Μέθοδοι γραφικής ανάλυσης

Μια σειρά από διαγράμματα χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση συγκεκριμένων στατιστικών παραμέτρων που αφορούν την πιστότητα των μετρήσεων του on-line αναλυτή.

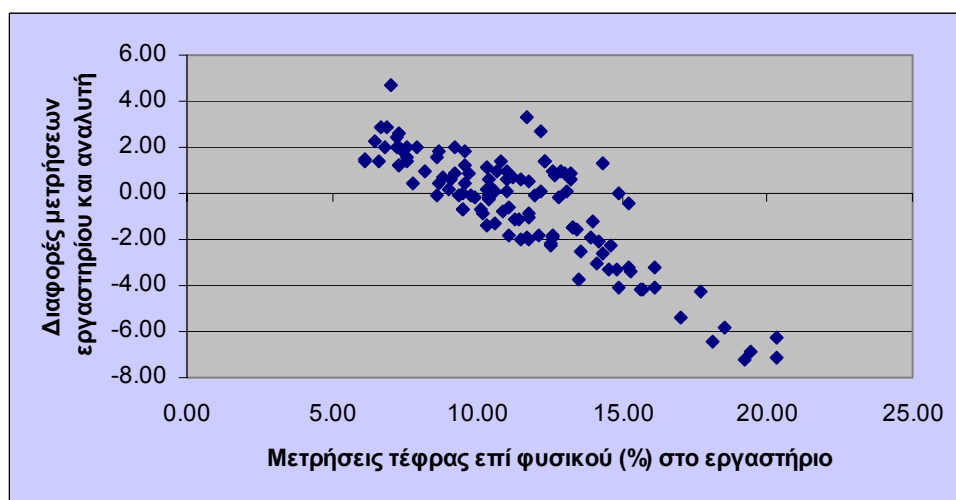
Στο Διάγραμμα 3.1 παρουσιάζεται η διασπορά (scatter) των μετρήσεων του on-line αναλυτή ως προς τις μετρήσεις των εργαστηρίων αναφοράς. Τα διαγράμματα αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό συστηματικών αποκλίσεων, μικρής συσχέτισης και μη αποδεκτών τιμών (outliers). Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, η συσχέτιση των μετρήσεων του αναλυτή με τις μετρήσεις και των δύο εργαστηρίων δεν είναι ικανοποιητική. Επιπλέον, παρατηρείται μια συστηματική απόκλιση των μετρήσεων αναλυτή και εργαστηρίων καθώς η περιεκτικότητα των δειγμάτων λιγνίτη σε τέφρα αυξάνει. Γενικά, είναι φανερό ότι οι μετρήσεις του on-line αναλυτή κυμαίνονται σε περιορισμένο εύρος, σε σύγκριση με τις μετρήσεις των δύο εργαστηρίων, γεγονός που αντανακλάται και στη μικρή τυπική απόκλιση των μετρήσεων του αναλυτή που παρουσιάστηκε προηγούμενα στον Πίνακα 3.2.

Στο Διάγραμμα 3.2 παρουσιάζεται η διαφορά των μετρήσεων του on-line αναλυτή και των μετρήσεων των εργαστηρίων αναφοράς σε συνάρτηση με τις μετρήσεις

αναφοράς (άξονας x). Τα διαγράμματα αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό μη αποδεκτών τιμών που συνήθως έχουν σχέση με το σύστημα αναφοράς ή τη βαθμονόμηση. Είναι φανερό ότι υπάρχει συστηματική απόκλιση των τιμών του αναλυτή προς τα πάνω (αρνητικό πρόσημο διαφοράς), όταν η περιεκτικότητα των δειγμάτων λιγνίτη σε τέφρα επί φυσικού είναι κάτω από 12%, και προς τα κάτω (θετικό πρόσημο διαφοράς), όταν η περιεκτικότητα των δειγμάτων -λιγνίτη σε τέφρα επί φυσικού) είναι πάνω από 12%.

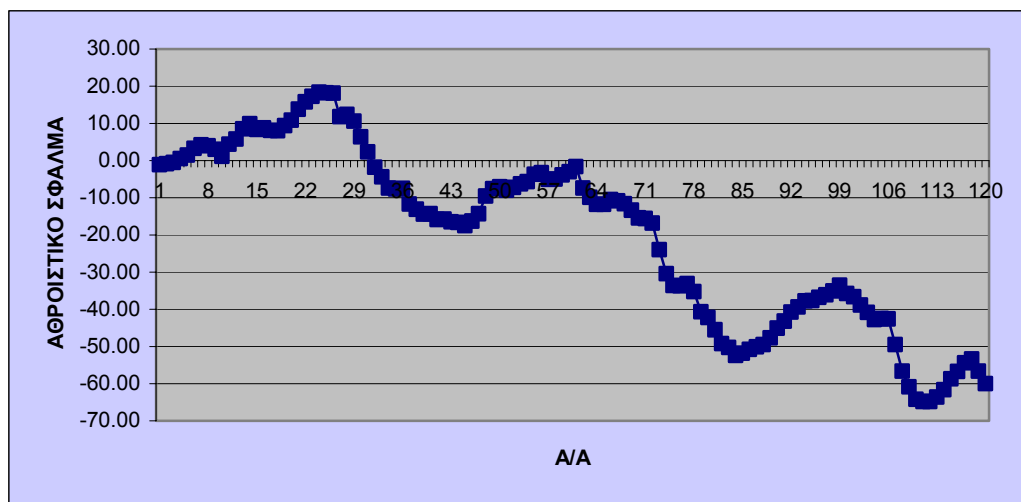


Διάγραμμα 3.1: Διασπορά (scatter) των μετρήσεων του on-line αναλυτή ως προς τις μετρήσεις των εργαστηρίων αναφοράς.



Διάγραμμα 3.2: Διαφορά των μετρήσεων του on-line αναλυτή και των μετρήσεων των εργαστηρίων αναφοράς σε συνάρτηση με τις μετρήσεις αναφοράς (άξονας x).

Στο Διάγραμμα 3.3 παρουσιάζεται η μεταβολή του σφάλματος του on-line αναλυτή με την χρήση του διαγράμματος CUSUM. Από την μεταβολή του αθροιστικού σφάλματος του on-line αναλυτή συμπεραίνεται ότι υπάρχει τάση αύξησης της αρνητικής του τιμής. Αυτό συμβαίνει γιατί οι τιμές σε τέφρα επί φυσικού του on-line αναλυτή είναι μικρότερες στις περισσότερες περιπτώσεις από τις αντίστοιχες τιμές των εργαστηριακών μετρήσεων με αποτέλεσμα η αρνητική τιμή του αθροιστικού σφάλματος να ακολουθεί την πορεία που φαίνεται στο διάγραμμα 3.3. Αν δεν συνέβαινε αυτό και οι αντίστοιχες τιμές σε τέφρα επί φυσικού είχαν μικρές διαφοροποιήσεις χωρίς συγκεκριμένη ροπή το αθροιστικό σφάλμα θα κυμαινόταν σε τιμές κοντά στο μηδέν. Άρα οι μετρήσεις του on-line αναλυτή παρουσιάζουν μεροληψία (bias) που πρέπει να διορθωθεί με κατάλληλη βαθμονόμηση του οργάνου.



Διάγραμμα 3.3: Μεταβολή του αθροιστικού σφάλματος του on-line αναλυτή.

3.6 Κατανομή μετρήσεων του on-line αναλυτή και του εργαστηρίου αναφοράς

Προκειμένου να χρησιμοποιήσει κανείς κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο τα διαθέσιμα δεδομένα χρειάζεται, σχεδόν πάντα, να συνοψίσει τα δεδομένα αυτά με κάποιο τρόπο. Μια μέθοδος είναι να παρουσιαστούν τα δεδομένα με κάποιο τρόπο από τη μικρότερη ως τη μεγαλύτερη τιμή τους με πίνακες ή γραφικές παραστάσεις. Ο τρόπος με τον οποίο ταξινομούνται τα δεδομένα ονομάζεται στη Στατιστική κατανομή (distribution) των δεδομένων αυτών.

Η κατανομή των δεδομένων είναι σημαντική γιατί αποκαλύπτει τρόπους με τους οποίους τα δεδομένα μεταβάλλονται. Έτσι κατανοείται καλύτερα η πηγή από την οποία προήλθαν τα υπό μελέτη δεδομένα.

Ένας τρόπος, ίσως περισσότερο γνωστός, παρουσίασης των δεδομένων είναι η κατασκευή της κατανομής συχνότητας των δεδομένων (frequency distribution) και του αντιστοίχου ιστογράμματος (histogram).

Για να κατασκευαστεί η κατανομή συχνότητας διαιρείται το διάστημα που καλύπτουν οι διαθέσιμες τιμές των δεδομένων σε μια σειρά από *υποδιαστήματα (κατηγορίες, κλάσεις, τάξεις)*. Στη συνέχεια προσδιορίζεται ο αριθμός των δεδομένων που περιέχονται σε κάθε μια κλάση.

Τα βασικά σημεία τα οποία θα πρέπει να προσεχθούν όταν κατασκευάζονται κατανομές συχνότητας είναι τα εξής:

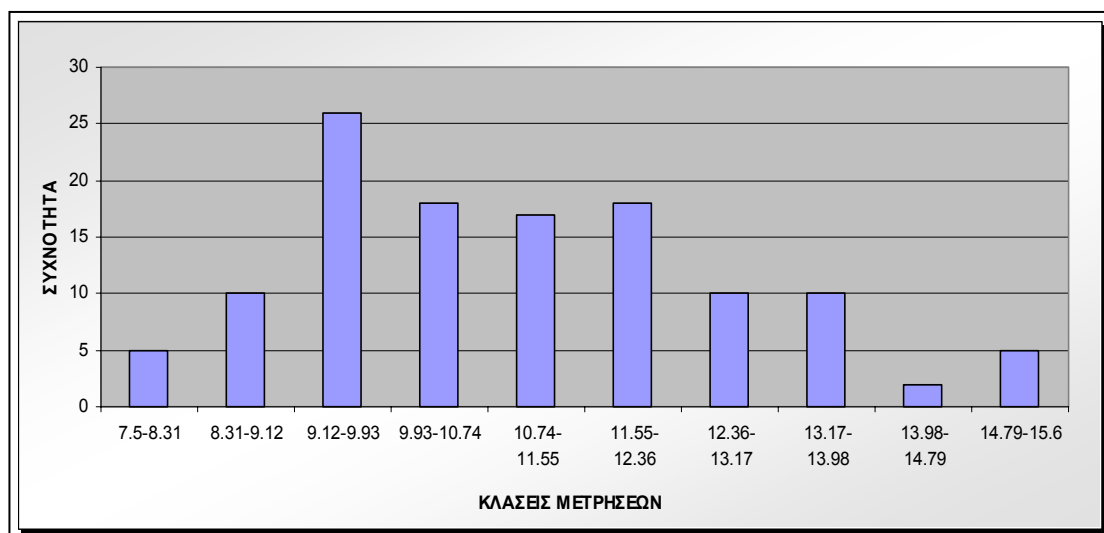
- Οι κλάσεις που επιλέγονται θα πρέπει να είναι τέτοιες που να δίνουν τη σωστή εικόνα της κατανομής των δεδομένων. Ο καθορισμός του αριθμού των κλάσεων είναι εν γένει αυθαίρετος. Συνήθως χρησιμοποιούνται από πέντε ως είκοσι κλάσεις. Όσο μεγαλύτερη ποσότητα δεδομένων είναι διαθέσιμη τόσο περισσότερες κλάσεις θα πρέπει να χρησιμοποιούνται. Αυτό γιατί εάν ο αριθμός των κλάσεων που θα χρησιμοποιηθούν είναι πολύ μικρός είναι ενδεχόμενο να αποκρύβουν σημαντικά χαρακτηριστικά των δεδομένων με την ομαδοποίησή

τους. Από το άλλο μέρος, εάν ο αριθμός των κλάσεων είναι μεγάλος σε σχέση με τα δεδομένα θα έχουμε πολλές κλάσεις που θα είναι ή κενές ή με μικρό αριθμό παρατηρήσεων και η κατανομή που θα εμφανίζουν θα δίνει μια όχι ικανοποιητική περιγραφή των δεδομένων.

- Αφού παρατηρηθεί το εύρος των τιμών του δείγματος θα πρέπει να καθοριστεί το εύρος κάθε κλάσης (class width). Ως ένα γενικό κανόνα για το εύρος της κλάσης διαιρείται η διαφορά της μικρότερης από τη μεγαλύτερη μέτρηση με τον επιθυμητό αριθμό των κλάσεων που θα χρησιμοποιηθούν. Κατά κανόνα θα πρέπει να υπάρχουν κλάσεις ίσου εύρους εκτός και αν υπάρχουν συγκεκριμένοι λόγοι για το αντίθετο.
- Καθορισμός των ορίων των κλάσεων: Είναι προφανές ότι τα όρια αυτά θα πρέπει να καθορίζονται με τρόπο ώστε οι μετρήσεις να κατανέμονται σε μια μόνο από τις δυνατές κατηγορίες.

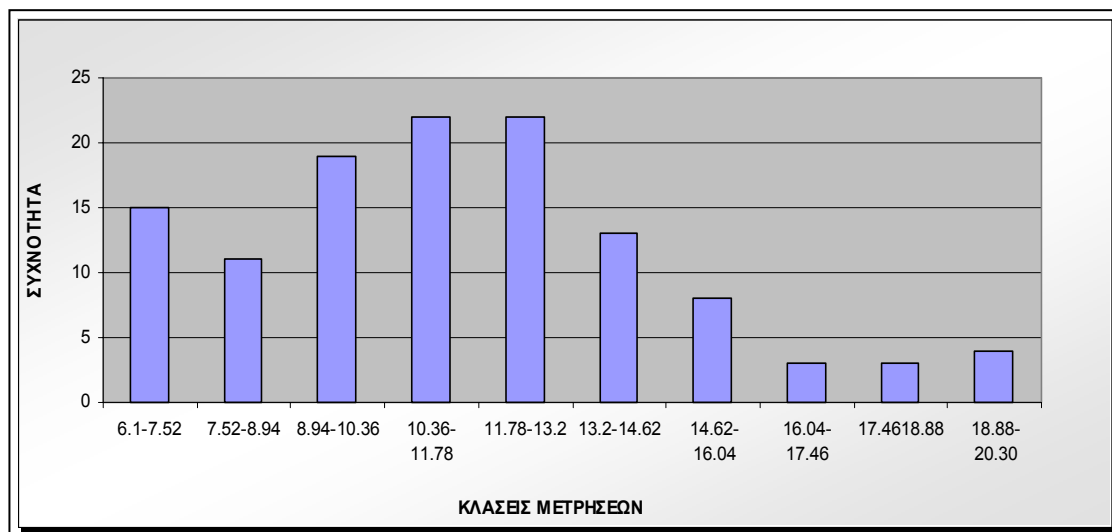
Στην συγκεκριμένη περίπτωση τα δεδομένα υποδιαιρέθηκαν σε 10 κλάσεις. Κάθε κλάση έχει εύρος τιμών 1.42 και 0.81 για τις μετρήσεις του εργαστηρίου αναφοράς και του on-line αναλυτή, αντίστοιχα. Οι πίνακες των κατανομών συχνότητας (Πίνακες 3.3 και 3.4) και τα ανάλογα ιστογράμματα (Ιστογράμματα 3.1 και 3.2) που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων φαίνονται παρακάτω. Στην συνέχεια δημιουργήθηκε ένα καινούργιο ιστόγραμμα όπου διατηρήθηκε το εύρος των κλάσεων των εργαστηριακών μετρήσεων και τοποθετήθηκαν εκεί οι μετρήσεις του on-line αναλυτή (Ιστόγραμμα 3.3). Συγκρίνοντας τα ιστογράμματα 3.2 και 3.3 παρατηρείται:

- i. μεγάλη συχνότητα των μετρήσεων του on-line αναλυτή, σε σχέση με τις μετρήσεις του εργαστηρίου, στις κλάσεις 8.94-10.36, 10.36- 11.78 και 11.7-13.20,
- ii. μικρότερη συχνότητα στις κλάσεις 6.10-7.52, 13.20-14.62, 14.62-16.04
- iii. και τέλος μηδενική συχνότητα στις κλάσεις 16.04-17.46, 17.46- 18.88, 18.88-20.30.



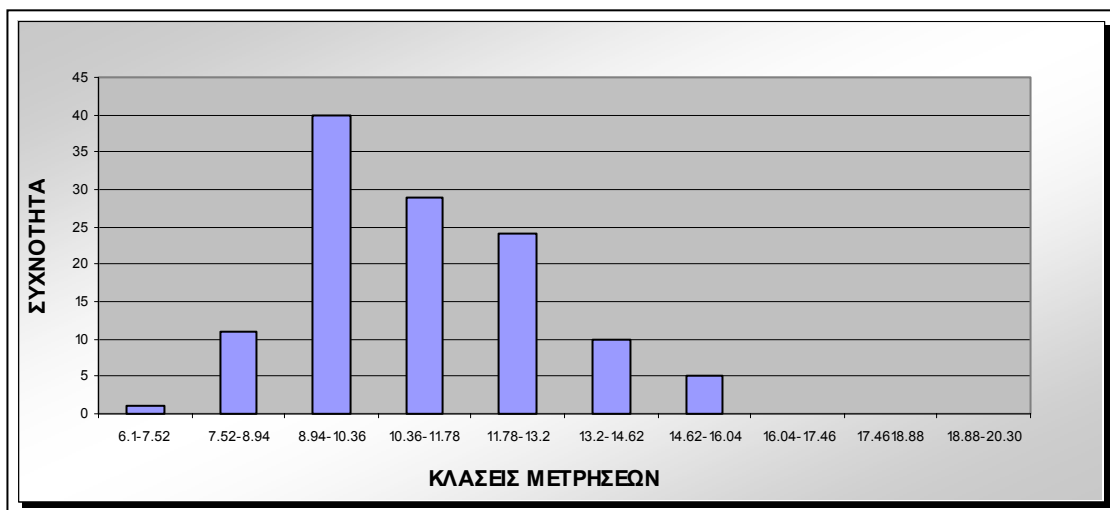
Ιστόγραμμα 3.1: Συχνότητα κατανομής δεδομένων on-line αναλυτή.

ΚΛΑΣΕΙΣ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ
7.5 -8.31	5
8.31 - 9.12	10
9.12 - 9.93	26
9.93 - 10.74	18
10.74 - 11.55	17
11.55 - 12.36	18
12.36 - 13.17	10
13.17 - 13.98	10
13.98 - 14.79	2
14.79 - 15.6	5



Ιστόγραμμα 3.2: Συχνότητα κατανομής δεδομένων εργαστηρίου αναφοράς.

ΚΛΑΣΕΙΣ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ
6.10 - 7.52	15
7.52 - 8.94	11
8.94 - 10.36	19
10.36 - 11.78	22
11.78 - 13.20	22
13.20 - 14.62	13
14.62 - 16.04	8
16.04 - 17.46	3
17.46 - 18.88	3
18.88 - 20.30	4



Ιστόγραμμα 3.3: Συχνότητα κατανομής δεδομένων on-line αναλυτή στις κλάσεις των εργαστηριακών μετρήσεων.

ΚΛΑΣΕΙΣ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ
6.10 - 7.52	1
7.52 - 8.94	11
8.94 - 10.36	40
10.36 - 11.78	29
11.78 - 13.20	24
13.20 - 14.62	10
14.62 - 16.04	5
16.04 - 17.46	0
17.46 - 18.88	0
18.88 - 20.30	0

4. Στατιστικός έλεγχος παραγωγικής διαδικασίας με εφαρμογή στατιστικών διαγραμμάτων ελέγχου

Σε οποιαδήποτε παραγωγική διαδικασία, όσο καλά και να είναι σχεδιασμένη και όσο καλά και να λειτουργεί, παρατηρείται διακύμανση της ποιότητας των προϊόντων που παράγει, ως αποτέλεσμα πολλών τυχαίων παραγόντων που δεν είναι δυνατόν να ελεγχθούν. Η διακύμανση αυτή είναι συνήθως μικρή (βρίσκεται εντός αποδεκτών ορίων) και αποτελεί το "θόρυβο" του συστήματος παραγωγής. Επειδή προκύπτει από την υπέρθεση πολλών διαφορετικών παραγόντων τυχαίας φύσης, ακολουθεί συνήθως την κανονική κατανομή (κεντρικό οριακό θεώρημα). Μια παραγωγική διαδικασία που η διακύμανση της ποιότητας οφείλεται στους παραπάνω λόγους, θεωρείται ότι βρίσκεται υπό στατιστικό έλεγχο (Montgomery, 1985).

Εκτός των παραπάνω τυχαίων παραγόντων, η διακύμανση της ποιότητας επηρεάζεται και από άλλους ειδικούς παράγοντες, που οφείλονται κυρίως στις διαφορές των μηχανικών συστημάτων (φθορές, ελαττωματική λειτουργία), στις πρώτες ύλες (μεταβολή ποιότητας πρώτων υλών), στις μεθόδους παραγωγής (λανθασμένη εφαρμογή), στο επίπεδο εκπαίδευσης των εργαζομένων (τοποθέτηση άπειρου ή ακατάλληλα εκπαιδευμένου προσωπικού), στις συνθήκες εργασίας (δυσμενείς καιρικές συνθήκες), κ.ά., και μπορεί να οδηγήσει τη παραγωγική διαδικασία σε απαράδεκτα μεγάλες διακυμάνσεις της ποιότητας, να τεθεί δηλαδή εκτός ελέγχου.

Τα διαγράμματα ελέγχου (control charts) χρησιμοποιούνται για να διαπιστωθεί αν μια παραγωγική διαδικασία είναι υπό στατιστικό έλεγχο ή όχι, και σε περίπτωση που είναι εκτός ελέγχου, εντοπίζονται τα αίτια που προκάλεσαν τη διαταραχή και γίνονται οι απαιτούμενες διορθωτικές κινήσεις.

Οι τύποι των διαγραμμάτων ελέγχου που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι (Montgomery, 1985, Garrity, 1993) :

- Διάγραμμα ελέγχου της μέσης δειγματικής τιμής \bar{x} , της παραγωγικής διαδικασίας. Το \bar{x} είναι η μέση τιμή των επιμέρους δειγμάτων ενός δείγματος.

Όταν το μέγεθος του δείγματος είναι ίσο με 1 τότε για τον υπολογισμό της παραμέτρου ποιότητας x χρησιμοποιείται συνήθως ο κινητός μέσος 2 διαδοχικών δειγμάτων. (Grant and Leavenworth, 1988).

- Διάγραμμα ελέγχου του εύρους διασποράς R , του x εντός του δείγματος (χρησιμοποιείται όταν το μέγεθος του δείγματος είναι μικρό, $n < 12$).
- Διάγραμμα ελέγχου της τυπικής απόκλισης s του x εντός του δείγματος (χρησιμοποιείται όταν το μέγεθος του δείγματος είναι μεγάλο, $n > 12$).

Στην παρούσα εργασία σκοπός είναι να στατιστικός έλεγχος της παραγωγικής διαδικασίας του ΛΚΠ-Α με βάση μετρήσεις που πάρθηκαν από έναν εγκατεστημένο αναλυτή και από τις αντίστοιχες μετρήσεις εργαστηρίου αναφοράς σε 120 δείγματα λιγνίτη. Γίνεται έλεγχος της παραγωγικής διαδικασίας ξεχωριστά τόσο με βάση τις τιμές που λάβαμε από τον αναλυτή όσο και από το εργαστήριο. Στην συνέχεια συγκρίνοντας τα αποτελέσματα αξιολογείται, αν χρησιμοποιώντας μεμονωμένα τον συγκεκριμένο on-line αναλυτή μπορούμε να οδηγηθούμε σε ασφαλή συμπεράσματα όσον αφορά τον στατιστικό έλεγχο παραγωγικής διαδικασίας. Τα διαγράμματα ελέγχου Shewhart που χρησιμοποιήθηκαν για το σκοπό αυτό είναι τα εξής:

- Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} - R για μεμονωμένες τιμές.
- Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} - R κινούμενου μέσου.
- Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} - R με μέγεθος δείγματος $n=4$ (ωριαίο).
- Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} - R με μέγεθος δείγματος $n=8$ (δίωρο).

Για τον έλεγχο των τιμών των ορίων που χρησιμοποιήθηκαν στα διαγράμματα έγινε υπολογισμός των δεικτών C_{pk} και C_{pm} της ικανότητας της παραγωγικής διαδικασίας (process capability). Τα όρια ελέγχου προδιαγραφών της τέφρας επί φυσικού που χρησιμοποιήθηκαν για τον σκοπό αυτό, όπως αυτά ορίστηκαν με βάση τις απαιτήσεις του ΛΚΠ-Α φαίνονται στον πίνακα 4.

Πίνακας 4: Όρια ελέγχου προδιαγραφών.

Όρια ελέγχου προδιαγραφών	Τιμές (% τέφρα επί φυσικού)
USL (Upper Specification Limit)	22
LSL (Lower Specification Limit)	6

4.1 Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} -R για μεμονωμένες τιμές

4.1.1 Κατασκευή διαγραμμάτων

Για την κατασκευή των διαγραμμάτων αυτών ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία. Από τον αρχικό πίνακα 2.1 δημιουργούνται οι πίνακες 4.1 και 4.2 από τις μετρήσεις του εργαστηρίου και του on-line αναλυτή αντίστοιχα. Στους πίνακες αυτούς έχουν σημειωθεί και οι 119 τιμές του κινούμενου εύρους MR και η μέση τιμή του καθώς και η μέση τιμή των μετρήσεων της τέφρας επί φυσικού, \bar{x} , τόσο για την περίπτωση του εργαστηρίου όσο και για την περίπτωση του on-line αναλυτή.

Με βάση τα παραπάνω χαρακτηριστικά (\bar{x} και \overline{MR}) και γνωρίζοντας τους συντελεστές A_2 , D_3 , D_4 και d_2 από τον πίνακα 4.1 του Μέρους Γ' εφαρμόζεται ένας αριθμός εξισώσεων για την εύρεση των ορίων ελέγχου τριών τυπικών αποκλίσεων. Η εφαρμογή των τύπων αυτών φαίνεται στους πίνακες 4.3 και 4.4 και τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα στον πίνακα 4.5.

Πίνακας 4.1: Υπολογισμός $\bar{\chi}$ και \overline{MR} των μετρήσεων του εργαστηρίου.

[illegible]

Πίνακας 4.3: Εφαρμογή εξισώσεων για την εύρεση των ορίων ελέγχου.

Μετρήσεις Εργαστηρίου

Διάγραμμα ελέγχου για \overline{MR}			
όρια ελέγχου	τύπος	Εφαρμογή τύπου	όρια ελέγχου
CL			2.04
UCL	$D_4 \overline{MR}$	3.267(2.04)	6.66
LCL	$D_3 \overline{MR}$	0(2.04)	0
Διάγραμμα ελέγχου για \bar{x}			
CL			11.48
UCL	$\bar{x} + 3(MR/d_2)$	11.48 +3(2.04/1.128)	16.90
LCL	$\bar{x} - 3(MR/d_2)$	11.48 -3(2.04/1.128)	6.06

Πίνακας 4.4: Εφαρμογή εξισώσεων για την εύρεση των ορίων ελέγχου

Μετρήσεις On line αναλυτή

Διάγραμμα ελέγχου για \overline{MR}			
όρια ελέγχου	τύπος	Εφαρμογή τύπου	Όρια ελέγχου
CL			1.33
UCL	$D_4 \overline{MR}$	3.267(1.33)	4.34
LCL	$D_3 \overline{MR}$	0(1.33)	0
Διάγραμμα ελέγχου για \bar{x}			
CL			10.98
UCL	$\bar{x} + 3(MR/d_2)$	10.98 +3(1.33/1.128)	14.52
LCL	$\bar{x} - 3(MR/d_2)$	10.98 -3(1.33/1.128)	7.44

Πίνακας 4.5: Όρια στατιστικού ελέγχου διαγραμμάτων \bar{x} -R για μεμονωμένες τιμές

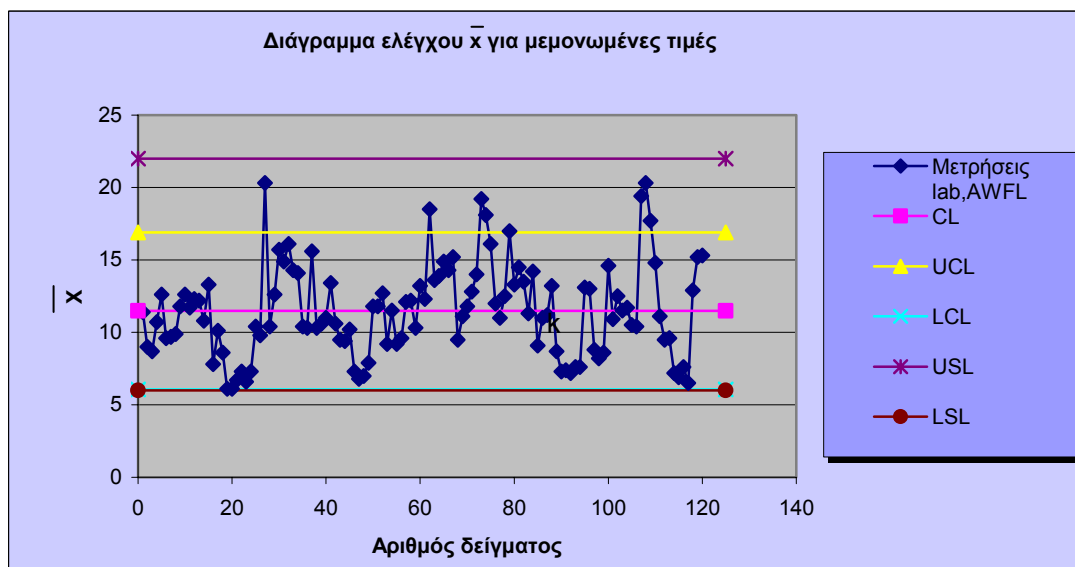
\bar{x}	CL	UCL	LCL
Εργαστήριο	11.48	16.9	6.06
On-line αναλυτής	10.98	14.52	7.44

\overline{MR}	CL	UCL	LCL
Εργαστήριο	2.04	6.66	0
On-line αναλυτής	1.33	4.34	0

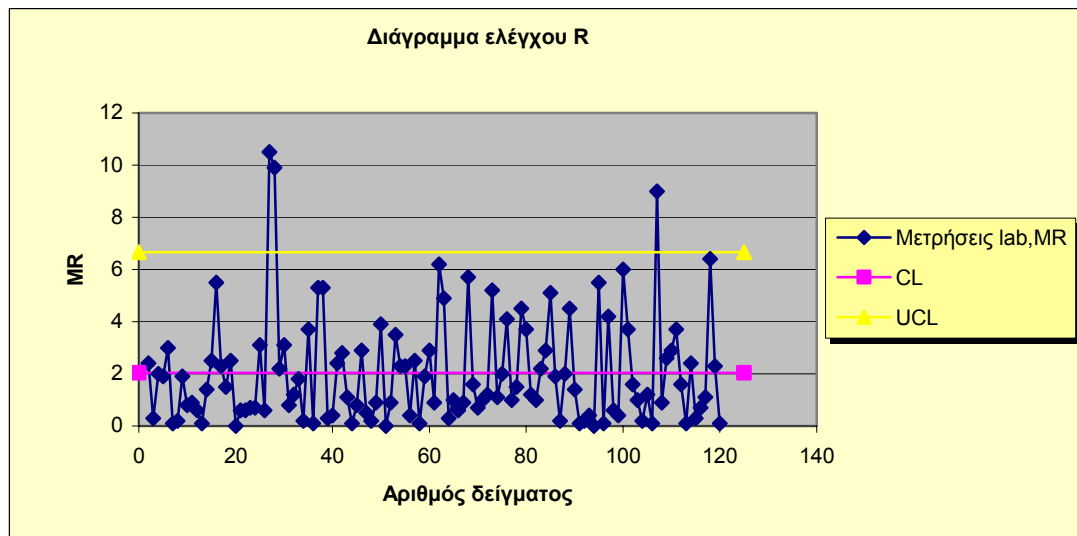
Τα διαγράμματα που κατασκευάστηκαν με βάση τα όρια ελέγχου του πίνακα 4.5 φαίνονται παρακάτω (Διαγράμματα 4.1, 4.2, 4.3 και 4.4). Στα διαγράμματα διακρίνονται τα ανώτερα και τα κατώτερα στατιστικά όρια ελέγχου, οι κεντρικές γραμμές, τα ανώτερα και κατώτερα όρια προδιαγραφών και οι μετρήσεις του εργαστηρίου ή του on-line αναλυτή.

Εργαστηριακές μετρήσεις

Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} -R για μεμονωμένες τιμές



Διάγραμμα 4.1: Διάγραμμα ελέγχου \bar{x} για μεμονωμένες τιμές (εργαστήριο).



Διάγραμμα 4.2: Διάγραμμα ελέγχου R για μεμονωμένες τιμές (εργαστήριο).

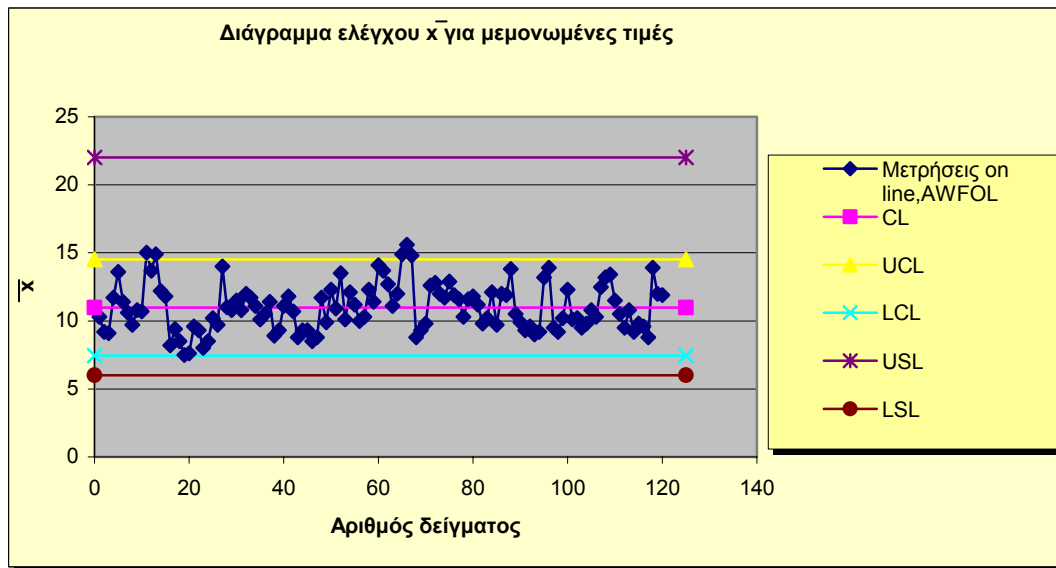
Μελετώντας τα διαγράμματα \bar{x} -R 4.1 και 4.2 για το εργαστήριο παρατηρείται ότι η παραγωγική διαδικασία είναι εκτός στατιστικού ελέγχου.

Στο διάγραμμα \bar{x} 4.1 υπάρχουν οκτώ μετρήσεις πάνω από το ανώτερο όριο στατιστικού ελέγχου UCL (No 27, 62, 73, 74, 79, 107, 108 και 109). Από αυτές οι μετρήσεις No 27 και 108 έχουν περιεκτικότητα σε τέφρα μεγαλύτερη από 20% που σημαίνει ότι προσεγγίζουν το ανώτερο όριο προδιαγραφών USL. Υπάρχουν όμως και μετρήσεις που βρίσκονται πολύ κοντά στο όριο ελέγχου UCL. Τέτοιες μετρήσεις είναι οι No 32 και 75. Μετρήσεις κάτω από το κατώτερο όριο στατιστικού ελέγχου LCL δεν υπάρχουν. Στο διάγραμμα αυτό υπάρχουν και άλλες εκτός ελέγχου καταστάσεις όπως 7 τουλάχιστον σημεία συνεχόμενα πάνω ή κάτω από την κεντρική γραμμή CL (No 16-26, 42-49, 60-67). Στο διάγραμμα αυτό επίσης διακρίνονται άλματα στις τιμές των μετρήσεων (No 27, 62, 108 και 107). Τάσεις και περιοδικότητες δεν παρατηρούνται.

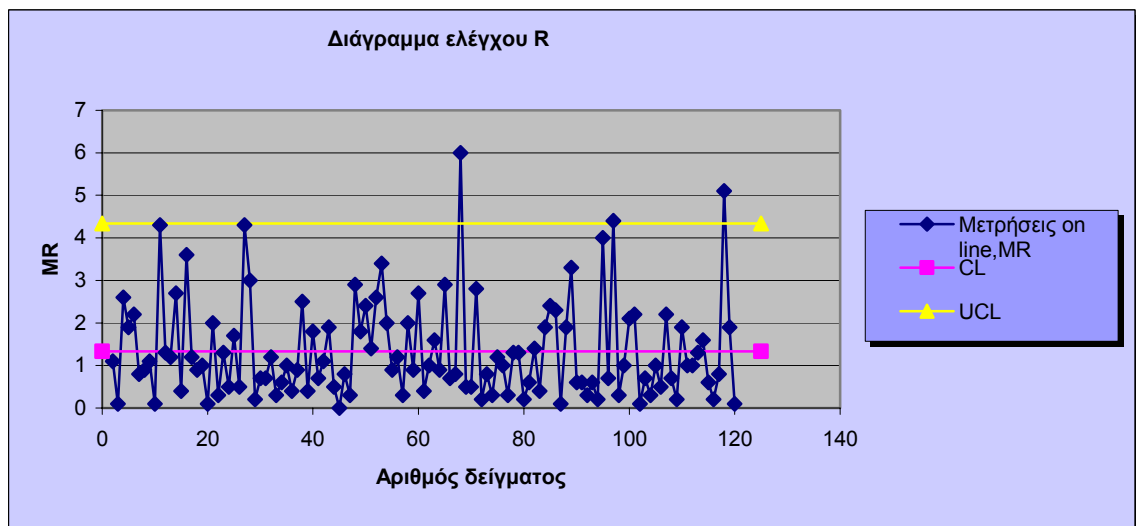
Στο διάγραμμα R 4.2 υπάρχουν τρεις μετρήσεις πάνω από το ανώτερο επιτρεπτό στατιστικό όριο ελέγχου UCL (No 27, 28, και 107). Φαινόμενα αλμάτων παρατηρούνται και σε αυτό το διάγραμμα (No 107, 118, 27 και 28).

Μετρήσεις on-line αναλυτή

Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} -R για μεμονωμένες τιμές



Διάγραμμα 4.3: Διάγραμμα ελέγχου \bar{x} για μεμονωμένες τιμές (on-line αναλυτής).



Διάγραμμα 4.4: Διάγραμμα ελέγχου R για μεμονωμένες τιμές (on-line αναλυτής).

Μελετώντας τα διαγράμματα \bar{x} -R 4.3 και 4.4 για τον αναλυτή παρατηρείται ότι η παραγωγική διαδικασία είναι εκτός στατιστικού ελέγχου.

Στο διάγραμμα \bar{x} 4.3 υπάρχουν πέντε μετρήσεις πάνω από το ανώτερο όριο στατιστικού ελέγχου UCL (No 11, 13, 65, 66, και 67). Από αυτές τις μετρήσεις η No 66 αγγίζει το 15.6% περιεκτικότητα σε τέφρα επί φυσικού και αποτελεί ακραία τιμή των μετρήσεων του on-line αναλυτή. Υπάρχουν όμως και μετρήσεις που βρίσκονται πολύ κοντά στο όριο ελέγχου UCL. Τέτοιες μετρήσεις είναι οι No 27, 60, 96 και 118. Μετρήσεις κάτω από το κατώτερο όριο στατιστικού ελέγχου LCL δεν υπάρχουν. Στο διάγραμμα αυτό υπάρχουν και άλλες εκτός ελέγχου καταστάσεις όπως 7 τουλάχιστον σημεία συνεχόμενα πάνω ή κάτω από την κεντρική γραμμή CL (No 16-26, 58-67). Στο διάγραμμα αυτό επίσης διακρίνονται άλματα στις τιμές των μετρήσεων (No 27, 66, 68, 95 και 96). Τάσεις και περιοδικότητες δεν παρατηρούνται.

Στο διάγραμμα R 4.4 υπάρχουν τρεις μετρήσεις πάνω από το ανώτερο επιτρεπτό στατιστικό όριο ελέγχου UCL (No 68, 97, και 118). Φαινόμενα αλμάτων παρατηρούνται και σε αυτό το διάγραμμα (No 11, 27, 97 και 118) όπως και 7 τουλάχιστον σημεία συνεχόμενα πάνω ή κάτω από την κεντρική γραμμή CL (No 30-37, 48-54 και 72-81).

4.1.2 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Παρατηρείται, μελετώντας τον παρακάτω πίνακα 4.6, ότι δεν υπάρχουν κοινές μετρήσεις εκτός ελέγχου για το εργαστήριο και τον on-line αναλυτή αλλά ούτε καν ανήκουν σε παραπλήσιες ομάδες μετρήσεων. Μετρήσεις όπως η 27(20.3%) και η 108(20.3%) με ακραίες τιμές σε τέφρα επί φυσικού σύμφωνα με το εργαστήριο που αγγίζουν τα όρια προδιαγραφών δεν αποτελούν για τον on-line αναλυτή τιμές εκτός στατιστικού ελέγχου. Αντίστοιχα τιμές εκτός στατιστικού ελέγχου για τον on-line αναλυτή ακραίων τιμών, όπως η μέτρηση 11(15%) και η μέτρηση 66(15.6%), δεν αποτελούν για το εργαστήριο τιμές εκτός στατιστικού ελέγχου. Ο on-line αναλυτής δίνει εκτός ελέγχου μετρήσεις που σύμφωνα με τα διαγράμματα ελέγχου των εργαστηριακών μετρήσεων είναι εντός ελέγχου και αντίστοιχα οι μετρήσεις που δίνει το εργαστήριο ως εκτός στατιστικού ελέγχου σημεία δεν αποτελούν για τον on-line

αναλυτή εκτός στατιστικού ελέγχου ενδείξεις. Άρα, παρόλο που και για τις εργαστηριακές μετρήσεις και τις μετρήσεις του αναλυτή η παραγωγική διαδικασία είναι εκτός στατιστικού ελέγχου δεν υπάρχει ταύτιση αποτελεσμάτων. Συμπερασματικά δεν είναι ασφαλές να χρησιμοποιηθούν και να ελεγχθούν στατιστικά, αποκλειστικά, οι μεμονωμένες τιμές του αναλυτή για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Πρέπει να αναφερθεί ότι παρατηρώντας τα διαγράμματα ελέγχου \bar{x} καμία τιμή δείγματος είτε προέρχεται από τον on-line αναλυτή είτε από το εργαστήριο δεν βρίσκεται εκτός των ορίων ελέγχου προδιαγραφών USL και LSL.

Συνοπτικά τα αποτελέσματα της αξιολόγησης παρουσιάζονται στον πίνακα 4.6.

Πίνακας 4.6: Μετρήσεις εκτός των στατιστικών ορίων ελέγχου όπως προέκυψαν από τα διαγράμματα ελέγχου \bar{x} -R.

Διαγράμματα ελέγχου \bar{x}				Διαγράμματα ελέγχου R	
Άνω του UCL(εργαστήριο)	Κάτω του LCL(εργαστήριο)	Άνω του UCL (on-line)	Κάτω του LCL(on-line)	Άνω του UCL(εργαστήριο)	Άνω του UCL (on-line)
A/A (% τέφρα επί φυσικού)	A/A (% τέφρα επί φυσικού)	A/A (% τέφρα επί φυσικού)	A/A (% τέφρα επί φυσικού)	A/A	A/A
27 (20.3)	-	11 (15)	-	27	68
62 (18.5)		13 (14.9)		28	97
73 (19.2)		65 (14.9)		107	118
74 (18.1)		66 (15.6)			
79 (17)		67 (14.8)			
107 (19.4)					
108 (20.3)					
109 (17.7)					

4.2 Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} -R κινούμενου μέσου (m=2, m=3, m=4)

4.2.1 Κατασκευή διαγραμμάτων

Για την κατασκευή των διαγραμμάτων αυτών ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία. Από τον αρχικό πίνακα 2.1 δημιουργούνται οι πίνακες 4.6 και 4.7 για τις μετρήσεις του εργαστηρίου και του on-line αναλυτή αντίστοιχα. Στους πίνακες αυτούς έχουν σημειωθεί οι αρχικές τιμές περιεκτικότητας σε τέφρα επί φυσικού. Στις επόμενες τρεις στήλες σημειώνεται η μέση τιμή \bar{x} κάθε ψευδοδείγματος από την τρέχουσα τιμή και:

- i. την αμέσως προηγούμενη για κινητό μέσο m=2 (x_2),
- ii. τις δύο προηγούμενες για κινητό μέσο m=3 (x_3),
- iii. τις τρεις προηγούμενες για κινητό μέσο m=4 (x_4).

Αντίστοιχα, στις επόμενες τρεις στήλες υπολογίζεται το εύρος διακύμανσης MR κάθε ψευδοδείγματος από την τρέχουσα τιμή και:

- i. την αμέσως προηγούμενη για κινητό μέσο m=2 (MR_2),
- ii. τις δύο προηγούμενες για κινητό μέσο m=3 (MR_3),
- iii. τις τρεις προηγούμενες για κινητό μέσο m=4 (MR_4).

Στους πίνακες αυτούς τέλος υπολογίζονται οι μέσες τιμές καθώς και τα μέσα εύροι των ψευδοδειγμάτων, για κινητό μέσο m=2, m=3 και m=4. Η διαδικασία αυτή ακολουθείται τόσο για τις μετρήσεις του εργαστηρίου όσο και για τις μετρήσεις του on-line αναλυτή, σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους (Bissel, 1994):

$$\bar{x}_i = \frac{X_{i-m+1} + X_{i-m+2} + \dots + X_{i-1} + X_i}{m}$$

$$R_i = x_{\max} - x_{\min}$$

Πίνακας 4.7: Υπολογισμός \bar{x} και \overline{MR} των μετρήσεων του εργαστηρίου.

Αριθμός δείγματος	Τέφρα επί φυσικού (μέτρηση εργαστηρίου)	Μέση τιμή x_2 (m=2)	Μέση τιμή x_3 (m=3)	Μέση τιμή x_4 (m=4)	Εύρος MR_2 (m=2)	Εύρος MR_3 (m=3)	Εύρος MR_4 (m=4)
1	11.40	11.40	11.40	11.40			
2	9.00	10.20	10.20	10.20	2.40	2.40	2.40
3	8.70	8.85	9.70	9.70	0.30	2.70	2.70
4	10.70	9.70	9.47	9.95	2.00	2.00	2.70
5	12.60	11.65	10.67	10.25	1.90	3.90	3.90
6	9.60	11.10	10.97	10.40	3.00	3.00	3.90
7	9.70	9.65	10.63	10.65	0.10	3.00	3.00
8	9.90	9.80	9.73	10.45	0.20	0.30	3.00
9	11.80	10.85	10.47	10.25	1.90	2.10	2.20
10	12.60	12.20	11.43	11.00	0.80	2.70	2.90
11	11.70	12.15	12.03	11.50	0.90	0.90	2.70
12	12.30	12.00	12.20	12.10	0.60	0.90	0.90
13	12.20	12.25	12.07	12.20	0.10	0.60	0.90
14	10.80	11.50	11.77	11.75	1.40	1.50	1.50
15	13.30	12.05	12.10	12.15	2.50	2.50	2.50
16	7.80	10.55	10.63	11.03	5.50	5.50	5.50
17	10.10	8.95	10.40	10.50	2.30	5.50	5.50
18	8.60	9.35	8.83	9.95	1.50	2.30	5.50
19	6.10	7.35	8.27	8.15	2.50	4.00	4.00
20	6.10	6.10	6.93	7.73	0.00	2.50	4.00
21	6.70	6.40	6.30	6.88	0.60	0.60	2.50
22	7.30	7.00	6.70	6.55	0.60	1.20	1.20
23	6.60	6.95	6.87	6.68	0.70	0.70	1.20
24	7.30	6.95	7.07	6.98	0.70	0.70	0.70
25	10.40	8.85	8.10	7.90	3.10	3.80	3.80
26	9.80	10.10	9.17	8.53	0.60	3.10	3.80
27	20.30	15.05	13.50	11.95	10.50	10.50	13.00
28	10.40	15.35	13.50	12.73	9.90	10.50	10.50
29	12.60	11.50	14.43	13.28	2.20	9.90	10.50
30	15.70	14.15	12.90	14.75	3.10	5.30	9.90
31	14.90	15.30	14.40	13.40	0.80	3.10	5.30
32	16.10	15.50	15.57	14.83	1.20	1.20	3.50
33	14.30	15.20	15.10	15.25	1.80	1.80	1.80
34	14.10	14.20	14.83	14.85	0.20	2.00	2.00
35	10.40	12.25	12.93	13.73	3.70	3.90	5.70
36	10.30	10.35	11.60	12.28	0.10	3.80	4.00
37	15.60	12.95	12.10	12.60	5.30	5.30	5.30
38	10.30	12.95	12.07	11.65	5.30	5.30	5.30
39	10.60	10.45	12.17	11.70	0.30	5.30	5.30
40	11.00	10.80	10.63	11.88	0.40	0.70	5.30
41	13.40	12.20	11.67	11.33	2.40	2.80	3.10
42	10.60	12.00	11.67	11.40	2.80	2.80	2.80
43	9.50	10.05	11.17	11.13	1.10	3.90	3.90
44	9.40	9.45	9.83	10.73	0.10	1.20	4.00
45	10.20	9.80	9.70	9.93	0.80	0.80	1.20
46	7.30	8.75	8.97	9.10	2.90	2.90	2.90

Αριθμός δείγματος	Τέφρα επί φυσικού (μέτρηση εργαστηρίου)	Μέση τιμή x_2 (m=2)	Μέση τιμή x_3 (m=3)	Μέση τιμή x_4 (m=4)	Εύρος MR_2 (m=2)	Εύρος MR_3 (m=3)	Εύρος MR_4 (m=4)
47	6.80	7.05	8.10	8.43	0.50	3.40	3.40
48	7.00	6.90	7.03	7.83	0.20	0.50	3.40
49	7.90	7.45	7.23	7.25	0.90	1.10	1.10
50	11.80	9.85	8.90	8.38	3.90	4.80	5.00
51	11.80	11.80	10.50	9.63	0.00	3.90	4.80
52	12.70	12.25	12.10	11.05	0.90	0.90	4.80
53	9.20	10.95	11.23	11.38	3.50	3.50	3.50
54	11.50	10.35	11.13	11.30	2.30	3.50	3.50
55	9.20	10.35	9.97	10.65	2.30	2.30	3.50
56	9.60	9.40	10.10	9.88	0.40	2.30	2.30
57	12.10	10.85	10.30	10.60	2.50	2.90	2.90
58	12.20	12.15	11.30	10.78	0.10	2.60	3.00
59	10.30	11.25	11.53	11.05	1.90	1.90	2.60
60	13.20	11.75	11.90	11.95	2.90	2.90	2.90
61	12.30	12.75	11.93	12.00	0.90	2.90	2.90
62	18.50	15.40	14.67	13.58	6.20	6.20	8.20
63	13.60	16.05	14.80	14.40	4.90	6.20	6.20
64	13.90	13.75	15.33	14.58	0.30	4.90	6.20
65	14.90	14.40	14.13	15.23	1.00	1.30	4.90
66	14.30	14.60	14.37	14.18	0.60	1.00	1.30
67	15.20	14.75	14.80	14.58	0.90	0.90	1.30
68	9.50	12.35	13.00	13.48	5.70	5.70	5.70
69	11.10	10.30	11.93	12.53	1.60	5.70	5.70
70	11.80	11.45	10.80	11.90	0.70	2.30	5.70
71	12.80	12.30	11.90	11.30	1.00	1.70	3.30
72	14.00	13.40	12.87	12.43	1.20	2.20	2.90
73	19.20	16.60	15.33	14.45	5.20	6.40	7.40
74	18.10	18.65	17.10	16.03	1.10	5.20	6.40
75	16.10	17.10	17.80	16.85	2.00	3.10	5.20
76	12.00	14.05	15.40	16.35	4.10	6.10	7.20
77	11.00	11.50	13.03	14.30	1.00	5.10	7.10
78	12.50	11.75	11.83	12.90	1.50	1.50	5.10
79	17.00	14.75	13.50	13.13	4.50	6.00	6.00
80	13.30	15.15	14.27	13.45	3.70	4.50	6.00
81	14.50	13.90	14.93	14.33	1.20	3.70	4.50
82	13.50	14.00	13.77	14.58	1.00	1.20	3.70
83	11.30	12.40	13.10	13.15	2.20	3.20	3.20
84	14.20	12.75	13.00	13.38	2.90	2.90	3.20
85	9.10	11.65	11.53	12.03	5.10	5.10	5.10
86	11.00	10.05	11.43	11.40	1.90	5.10	5.10
87	11.20	11.10	10.43	11.38	0.20	2.10	5.10
88	13.20	12.20	11.80	11.13	2.00	2.20	4.10
89	8.70	10.95	11.03	11.03	4.50	4.50	4.50
90	7.30	8.00	9.73	10.10	1.40	5.90	5.90
91	7.40	7.35	7.80	9.15	0.10	1.40	5.90
92	7.20	7.30	7.30	7.65	0.20	0.20	1.50
93	7.60	7.40	7.40	7.38	0.40	0.40	0.40
94	7.60	7.60	7.47	7.45	0.00	0.40	0.40
95	13.10	10.35	9.43	8.88	5.50	5.50	5.90

⇒

Αριθμός δείγματος	Τέφρα επί φυσικού (μέτρηση εργαστηρίου)	Μέση τιμή x_2 (m=2)	Μέση τιμή x_3 (m=3)	Μέση τιμή x_4 (m=4)	Εύρος MR_2 (m=2)	Εύρος MR_3 (m=3)	Εύρος MR_4 (m=4)
96	13.00	13.05	11.23	10.33	0.10	5.50	5.50
97	8.80	10.90	11.63	10.63	4.20	4.30	5.50
98	8.20	8.50	10.00	10.78	0.60	4.80	4.90
99	8.60	8.40	8.53	9.65	0.40	0.60	4.80
100	14.60	11.60	10.47	10.05	6.00	6.40	6.40
101	10.90	12.75	11.37	10.58	3.70	6.00	6.40
102	12.50	11.70	12.67	11.65	1.60	3.70	6.00
103	11.50	12.00	11.63	12.38	1.00	1.60	3.70
104	11.70	11.60	11.90	11.65	0.20	1.00	1.60
105	10.50	11.10	11.23	11.55	1.20	1.20	2.00
106	10.40	10.45	10.87	11.03	0.10	1.30	1.30
107	19.40	14.90	13.43	13.00	9.00	9.00	9.00
108	20.30	19.85	16.70	15.15	0.90	9.90	9.90
109	17.70	19.00	19.13	16.95	2.60	2.60	9.90
110	14.80	16.25	17.60	18.05	2.90	5.50	5.50
111	11.10	12.95	14.53	15.98	3.70	6.60	9.20
112	9.50	10.30	11.80	13.28	1.60	5.30	8.20
113	9.60	9.55	10.07	11.25	0.10	1.60	5.30
114	7.20	8.40	8.77	9.35	2.40	2.40	3.90
115	6.90	7.05	7.90	8.30	0.30	2.70	2.70
116	7.60	7.25	7.23	7.83	0.70	0.70	2.70
117	6.50	7.05	7.00	7.05	1.10	1.10	1.10
118	12.90	9.70	9.00	8.48	6.40	6.40	6.40
119	15.20	14.05	11.53	10.55	2.30	8.70	8.70
120	15.30	15.25	14.47	12.48	0.10	2.40	8.80
		\bar{x}_2	\bar{x}_3	\bar{x}_4	\overline{MR}_2	\overline{MR}_3	\overline{MR}_4
		11.47	11.45	11.43	2.04	3.39	4.46

Πίνακας 4.8: Υπολογισμός \bar{x} και \overline{MR} των μετρήσεων του on-line αναλυτή

Αριθμός δείγματος	Τέφρα επί φυσικού (μέτρηση αναλυτή)	Μέση τιμή x_2 (m=2)	Μέση τιμή x_3 (m=3)	Μέση τιμή x_4 (m=4)	Εύρος MR_2 (m=2)	Εύρος MR_3 (m=3)	Εύρος MR_4 (m=4)
1	10.30	10.30	10.30	10.30			
2	9.20	9.75	9.75	9.75	1.10	1.10	1.10
3	9.10	9.15	9.53	9.53	0.10	1.20	1.20
4	11.70	10.40	10.00	10.08	2.60	2.60	2.60
5	13.60	12.65	11.47	10.90	1.90	4.50	4.50
6	11.40	12.50	12.23	11.45	2.20	2.20	4.50
7	10.60	11.00	11.87	11.83	0.80	3.00	3.00
8	9.70	10.15	10.57	11.33	0.90	1.70	3.90
9	10.80	10.25	10.37	10.63	1.10	1.10	1.70
10	10.70	10.75	10.40	10.45	0.10	1.10	1.10
11	15.00	12.85	12.17	11.55	4.30	4.30	5.30
12	13.70	14.35	13.13	12.55	1.30	4.30	4.30
13	14.90	14.30	14.53	13.58	1.20	1.30	4.30
14	12.20	13.55	13.60	13.95	2.70	2.70	2.80
15	11.80	12.00	12.97	13.15	0.40	3.10	3.10
16	8.20	10.00	10.73	11.78	3.60	4.00	6.70
17	9.40	8.80	9.80	10.40	1.20	3.60	4.00
18	8.50	8.95	8.70	9.48	0.90	1.20	3.60
19	7.50	8.00	8.47	8.40	1.00	1.90	1.90
20	7.60	7.55	7.87	8.25	0.10	1.00	1.90
21	9.60	8.60	8.23	8.30	2.00	2.10	2.10
22	9.30	9.45	8.83	8.50	0.30	2.00	2.10
23	8.00	8.65	8.97	8.63	1.30	1.60	2.00
24	8.50	8.25	8.60	8.85	0.50	1.30	1.60
25	10.20	9.35	8.90	9.00	1.70	2.20	2.20
26	9.70	9.95	9.47	9.10	0.50	1.70	2.20
27	14.00	11.85	11.30	10.60	4.30	4.30	5.50
28	11.00	12.50	11.57	11.23	3.00	4.30	4.30
29	10.80	10.90	11.93	11.38	0.20	3.20	4.30
30	11.50	11.15	11.10	11.83	0.70	0.70	3.20
31	10.80	11.15	11.03	11.03	0.70	0.70	0.70
32	12.00	11.40	11.43	11.28	1.20	1.20	1.20
33	11.70	11.85	11.50	11.50	0.30	1.20	1.20
34	11.10	11.40	11.60	11.40	0.60	0.90	1.20
35	10.10	10.60	10.97	11.23	1.00	1.60	1.90
36	10.50	10.30	10.57	10.85	0.40	1.00	1.60
37	11.40	10.95	10.67	10.78	0.90	1.30	1.30
38	8.90	10.15	10.27	10.23	2.50	2.50	2.50
39	9.30	9.10	9.87	10.03	0.40	2.50	2.50
40	11.10	10.20	9.77	10.18	1.80	2.20	2.50
41	11.80	11.45	10.73	10.28	0.70	2.50	2.90
42	10.70	11.25	11.20	10.73	1.10	1.10	2.50
43	8.80	9.75	10.43	10.60	1.90	3.00	3.00
44	9.30	9.05	9.60	10.15	0.50	1.90	3.00
45	9.30	9.30	9.13	9.53	0.00	0.50	1.90
46	8.50	8.90	9.03	8.98	0.80	0.80	0.80



Αριθμός δείγματος	Τέφρα επί φυσικού (μέτρηση ανάληψή)	Μέση τιμή x_2 (m=2)	Μέση τιμή x_3 (m=3)	Μέση τιμή x_4 (m=4)	Εύρος MR_2 (m=2)	Εύρος MR_3 (m=3)	Εύρος MR_4 (m=4)
47	8.80	8.65	8.87	8.98	0.30	0.80	0.80
48	11.70	10.25	9.67	9.58	2.90	3.20	3.20
49	9.90	10.80	10.13	9.73	1.80	2.90	3.20
50	12.30	11.10	11.30	10.68	2.40	2.40	3.50
51	10.90	11.60	11.03	11.20	1.40	2.40	2.40
52	13.50	12.20	12.23	11.65	2.60	2.60	3.60
53	10.10	11.80	11.50	11.70	3.40	3.40	3.40
54	12.10	11.10	11.90	11.65	2.00	3.40	3.40
55	11.20	11.65	11.13	11.73	0.90	2.00	3.40
56	10.00	10.60	11.10	10.85	1.20	2.10	2.10
57	10.30	10.15	10.50	10.90	0.30	1.20	2.10
58	12.30	11.30	10.87	10.95	2.00	2.30	2.30
59	11.40	11.85	11.33	11.00	0.90	2.00	2.30
60	14.10	12.75	12.60	12.03	2.70	2.70	3.80
61	13.70	13.90	13.07	12.88	0.40	2.70	2.70
62	12.70	13.20	13.50	12.98	1.00	1.40	2.70
63	11.10	11.90	12.50	12.90	1.60	2.60	3.00
64	12.00	11.55	11.93	12.38	0.90	1.60	2.60
65	14.90	13.45	12.67	12.68	2.90	3.80	3.80
66	15.60	15.25	14.17	13.40	0.70	3.60	4.50
67	14.80	15.20	15.10	14.33	0.80	0.80	3.60
68	8.80	11.80	13.07	13.53	6.00	6.80	6.80
69	9.30	9.05	10.97	12.13	0.50	6.00	6.80
70	9.80	9.55	9.30	10.68	0.50	1.00	6.00
71	12.60	11.20	10.57	10.13	2.80	3.30	3.80
72	12.80	12.70	11.73	11.13	0.20	3.00	3.50
73	12.00	12.40	12.47	11.80	0.80	0.80	3.00
74	11.70	11.85	12.17	12.28	0.30	1.10	1.10
75	12.90	12.30	12.20	12.35	1.20	1.20	1.20
76	11.90	12.40	12.17	12.13	1.00	1.20	1.20
77	11.60	11.75	12.13	12.03	0.30	1.30	1.30
78	10.30	10.95	11.27	11.68	1.30	1.60	2.60
79	11.60	10.95	11.17	11.35	1.30	1.30	1.60
80	11.80	11.70	11.23	11.33	0.20	1.50	1.50
81	11.20	11.50	11.53	11.23	0.60	0.60	1.50
82	9.80	10.50	10.93	11.10	1.40	2.00	2.00
83	10.20	10.00	10.40	10.75	0.40	1.40	2.00
84	12.10	11.15	10.70	10.83	1.90	2.30	2.30
85	9.70	10.90	10.67	10.45	2.40	2.40	2.40
86	12.00	10.85	11.27	11.00	2.30	2.40	2.40
87	11.90	11.95	11.20	11.43	0.10	2.30	2.40
88	13.80	12.85	12.57	11.85	1.90	1.90	4.10
89	10.50	12.15	12.07	12.05	3.30	3.30	3.30
90	9.90	10.20	11.40	11.53	0.60	3.90	3.90
91	9.30	9.60	9.90	10.88	0.60	1.20	4.50
92	9.60	9.45	9.60	9.83	0.30	0.60	1.20
93	9.00	9.30	9.30	9.45	0.60	0.60	0.90
94	9.20	9.10	9.27	9.28	0.20	0.60	0.60
95	13.20	11.20	10.47	10.25	4.00	4.20	4.20



Αριθμός δείγματος	Τέφρα επί φυσικού (μέτρηση αναλυτή)	Μέση τιμή x_2 (m=2)	Μέση τιμή x_3 (m=3)	Μέση τιμή x_4 (m=4)	Εύρος MR_2 (m=2)	Εύρος MR_3 (m=3)	Εύρος MR_4 (m=4)
96	13.90	13.55	12.10	11.33	0.70	4.70	4.90
97	9.50	11.70	12.20	11.45	4.40	4.40	4.70
98	9.20	9.35	10.87	11.45	0.30	4.70	4.70
99	10.20	9.70	9.63	10.70	1.00	1.00	4.70
100	12.30	11.25	10.57	10.30	2.10	3.10	3.10
101	10.10	11.20	10.87	10.45	2.20	2.20	3.10
102	10.20	10.15	10.87	10.70	0.10	2.20	2.20
103	9.50	9.85	9.93	10.53	0.70	0.70	2.80
104	9.80	9.65	9.83	9.90	0.30	0.70	0.70
105	10.80	10.30	10.03	10.08	1.00	1.30	1.30
106	10.30	10.55	10.30	10.10	0.50	1.00	1.30
107	12.50	11.40	11.20	10.85	2.20	2.20	2.70
108	13.20	12.85	12.00	11.70	0.70	2.90	2.90
109	13.40	13.30	13.03	12.35	0.20	0.90	3.10
110	11.50	12.45	12.70	12.65	1.90	1.90	1.90
111	10.50	11.00	11.80	12.15	1.00	2.90	2.90
112	9.50	10.00	10.50	11.23	1.00	2.00	3.90
113	10.80	10.15	10.27	10.58	1.30	1.30	2.00
114	9.20	10.00	9.83	10.00	1.60	1.60	1.60
115	9.80	9.50	9.93	9.83	0.60	1.60	1.60
116	9.60	9.70	9.53	9.85	0.20	0.60	1.60
117	8.80	9.20	9.40	9.35	0.80	1.00	1.00
118	13.90	11.35	10.77	10.53	5.10	5.10	5.10
119	12.00	12.95	11.57	11.08	1.90	5.10	5.10
120	11.90	11.95	12.60	11.65	0.10	2.00	5.10
		\bar{x}_2	\bar{x}_3	\bar{x}_4	\overline{MR}_2	\overline{MR}_3	\overline{MR}_4
		10.98	10.97	10.96	1.33	2.20	2.85

Με βάση τα παραπάνω χαρακτηριστικά ($\bar{x}_2, \bar{x}_3, \bar{x}_4$ και $\overline{MR}_2, \overline{MR}_3, \overline{MR}_4$) και γνωρίζοντας τους συντελεστές A_2, D_3, D_4 από τον πίνακα 4.1 του Μέρους Γ' εφαρμόζεται ένας αριθμός εξισώσεων για την εύρεση των ορίων ελέγχου τριών τυπικών αποκλίσεων. Η εφαρμογή των τύπων αυτών φαίνεται στους πίνακες 4.9 έως 4.14 και τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα στον πίνακα 4.15.

Πίνακας 4.9: Εφαρμογή εξισώσεων για την εύρεση των ορίων ελέγχου.

Μετρήσεις Εργαστηρίου για κινητό μέσο m=2

Διάγραμμα ελέγχου για \overline{MR}			
όρια ελέγχου	τύπος	Εφαρμογή τύπου	όρια ελέγχου
CL			2.04
UCL	$D_4 \overline{MR}$	3.267(2.04)	6.66
LCL	$D_3 \overline{MR}$	0(2.04)	0
Διάγραμμα ελέγχου για \bar{x}			
CL			11.47
UCL	$\bar{x} + A_2 \overline{MR}$	11.47 + 1.880(2.04)	15.31
LCL	$\bar{x} - A_2 \overline{MR}$	11.47 - 1.880(2.04)	7.63

Πίνακας 4.10: Εφαρμογή εξισώσεων για την εύρεση των ορίων ελέγχου.

Μετρήσεις Εργαστηρίου για κινητό μέσο m=3

Διάγραμμα ελέγχου για \overline{MR}			
όρια ελέγχου	τύπος	Εφαρμογή τύπου	όρια ελέγχου
CL			3.39
UCL	$D_4 \overline{MR}$	2.574(3.39)	8.73
LCL	$D_3 \overline{MR}$	0(3.39)	0
Διάγραμμα ελέγχου για \bar{x}			
CL			11.45
UCL	$\bar{x} + A_2 \overline{MR}$	11.45 + 1.023(3.39)	14.92
LCL	$\bar{x} - A_2 \overline{MR}$	11.45 - 1.023(3.39)	7.98

Πίνακας 4.11: Εφαρμογή εξισώσεων για την εύρεση των ορίων ελέγχου.

Μετρήσεις Εργαστηρίου για κινητό μέσο m=4

Διάγραμμα ελέγχου για \overline{MR}			
όρια ελέγχου	τύπος	Εφαρμογή τύπου	όρια ελέγχου
CL			4.46
UCL	$D_4 \overline{MR}$	2.282(4.46)	10.17
LCL	$D_3 \overline{MR}$	0(4.46)	0
Διάγραμμα ελέγχου για \bar{x}			
CL			11.43
UCL	$\bar{x} + A_2 \overline{MR}$	11.43 + 0.729(4.46)	14.70
LCL	$\bar{x} - A_2 \overline{MR}$	11.43 - 0.729(4.46)	8.20

Πίνακας 4.12: Εφαρμογή εξισώσεων για την εύρεση των ορίων ελέγχου.

Μετρήσεις On line αναλυτή για κινητό μέσο m=2

Διάγραμμα ελέγχου για \overline{MR}			
όρια ελέγχου	τύπος	Εφαρμογή τύπου	όρια ελέγχου
CL			1.33
UCL	$D_4 \overline{MR}$	3.267(1.33)	4.35
LCL	$D_3 \overline{MR}$	0(1.33)	0
Διάγραμμα ελέγχου για \bar{x}			
CL			10.98
UCL	$\bar{x} + A_2 \overline{MR}$	10.98 + 1.880(1.33)	13.48
LCL	$\bar{x} - A_2 \overline{MR}$	10.98 - 1.880(1.33)	8.48

Πίνακας 4.13: Εφαρμογή εξισώσεων για την εύρεση των ορίων ελέγχου.

Μετρήσεις On line αναλυτή για κινητό μέσο m=3

Διάγραμμα ελέγχου για \overline{MR}			
όρια ελέγχου	τύπος	Εφαρμογή τύπου	όρια ελέγχου
CL			2.20
UCL	$D_4 \overline{MR}$	2.574(2.20)	5.66
LCL	$D_3 \overline{MR}$	0(2.20)	0
Διάγραμμα ελέγχου για \bar{x}			
CL			10.97
UCL	$\bar{x} + A_2 \overline{MR}$	10.97 + 1.023(2.20)	13.22
LCL	$\bar{x} - A_2 \overline{MR}$	10.97 - 1.023(2.20)	8.72

Πίνακας 4.14: Εφαρμογή εξισώσεων για την εύρεση των ορίων ελέγχου.

Μετρήσεις On line αναλυτή για κινητό μέσο m=4

Διάγραμμα ελέγχου για \overline{MR}			
όρια ελέγχου	τύπος	Εφαρμογή τύπου	όρια ελέγχου
CL			2.85
UCL	$D_4 \overline{MR}$	2.282(2.85)	6.50
LCL	$D_3 \overline{MR}$	0(2.85)	0
Διάγραμμα ελέγχου για \bar{x}			
CL			10.96
UCL	$\bar{x} + A_2 \overline{MR}$	10.96 + 0.729(2.85)	13.04
LCL	$\bar{x} - A_2 \overline{MR}$	10.96 - 0.729(2.85)	8.88

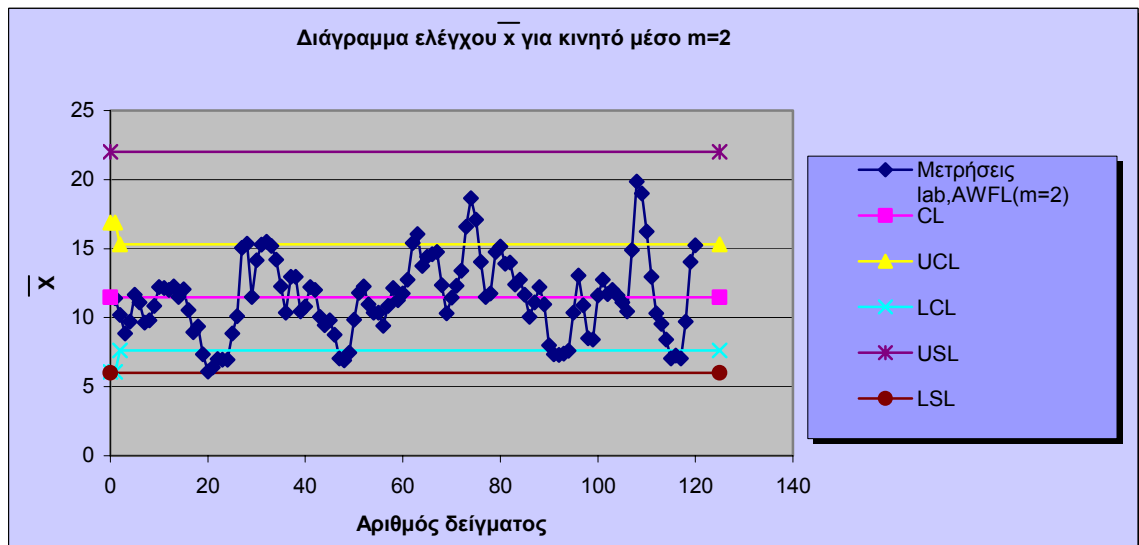
Πίνακας 4.15: Όρια στατιστικού ελέγχου διαγραμμάτων \bar{x} -R για κινητό μέσο m=2, 3 και 4.

\bar{x}	<i>CL</i>	<i>UCL</i>	<i>LCL</i>
Εργαστήριο (m=2)	11.47	15.31	7.63
On-line αναλυτής (m=2)	10.98	13.48	8.48
Εργαστήριο (m=3)	11.45	14.92	7.98
On-line αναλυτής (m=3)	10.97	13.22	8.72
Εργαστήριο (m=4)	11.43	14.70	8.20
On-line αναλυτής (m=4)	10.96	13.04	8.88
\overline{MR}	<i>CL</i>	<i>UCL</i>	<i>LCL</i>
Εργαστήριο (m=2)	2.04	6.66	0
On-line αναλυτής (m=2)	1.33	4.35	0
Εργαστήριο (m=3)	3.39	8.73	0
On-line αναλυτής (m=3)	2.20	5.66	0
Εργαστήριο (m=4)	4.46	10.17	0
On-line αναλυτής (m=4)	2.85	6.50	0

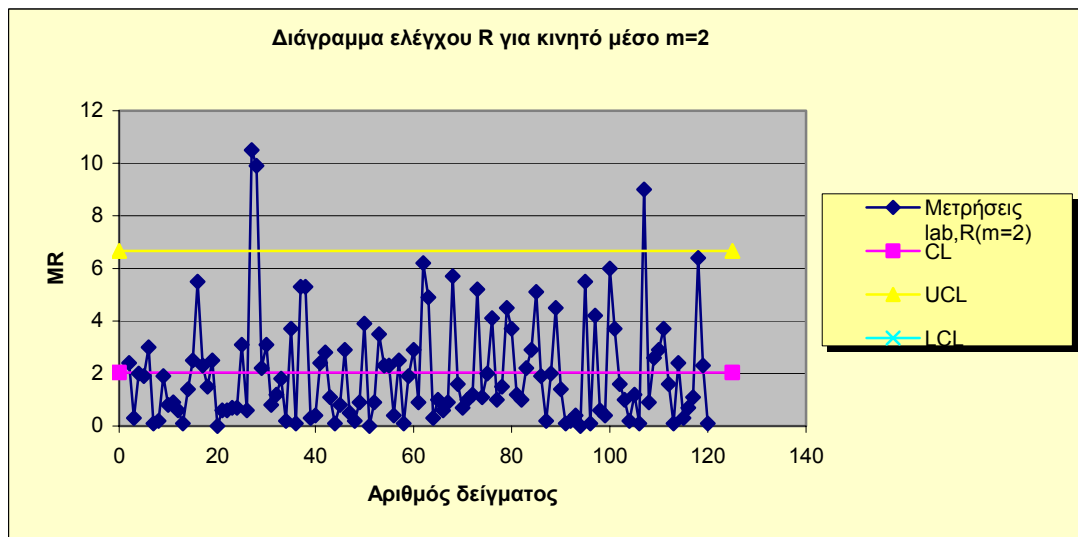
Με αυτόν τον τρόπο, αφού πλέον είναι γνωστά τα επιμέρους όρια για κάθε διάγραμμα από τον πίνακα 4.15, κατασκευάζονται έξι διαγράμματα \bar{x} -R για τις μετρήσεις του εργαστηρίου αναφοράς (Διαγράμματα 4.5-4.10) και άλλα έξι για τις μετρήσεις του on-line αναλυτή (Διαγράμματα 4.11-4.16). Πρέπει να αναφερθεί ότι και σε αυτήν την περίπτωση παρατηρώντας τα διαγράμματα ελέγχου \bar{x} καμία τιμή δείγματος είτε προέρχεται από τον on-line αναλυτή είτε από το εργαστήριο δεν βρίσκεται εκτός των ορίων ελέγχου προδιαγραφών.

Εργαστηριακές μετρήσεις

Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} -R για κινητό μέσο $m=2$

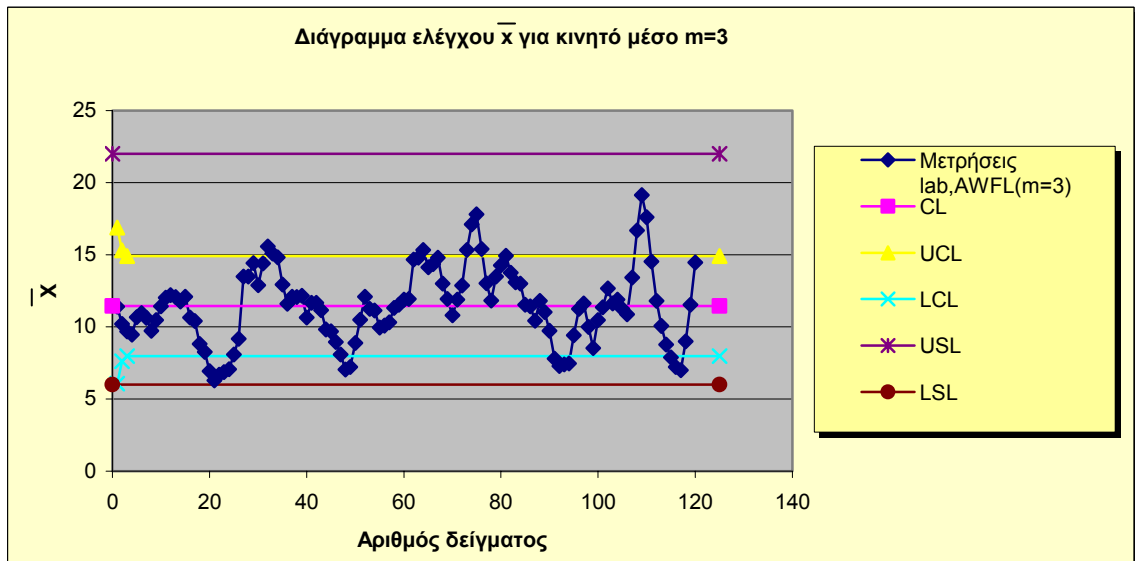


Διάγραμμα 4.5: Διάγραμμα ελέγχου \bar{x} για κινητό μέσο $m=2$ (εργαστήριο).

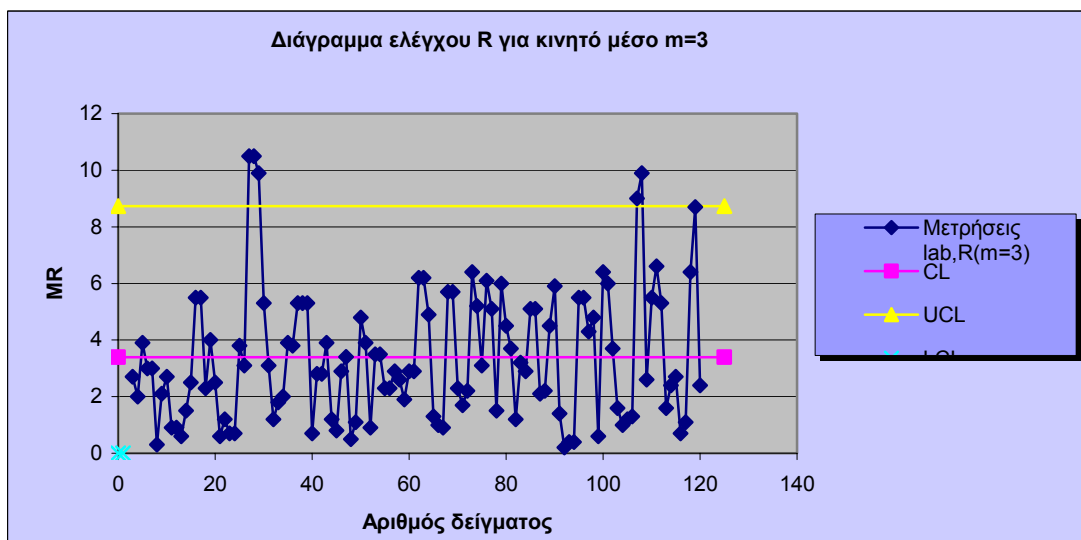


Διάγραμμα 4.6: Διάγραμμα ελέγχου R για κινητό μέσο $m=2$ (εργαστήριο).

Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} -R για κινητό μέσο $m=3$

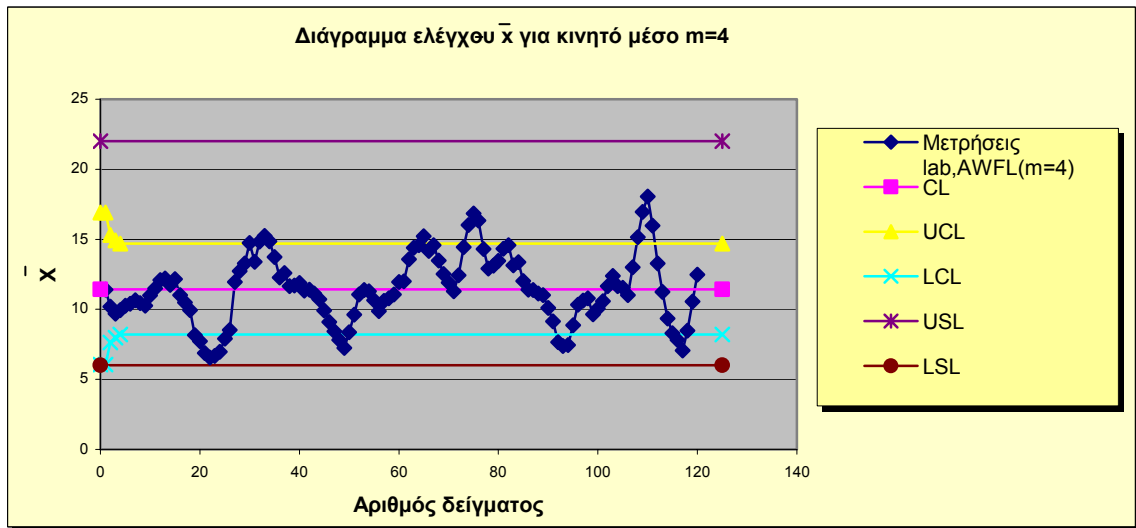


Διάγραμμα 4.7: Διάγραμμα ελέγχου \bar{x} για κινητό μέσο $m=3$ (εργαστήριο).

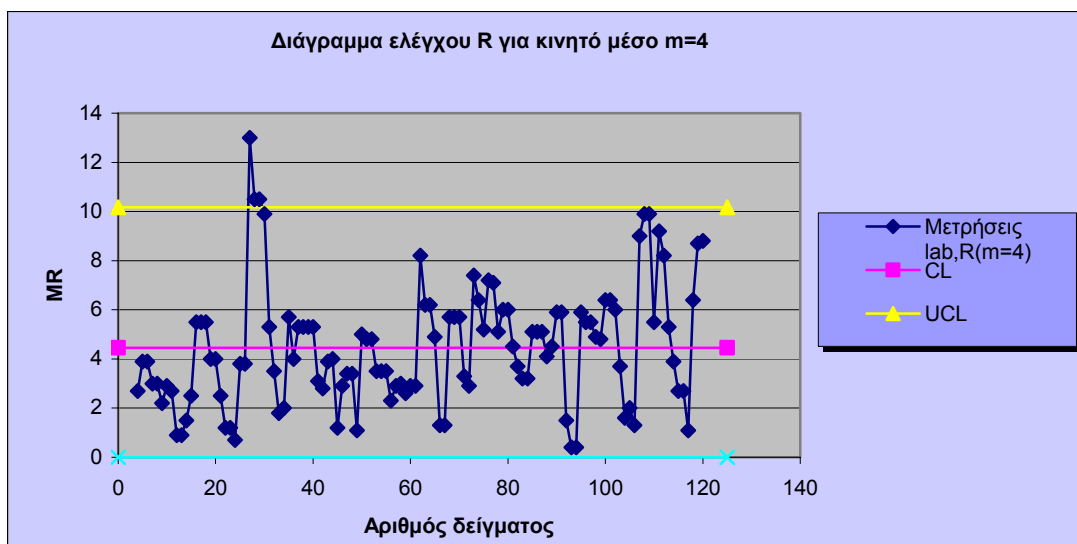


Διάγραμμα 4.8: Διάγραμμα ελέγχου R για κινητό μέσο $m=3$ (εργαστήριο).

Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} -R για κινητό μέσο $m=4$



Διάγραμμα 4.9: Διάγραμμα ελέγχου \bar{x} για κινητό μέσο $m=4$ (εργαστήριο).



Διάγραμμα 4.10: Διάγραμμα ελέγχου R για κινητό μέσο $m=4$ (εργαστήριο).

Μελετώντας τα διαγράμματα \bar{x} -R 4.5-4.10 για το εργαστήριο παρατηρείται ότι η παραγωγική διαδικασία είναι εκτός στατιστικού ελέγχου. Αναλυτικότερα:

- Για κινητό μέσο $m=2$ στο διάγραμμα ελέγχου \bar{x} 4.5 υπάρχουν δέκα μετρήσεις πάνω από το ανώτερο όριο στατιστικού ελέγχου UCL (No 28, 32, 62, 63, 73, 74, 75, 108, 109 και 110). Από αυτές οι μετρήσεις No 108 και 109 έχουν περιεκτικότητα σε τέφρα μεγαλύτερη από 19% που σημαίνει ότι προσεγγίζουν το ανώτερο όριο προδιαγραφών USL. Υπάρχουν όμως και μετρήσεις που βρίσκονται πολύ κοντά στο όριο ελέγχου UCL. Τέτοιες μετρήσεις είναι οι No 27, 33, 80, 107 και 120. Μετρήσεις κάτω από το κατώτερο όριο στατιστικού ελέγχου LCL υπάρχουν και είναι 15 (No 19, 20, 21, 22, 23, 24, 47, 48, 49, 93, 94, 95, 115, 116 και 117). Στο διάγραμμα αυτό υπάρχουν και άλλες εκτός ελέγχου καταστάσεις όπως 7 τουλάχιστον σημεία συνεχόμενα πάνω ή κάτω από την κεντρική γραμμή CL (No 16-26, 43-50, 60-68, 71-85, 89-95 και 112-118). Τάσεις, άλματα και περιοδικότητες δεν παρατηρούνται.

Στο διάγραμμα R 4.6 υπάρχουν τρεις μετρήσεις πάνω από το ανώτερο επιτρεπτό στατιστικό όριο ελέγχου UCL (No 27, 28, και 107). Φαινόμενα αλμάτων παρατηρούνται σε αυτό το διάγραμμα (No 16, 107, 118, 27 και 28) όπως και εμφάνιση έντονης περιοδικότητας που αρχίζει από η μέτρηση 61 και τελειώνει στην 103.

- Για κινητό μέσο $m=3$ στο διάγραμμα ελέγχου \bar{x} 4.7 υπάρχουν έντεκα μετρήσεις πάνω από το ανώτερο όριο στατιστικού ελέγχου UCL (No 32, 33, 64, 73, 74, 75, 76, 81, 108, 109 και 110). Από αυτές η μέτρηση No 109 έχει περιεκτικότητα σε τέφρα μεγαλύτερη από 19% που σημαίνει ότι προσεγγίζει το ανώτερο όριο προδιαγραφών USL. Υπάρχουν όμως και μετρήσεις που βρίσκονται πολύ κοντά στο όριο ελέγχου UCL. Τέτοιες μετρήσεις είναι οι No 34, 63, 67, 111 και 120. Μετρήσεις κάτω από το κατώτερο όριο στατιστικού ελέγχου LCL υπάρχουν και είναι 15 (No 20, 21, 22, 23, 24, 48, 49, 91, 92, 93, 94, 95, 115, 116 και 117). Στο διάγραμμα αυτό υπάρχουν και άλλες εκτός ελέγχου καταστάσεις όπως 7 τουλάχιστον σημεία συνεχόμενα πάνω ή κάτω από την κεντρική γραμμή CL (No 2-10, 16-26, 28-39, 43-51, 59-69, 71-84, 89-96). Τάσεις, άλματα και περιοδικότητες δεν παρατηρούνται.

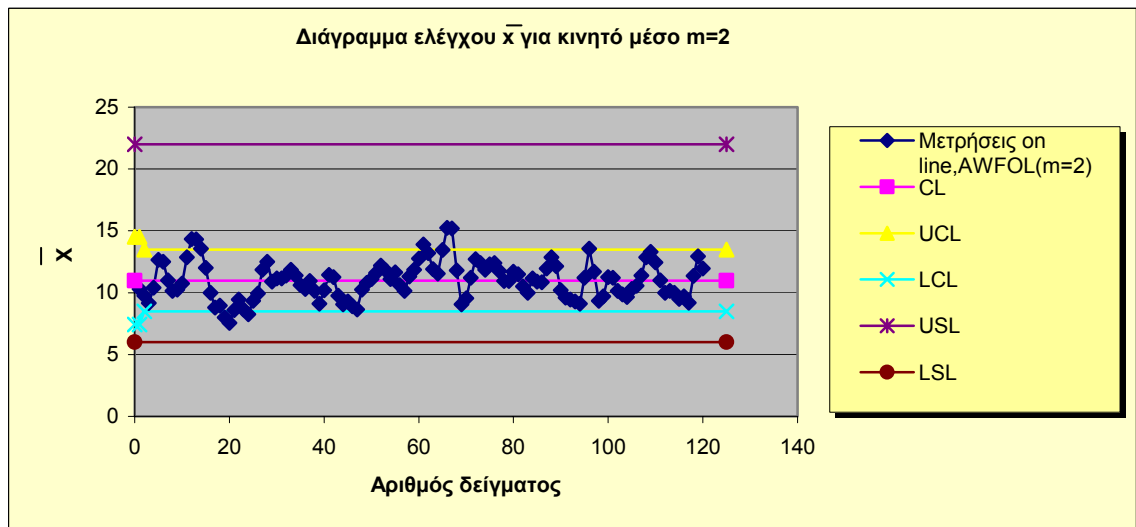
Στο διάγραμμα R 4.8 υπάρχουν πέντε μετρήσεις πάνω από το ανώτερο επιτρεπτό στατιστικό όριο ελέγχου UCL (No 27, 28, 29, 107 και 108). Φαινόμενα αλμάτων παρατηρούνται σε αυτό το διάγραμμα (No 16, 17, 107, 108, 27, 28 και 29) όπως και εμφάνιση 7 τουλάχιστον σημείων, συνεχόμενα πάνω ή κάτω από την κεντρική γραμμή CL (No 7-15).

- Για κινητό μέσο $m=4$ στο διάγραμμα ελέγχου \bar{x} 4.9 υπάρχουν δώδεκα μετρήσεις πάνω από το ανώτερο όριο στατιστικού ελέγχου UCL (No 30, 32, 33, 34, 65, 74, 75, 76, 108, 109, 110 και 111). Από αυτές, οι μετρήσεις No 75, 109 και 110 έχουν περιεκτικότητα σε τέφρα 17-18% που σημαίνει ότι προσεγγίζουν το ανώτερο όριο προδιαγραφών USL. Υπάρχουν όμως και μετρήσεις που βρίσκονται πολύ κοντά στο όριο ελέγχου UCL. Τέτοιες μετρήσεις είναι οι No 64, 67, 73, 77 και 82. Μετρήσεις κάτω από το κατώτερο όριο στατιστικού ελέγχου LCL υπάρχουν και είναι 14 (No 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 48, 49, 92, 93, 94, 116 και 117). Στο διάγραμμα αυτό υπάρχουν και άλλες εκτός ελέγχου καταστάσεις όπως 7 τουλάχιστον σημεία συνεχόμενα πάνω ή κάτω από την κεντρική γραμμή CL (No 2-10, 16-26, 27-40, 41-59, 60-70, 72-85, 86-101 και 113-119). Τάσεις, άλματα και περιοδικότητες δεν παρατηρούνται.

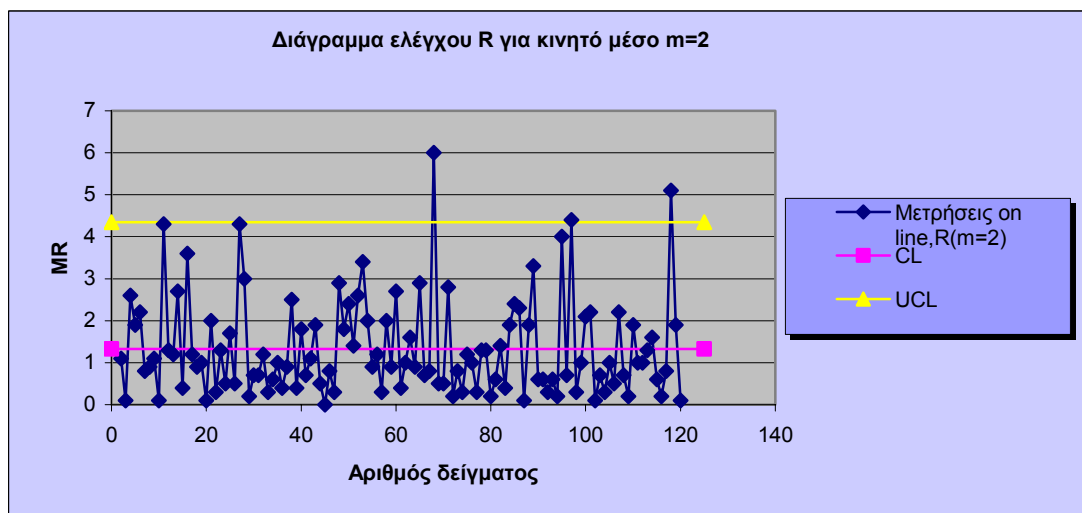
Στο διάγραμμα R 4.10 υπάρχουν τρεις μετρήσεις πάνω από το ανώτερο επιτρεπτό στατιστικό όριο ελέγχου UCL (No 27, 28 και 29). Φαινόμενα αλμάτων παρατηρούνται σε αυτό το διάγραμμα (No 27, 107, 66 και 67) όπως και εμφάνιση 7 τουλάχιστον σημείων, συνεχόμενα πάνω ή κάτω από την κεντρική γραμμή CL (No 4-15, 20-26, 41-49, 53-61, 73-80, 95-102 και 107-113).

Μετρήσεις on-line αναλυτή

Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} -R για κινητό μέσο $m=2$

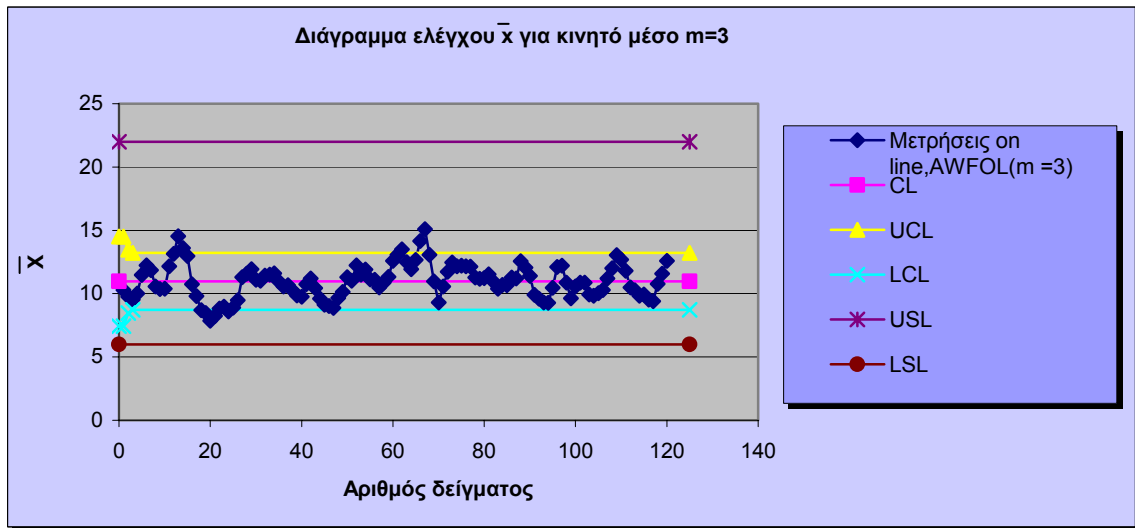


Διάγραμμα 4.11: Διάγραμμα ελέγχου \bar{x} για κινητό μέσο $m=2$ (on-line αναλυτής).

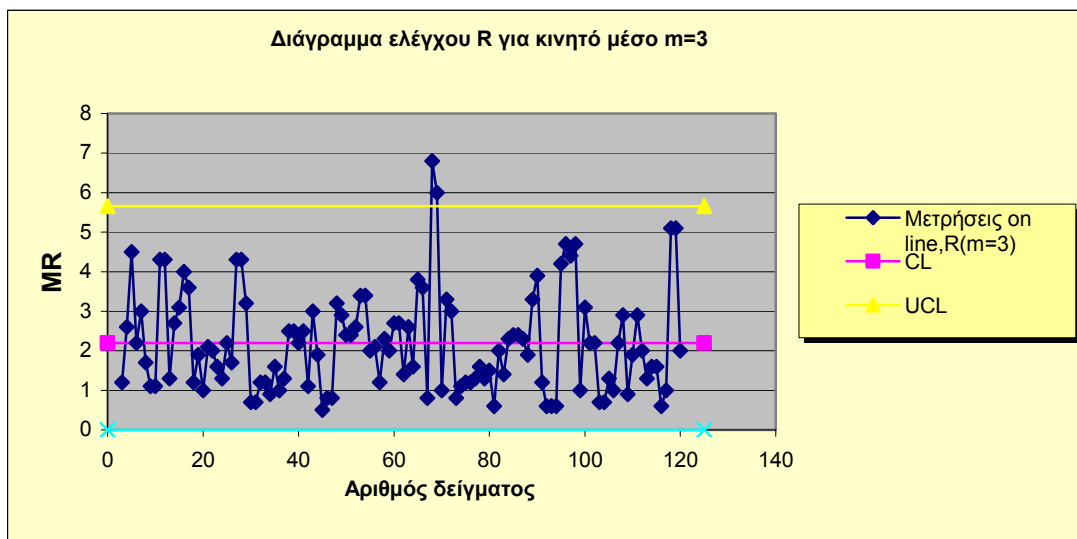


Διάγραμμα 4.12: Διάγραμμα ελέγχου R για κινητό μέσο $m=2$ (on-line αναλυτής).

Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} -R για κινητό μέσο $m=3$

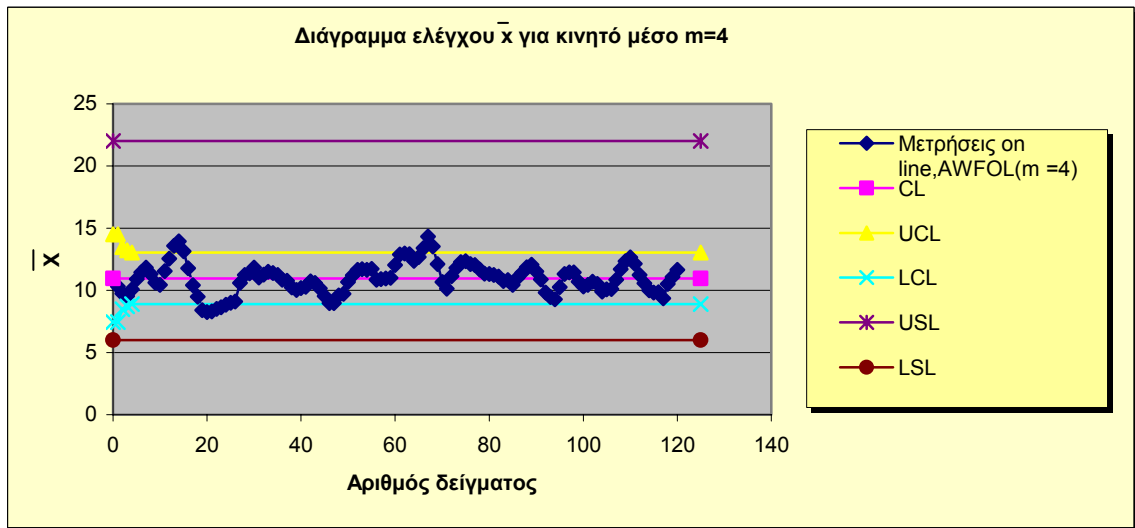


Διάγραμμα 4.13: Διάγραμμα ελέγχου \bar{x} για κινητό μέσο $m=3$ (on-line αναλυτής).

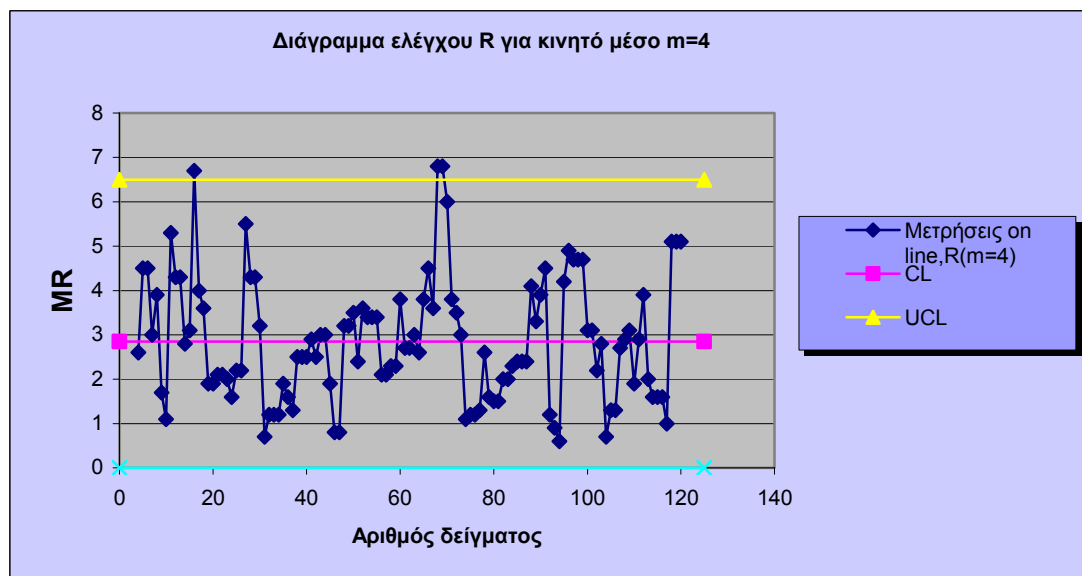


Διάγραμμα 4.14: Διάγραμμα ελέγχου R για κινητό μέσο $m=3$ (on-line αναλυτής).

Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} -R για κινητό μέσο $m=4$



Διάγραμμα 4.15: Διάγραμμα ελέγχου \bar{x} για κινητό μέσο $m=4$ (on-line αναλυτής).



Διάγραμμα 4.16: Διάγραμμα ελέγχου R για κινητό μέσο $m=4$ (on-line αναλυτής).

Μελετώντας τα διαγράμματα \bar{x} -R 4.11-4.16 για τον on-line αναλυτή παρατηρείται ότι η παραγωγική διαδικασία είναι εκτός στατιστικού ελέγχου. Αναλυτικότερα:

- Στο διάγραμμα \bar{x} 4.11, για κινητό μέσο $m=2$, υπάρχουν επτά μετρήσεις πάνω από το ανώτερο όριο στατιστικού ελέγχου UCL (No 12, 13, 14, 61, 66, 67 και 96). Από αυτές τις μετρήσεις η No 66 και No 67 περνάνε το 15.2% περιεκτικότητα σε τέφρα επί φυσικού και αποτελούν ακραίες τιμές των μετρήσεων του on-line αναλυτή. Υπάρχουν όμως και μετρήσεις που βρίσκονται πολύ κοντά στο όριο ελέγχου UCL. Τέτοιες μετρήσεις είναι οι No 65, 109 και 119. Μετρήσεις κάτω από το κατώτερο όριο στατιστικού ελέγχου LCL υπάρχουν και είναι τρεις (No 19, 20 και 24). Στο διάγραμμα αυτό υπάρχουν και άλλες εκτός ελέγχου καταστάσεις. Στο διάγραμμα αυτό διακρίνονται άλματα στις τιμές των μετρήσεων (No 66 και 67, 96, 69 και 70). Παρατηρούνται και κάποιες τάσεις στα σημεία μετρήσεων No 13-20 και No 109-117. Περιοδικότητες και εμφάνιση 7 τουλάχιστον σημείων, συνεχόμενα πάνω ή κάτω από την κεντρική γραμμή CL δεν παρατηρούνται.

Στο διάγραμμα R 4.12 υπάρχουν τρεις μετρήσεις πάνω από το ανώτερο επιτρεπτό στατιστικό όριο ελέγχου UCL (No 68, 97, και 117). Φαινόμενα αλμάτων παρατηρούνται και σε αυτό το διάγραμμα (No 11, 68, 95, 97 και 118) όπως και 7 τουλάχιστον σημεία συνεχόμενα πάνω ή κάτω από την κεντρική γραμμή CL (No 29-37, 48-54, 72-81).

- Στο διάγραμμα \bar{x} 4.13, για κινητό μέσο $m=3$, υπάρχουν πέντε μετρήσεις πάνω από το ανώτερο όριο στατιστικού ελέγχου UCL (No 13, 14, 62, 66 και 67). Από αυτές τις μετρήσεις η No 13 και No 67 περνάνε το 14.5% περιεκτικότητα σε τέφρα επί φυσικού και αποτελούν ακραίες τιμές των μετρήσεων του on-line αναλυτή. Υπάρχουν όμως και μετρήσεις που βρίσκονται πολύ κοντά στο όριο ελέγχου UCL. Τέτοιες μετρήσεις είναι οι No 12, 15, 61, 68 και 109. Μετρήσεις κάτω από το κατώτερο όριο στατιστικού ελέγχου LCL υπάρχουν και είναι πέντε (No 18, 19, 20, 21 και 24). Στο διάγραμμα αυτό υπάρχουν και άλλες εκτός ελέγχου καταστάσεις. Στο διάγραμμα αυτό διακρίνεται εμφάνιση 7 τουλάχιστον σημείων, συνεχόμενα πάνω ή κάτω από την κεντρική γραμμή CL (No 16-26, 35-41, 43-49, 59-68, 72-81, 98-106 και 112-118). Παρατηρούνται και κάποιες τάσεις

στα σημεία μετρήσεων Νο 13-20. Περιοδικότητες και άλματα δεν παρατηρούνται. Στο διάγραμμα R 4.14 υπάρχουν δύο μετρήσεις πάνω από το ανώτερο επιτρεπτό στατιστικό όριο ελέγχου UCL (No 68 και 69). Φαινόμενα αλμάτων παρατηρούνται και σε αυτό το διάγραμμα (No 5, 118 και 119, 68 και 69) όπως και 7 τουλάχιστον σημεία συνεχόμενα πάνω ή κάτω από την κεντρική γραμμή CL (No 18-26, 30-37, 48-54 και 73-83).

- Στο διάγραμμα \bar{x} 4.15, για κινητό μέσο $m=4$, υπάρχουν έξι μετρήσεις πάνω από το ανώτερο όριο στατιστικού ελέγχου UCL (No 13, 14, 15, 66, 67 και 68). Από αυτές τις μετρήσεις η No 14 και No 67 προσεγγίζουν το 14 % περιεκτικότητα σε τέφρα επί φυσικού και αποτελούν ακραίες τιμές των μετρήσεων του on-line αναλυτή. Υπάρχουν όμως και μετρήσεις που βρίσκονται πολύ κοντά στο όριο ελέγχου UCL. Τέτοιες μετρήσεις είναι οι No 62, 63, 75 και 110. Μετρήσεις κάτω από το κατώτερο όριο στατιστικού ελέγχου LCL υπάρχουν και είναι έξι (No 19, 20, 21, 22, 23 και 24). Στο διάγραμμα αυτό υπάρχουν και άλλες εκτός ελέγχου καταστάσεις. Στο διάγραμμα αυτό διακρίνεται εμφάνιση 7 τουλάχιστον σημείων, συνεχόμενα πάνω ή κάτω από την κεντρική γραμμή CL (No 17-27, 36-50, 59-69, 72-82 και 99-107). Παρατηρείται και κάποια περιοδικότητα στα σημεία μετρήσεων Νο 71-120. Τάσεις και άλματα δεν παρατηρούνται.

Στο διάγραμμα R 4.16 υπάρχουν τρεις μετρήσεις πάνω από το ανώτερο επιτρεπτό στατιστικό όριο ελέγχου UCL (No 16, 68 και 69). Φαινόμενα αλμάτων παρατηρούνται σε αυτό το διάγραμμα (No 16, 118-120, 68 και 69) όπως και 7 τουλάχιστον σημεία συνεχόμενα πάνω ή κάτω από την κεντρική γραμμή CL (No 19-26, 31-40, 65-73 και 74-87).

4.2.2 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Συνοπτικά τα αποτελέσματα της αξιολόγησης παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες 4.16-4.18

Πίνακας 4.16: Μετρήσεις εκτός των στατιστικών ορίων ελέγχου (m=3)

Διαγράμματα ελέγχου \bar{X}				Διαγράμματα ελέγχου R	
Άνω του UCL(εργαστήριο)	Κάτω του LCL(εργαστήριο)	Άνω του UCL (on-line)	Κάτω του LCL(on-line)	Άνω του UCL(εργαστήριο)	Άνω του UCL (on-line)
A/A (% τέφρα επί φυσικού)	A/A (% τέφρα επί φυσικού)	A/A (% τέφρα επί φυσικού)	A/A (% τέφρα επί φυσικού)	A/A	A/A
32 (15.57)	20 (6.93)	13 (14.53)	18 (8.7)	27	68
33 (15.1)	21 (6.3)	14 (13.6)	19 (8.47)	28	69
64 (15.53)	22 (6.7)	62 (13.5)	20 (7.86)	29	
73 (15.35)	23 (6.86)	66 (14.17)	21 (8.23)	107	
74 (17.1)	24 (7.07)	67 (15.1)	24 (8.6)	108	
75 (17.8)	48 (7.03)				
76 (15.4)	49 (7.23)				
81 (14.93)	91 (7.8)				
108 (16.7)	92 (7.3)				
109 (16.7)	93 (7.4)				
110 (17.6)	94 (7.47)				
	115 (7.9)				
	116 (7.23)				
	117 (7)				

Πίνακας 4.17: Μετρήσεις εκτός των στατιστικών ορίων ελέγχου (m=4).

Διαγράμματα ελέγχου \bar{X}				Διαγράμματα ελέγχου R	
Άνω του UCL(εργαστήριο)	Κάτω του LCL(εργαστήριο)	Άνω του UCL (on-line)	Κάτω του LCL(on-line)	Άνω του UCL(εργαστήριο)	Άνω του UCL (on-line)
A/A (% τέφρα επί φυσικού)	A/A (% τέφρα επί φυσικού)	A/A (% τέφρα επί φυσικού)	A/A (% τέφρα επί φυσικού)	A/A	A/A
30 (14.75)	19 (8.15)	13 (13.57)	19 (8.4)	27	16
32 (14.82)	20 (7.72)	14 (13.95)	20 (8.25)	28	68
33 (15.25)	21 (6.87)	15 (13.15)	21 (8.3)	29	69
34 (14.85)	22 (6.55)	66 (13.4)	22 (8.5)		
65 (15.22)	23 (6.67)	67 (14.32)	23 (8.62)		
74 (16.02)	24 (6.97)	68 (13.52)	24 (8.85)		
75 (16.85)	25 (7.9)				
76 (16.35)	48 (7.82)				
108 (15.15)	49 (7.25)				
109 (16.95)	92 (7.65)				
110 (18.05)	93 (7.37)				
111 (15.97)	94 (7.45)				
	116 (7.82)				
	117 (7.05)				

Πίνακας 4.18 Μετρήσεις εκτός των στατιστικών ορίων ελέγχου ($m=2$).

Διαγράμματα ελέγχου \bar{x}				Διαγράμματα ελέγχου R	
Άνω του UCL(εργαστήριο)	Κάτω του LCL(εργαστήριο)	Άνω του UCL (on-line)	Κάτω του LCL(on-line)	Άνω του UCL(εργαστήριο)	Άνω του UCL (on-line)
A/A (% τέφρα επί φυσικού)	A/A (% τέφρα επί φυσικού)	A/A (% τέφρα επί φυσικού)	A/A (% τέφρα επί φυσικού)	A/A	A/A
28 (15.35)	19 (7.35)	12 (14.35)	19 (8)	27	68
32 (15.5)	20 (6.1)	13 (14.3)	20 (7.55)	28	97
62 (15.4)	21 (6.4)	14 (13.55)	24 (8.25)	107	118
63 (16.05)	22 (7)	61 (13.9)			
73 (16.6)	23 (6.95)	66 (15.25)			
74 (18.65)	24 (6.95)	67 (15.2)			
75 (17.1)	47 (7.05)	96 (13.55)			
108 (19.85)	48 (6.09)				
109 (19)	49 (7.45)				
110 (16.25)	92 (7.3)				
	93 (7.4)				
	94 (7.6)				
	115 (7.05)				
	116 (7.25)				
	117 (7.05)				

Μια πρώτη παρατήρηση που μπορεί να γίνει συγκρίνοντας τα διαγράμματα ελέγχου κινητών μέσων και των διαγραμμάτων ελέγχου μεμονωμένων τιμών που εξετάστηκαν είναι ότι τα όρια ελέγχου των διαγραμμάτων \bar{x} «συμπιέζονται». Αυτό σημαίνει ότι μειώνεται η τιμή των ανώτερων ορίων ελέγχου και αυξάνεται η τιμή των κατώτερων ορίων ελέγχου. Το φαινόμενο γίνεται εντονότερο όσο μεγαλώνει η τιμή του κινούμενου μέσου. Επίσης πρέπει να παρατηρηθεί ότι οι μέσες τιμές παραμένουν στα ίδια επίπεδα ενώ τα μέσα εύροι μεγαλώνουν με την αύξηση της τιμής του κινούμενου μέσου. Το αποτέλεσμα είναι ότι τα διαγράμματα του κινούμενου μέσου έχουν μεγαλύτερη ισχύ από τα διαγράμματα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων, δηλαδή ανιχνεύουν περισσότερες μεταβολές και είναι περισσότερο ευαίσθητα. Πράγματι από τους πίνακες 4.14, 4.15, και 4.16 παρατηρείται αύξηση των σημείων που βρίσκονται εκτός ελέγχου χωρίς αυτό να σημαίνει απόλυτα ότι μπορεί να μην οδηγεί σε εσφαλμένα συμπεράσματα. Αυτό μπορεί να συμβαίνει γιατί η μεθοδολογία του κινούμενου μέσου αλλοιώνει-εξομαλύνει τις αρχικές μετρήσεις και τις συνδέει με τις

γειτονικές της (ανάλογα την τιμή του κινούμενου μέσου). Για παράδειγμα η τιμή του εργαστηρίου No 62 είναι εκτός ελέγχου με 18.50% περιεκτικότητα σε τέφρα στο διάγραμμα \bar{x} των μεμονωμένων τιμών. Στο διάγραμμα \bar{x} για κινούμενο μέσο $m=2$ η μέτρηση βρίσκεται πάλι εκτός ελέγχου με 15.4%, για κινούμενο μέσο $m=3$, και $m=4$ βρίσκεται εντός των ορίων ελέγχου ενώ εκτός βρίσκονται για πρώτη φορά οι μετρήσεις No 64 και 65.

Οι εκτός στατιστικού ελέγχου τιμές στο διάγραμμα \bar{x} για κινούμενο μέσο $m=2$ του εργαστηρίου που συμπίπτουν ή προσεγγίζουν τις τιμές εκτός ελέγχου του αναλυτή είναι οι No 19, 20, 24, 62, 63 και 109. Πολύ μικρό ποσοστό των συνολικών σημείων.

Οι εκτός στατιστικού ελέγχου τιμές στο διάγραμμα \bar{x} για κινούμενο μέσο $m=3$ του εργαστηρίου που συμπίπτουν ή προσεγγίζουν τις τιμές εκτός ελέγχου του αναλυτή είναι οι No 20, 21, 22, 23, 24, 64, 67 και 109. Πολύ μικρό ποσοστό των συνολικών σημείων. Οι εκτός στατιστικού ελέγχου τιμές ή πολύ κοντά στα όρια ελέγχου στο διάγραμμα \bar{x} για κινούμενο μέσο $m=4$ του εργαστηρίου που συμπίπτουν ή προσεγγίζουν τις τιμές εκτός ελέγχου του αναλυτή είναι οι No 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 64, 65, 74, 75, 76, 108, 109, και 110. Σχετικά μικρό ποσοστό των συνολικών σημείων.

Είναι φανερό από τα παραπάνω ότι τα διαγράμματα ελέγχου κινητών μέσων του on-line αναλυτή δεν δίνουν ίδια αποτελέσματα όσον αφορά τα σημεία που βρίσκονται εκτός στατιστικού ελέγχου με τα διαγράμματα του εργαστηρίου. Ειδικά τιμές όπως οι μετρήσεις No 30-34 και No 13-15 αντίστοιχα. Συγκριτικά πάντως τα διαγράμματα ελέγχου \bar{x} κινητού μέσου $m=4$ κρίνονται ως αποτελεσματικότερα από τα προηγούμενα αφού έχουν τις περισσότερες κοινές τιμές εκτός ελέγχου και τα αντίστοιχα διαγράμματα ελέγχου R παρουσιάζουν παρόμοιες εκτός ελέγχου καταστάσεις (άλματα και σύνολο συνεχόμενων σημείων πάνω ή κάτω από τα όρια ελέγχου).

4.3 Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} -R κινούμενου μέσου (m=8)

4.3.1 Κατασκευή διαγραμμάτων

Για την κατασκευή των διαγραμμάτων αυτών ακολουθείται η διαδικασία που είχε ακολουθηθεί και για την κατασκευή των διαγραμμάτων \bar{x} -R κινούμενου μέσου (m=2,3 και 4. Από τον αρχικό πίνακα 2.1 δημιουργείται ο πίνακας 4.19 για τις μετρήσεις του εργαστηρίου και του on-line αναλυτή. Στον πίνακα αυτόν έχουν σημειωθεί οι αρχικές τιμές περιεκτικότητας σε τέφρα επί φυσικού. Στις επόμενες στήλες σημειώνεται η μέση τιμή \bar{x} κάθε ψευδοδείγματος από την τρέχουσα τιμή και:

- i. Τις τέσσερις προηγούμενες για κινητό μέσο m=5 (x_5),
- ii. τις πέντε προηγούμενες για κινητό μέσο m=6 (x_6),
- iii. τις έξι προηγούμενες για κινητό μέσο m=7 (x_7),
- iv. τις επτά προηγούμενες για κινητό μέσο m=8 (x_8).

Αντίστοιχα, στις επόμενες στήλες υπολογίζεται το εύρος διακύμανσης MR κάθε ψευδοδείγματος από την τρέχουσα τιμή και:

- i. τις τέσσερις για κινητό μέσο m=5 (MR_5),
- ii. τις πέντε προηγούμενες για κινητό μέσο m=6 (MR_6),
- iii. τις έξι προηγούμενες για κινητό μέσο m=7 (MR_7),
- iv. τις επτά προηγούμενες για κινητό μέσο m=8 (MR_8).

Οι μέσες τιμές και τα μέσα εύροι των ψευδοδειγμάτων για m=5, 6, 7 υπολογίστηκαν αφού ήταν απαραίτητο για την κατασκευή των επιμέρους ορίων των διαγραμμάτων \bar{x} αλλά η διαδικασία αυτή δεν φαίνεται στον πίνακα 4.19. Διακρίνονται μόνο οι υπολογισμοί για κινητό μέσο m=8. Στον πίνακα αυτό υπολογίζονται οι μέσες τιμές καθώς και τα μέσα εύροι των ψευδοδειγμάτων, για κινητό μέσο m=8. Η διαδικασία αυτή ακολουθείται τόσο για τις μετρήσεις του εργαστηρίου όσο και για τις μετρήσεις του on-line αναλυτή.

Πίνακας 4.19: Υπολογισμός \bar{x} και \overline{MR} των μετρήσεων του εργαστηρίου και του on-line αναλυτή

Αριθμός δείγματος	Τέφρα επί φυσικού (μέτρηση εργαστηρίου)	Τέφρα επί φυσικού (μέτρηση αναλυτή)	Μέση τιμή x_8 (m=8) εργαστήριο	Μέση τιμή x_8 (m=8) αναλυτής	Εύρος MR_8 (m=8) εργαστήριο	Εύρος MR_8 (m=8) αναλυτής
1	11.40	10.30	11.40	10.30		
2	9.00	9.20	10.20	9.75	2.40	1.10
3	8.70	9.10	9.70	9.53	2.70	1.20
4	10.70	11.70	9.95	10.08	2.70	2.60
5	12.60	13.60	10.48	10.78	3.90	4.50
6	9.60	11.40	10.33	10.88	3.90	4.50
7	9.70	10.60	10.24	10.84	3.90	4.50
8	9.90	9.70	10.20	10.70	3.90	4.50
9	11.80	10.80	10.25	10.76	3.90	4.50
10	12.60	10.70	10.70	10.95	3.90	4.50
11	11.70	15.00	11.08	11.69	3.00	5.30
12	12.30	13.70	11.28	11.94	3.00	5.30
13	12.20	14.90	11.23	12.10	3.00	5.30
14	10.80	12.20	11.38	12.20	2.90	5.30
15	13.30	11.80	11.83	12.35	3.40	5.30
16	7.80	8.20	11.56	12.16	5.50	6.80
17	10.10	9.40	11.35	11.99	5.50	6.80
18	8.60	8.50	10.85	11.71	5.50	6.80
19	6.10	7.50	10.15	10.78	7.20	7.40
20	6.10	7.60	9.38	10.01	7.20	7.40
21	6.70	9.60	8.69	9.35	7.20	4.70
22	7.30	9.30	8.25	8.99	7.20	4.30
23	6.60	8.00	7.41	8.51	4.00	2.10
24	7.30	8.50	7.35	8.55	4.00	2.10
25	10.40	10.20	7.39	8.65	4.30	2.70
26	9.80	9.70	7.54	8.80	4.30	2.70
27	20.30	14.00	9.31	9.61	14.20	6.40
28	10.40	11.00	9.85	10.04	13.70	6.00
29	12.60	10.80	10.59	10.19	13.70	6.00
30	15.70	11.50	11.64	10.46	13.70	6.00
31	14.90	10.80	12.68	10.81	13.00	5.50
32	16.10	12.00	13.78	11.25	10.50	4.30
33	14.30	11.70	14.26	11.44	10.50	4.30
34	14.10	11.10	14.80	11.61	9.90	3.20
35	10.40	10.10	13.56	11.13	5.70	1.90
36	10.30	10.50	13.55	11.06	5.80	1.90
37	15.60	11.40	13.93	11.14	5.80	1.90
38	10.30	8.90	13.25	10.81	5.80	3.10
39	10.60	9.30	12.71	10.63	5.80	3.10
40	11.00	11.10	12.08	10.51	5.30	2.80
41	13.40	11.80	11.96	10.53	5.30	2.90
42	10.60	10.70	11.53	10.48	5.30	2.90
43	9.50	8.80	11.41	10.31	6.10	3.00
44	9.40	9.30	11.30	10.16	6.20	3.00
45	10.20	9.30	10.63	9.90	4.00	3.00
46	7.30	8.50	10.25	9.85	6.10	3.30



Αριθμός δείγματος	Τέφρα επί φυσικού (μέτρηση εργαστηρίου)	Τέφρα επί φυσικού (μέτρηση αναλυτή)	Μέση τιμή x_8 (m=8) εργαστήριο	Μέση τιμή x_8 (m=8) αναλυτής	Εύρος MR_8 (m=8) εργαστήριο	Εύρος MR_8 (m=8) αναλυτής
47	6.80	8.80	9.78	9.79	6.60	3.30
48	7.00	11.70	9.28	9.86	6.60	3.30
49	7.90	9.90	8.59	9.63	3.80	3.20
50	11.80	12.30	8.74	9.83	5.00	3.80
51	11.80	10.90	9.03	10.09	5.00	3.80
52	12.70	13.50	9.44	10.61	5.90	5.00
53	9.20	10.10	9.31	10.71	5.90	5.00
54	11.50	12.10	9.84	11.16	5.90	4.70
55	9.20	11.20	10.14	11.46	5.70	3.60
56	9.60	10.00	10.46	11.25	4.80	3.60
57	12.10	10.30	10.99	11.30	3.50	3.50
58	12.20	12.30	11.04	11.30	3.50	3.50
59	10.30	11.40	10.85	11.36	3.50	3.50
60	13.20	14.10	10.91	11.44	4.00	4.10
61	12.30	13.70	11.30	11.89	4.00	4.10
62	18.50	12.70	12.18	11.96	9.30	4.10
63	13.60	11.10	12.73	11.95	8.90	4.10
64	13.90	12.00	13.26	12.20	8.20	3.80
65	14.90	14.90	13.61	12.78	8.20	3.80
66	14.30	15.60	13.88	13.19	8.20	4.50
67	15.20	14.80	14.49	13.61	6.20	4.50
68	9.50	8.80	14.03	12.95	9.00	6.80
69	11.10	9.30	13.88	12.40	9.00	6.80
70	11.80	9.80	13.04	12.04	5.70	6.80
71	12.80	12.60	12.94	12.23	5.70	6.80
72	14.00	12.80	12.95	12.33	5.70	6.80
73	19.20	12.00	13.49	11.96	9.70	6.80
74	18.10	11.70	13.96	11.48	9.70	6.00
75	16.10	12.90	14.08	11.24	9.70	4.10
76	12.00	11.90	14.39	11.63	8.10	3.60
77	11.00	11.60	14.38	11.91	8.20	3.10
78	12.50	10.30	14.46	11.98	8.20	2.60
79	17.00	11.60	14.99	11.85	8.20	2.60
80	13.30	11.80	14.90	11.73	8.20	2.60
81	14.50	11.20	14.31	11.63	7.10	2.60
82	13.50	9.80	13.74	11.39	6.00	3.10
83	11.30	10.20	13.14	11.05	6.00	2.10
84	14.20	12.10	13.41	11.08	6.00	2.30
85	9.10	9.70	13.18	10.84	7.90	2.40
86	11.00	12.00	12.99	11.05	7.90	2.40
87	11.20	11.90	12.26	11.09	5.40	2.40
88	13.20	13.80	12.25	11.34	5.40	4.10
89	8.70	10.50	11.53	11.25	5.50	4.10
90	7.30	9.90	10.75	11.26	6.90	4.10
91	7.40	9.30	10.26	11.15	6.90	4.50
92	7.20	9.60	9.39	10.84	6.00	4.50
93	7.60	9.00	9.20	10.75	6.00	4.80
94	7.60	9.20	8.78	10.40	6.00	4.80
95	13.10	13.20	9.01	10.56	6.00	4.80

⇒

Αριθμός δείγματος	Τέφρα επί φυσικού (μέτρηση εργαστηρίου)	Τέφρα επί φυσικού (μέτρηση αναλυτή)	Μέση τιμή x_8 (m=8) εργαστήριο	Μέση τιμή x_8 (m=8) αναλυτής	Εύρος MR_2 (m=8) εργαστήριο	Εύρος MR_8 (m=8) αναλυτής
96	13.00	13.90	8.99	10.58	5.90	4.90
97	8.80	9.50	9.00	10.45	5.90	4.90
98	8.20	9.20	9.11	10.36	5.90	4.90
99	8.60	10.20	9.26	10.48	5.90	4.90
100	14.60	12.30	10.19	10.81	7.00	4.90
101	10.90	10.10	10.60	10.95	7.00	4.70
102	12.50	10.20	11.21	11.08	6.40	4.70
103	11.50	9.50	11.01	10.61	6.40	4.70
104	11.70	9.80	10.85	10.10	6.40	3.10
105	10.50	10.80	11.06	10.26	6.40	3.10
106	10.40	10.30	11.34	10.40	6.00	2.80
107	19.40	12.50	12.69	10.69	9.00	3.00
108	20.30	13.20	13.40	10.80	9.90	3.70
109	17.70	13.40	14.25	11.21	9.90	3.90
110	14.80	11.50	14.54	11.38	9.90	3.90
111	11.10	10.50	14.49	11.50	9.90	3.60
112	9.50	9.50	14.21	11.46	10.80	3.90
113	9.60	10.80	14.10	11.46	10.80	3.90
114	7.20	9.20	13.70	11.33	13.10	4.20
115	6.90	9.80	12.14	10.99	13.40	4.20
116	7.60	9.60	10.55	10.54	10.80	4.20
117	6.50	8.80	9.15	9.96	8.30	2.70
118	12.90	13.90	8.91	10.26	6.40	5.10
119	15.20	12.00	9.43	10.45	8.70	5.10
120	15.30	11.90	10.15	10.75	8.80	5.10
			\bar{x}_8	\bar{x}_8	\overline{MR}_8	\overline{MR}_8
			11.43	10.95	6.78	4.13

Με βάση τα παραπάνω χαρακτηριστικά ($\bar{x}_8, \overline{MR}_8$) για τις μετρήσεις του εργαστηρίου και του αναλυτή και γνωρίζοντας τους συντελεστές A_2, D_3, D_4 από τον πίνακα 4.1 του Μέρους Γ' εφαρμόζεται ένας αριθμός εξισώσεων για την εύρεση των ορίων ελέγχου τριών τυπικών αποκλίσεων. Με τον ίδιο τρόπο βρέθηκαν και τα στατιστικά όρια ελέγχου για κινητό μέσο m=5, 6 και 7 Η εφαρμογή των τύπων αυτών φαίνεται στους πίνακες 4.20 και 4.21 και τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα στον πίνακα 4.22.

Πίνακας 4.20: Εφαρμογή εξισώσεων για την εύρεση των ορίων ελέγχου.

Μετρήσεις Εργαστηρίου για κινητό μέσο m=8

Διάγραμμα ελέγχου για \overline{MR}			
όρια ελέγχου	τύπος	Εφαρμογή τύπου	όρια ελέγχου
CL			6.78
UCL	$D_4 \overline{MR}$	1.864(6.78)	12.64
LCL	$D_3 \overline{MR}$	0.136(6.78)	0.92
Διάγραμμα ελέγχου για \bar{x}			
CL			11.43
UCL	$\bar{x} + A_2 \overline{MR}$	11.43 + 0.337(6.78)	13.71
LCL	$\bar{x} - A_2 \overline{MR}$	11.43 - 0.337(6.78)	9.15

Πίνακας 4.21: Εφαρμογή εξισώσεων για την εύρεση των ορίων ελέγχου.

Μετρήσεις On-line αναλυτή για κινητό μέσο m=8

Διάγραμμα ελέγχου για \overline{MR}			
όρια ελέγχου	τύπος	Εφαρμογή τύπου	όρια ελέγχου
CL			4.13
UCL	$D_4 \overline{MR}$	1.864(4.13)	7.70
LCL	$D_3 \overline{MR}$	0.136(4.13)	0.56
Διάγραμμα ελέγχου για \bar{x}			
CL			10.95
UCL	$\bar{x} + A_2 \overline{MR}$	10.95 + 0.337(4.13)	12.34
LCL	$\bar{x} - A_2 \overline{MR}$	10.95 - 0.337(4.13)	9.56

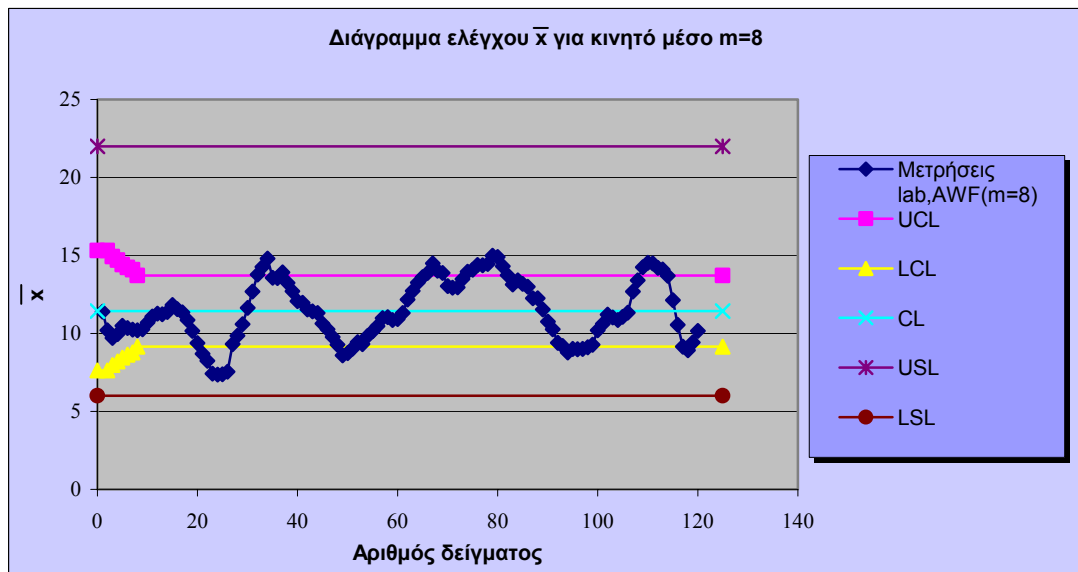
Πίνακας 4.22: Όρια στατιστικού ελέγχου διαγραμμάτων \bar{x} -R για κινητό μέσο m=5, 6, 7 και 8.

\bar{x}	<i>CL</i>	<i>UCL</i>	<i>LCL</i>
Εργαστήριο (m=5)	11.43	14.42	8.44
On-line αναλυτής (m=5)	10.95	12.82	9.08
Εργαστήριο (m=6)	11.43	14.23	8.63
On-line αναλυτής (m=6)	10.95	12.68	9.22
Εργαστήριο (m=7)	11.43	13.71	9.15
On-line αναλυτής (m=7)	10.95	12.58	9.32
Εργαστήριο (m=8)	11.43	13.71	9.15
On-line αναλυτής (m=8)	10.95	12.34	9.56
\overline{MR}	<i>CL</i>	<i>UCL</i>	<i>LCL</i>
Εργαστήριο (m=5)	5.19	10.98	0
On-line αναλυτής (m=5)	3.24	6.85	0
Εργαστήριο (m=6)	5.8	11.62	0
On-line αναλυτής (m=6)	3.59	7.19	0
Εργαστήριο (m=7)	6.34	12.2	0.48
On-line αναλυτής (m=7)	3.89	7.48	0.3
Εργαστήριο (m=8)	6.78	12.64	0.92
On-line αναλυτής (m=8)	4.13	7.7	0.56

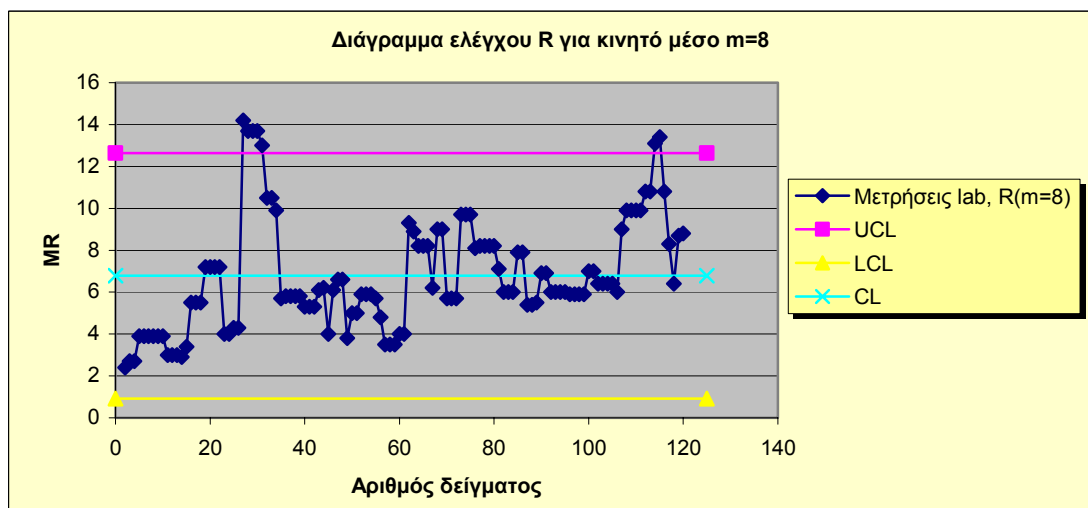
Με αυτόν τον τρόπο, αφού πλέον είναι γνωστά τα επιμέρους όρια για κάθε διάγραμμα από τον πίνακα 4.22, κατασκευάζονται δυο διαγράμματα \bar{x} -R για τις μετρήσεις του εργαστηρίου αναφοράς (Διαγράμματα 4.17-4.18) και άλλα δυο για τις μετρήσεις του on-line αναλυτή (Διαγράμματα 4.19-4.20).

Εργαστηριακές μετρήσεις

Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} -R για κινητό μέσο $m=8$



Διάγραμμα 4.17: Διάγραμμα ελέγχου \bar{x} για κινητό μέσο $m=8$ (εργαστήριο).



Διάγραμμα 4.18: Διάγραμμα ελέγχου R για κινητό μέσο $m=8$ (εργαστήριο).

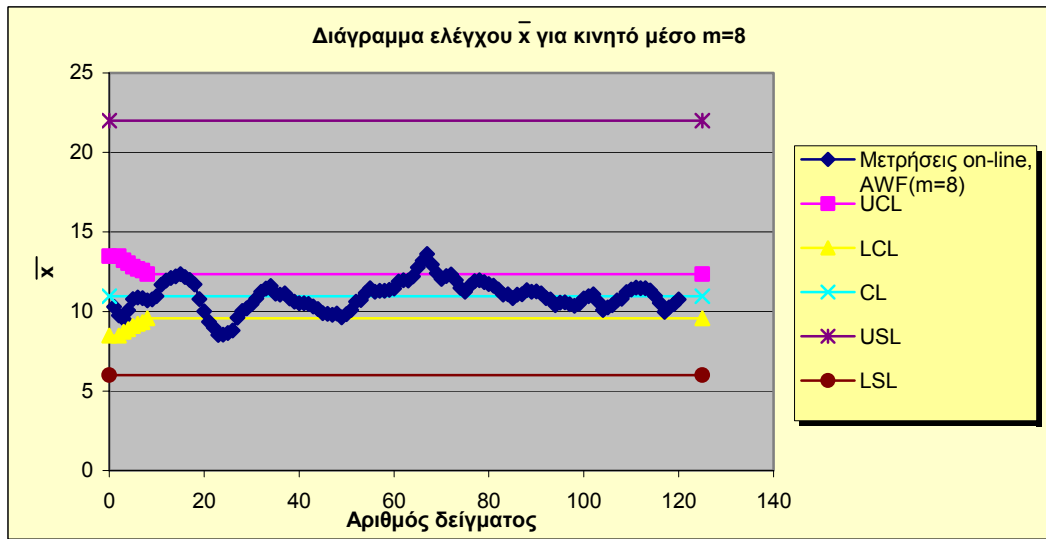
Μελετώντας τα διαγράμματα \bar{x} -R (για κινούμενο μέσο $m=8$) 4.17 και 4.18 του εργαστηρίου παρατηρείται ότι η παραγωγική διαδικασία είναι εκτός στατιστικού ελέγχου.

Στο διάγραμμα \bar{x} 4.17 υπάρχουν είκοσι μετρήσεις πάνω από το ανώτερο όριο στατιστικού ελέγχου UCL (No 32, 33, 34, 37, 66, 67, 68, 69, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 110, 111, 112 και 113). Από αυτές οι μετρήσεις No 27 και 108 έχουν περιεκτικότητα σε τέφρα κοντά στο 15%. Υπάρχουν όμως και μετρήσεις που βρίσκονται πολύ κοντά στο όριο ελέγχου UCL. Τέτοιες μετρήσεις είναι οι No 35, 36, 65, 73, 84 και 114. Μετρήσεις κάτω από το κατώτερο όριο στατιστικού ελέγχου LCL υπάρχουν και είναι δεκαπέντε (No 21, 22, 23, 24, 25, 26, 49, 50, 51, 94, 95, 96, 97, 98 και 118). Στο διάγραμμα αυτό υπάρχουν και άλλες εκτός ελέγχου καταστάσεις όπως 7 τουλάχιστον σημεία συνεχόμενα πάνω ή κάτω από την κεντρική γραμμή CL (No 1-14, 17-29, 30-43, 44-61, 62-89, 90-106 και 107-115). Στο διάγραμμα αυτό επίσης δεν διακρίνονται άλματα στις τιμές των μετρήσεων αλλά παρατηρείται έντονη περιοδικότητα σε όλο το φάσμα των μετρήσεων.

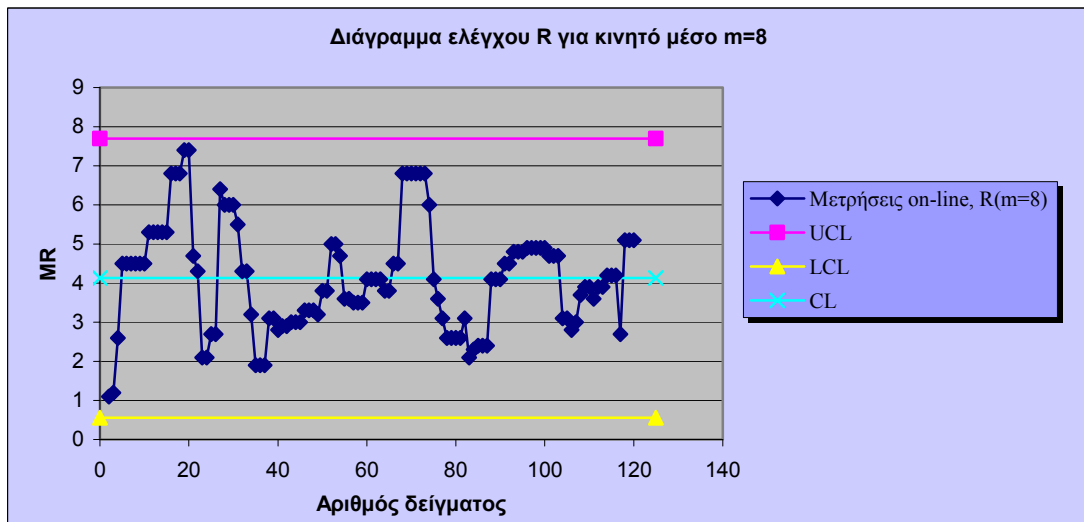
Στο διάγραμμα R 4.18 υπάρχουν επτά μετρήσεις πάνω από το ανώτερο επιτρεπτό στατιστικό όριο ελέγχου UCL (No 27, 28, 29, 30, 31, 114 και 115). Φαινόμενα αλμάτων παρατηρούνται και σε αυτό το διάγραμμα (No 28-30, 114 και 115) όπως και εμφάνιση 7 τουλάχιστον σημείων, συνεχόμενα πάνω ή κάτω από την κεντρική γραμμή CL (No 2-18, 73-81, 27-34, 35-61, 92-99 και 107-117).

Μετρήσεις on-line αναλυτή

Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} -R για κινητό μέσο $m=8$



Διάγραμμα 4.19: Διάγραμμα ελέγχου \bar{x} για κινητό μέσο $m=8$ (on-line αναλυτής).



Διάγραμμα 4.20: Διάγραμμα ελέγχου R για κινητό μέσο $m=8$ (on-line αναλυτής).

Μελετώντας τα διαγράμματα \bar{x} -R 4.19 και 4.20 για τον αναλυτή παρατηρείται ότι η παραγωγική διαδικασία είναι εκτός στατιστικού ελέγχου.

Στο διάγραμμα \bar{x} 4.19 υπάρχουν έξι μετρήσεις πάνω από το ανώτερο όριο στατιστικού ελέγχου UCL (No 15, 65, 66, 67, 68 και 69). Από αυτές τις μετρήσεις η No 66 και 67 αγγίζει το 13.5% περιεκτικότητα σε τέφρα επί φυσικού και αποτελούν ακραίες τιμές των μετρήσεων του on-line αναλυτή. Υπάρχουν όμως και μετρήσεις που βρίσκονται πολύ κοντά στο όριο ελέγχου UCL. Μετρήσεις κάτω από το κατώτερο όριο στατιστικού ελέγχου LCL υπάρχουν και είναι οι No 21, 22, 23, 24, 25 και 26. Στο διάγραμμα αυτό υπάρχουν και άλλες εκτός ελέγχου καταστάσεις όπως 7 τουλάχιστον σημεία συνεχόμενα πάνω ή κάτω από την κεντρική γραμμή CL (No 19-30, 38-53 και 54-84). Στο διάγραμμα αυτό επίσης διακρίνεται έντονη περιοδικότητα και ένα μικρό άλμα στο σημείο μέτρησης No 67. Τάσεις δεν παρατηρούνται.

Στο διάγραμμα R 4.4 δεν υπάρχουν μετρήσεις πάνω από το ανώτερο επιτρεπτό στατιστικό όριο ελέγχου UCL. Φαινόμενα αλμάτων παρατηρούνται και σε αυτό το διάγραμμα (No 27, 69-73, 119 και 120) όπως και 7 τουλάχιστον σημεία συνεχόμενα πάνω ή κάτω από την κεντρική γραμμή CL (No 5-22, 27-33, 34-51, 56-65, 66-74, 75-90, 91-103 και 104-113).

4.3.2 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Στα διαγράμματα ελέγχου \bar{x} -R κινούμενου μέσου $m=8$ παρατηρείται κατ' αρχήν και σε σύγκριση με τα διαγράμματα ελέγχου \bar{x} -R κινούμενου μέσου $m=2, 3$ και 4 αύξηση του μέσου εύρους MR τόσο των εργαστηριακών όσο και των μετρήσεων του on-line αναλυτή, την στιγμή που η μέση τιμή των μετρήσεων παραμένει σχεδόν σταθερή. Επίσης παρατηρείται ελάττωση των τιμών των ανώτερων στατιστικών ορίων ελέγχου και αύξηση των τιμών των κατώτερων ορίων με αποτέλεσμα την συμπίεση των διαγραμμάτων \bar{x} . Το αντίθετο συμβαίνει με τα διαγράμματα R όπου υπάρχει αύξηση των τιμών των ανώτερων στατιστικών ορίων ελέγχου και εμφάνιση κατώτερου ορίου ελέγχου (μικρής τιμής) για πρώτη φορά. Παρατηρείται έτσι αύξηση των τιμών εκτός ελέγχου από εικοσιπέντε (άνω του UCL και κάτω του LCL) περίπου που

εντοπίστηκαν στα διαγράμματα \bar{x} κινούμενου μέσου $m=2, 3$ και 4 για τις εργαστηριακές μετρήσεις σε τριανταπέντε. Μεγάλη αύξηση στις εκτός ελέγχου τιμές του εργαστηρίου υπάρχει και στο διάγραμμα R (επτά μετρήσεις εκτός ελέγχου). Στις μετρήσεις εκτός ελέγχου του on-line αναλυτή δεν υπήρξαν σημαντικές διαφοροποιήσεις στον τομέα αυτό στο διάγραμμα \bar{x} αλλά το διάγραμμα R δεν εντοπίζει καμία εκτός ελέγχου μέτρηση.

Οι εκτός στατιστικού ελέγχου τιμές στο διάγραμμα \bar{x} για κινούμενο μέσο $m=8$ του εργαστηρίου που συμπίπτουν ή προσεγγίζουν τις τιμές εκτός ελέγχου του αναλυτή είναι οι Νο 21, 22, 23, 24, 25, 26, 66, 67, 68, 69. Πολύ μικρό ποσοστό των συνολικών σημείων. Το συμπέρασμα που αποκομίζεται είναι ότι τα διαγράμματα \bar{x} - R για $m=8$ των εργαστηριακών μετρήσεων παρουσιάζονται ιδιαίτερα ευαίσθητα δίνοντας πολλές μετρήσεις εκτός ελέγχου σε αντίθεση με το διάγραμμα \bar{x} του on-line αναλυτή που δεν παρουσιάζει μεταβολές στην ευαισθησία του και το αντίστοιχο διάγραμμα R που δεν εντοπίζει εκτός ελέγχου μετρήσεις.

Συνοπτικά τα αποτελέσματα της αξιολόγησης παρουσιάζονται στον πίνακα 4.23.

Πίνακας 4.23: Μετρήσεις εκτός των στατιστικών ορίων ελέγχου

Διαγράμματα ελέγχου \bar{x}				Διαγράμματα ελέγχου R	
Άνω του UCL(εργαστήριο)	Κάτω του LCL(εργαστήριο)	Άνω του UCL (on-line)	Κάτω του LCL(on-line)	Άνω του UCL(εργαστήριο)	Άνω του UCL (on-line)
A/A (% τέφρα επί φυσικού)	A/A (% τέφρα επί φυσικού)	A/A (% τέφρα επί φυσικού)	A/A (% τέφρα επί φυσικού)	A/A	A/A
32 (13.78)	21 (8.64)	15 (12.35)	21 (9.35)	27	-
33 (14.26)	22 (8.25)	65 (12.78)	22 (8.99)	28	
34 (14.80)	23 (7.41)	66 (13.19)	23 (8.51)	29	
37 (13.93)	24 (7.35)	67 (13.61)	24 (8.55)	30	
66 (13.88)	25 (7.39)	68 (12.95)	25 (8.65)	31	
67 (14.49)	26 (7.54)	69 (12.40)	26 (8.80)	114	
68 (14.03)	49 (8.59)			115	
69 (13.88)	50 (8.74)				
75 (14.08)	51 (9.03)				
76 (14.39)	94 (8.78)				



Διαγράμματα ελέγχου \bar{x}				Διαγράμματα ελέγχου R	
Άνω του UCL(εργαστήριο)	Κάτω του LCL(εργαστήριο)	Άνω του UCL (on-line)	Κάτω του LCL(on-line)	Άνω του UCL(εργαστήριο)	Άνω του UCL (on-line)
A/A (% τέφρα επί φυσικού)	A/A (% τέφρα επί φυσικού)	A/A (% τέφρα επί φυσικού)	A/A (% τέφρα επί φυσικού)	A/A	A/A
77 (14.58)	95 (9.01)				
78 (14.46)	96 (8.99)				
79 (14.99)	97 (9.00)				
80 (14.90)	98 (9.11)				
81 (14.31)	118 (8.91)				
82 (13.74)					
110 (14.54)					
111 (14.49)					
112 (14.21)					
113 (14.10)					

4.4 Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} -R μεγέθους δείγματος n=4

4.4.1 Κατασκευή διαγραμμάτων

Για την κατασκευή των διαγραμμάτων αυτών ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία. Από τον αρχικό πίνακα 2.1 δημιουργούνται οι πίνακες 4.24 και 4.25 για τις μετρήσεις του εργαστηρίου και του on-line αναλυτή αντίστοιχα. Στους πίνακες αυτούς έχουν σημειωθεί στην πρώτη στήλη τους τα 30 ωριαία δείγματα που σχηματίστηκαν. Στις επόμενες τέσσερις στήλες διακρίνονται τα αρχικά δείγματα περιεκτικότητας σε τέφρα επί φυσικού που συνετέλεσαν στην δημιουργία των ωριαίων δειγμάτων. Δηλαδή τέσσερις αρχικές μετρήσεις (δείγμα μεγέθους 4) δίνουν μια καινούργια, οι τέσσερις επόμενες αρχικές μετρήσεις δίνουν την επόμενη καινούργια μέτρηση και ούτω καθεξής.

Η επόμενη στήλη δείχνει την περιεκτικότητα σε τέφρα επί φυσικού του ωριαίου δείγματος και αποτελεί ουσιαστικά τον μέσο όρο των αρχικών δειγμάτων που το απαρτίζουν. Η τελευταία στήλη δείχνει το εύρος διακύμανσης κάθε ωριαίου δείγματος. Το εύρος αυτό είναι η διαφορά της μεγαλύτερης από την μικρότερη τιμή

Ωριαίο δείγμα (εργαστήριο)	Μάζα δείγματος (τόνοι)					Μέση τιμή \bar{x}_i	Εύρος MR_i
		1ο	2ο	3ο	4ο		
1	283.50	11.40	9.00	8.70	10.70	9.95	2.70
2	346.90	12.60	9.60	9.70	9.90	10.45	3.00
3	308.30	11.80	12.60	11.70	12.30	12.10	0.90
4	269.90	12.20	10.80	13.30	7.80	11.03	5.50
5	368.20	10.10	8.60	6.10	6.10	7.73	4.00
6	359.40	6.70	7.30	6.60	7.30	6.98	0.70
7	388.10	10.40	9.80	20.30	10.40	12.73	10.50
8	380.30	12.60	15.70	14.90	16.10	14.83	3.50
9	294.60	14.30	14.10	10.40	10.30	12.28	4.00
10	455.60	15.60	10.30	10.60	11.00	11.88	5.30
11	353.20	13.40	10.60	9.50	9.40	10.73	4.00
12	428.10	10.20	7.30	6.80	7.00	7.83	3.40
13	359.00	7.90	11.80	11.80	12.70	11.05	4.80
14	425.10	9.20	11.50	9.20	9.60	9.88	2.30
15	470.80	12.10	12.20	10.30	13.20	11.95	2.90
16	397.60	12.30	18.50	13.60	13.90	14.58	6.20
17	513.00	14.90	14.30	15.20	9.50	13.48	5.70
18	383.50	11.10	11.80	12.80	14.00	12.43	2.90
19	465.20	19.20	18.10	16.10	12.00	16.35	7.20
20	425.20	11.00	12.50	17.00	13.30	13.45	6.00
21	410.20	14.50	13.50	11.30	14.20	13.38	3.20
22	470.30	9.10	11.00	11.20	13.20	11.13	4.10
23	377.40	8.70	7.30	7.40	7.20	7.65	1.50
24	336.00	7.60	7.60	13.10	13.00	10.33	5.50
25	437.00	8.80	8.20	8.60	14.60	10.05	6.40
26	453.10	10.90	12.50	11.50	11.70	11.65	1.60
27	421.20	10.50	10.40	19.40	20.30	15.15	9.90
28	493.10	17.70	14.80	11.10	9.50	13.28	8.20
29	465.90	9.60	7.20	6.90	7.60	7.83	2.70
30	409.90	6.50	12.90	15.20	15.30	12.48	8.80
						\bar{x}_i	\overline{MR}_i
						11.48	4.58

Πίνακας 4.25: Υπολογισμός \bar{x}_i και \overline{MR}_i των μετρήσεων του on-line αναλυτή.

Ωριαίο δείγμα (αναλυτής)	Μάζα δείγματος (τόνοι)	1ο	2ο	3ο	4ο	Μέση τιμή \bar{x}_i	Εύρος \overline{MR}_i
1	283.50	10.30	9.20	9.10	11.70	10.08	2.60
2	346.90	13.60	11.40	10.60	9.70	11.33	3.90
3	308.30	10.80	10.70	15.00	13.70	12.55	4.30
4	269.90	14.90	12.20	11.80	8.20	11.78	6.70
5	368.20	9.40	8.50	7.50	7.60	8.25	1.90
6	359.40	9.60	9.30	8.00	8.50	8.85	1.60
7	388.10	10.20	9.70	14.00	11.00	11.23	4.30
8	380.30	10.80	11.50	10.80	12.00	11.28	1.20
9	294.60	11.70	11.10	10.10	10.50	10.85	1.60
10	455.60	11.40	8.90	9.30	11.10	10.18	2.50
11	353.20	11.80	10.70	8.80	9.30	10.15	3.00
12	428.10	9.30	8.50	8.80	11.70	9.58	2.90
13	359.00	9.90	12.30	10.90	13.50	11.65	3.60
14	425.10	10.10	12.10	11.20	10.00	10.85	2.10
15	470.80	10.30	12.30	11.40	14.10	12.03	3.80
16	397.60	13.70	12.70	11.10	12.00	12.38	2.60
17	513.00	14.90	15.60	14.80	8.80	13.53	6.80
18	383.50	9.30	9.80	12.60	12.80	11.13	3.50
19	465.20	12.00	11.70	12.90	11.90	12.13	1.20
20	425.20	11.60	10.30	11.60	11.80	11.33	1.50
21	410.20	11.20	9.80	10.20	12.10	10.83	2.30
22	470.30	9.70	12.00	11.90	13.80	11.85	4.10
23	377.40	10.50	9.90	9.30	9.60	9.83	1.20
24	336.00	9.00	9.20	13.20	13.90	11.33	4.90
25	437.00	9.50	9.20	10.20	12.30	10.30	3.10
26	453.10	10.10	10.20	9.50	9.80	9.90	0.70
27	421.20	10.80	10.30	12.50	13.20	11.70	2.90
28	493.10	13.40	11.50	10.50	9.50	11.23	3.90
29	465.90	10.80	9.20	9.80	9.60	9.85	1.60
30	409.90	8.80	13.90	12.00	11.90	11.65	5.10
						\bar{x}_i	\overline{MR}_i
						10.98	3.05

Με βάση τα παραπάνω χαρακτηριστικά (\bar{x}_i και \overline{MR}_i) και γνωρίζοντας τους συντελεστές A_2 , D_3 , D_4 και από τον πίνακα 4.1 του Μέρους Γ' εφαρμόζεται ένας αριθμός εξισώσεων για την εύρεση των ορίων ελέγχου τριών τυπικών αποκλίσεων. Η εφαρμογή των τύπων αυτών φαίνεται στους πίνακες 4.26 και 4.27 και τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα στον πίνακα 4.28.

Πίνακας 4.26: Εφαρμογή εξισώσεων για την εύρεση των ορίων ελέγχου.

Μετρήσεις Εργαστηρίου

Διάγραμμα ελέγχου για \overline{MR}			
όρια ελέγχου	τύπος	Εφαρμογή τύπου	όρια ελέγχου
CL			4.58
UCL	$D_4 \overline{MR}$	2.282(4.58)	10.45
LCL	$D_3 \overline{MR}$	0(4.58)	0
Διάγραμμα ελέγχου για \bar{x}			
CL			11.48
UCL	$\bar{x} + A_2 \overline{MR}$	11.48 + 0.729(4.58)	14.82
LCL	$\bar{x} - A_2 \overline{MR}$	11.48 - 0.729(4.58)	8.14

Πίνακας 4.27: Εφαρμογή εξισώσεων για την εύρεση των ορίων ελέγχου.

Μετρήσεις On line αναλυτή

Διάγραμμα ελέγχου για \overline{MR}			
όρια ελέγχου	τύπος	Εφαρμογή τύπου	Όρια ελέγχου
CL			3.05
UCL	$D_4 \overline{MR}$	2.282(3.05)	6.96
LCL	$D_3 \overline{MR}$	0(3.05)	0
Διάγραμμα ελέγχου για \bar{x}			
CL			10.98
UCL	$\bar{x} + A_2 \overline{MR}$	10.98 + 0.729(3.05)	13.20
LCL	$\bar{x} - A_2 \overline{MR}$	10.98 - 0.729(3.05)	8.76

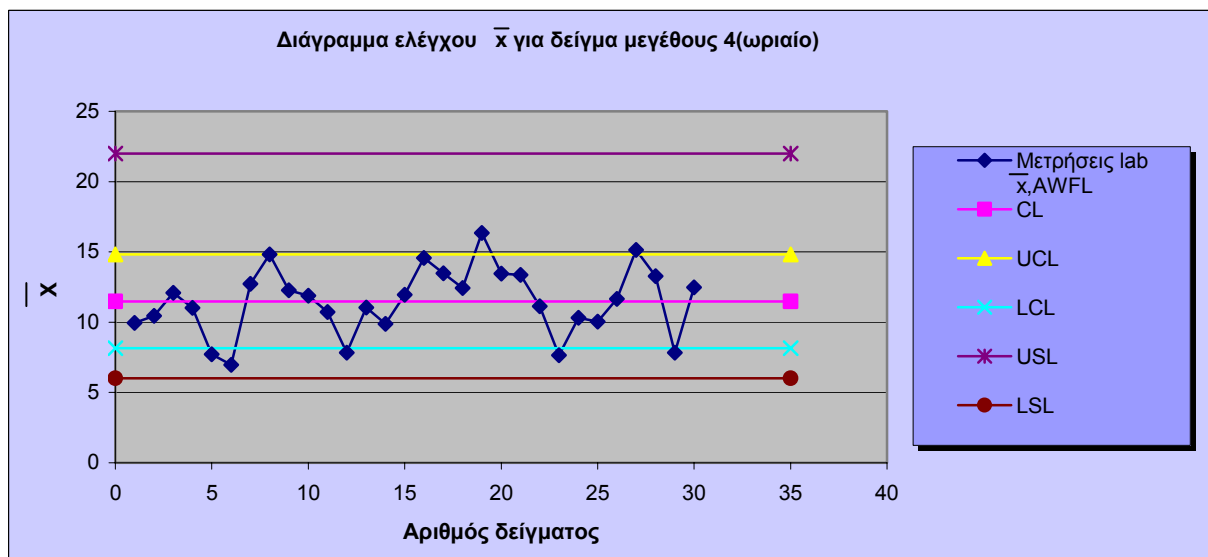
Πίνακας 4.28: Όρια στατιστικού ελέγχου διαγραμμάτων \bar{x} -R για δείγμα μεγέθους n=4.

\bar{x}	CL	UCL	LCL
Εργαστήριο	11.48	14.82	8.14
On-line αναλυτής	10.98	13.2	6.96
\overline{MR}	CL	UCL	LCL
Εργαστήριο	4.58	10.45	0
On-line αναλυτής	3.05	6.96	0

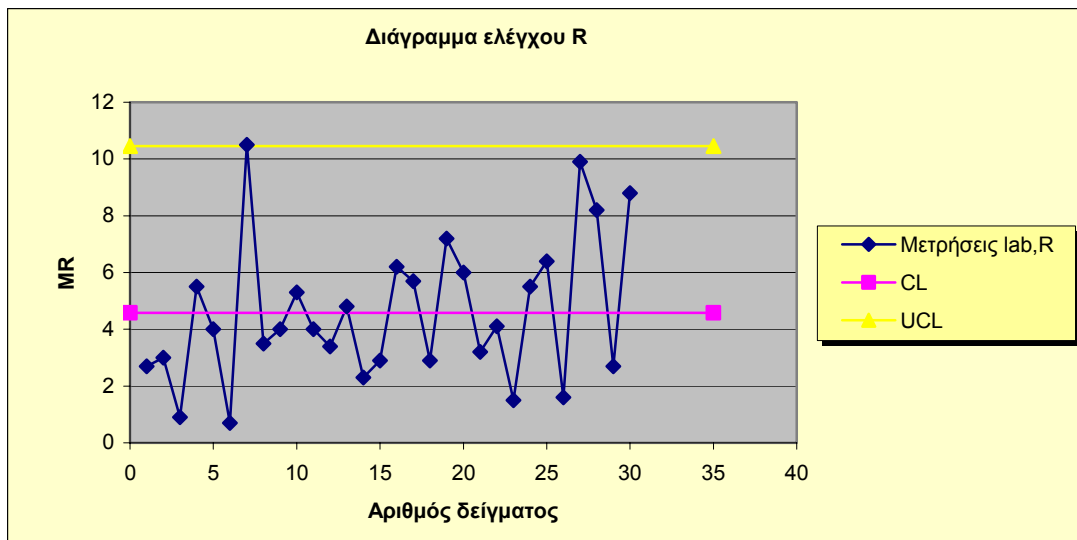
Τα διαγράμματα που κατασκευάστηκαν με βάση τα όρια ελέγχου του πίνακα 4.28 φαίνονται παρακάτω (Διαγράμματα 4.21, 4.22, 4.23 και 4.24).

Εργαστηριακές μετρήσεις

Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} -R για δείγμα μεγέθους n=4



Διάγραμμα 4.21: Διάγραμμα ελέγχου \bar{x} για δείγμα μεγέθους 4 (εργαστήριο).



Διάγραμμα 4.22: Διάγραμμα ελέγχου R για δείγμα μεγέθους 4 (εργαστήριο).

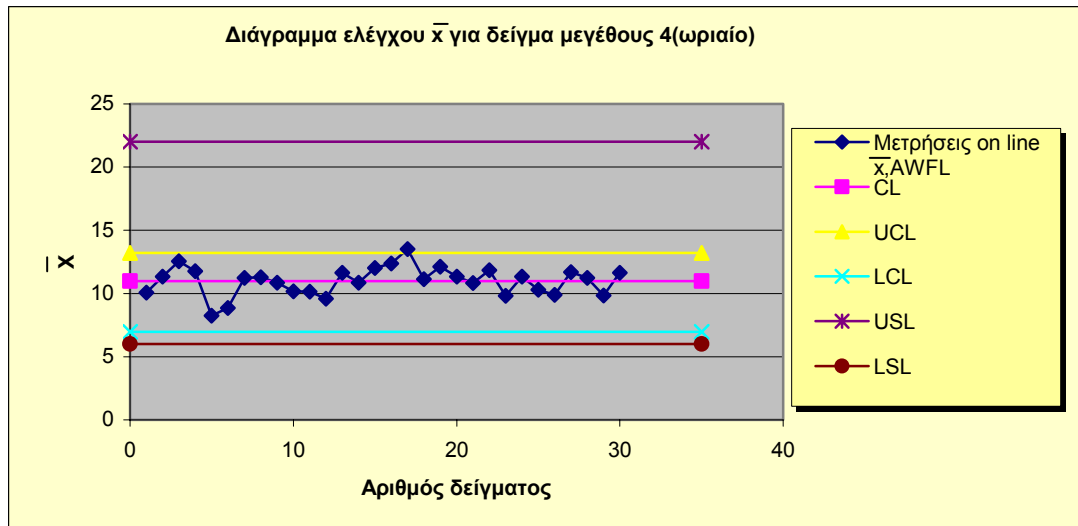
Μελετώντας τα διαγράμματα \bar{x} -R 4.21 και 4.22 για το εργαστήριο παρατηρείται ότι η παραγωγική διαδικασία είναι εκτός στατιστικού ελέγχου.

Στο διάγραμμα \bar{x} 4.21 υπάρχουν τρεις μετρήσεις πάνω από το ανώτερο όριο στατιστικού ελέγχου UCL (No 8, 19 και 27). Από αυτές η μέτρηση No 19 έχει περιεκτικότητα σε τέφρα μεγαλύτερη από 16%. Υπάρχουν όμως και μετρήσεις που βρίσκονται πολύ κοντά στο όριο ελέγχου UCL. Τέτοιες μετρήσεις είναι οι No 16 και 17. Μετρήσεις κάτω από το κατώτερο όριο στατιστικού ελέγχου LCL υπάρχουν πέντε (No 5, 6, 12, 23 και 29). Στο διάγραμμα αυτό υπάρχουν και άλλες εκτός ελέγχου καταστάσεις όπως 7 τουλάχιστον σημεία συνεχόμενα πάνω ή κάτω από την κεντρική γραμμή CL (No 15-21). Στο διάγραμμα αυτό επίσης διακρίνονται άλματα στις τιμές των μετρήσεων (No 19, 5 και 6). Τάσεις και περιοδικότητες δεν παρατηρούνται.

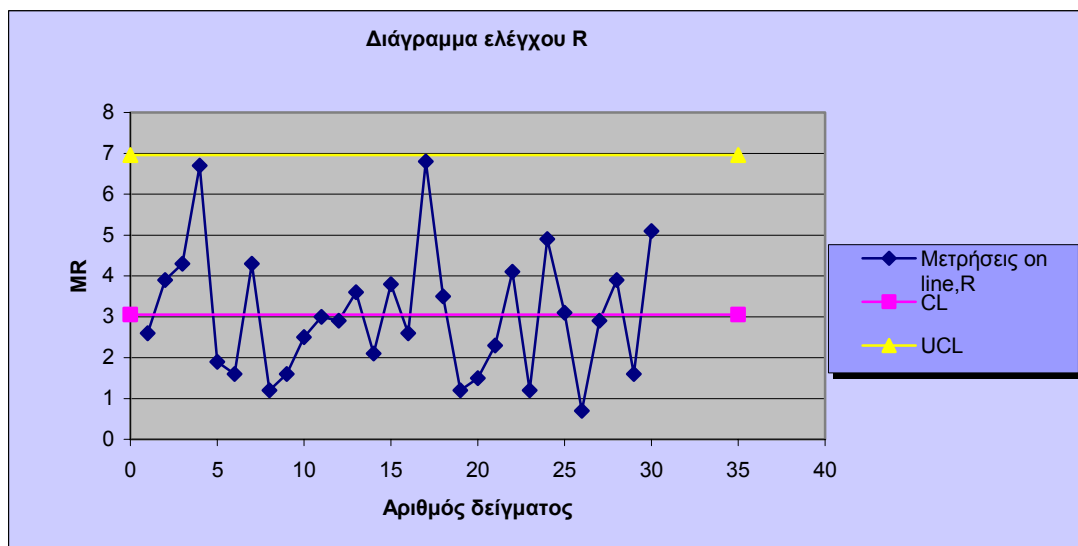
Στο διάγραμμα R 4.22 υπάρχει μία μέτρηση πάνω από το ανώτερο επιτρεπτό στατιστικό όριο ελέγχου UCL (No 7). Φαινόμενα αλμάτων παρατηρούνται και σε αυτό το διάγραμμα (No 7, 27 και 28).

Μετρήσεις on-line αναλυτή

Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} -R για δείγμα μεγέθους $n=4$



Διάγραμμα 4.23: Διάγραμμα ελέγχου \bar{x} για δείγμα μεγέθους 4 (on-line αναλυτής).



Διάγραμμα 4.24: Διάγραμμα ελέγχου R για δείγμα μεγέθους 4 (on-line αναλυτής).

Μελετώντας τα διαγράμματα \bar{x} -R 4.23 και 4.24 για τον αναλυτή παρατηρείται ότι η παραγωγική διαδικασία είναι εκτός στατιστικού ελέγχου.

Στο διάγραμμα \bar{x} 4.23 υπάρχει μία μέτρηση πάνω από το ανώτερο όριο στατιστικού ελέγχου UCL (No 17) που αγγίζει το 13.5% περιεκτικότητα σε τέφρα επί φυσικού και αποτελεί ακραία τιμή των μετρήσεων του on-line αναλυτή. Υπάρχουν όμως και μετρήσεις που βρίσκονται πολύ κοντά στο όριο ελέγχου UCL. Τέτοιες μετρήσεις είναι οι No 3 και 16. Μετρήσεις κάτω από το κατώτερο όριο στατιστικού ελέγχου LCL δεν υπάρχουν. Στο διάγραμμα αυτό υπάρχουν και άλλες εκτός ελέγχου καταστάσεις. Στο διάγραμμα αυτό διακρίνονται άλματα στις τιμές των μετρήσεων (No 17, 5 και 6). Τάσεις στα σημεία μετρήσεων No 7-12 και περιοδικότητα από την μέτρηση No 18 και μετά.

Στο διάγραμμα R 4.24 δεν υπάρχουν μετρήσεις πάνω από το ανώτερο επιτρεπτό στατιστικό όριο ελέγχου UCL. Στο διάγραμμα αυτό υπάρχουν και άλλες εκτός ελέγχου καταστάσεις. Φαινόμενα αλμάτων παρατηρούνται και σε αυτό το διάγραμμα (No 4, 7, 23, 24 και 17). Τάσεις στα σημεία μετρήσεων No 8-13 και περιοδικότητα από την μέτρηση No 13 και μετά.

4.4.2 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Σε αυτή την περίπτωση, ουσιαστικά αντί για 120 διαφορετικές μετρήσεις να αξιολογηθούν, υπάρχουν 30 διαφορετικές μετρήσεις με δείγμα μεγέθους 4. Τα στατιστικά διαγράμματα ελέγχου \bar{x} -R σε αυτή την περίπτωση έδειξαν ότι η διαδικασία παραγωγής είναι εκτός στατιστικού ελέγχου και στην περίπτωση που έχουν υπολογιστεί οι μετρήσεις του εργαστηρίου αναφοράς αλλά και στην περίπτωση των μετρήσεων που έδωσε ο on-line αναλυτής. Είναι φανερό ότι με την δημιουργία ωριαίων δειγμάτων παρατηρείται εξομάλυνση των αρχικών τιμών περιεκτικότητας σε τέφρα του εργαστηρίου και του αναλυτή. Από τις στήλες της μέσης τιμής \bar{x}_i των μετρήσεων του εργαστηρίου (Πίν. 4.25) και του αναλυτή (Πίν. 4.26) παρατηρείται ότι

οι τιμές των ωριαίων δειγμάτων κυμαίνονται από 6.98-16.35% με εύρος 9.37 και από 8.25-13.53 με εύρος 5.28 αντίστοιχα. Τα αντίστοιχα εύροι των αρχικών 120 μετρήσεων είχαν βρεθεί 14.20 και 8.10 (Πίνακας 3.2). Εμφανίζεται δηλαδή μια εξομάλυνση των μετρήσεων. Οι μέσες τιμές των μέσων εύρων \overline{MR}_i παρουσιάζονται κοντινότερα με αυτά του κινούμενου μέσου $m=4$, 4.58 με 4.46 και 2.85 με 3.05 αντίστοιχα. Το ίδιο ισχύει και για τις μέσες τιμές \bar{x}_i . Παρατηρώντας τα διαγράμματα γίνονται οι παρακάτω παρατηρήσεις. Οι εκτός στατιστικού ελέγχου τιμές στο διάγραμμα \bar{x} για δείγμα μεγέθους 4 που συμπίπτουν ή προσεγγίζουν τις τιμές εκτός ελέγχου του αναλυτή είναι οι Νο. 19, 16 και 17. Παρατηρώντας όμως προσεκτικότερα τα διαγράμματα ελέγχου διακρίνεται ότι μετρήσεις όπως οι Νο. 8 και 27 που είναι εκτός ελέγχου σύμφωνα με τα διαγράμματα ελέγχου του εργαστηρίου δεν γίνονται αντιληπτές από τον αναλυτή. Έτσι η χρήση διαγραμμάτων ελέγχου με δείγμα μεγέθους 4 μπορεί να είναι πρακτική λόγω του μεγέθους του δείγματος αλλά κρύβει κινδύνους αν χρησιμοποιηθούν μόνο τους.

Συνοπτικά τα αποτελέσματα της αξιολόγησης παρουσιάζονται στον πίνακα 4.29.

Πίνακας 4.29: Μετρήσεις εκτός των στατιστικών ορίων ελέγχου όπως προέκυψαν από τα διαγράμματα ελέγχου \bar{x} -R.

Διαγράμματα ελέγχου \bar{x}				Διαγράμματα ελέγχου R	
Άνω του UCL(εργαστήριο)	Κάτω του LCL(εργαστήριο)	Άνω του UCL (on-line)	Κάτω του LCL(on-line)	Άνω του UCL(εργαστήριο)	Άνω του UCL (on-line)
A/A (% τέφρα επί φυσικού)	A/A (% τέφρα επί φυσικού)	A/A (% τέφρα επί φυσικού)	A/A (% τέφρα επί φυσικού)	A/A	A/A
8 (14.82)	5 (7.72)	17 (13.52)	-	7	-
19 (16.35)	6 (6.97)				
27 (15.15)	12 (7.82)				
	23 (7.65)				
	29 (7.82)				

Παρατηρώντας τα διαγράμματα ελέγχου \bar{x} καμία τιμή δείγματος είτε προέρχεται από τον on-line αναλυτή είτε από το εργαστήριο δεν βρίσκεται εκτός των ορίων ελέγχου προδιαγραφών.

4.5 Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} -R μεγέθους δείγματος $n=8$

4.5.1 Κατασκευή διαγραμμάτων

Για την κατασκευή των διαγραμμάτων αυτών ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία η οποία είναι παρόμοια με την διαδικασία κατασκευής διαγραμμάτων ελέγχου \bar{x} -R μεγέθους δείγματος $n=4$.

Από τον αρχικό πίνακα 2.1 δημιουργούνται οι πίνακες 4.30 και 4.21 για τις μετρήσεις του εργαστηρίου και του on-line αναλυτή αντίστοιχα. Στους πίνακες αυτούς έχουν σημειωθεί στην πρώτη στήλη τους τα 15 δίωρα δείγματα που σχηματίστηκαν. Στις επόμενες οκτώ στήλες διακρίνονται τα αρχικά δείγματα περιεκτικότητας σε τέφρα επί φυσικού που συνετέλεσαν στην δημιουργία των δίωρων δειγμάτων. Δηλαδή οκτώ αρχικές μετρήσεις (δείγμα μεγέθους 8) δίνουν μια καινούργια, οι οκτώ επόμενες αρχικές μετρήσεις δίνουν την επόμενη καινούργια μέτρηση και ούτω καθεξής.

Η επόμενη στήλη δείχνει την περιεκτικότητα σε τέφρα επί φυσικού του δίωρου δείγματος και αποτελεί ουσιαστικά τον μέσο όρο των αρχικών δειγμάτων που το απαρτίζουν. Η τελευταία στήλη δείχνει το εύρος διακύμανσης κάθε δίωρου δείγματος. Το εύρος αυτό είναι η διαφορά της μεγαλύτερης από την μικρότερη τιμή των αρχικών δειγμάτων που απαρτίζουν το δίωρο δείγμα. Στους πίνακες φαίνονται επίσης οι μέσες τιμές της περιεκτικότητας σε τέφρα επί φυσικού των δίωρων δειγμάτων καθώς και το μέσο κινούμενο εύρος, τόσο για την περίπτωση του εργαστηρίου όσο και για την περίπτωση του on-line αναλυτή.

Με βάση τα χαρακτηριστικά (\bar{x}_i και \overline{MR}_i) και γνωρίζοντας τους συντελεστές A_2 , D_3 , D_4 και από τον πίνακα 4.1 του Μέρους Γ' εφαρμόζεται ένας αριθμός εξισώσεων για την εύρεση των ορίων ελέγχου τριών τυπικών αποκλίσεων. Η εφαρμογή των τύπων αυτών φαίνεται στους πίνακες 4.32 και 4.33 και τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα στον πίνακα 4.34.

Πίνακας 4.32: Εφαρμογή εξισώσεων για την εύρεση των ορίων ελέγχου.

Μετρήσεις Εργαστηρίου

Διάγραμμα ελέγχου για \overline{MR}			
όρια ελέγχου	τύπος	Εφαρμογή τύπου	όρια ελέγχου
CL			6.67
UCL	$D_4 \overline{MR}$	$1.864(6.67)$	12.43
LCL	$D_3 \overline{MR}$	$0.136(6.67)$	0.907
Διάγραμμα ελέγχου για \bar{x}			
CL			11.48
UCL	$\bar{x} + A_2 \overline{MR}$	$11.48 + 0.373(6.67)$	13.97
LCL	$\bar{x} - A_2 \overline{MR}$	$11.48 - 0.373(6.67)$	8.99

Πίνακας 4.33: Εφαρμογή εξισώσεων για την εύρεση των ορίων ελέγχου.

Μετρήσεις On line αναλυτή

Διάγραμμα ελέγχου για \overline{MR}			
όρια ελέγχου	τύπος	Εφαρμογή τύπου	Όρια ελέγχου
CL			4.11
UCL	$D_4 \overline{MR}$	$1.864(4.11)$	7.66
LCL	$D_3 \overline{MR}$	$0.136(4.11)$	0.56
Διάγραμμα ελέγχου για \bar{x}			
CL			10.98
UCL	$\bar{x} + A_2 \overline{MR}$	$10.98 + 0.373(4.11)$	12.51
LCL	$\bar{x} - A_2 \overline{MR}$	$10.98 - 0.373(4.11)$	9.45

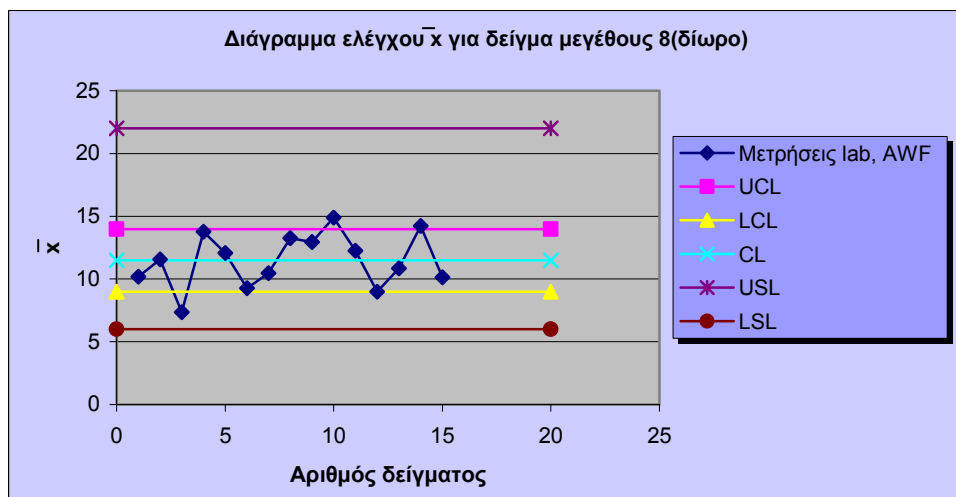
Πίνακας 4.34: Όρια στατιστικού ελέγχου διαγραμμάτων \bar{x} -R για δείγμα μεγέθους n=8.

\bar{x}	CL	UCL	LCL
Εργαστήριο	11.48	13.97	8.99
On-line αναλυτής	10.98	12.51	9.45
MR	CL	UCL	LCL
Εργαστήριο	6.67	12.43	0.91
On-line αναλυτής	4.11	7.66	0.56

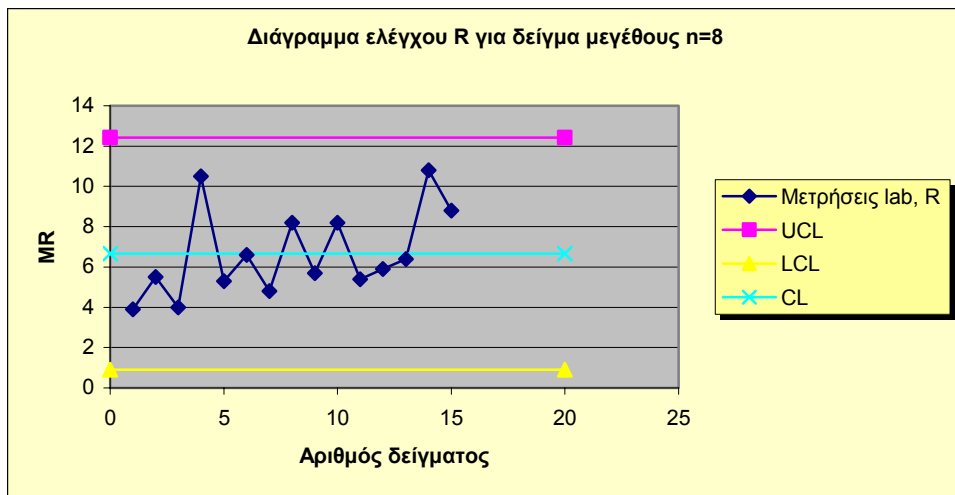
Τα διαγράμματα που κατασκευάστηκαν με βάση τα όρια ελέγχου του πίνακα 4.31 φαίνονται παρακάτω (Διαγράμματα 4.25, 4.26, 4.27 και 4.28).

Εργαστηριακές μετρήσεις

Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} -R για δείγμα μεγέθους n=8



Διάγραμμα 4.25: Διάγραμμα ελέγχου \bar{x} για δείγμα μεγέθους 8 (εργαστήριο).



Διάγραμμα 4.26: Διάγραμμα ελέγχου R για δείγμα μεγέθους 8 (εργαστήριο).

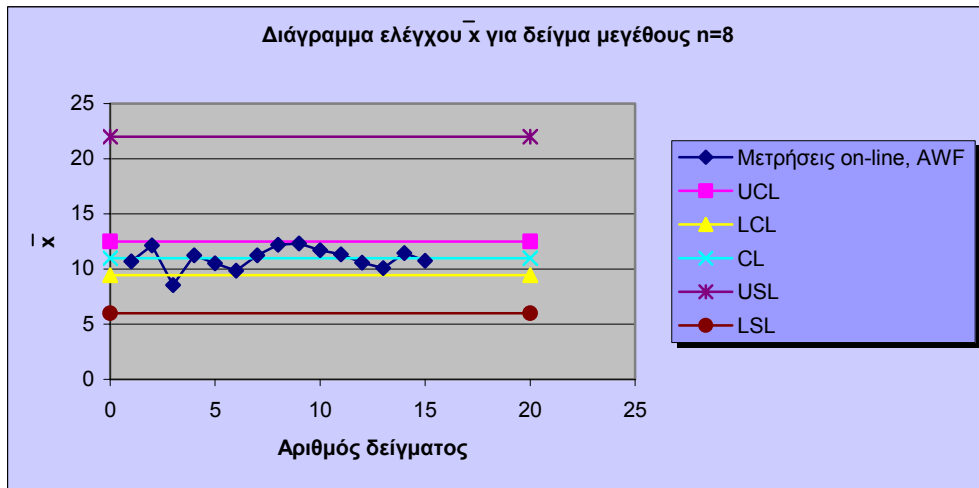
Μελετώντας τα διαγράμματα \bar{x} -R 4.25 και 4.26 για το εργαστήριο παρατηρείται ότι η παραγωγική διαδικασία είναι εκτός στατιστικού ελέγχου.

Στο διάγραμμα \bar{x} 4.25 υπάρχουν δυο μετρήσεις πάνω από το ανώτερο όριο στατιστικού ελέγχου UCL (No 10 και 14) με περιεκτικότητα σε τέφρα μεγαλύτερη από 14%. Υπάρχουν όμως και μετρήσεις που βρίσκονται πολύ κοντά στο όριο ελέγχου UCL. Τέτοιες μετρήσεις είναι οι No 4 και 8. Μετρήσεις κάτω από το κατώτερο όριο στατιστικού ελέγχου LCL υπάρχει μια (No 3). Στο διάγραμμα αυτό υπάρχουν και άλλες εκτός ελέγχου καταστάσεις. Στο διάγραμμα αυτό διακρίνονται άλματα στις τιμές των μετρήσεων (No 14). Τάσεις δεν εμφανίζονται αλλά υπάρχει περιοδικότητα.

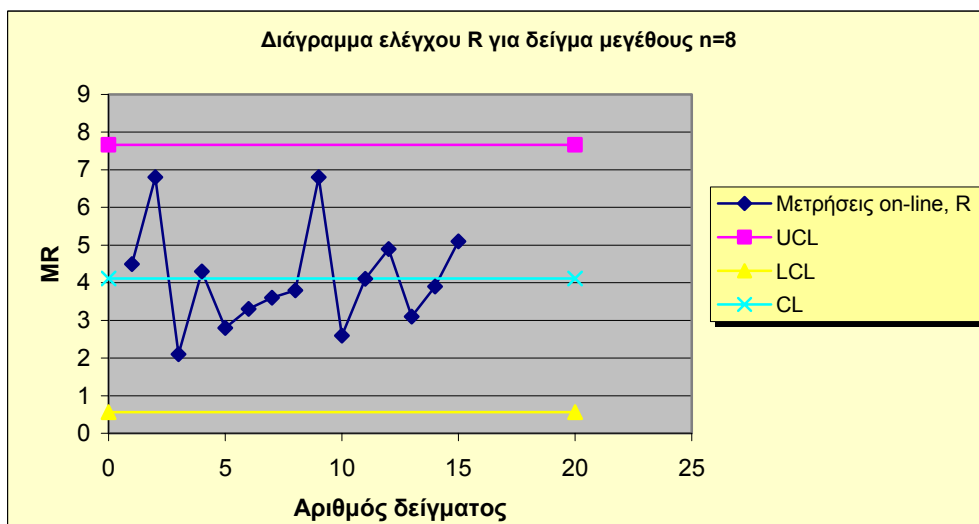
Στο διάγραμμα R 4.26 δεν υπάρχει μέτρηση πάνω από το ανώτερο επιτρεπτό στατιστικό όριο ελέγχου UCL. Φαινόμενα αλμάτων παρατηρούνται και σε αυτό το διάγραμμα (No 4 και 14). Υπάρχει περιοδικότητα μέχρι την μέτρηση No 11 ενώ στην συνέχεια εμφανίζεται τάση μέχρι και την μέτρηση No 14.

Μετρήσεις on-line αναλυτή

Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} -R για δείγμα μεγέθους $n=8$



Διάγραμμα 4.27: Διάγραμμα ελέγχου \bar{x} για δείγμα μεγέθους 4 (on-line αναλυτής).



Διάγραμμα 4.28: Διάγραμμα ελέγχου R για δείγμα μεγέθους 4 (on-line αναλυτής).

Μελετώντας τα διαγράμματα \bar{x} -R 4.27 και 4.28 για τον αναλυτή παρατηρείται ότι η παραγωγική διαδικασία είναι εκτός στατιστικού ελέγχου.

Στο διάγραμμα \bar{x} 4.27 δεν υπάρχει μέτρηση πάνω από το ανώτερο όριο στατιστικού ελέγχου UCL. Υπάρχουν όμως μετρήσεις που βρίσκονται πολύ κοντά στο όριο ελέγχου UCL. Τέτοιες μετρήσεις είναι οι Νο 2, 8 και 9. Μετρήσεις κάτω από το κατώτερο όριο στατιστικού ελέγχου LCL υπάρχει μια (Νο 3). Φαινόμενα αλμάτων παρατηρούνται και σε αυτό το διάγραμμα (Νο 3).

Στο διάγραμμα R 4.28 δεν υπάρχουν μετρήσεις πάνω από το ανώτερο επιτρεπτό στατιστικό όριο ελέγχου UCL. Στο διάγραμμα αυτό υπάρχουν άλλες εκτός ελέγχου καταστάσεις. Φαινόμενα αλμάτων παρατηρούνται και σε αυτό το διάγραμμα (Νο 2, 3 και 9). Τάσεις στα σημεία μετρήσεων Νο 5-8 και περιοδικότητα από την μέτρηση Νο 10 και μετά.

4.5.2 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Σε αυτή την περίπτωση, ουσιαστικά αντί για 120 διαφορετικές μετρήσεις να αξιολογηθούν, υπάρχουν 15 διαφορετικές μετρήσεις με δείγμα μεγέθους 8. Τα στατιστικά διαγράμματα ελέγχου \bar{x} -R σε αυτή την περίπτωση έδειξαν ότι η διαδικασία παραγωγής είναι εκτός στατιστικού ελέγχου και στην περίπτωση που έχουν υπολογιστεί οι μετρήσεις του εργαστηρίου αναφοράς αλλά και στην περίπτωση των μετρήσεων που έδωσε ο on-line αναλυτής.

Όπως και στην μελέτη των δειγμάτων μεγέθους 4 (ωριαία) έτσι και εδώ οφείλεται να γίνουν κάποιες παρατηρήσεις σχετικά με το εύρος των δώρων πλέον δειγμάτων. Είναι φανερό ότι με την δημιουργία δώρων δειγμάτων παρατηρείται εξομάλυνση των αρχικών τιμών περιεκτικότητας σε τέφρα του εργαστηρίου και του αναλυτή. Από τις στήλες της μέσης τιμής \bar{x}_i των μετρήσεων του εργαστηρίου (Πίν. 4.30) και του αναλυτή (Πίν. 4.31) παρατηρείται ότι οι τιμές των ωριαίων δειγμάτων κυμαίνονται από 7.35-14.90% με εύρος 7.55 και από 8.55-12.33 με εύρος 3.78 αντίστοιχα. Τα αντίστοιχα εύροι των αρχικών 120 μετρήσεων είχαν βρεθεί 14.20 και 8.10 (Πίνακας

3.2). Εμφανίζεται δηλαδή μια εξομάλυνση των μετρήσεων. Οι μέσες τιμές των μέσων εύρων \overline{MR}_i παρουσιάζονται κοντινότερα με αυτά του κινούμενου μέσου $m=8$, 6.67 με 6.78 και 4.11 με 4.13 αντίστοιχα. Το ίδιο ισχύει και για τις μέσες τιμές \bar{x}_i . Παρατηρώντας τα διαγράμματα γίνονται οι παρακάτω παρατηρήσεις. Οι εκτός στατιστικού ελέγχου τιμές στο διάγραμμα \bar{x} για δείγμα μεγέθους $n=8$ που προσεγγίζουν ή συμπίπτουν με τις εκτός ελέγχου τιμές του αναλυτή είναι οι μετρήσεις Νο. 3 και 8. Σε αυτή την περίπτωση, όπως και στα ωριαία δείγματα, υπάρχει κίνδυνος λανθασμένων συμπερασμάτων που μπορεί να οφείλεται ακόμα και στην εξομάλυνση των μετρήσεων. Για παράδειγμα η μέτρηση Νο. 14 δεν γίνεται αντιληπτή από τον αναλυτή ως εκτός ελέγχου μέτρηση. Πάλι όμως θα μπορούσε να γίνει δυνατή η εκμετάλλευση των διαγραμμάτων αυτών (όπως και για τα ωριαία δείγματα) υπό προϋποθέσεις.

Συνοπτικά τα αποτελέσματα της αξιολόγησης παρουσιάζονται στον πίνακα 4.32.

Πίνακας 4.32: Μετρήσεις εκτός των στατιστικών ορίων ελέγχου όπως προέκυψαν από τα διαγράμματα ελέγχου \bar{x} -R.

Διαγράμματα ελέγχου \bar{x}				Διαγράμματα ελέγχου R	
Άνω του UCL(εργαστήριο)	Κάτω του LCL(εργαστήριο)	Άνω του UCL (on-line)	Κάτω του LCL(on-line)	Άνω του UCL(εργαστήριο)	Άνω του UCL (on-line)
A/A (% τέφρα επί φυσικού)	A/A (% τέφρα επί φυσικού)	A/A (% τέφρα επί φυσικού)	A/A (% τέφρα επί φυσικού)	A/A	A/A
10 (14.90)	3 (7.55)	-	3 (8.55)	-	-
14 (14.21)					

4.6 Ικανότητα παραγωγικής διαδικασίας

Με τα διαγράμματα ελέγχου διαδικασιών ελέγχεται αν μια διεργασία είναι υπό στατιστικό έλεγχο. Προκειμένου να διαπιστωθεί αν η παραγωγική διαδικασία παράγει προϊόντα που εμπίπτουν στα προκαθορισμένα όρια των προδιαγραφών ή των απαιτήσεων είναι απαραίτητο να υπολογιστούν δείκτες της ικανότητας της

παραγωγικής διαδικασίας (process capability ratio).

4.6.1 Δείκτης C_{pk}

Ο δείκτης ικανότητας της διαδικασίας C_{pk} , ως προς την παράμετρο ποιότητας που εξετάζεται δίνεται από τη σχέση (Γαλετάκης, 2000):

$$C_{pk} = \min \left[\left(\frac{USL - m}{3\sigma} \right), \left(\frac{m - LSL}{3\sigma} \right) \right] \quad (4.1)$$

Όπου: USL (Upper Specification Limit), το ανώτερο επιτρεπτό όριο

LSL (Lower Specification Limit), το κατώτερο επιτρεπτό όριο

m είναι η μέση τιμή και

σ είναι η τυπική απόκλιση

- Αρνητικές τιμές του C_{pk} δείχνουν ότι η μέση τιμή της ποιότητας είναι εκτός των προδιαγραφών.
- Αν $C_{pk}=0$ τότε η μέση τιμή της ποιότητας ταυτίζεται με ένα από τα όρια των προδιαγραφών.
- Αν $0 < C_{pk} < 1.0$ τότε η μέση ποιότητα είναι εντός των ορίων των προδιαγραφών, αλλά ένα τμήμα της παραγωγής είναι εκτός.
- Αν $C_{pk}=1.0$ τότε ένα από τα στατιστικά όρια (UCL ή LCL) συμπίπτει με εκείνη των προδιαγραφών.
- Αν $C_{pk} > 1$ τότε η παραγωγή είναι εντός των προδιαγραφών.

Λαμβάνοντας υπόψη τον παραπάνω τύπο, τις τιμές των ορίων προδιαγραφών (πίνακας 4), τις τιμές των τυπικών αποκλίσεων και των μέσων τιμών των μετρήσεων του εργαστηρίου αναφοράς και του on-line αναλυτή οι τιμές του δείκτη ικανότητας παραγωγής C_{pk} που υπολογίστηκαν φαίνονται στον Πίνακα 4.25.

Πίνακας 4.33: Τιμές του δείκτη ικανότητας παραγωγής C_{pk} .

Τύπος Διαγράμματος Ελέγχου	Δείκτης παραγωγικής διαδικασίας, C_{pk}
— Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} -R μεμονωμένων τιμών (εργαστήριο)	0.57
— Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} -R μεμονωμένων τιμών (on-line)	0.94
— Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} -R κινούμενου μέσου m=8 (εργαστήριο)	1.07
— Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} -R κινούμενου μέσου m=8 (on-line)	1.77
— Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} -R κινούμενου μέσου m=4 (εργαστήριο)	0.74
— Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} -R κινούμενου μέσου m=4 (on-line)	1.35
— Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} -R κινούμενου μέσου m=3 (εργαστήριο)	0.70
— Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} -R κινούμενου μέσου m=3 (on-line)	1.22
— Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} -R κινούμενου μέσου m=2 (εργαστήριο)	0.64
— Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} -R κινούμενου μέσου m=2 (on-line)	1.01
— Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} -R μεγέθους δείγματος n=4 (εργαστήριο)	0.77
— Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} -R μεγέθους δείγματος n=4 (on-line)	1.47
— Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} -R μεγέθους δείγματος n=8 (εργαστήριο)	0.85
— Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} -R μεγέθους δείγματος n=8 (on-line)	1.64

Από τον παραπάνω πίνακα 4.33 γίνεται αντιληπτό ότι σύμφωνα με τις μετρήσεις του on-line αναλυτή παραγωγική διαδικασία είναι εντός των προδιαγραφών αφού ο δείκτης C_{pk} κυμαίνεται από 0.94-1.77. Οι τιμές του δείκτη C_{pk} σύμφωνα με τις μετρήσεις του εργαστηρίου κυμαίνονται από 0.57 μέχρι και 1.07. Αυτό σημαίνει ότι η μέση ποιότητα είναι εντός των προδιαγραφών αλλά ένα τμήμα της παραγωγής είναι εκτός.

4.6.2 Δείκτης C_{pm}

Τα τελευταία χρόνια έχει προταθεί και νέος δείκτης δυνατότητας παραγωγικής διαδικασίας, ο οποίος θεωρείται καταλληλότερος όταν η επιθυμητή τιμή T (T = target value) του χαρακτηριστικού ποιότητας δεν ταυτίζεται με το μέσο M του διαστήματος

προδιαγραφών. Ο δείκτης αυτός συμβολίζεται με C_{pm} και ορίζεται από τη σχέση (Ταγαράς, 2001) :

$$C_{pm} = \frac{U - L}{6\sqrt{(\mu - T)^2 + \sigma^2}} \quad (4.2)$$

Λαμβάνοντας υπόψη τον παραπάνω τύπο, τις τιμές των ορίων προδιαγραφών, τις τιμές των τυπικών αποκλίσεων των μέσων τιμών των μετρήσεων του εργαστηρίου αναφοράς και του on-line αναλυτή καθώς και την επιθυμητή τιμή T της τέφρας επί φυσικού ($T=13\%$) οι τιμές του δείκτη ικανότητας παραγωγής C_{pm} που υπολογίστηκαν φαίνονται στον Πίνακα 4.34.

Πίνακας 4.34.: Τιμές του δείκτη ικανότητας παραγωγής C_{pm} .

<i>Τύπος Διαγράμματος Ελέγχου</i>	<i>Δείκτης παραγωγικής διαδικασίας, C_{pm}</i>
— Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} -R μεμονωμένων τιμών (εργαστήριο)	0.7546
— Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} -R μεμονωμένων τιμών (on-line)	0.9978
— Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} -R κινούμενου μέσου m=8 (εργαστήριο)	1.1679
— Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} -R κινούμενου μέσου m=8 (on-line)	1.1851
— Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} -R κινούμενου μέσου m=4 (εργαστήριο)	0.9191
— Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} -R κινούμενου μέσου m=4 (on-line)	1.1219
— Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} -R κινούμενου μέσου m=3 (εργαστήριο)	0.8785
— Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} -R κινούμενου μέσου m=3 (on-line)	1.0913
— Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} -R κινούμενου μέσου m=2 (εργαστήριο)	0.8289
— Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} -R κινούμενου μέσου m=2 (on-line)	1.0574
— Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} -R μεγέθους δείγματος n=4 (εργαστήριο)	0.9443
— Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} -R μεγέθους δείγματος n=4 (on-line)	1.1521
— Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} -R μεγέθους δείγματος n=8 (εργαστήριο)	0.8421
— Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} -R μεγέθους δείγματος n=8 (on-line)	1.1808

Από τον παραπάνω πίνακα 4.34 γίνεται αντιληπτό ότι σύμφωνα με τις μετρήσεις του on-line αναλυτή παραγωγική διαδικασία είναι εντός των προδιαγραφών αφού ο δείκτης C_{pm} κυμαίνεται από 0.99-1.18. Οι τιμές του δείκτη C_{pm} σύμφωνα με τις μετρήσεις του εργαστηρίου κυμαίνονται από 0.75 μέχρι και 1.18. Αυτό σημαίνει ότι η μέση ποιότητα είναι εντός των προδιαγραφών αλλά ένα τμήμα της παραγωγής είναι εκτός.

Συγκρίνοντας τους δείκτες C_{pm} και C_{pk} ότι οι τιμές τους για τις μετρήσεις του αναλυτή είναι πάντα μεγαλύτερες από αυτές του χημικού εργαστηρίου. Αυτό μπορεί να γίνει αντιληπτό και από τα διαγράμματα ελέγχου όπου διακρίνεται ότι οι μετρήσεις του εργαστηρίου εντοπίζονται πάντα πιο κοντά στα όρια ελέγχου προδιαγραφών σε σχέση με τις τιμές του αναλυτή.

ΜΕΡΟΣ Ε΄

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

1. Συμπεράσματα

2. Προτάσεις

1. Συμπεράσματα

Από όλα όσα αναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια της παρούσας εργασίας γίνεται κατανοητό ότι ο έλεγχος της ποιότητας ενός προϊόντος κατά την παραγωγική διαδικασία είναι ιδιαίτερα σημαντικός στην προσπάθεια το προϊόν να είναι ανταγωνιστικό στα νέα πλαίσια της παγκόσμιας αγοράς. Από την διαπίστωση αυτή δεν θα μπορούσε να εξαιρεθεί ο λιγνίτης που εξορύσσεται από τα ορυχεία του Λιγνιτικού Κέντρου Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου.

Το βασικό πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπίσει η διαδικασία ελέγχου ποιότητας του παραγόμενου λιγνίτη είναι οι έντονες και με μεγάλη συχνότητα διακυμάνσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών του. Αυτό πρέπει να γίνεται έγκαιρα και με την απαιτούμενη αποτελεσματικότητα. Οι μέχρι σήμερα εφαρμοζόμενες διαδικασίες ελέγχου ποιότητας έχουν κριθεί σε πολλές περιπτώσεις ως αναποτελεσματικές εξαιτίας της ανεπαρκούς παρακολούθησης της ποιότητας του λιγνίτη που μεταφέρεται από το ορυχείο στις αυλές του ή στις αυλές των ΑΗΣ. Οι διαδικασίες αυτές στηρίζονται βασικά σε μετρήσεις της τέφρας και της θερμογόνου δύναμης από δειγματοληψίες μετώπου και από αναλύσεις ημερησίων δειγμάτων στους ΑΗΣ. Η συχνότητα των δειγματοληψιών και η ταχύτητα παροχής πληροφοριών δυσχεραίνει την εξαγωγή γρήγορων και ασφαλών συμπερασμάτων.

Ως μια λύση που θα μπορούσε να βελτιώσει σημαντικά την παρακολούθηση των διακυμάνσεων ποιότητας του παραγόμενου λιγνίτη θεωρήθηκε ότι αποτελεί η εγκατάσταση on-line αναλυτών στους ταινιόδρους μεταφοράς. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας αξιολογήθηκε καταρχήν η πιστότητα των μετρήσεων του on-line αναλυτή που τοποθετήθηκε δοκιμαστικά. Η αξιολόγηση βασίστηκε στην αντιπαραβολή των μετρήσεων του αναλυτή με μετρήσεις που ελήφθησαν για τα ίδια δείγματα από φυσικοχημικό εργαστήριο. Εν συνεχεία χρησιμοποιώντας βασικά εργαλεία του στατιστικού ελέγχου παραγωγικής διαδικασίας, διαγράμματα Shewhart, στόχος ήταν να εξεταστεί, με βάση τα στοιχεία που προέκυψαν, αν η παραγωγική διαδικασία βρίσκεται υπό στατιστικό έλεγχο. Ελέγχεται η παραγωγική διαδικασία ξεχωριστά τόσο με βάση τις τιμές του αναλυτή όσο και τις τιμές του εργαστηρίου. Στην συνέχεια συγκρίνοντας τα αποτελέσματα αξιολογείται, αν χρησιμοποιώντας

μεμονωμένα τον συγκεκριμένο on-line αναλυτή μπορούμε να οδηγηθούμε σε ασφαλή συμπεράσματα όσον αφορά τον στατιστικό έλεγχο παραγωγικής διαδικασίας. Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης αυτής φαίνονται στις παρακάτω παραγράφους.

Πιστότητα μετρήσεων on-line αναλυτή

Η εύρεση των χαρακτηριστικών παραμέτρων των μετρήσεων του on-line αναλυτή και του εργαστηρίου και η εφαρμογή περισσότερο σύνθετων μεθόδων όπως: ο συντελεστής συσχέτισης, ο συντελεστής κύρτωσης, η σύγκριση των διακυμάνσεων (F-test), οι μέθοδοι γραφικής ανάλυσης και οι κατανομές των μετρήσεων οδήγησαν στα εξής συμπεράσματα όσον αφορά την πιστότητα των μετρήσεων του on-line αναλυτή.

- Η συσχέτιση μεταξύ των μετρήσεων του on-line αναλυτή και του φυσικοχημικού εργαστηρίου κάτω από τις συγκεκριμένες συνθήκες διεξαγωγής των δοκιμών δεν είναι ικανοποιητική.
- Το εύρος των μετρήσεων του on-line αναλυτή είναι περιορισμένο σε σύγκριση με το εύρος των μετρήσεων του εργαστηρίου αναφοράς.
- Σύμφωνα με τις ενδείξεις που υπάρχουν, από στοιχεία κοιτασματολογικών ερευνών και από την ιδιαιτερότητα της περιοχής τα αίτια στα οποία οφείλεται η αδυναμία του on-line αναλυτή να δώσει ικανοποιητικές μετρήσεις πολύ πιθανό να είναι τα εξής:
 - ⇒ Η συχνά μεταβαλλόμενη ορυκτολογική σύσταση της ανόργανης ύλης του λιγνίτη η οποία δημιουργεί προβλήματα στην βαθμονόμηση του οργάνου. Η ύπαρξη αργιλικών ή μαργαϊκών υλικών στον εξορυσσόμενο λιγνίτη προκαλεί σημαντικές διαφοροποιήσεις στην περιεκτικότητα του τελευταίου σε ασβέστιο και το οποίο καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την απορρόφηση της ακτινοβολίας γ.
 - ⇒ Δυσκολία στην ύπαρξη και εφαρμογή πολλαπλών βαθμονομήσεων του on-line αναλυτή από τις οποίες θα επιλέγεται η καλύτερη εξαιτίας της φύσης και της στρωματογραφίας του συγκεκριμένου λιγνιτικού κοιτάσματος.

Στατιστικός έλεγχος παραγωγικής διαδικασίας

Όσον αφορά τον στατιστικό έλεγχο της παραγωγικής διαδικασίας με την χρήση των διαγραμμάτων ελέγχου \bar{x} -R για μεμονωμένες τιμές, \bar{x} -R κινούμενου μέσου (για $m=2, m=3, m=4$ και $m=8$) και \bar{x} -R με μέγεθος δείγματος $n=4$ (ωριαίο) και $n=8$, η αξιολόγηση τους οδήγησε στα εξής συμπεράσματα:

- Σύμφωνα με τον στατιστικό έλεγχο που διενεργήθηκε με βάση τις μετρήσεις του εργαστηρίου όσο και του on-line αναλυτή η παραγωγική διαδικασία ήταν εκτός στατιστικού ελέγχου. Το ίδιο αποτέλεσμα ίσχυσε χρησιμοποιώντας και τους τρεις τύπους διαγραμμάτων ελέγχου.

⇒ Ο αριθμός των εκτός στατιστικού ελέγχου δειγμάτων των εργαστηριακών μετρήσεων και του on-line αναλυτή στα διαγράμματα \bar{x} που εξετάστηκαν φαίνονται στον παρακάτω πίνακα 1. Στον ίδιο πίνακα φαίνονται και τα δείγματα που εκτός των ορίων προδιαγραφών.

Πίνακας 1: Δείγματα εκτός στατιστικού ελέγχου στα διαγράμματα \bar{x} .

Τύπος Διαγράμματος Ελέγχου	Αριθμός δειγμάτων			
	Άνω του UCL	Κάτω του LCL	Άνω του USL	Κάτω του LSL
Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} μεμονωμένων τιμών (εργαστήριο)	8	0	0	0
Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} μεμονωμένων τιμών (on-line)	5	0	0	0
Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} κινούμενου μέσου $m=4$ (εργαστήριο)	12	14	0	0
Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} κινούμενου μέσου $m=4$ (on-line)	6	6	0	0
Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} κινούμενου μέσου $m=3$ (εργαστήριο)	11	14	0	0
Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} κινούμενου μέσου $m=3$ (on-line)	5	5	0	0
Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} κινούμενου μέσου $m=2$ (εργαστήριο)	10	15	0	0
Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} κινούμενου μέσου $m=2$ (on-line)	7	3	0	0
Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} κινούμενου μέσου $m=8$ (εργαστήριο)	20	15	0	0
Διαγράμματα ελέγχου \bar{x} κινούμενου μέσου $m=8$ (on-line)	6	6	0	0

⇒

Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} μεγέθους δείγματος n=4 (εργαστήριο)	3	5	0	0
Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} μεγέθους δείγματος n=4 (on-line)	1	0	0	0
Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} μεγέθους δείγματος n=8 (εργαστήριο)	3	5	0	0
Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} μεγέθους δείγματος n=8 (on-line)	1	0	0	0

⇒ Ο αριθμός των εκτός στατιστικού ελέγχου δειγμάτων των εργαστηριακών μετρήσεων και του on-line αναλυτή στα διαγράμματα R που εξετάστηκαν φαίνονται στον παρακάτω πίνακα 2.

Πίνακας 2: Δείγματα εκτός στατιστικού ελέγχου στα διαγράμματα R.

Τύπος Διαγράμματος Ελέγχου	Αριθμός δειγμάτων
	Άνω του UCL
Διαγράμματα ελέγχου R μεμονωμένων τιμών (εργαστήριο)	3
Διαγράμματα ελέγχου R μεμονωμένων τιμών (on-line)	3
Διαγράμματα ελέγχου R κινούμενου μέσου m=4 (εργαστήριο)	3
Διαγράμματα ελέγχου R κινούμενου μέσου m=4 (on-line)	3
Διαγράμματα ελέγχου R κινούμενου μέσου m=3 (εργαστήριο)	5
Διαγράμματα ελέγχου R κινούμενου μέσου m=3 (on-line)	2
Διαγράμματα ελέγχου R κινούμενου μέσου m=2 (εργαστήριο)	3
Διαγράμματα ελέγχου R κινούμενου μέσου m=2 (on-line)	3
Διαγράμματα ελέγχου R κινούμενου μέσου m=8 (εργαστήριο)	7
Διαγράμματα ελέγχου R κινούμενου μέσου m=8 (on-line)	0
Διαγράμματα ελέγχου R μεγέθους δείγματος n=4 (εργαστήριο)	1
Διαγράμματα ελέγχου R μεγέθους δείγματος n=4 (on-line)	0
Διαγράμματα ελέγχου R μεγέθους δείγματος n=8 (εργαστήριο)	1
Διαγράμματα ελέγχου R μεγέθους δείγματος n=8 (on-line)	0

⇒ Στον πίνακα 3 καταγράφονται άλλες εκτός ελέγχου καταστάσεις που παρατηρήθηκαν κατά την αξιολόγηση των διαγραμμάτων ελέγχου \bar{x} .

Πίνακας 3: Εκτός στατιστικού ελέγχου καταστάσεις διαγραμμάτων ελέγχου \bar{X} .

Τύπος Διαγράμματος Ελέγχου	τάσεις	περιοδικό τητες	7 σημεία πάνω ή κάτω από την CL	Άλματα
Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} μεμονωμένων τιμών (εργαστήριο)	✗	✗	✓	✓
Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} μεμονωμένων τιμών (on-line)	✗	✗	✓	✓
Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} κινούμενου μέσου m=4 (εργαστήριο)	✗	✗	✓	✗
Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} κινούμενου μέσου m=4 (on-line)	✗	✓	✓	✗
Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} κινούμενου μέσου m=3 (εργαστήριο)	✗	✗	✓	✗
Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} κινούμενου μέσου m=3 (on-line)	✗	✗	✓	✗
Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} κινούμενου μέσου m=2 (εργαστήριο)	✗	✗	✓	✗
Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} κινούμενου μέσου m=2 (on-line)	✓	✗	✗	✓
Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} κινούμενου μέσου m=8 (εργαστήριο)	✗	✓	✓	✗
Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} κινούμενου μέσου m=8 (on-line)	✗	✓	✓	✓
Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} μεγέθους δείγματος n=4 (εργαστήριο)	✗	✗	✓	✓
Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} μεγέθους δείγματος n=4 (on-line)	✓	✓	✗	✓
Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} μεγέθους δείγματος n=8 (εργαστήριο)	✗	✗	✓	✓
Διαγράμματα ελέγχου \bar{X} μεγέθους δείγματος n=8 (on-line)	✓	✓	✗	✓

✓ εμφάνιση ✗ μη εμφάνιση

⇒ Στον πίνακα 4 καταγράφονται άλλες εκτός ελέγχου καταστάσεις που παρατηρήθηκαν κατά την αξιολόγηση των διαγραμμάτων ελέγχου R.

Πίνακας 4: Εκτός στατιστικού ελέγχου καταστάσεις διαγραμμάτων ελέγχου R.

Τύπος Διαγράμματος Ελέγχου	τάσεις	περιοδικό τητες	7 σημεία πάνω ή κάτω από την CL	Άλματα
Διαγράμματα ελέγχου R μεμονωμένων τιμών (εργαστήριο)	✗	✗	✗	✓
Διαγράμματα ελέγχου R μεμονωμένων τιμών (on-line)	✗	✗	✓	✓
Διαγράμματα ελέγχου R κινούμενου μέσου m=4 (εργαστήριο)	✗	✗	✓	✓
Διαγράμματα ελέγχου R κινούμενου μέσου m=4 (on-line)	✗	✗	✓	✓
Διαγράμματα ελέγχου R κινούμενου μέσου m=3 (εργαστήριο)	✗	✗	✓	✓
Διαγράμματα ελέγχου R κινούμενου μέσου m=3 (on-line)	✗	✗	✓	✓
Διαγράμματα ελέγχου R κινούμενου μέσου m=2 (εργαστήριο)	✗	✓	✗	✓
Διαγράμματα ελέγχου R κινούμενου μέσου m=2 (on-line)	✗	✗	✓	✓

⇒

Διαγράμματα ελέγχου R κινούμενου μέσου m=8 (εργαστήριο)	✗	✗	✓	✓
Διαγράμματα ελέγχου R κινούμενου μέσου m=8 (on-line)	✗	✗	✓	✓
Διαγράμματα ελέγχου R μεγέθους δείγματος n=4 (εργαστήριο)	✗	✓	✗	✓
Διαγράμματα ελέγχου R μεγέθους δείγματος n=4 (on-line)	✓	✓	✗	✓
Διαγράμματα ελέγχου R μεγέθους δείγματος n=8 (εργαστήριο)	✗	✗	✗	✓
Διαγράμματα ελέγχου R μεγέθους δείγματος n=8 (on-line)	✓	✓	✗	✓

✓ εμφάνιση ✗ μη εμφάνιση

- Παρατηρείται ότι σε όλα τα διαγράμματα ελέγχου \bar{x} -R που εξετάστηκαν, υπάρχουν εργαστηριακές μετρήσεις που βρίσκονται εκτός στατιστικού ελέγχου οι οποίες δεν εντοπίστηκαν με τις μετρήσεις του αναλυτή (Πίνακες 1 και 2).
- Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των διαγραμμάτων ελέγχου \bar{x} -R δεν είναι απολύτως σίγουρο, ότι χρησιμοποιώντας μεμονωμένα τον συγκεκριμένο on-line αναλυτή μπορούμε να οδηγηθούμε σε ασφαλή συμπεράσματα όσον αφορά τον στατιστικό έλεγχο παραγωγικής διαδικασίας. Αυτό πιθανότατα οφείλεται και στην μη απόλυτη πιστότητα των μετρήσεων του αναλυτή σε σχέση με τις αντίστοιχες μετρήσεις του εργαστηρίου.
- Αποδεικνύεται ότι για μεμονωμένες τιμές των μετρήσεων ο στατιστικός έλεγχος γενικά κρίνεται ανεπαρκής. Δεν υπάρχουν κοινές μετρήσεις εκτός ελέγχου για το εργαστήριο και τον on-line αναλυτή αλλά ούτε καν ανήκουν σε παραπλήσιες ομάδες μετρήσεων.
- Τα διαγράμματα ελέγχου \bar{x} -R κινητού μέσου για τον on-line αναλυτή που εντοπίζουν τις περισσότερες εκτός ελέγχου καταστάσεις αποδείχθηκε ότι είναι αυτά του κινητού μέσου m=4.
- Θα μπορούσε να γίνει δυνατή η εκμετάλλευση διαγραμμάτων ελέγχου για δείγματα μεγέθους 4 (ωριαία) και 8 (δύωρα) υπό προϋποθέσεις. Είναι φανερό ότι με την δημιουργία ωριαίων και δύορων δειγμάτων παρατηρείται εξομάλυνση των αρχικών τιμών περιεκτικότητας σε τέφρα του εργαστηρίου και του αναλυτή. Η χρήση διαγραμμάτων ελέγχου με δείγμα μεγέθους 4 και 8 μπορεί να είναι πρακτική λόγω του μεγέθους του δείγματος αλλά κρύβει κινδύνους αν χρησιμοποιηθούν μόνο τους και αυτό γιατί όπως έδειξε η αξιολόγηση των δειγμάτων του αναλυτή κάποιες εκτός ελέγχου μετρήσεις δεν εντοπίστηκαν. Όμως μπορούν σε γενικές γραμμές και αν οι απαιτήσεις δεν είναι μεγάλες να εντοπίσουν σε ικανοποιητικό βαθμό τις εκτός ελέγχου καταστάσεις και

συστηματικά σφάλματα που μεταβάλουν την μέση τιμή και την διασπορά τιμών των δειγμάτων

Ικανότητα παραγωγικής διαδικασίας

- Λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές των δεικτών ικανότητας παραγωγής που υπολογίστηκαν, C_{pk} και C_{pm} οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι η μέση ποιότητα είναι εντός των ορίων των προδιαγραφών, αλλά ένα τμήμα της παραγωγής είναι εκτός με βάση τις εργαστηριακές μετρήσεις και εντός των ορίων των προδιαγραφών με βάση τις μετρήσεις του on-line αναλυτή. Πρέπει να τονιστεί για μια ακόμη φορά ότι οι δείκτες αυτοί από μόνοι τους δεν προσφέρονται για απολύτως ασφαλή συμπεράσματα.
- Παρατηρώντας τα διαγράμματα ελέγχου \bar{x} καμία τιμή δείγματος είτε προέρχεται από τον on-line αναλυτή είτε από το εργαστήριο δεν βρίσκεται εκτός των ορίων ελέγχου προδιαγραφών.

2. Προτάσεις

Από τα επιμέρους συμπεράσματα που παρατέθηκαν παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι η χρήση on-line αναλυτών ελέγχου ποιότητας σε συνδυασμό με την χρήση διαγραμμάτων ελέγχου της παραγωγικής διαδικασίας θα μπορούσε να αποδειχθεί ιδιαίτερα χρήσιμη για την λειτουργία του ΛΚΠ-Α. για να γίνει όμως αυτό εφικτό θα πρέπει να ξεπεραστούν τα προβλήματα που προαναφέρθηκαν σχετικά με την πιστότητα του on-line αναλυτή και την ακρίβεια των διαγραμμάτων ελέγχου.

Προτείνεται:

- ⇒ Η ανάπτυξη ενός αξιόπιστου μοντέλου αποτύπωσης των διακυμάνσεων των ποιοτικών χαρακτηριστικών του λιγνίτη ώστε να γίνει εφικτή η επιλογή μεταξύ διαφορετικών βαθμονομήσεων του on-line αναλυτή που αντιστοιχεί στην ανάλογη ορυκτολογική σύσταση.
- ⇒ Διερεύνηση της επίδρασης της μεταβολής της σύστασης του ανόργανου μέρους των λιγνιτών στην ακρίβεια του on-line αναλυτή.
- ⇒ Δοκιμή άλλου τύπου on-line αναλυτή αν κριθεί αναγκαίο και οικονομικά εφικτό.
- ⇒ Βελτιστοποίηση των μεθόδων δειγματοληψίας ώστε τα δείγματα προς ανάλυση να είναι πλέον αντιπροσωπευτικά.
- ⇒ Ταυτόχρονα με την μέτρηση της περιεκτικότητας σε τέφρα επί φυσικού να μετράται και άλλη μια παράμετρος ποιότητας του παραγόμενου λιγνίτη. Τότε θα είναι δυνατή η χρησιμοποίηση διαγραμμάτων ελέγχου ποιότητας πολλαπλών μεταβλητών, όπως τα διαγράμματα Hotelling, που κρίνονται ιδιαίτερα αποτελεσματικά.
- ⇒ Αν κριθεί αναγκαία η χρήση του συγκεκριμένου on-line αναλυτή η βέλτιστη λύση θα ήταν ο στατιστικός έλεγχος ποιότητας με χρήση διαγραμμάτων ελέγχου \bar{x} -R με δείγμα μεγέθους 4 (ωριαίο δείγμα) ή δείγμα μεγέθους 8 (δίωρο δείγμα), ανάλογα με τις ανάγκες παραγωγής και παρακολούθησης της ποιότητας, σε συνδυασμό με τη χρήση των αντίστοιχων διαγραμμάτων ελέγχου \bar{x} -R κινητού μέσου $m=4$ ή 8 για τον εντοπισμό επιμέρους καταστάσεων εκτός ελέγχου που θα πρέπει να αξιολογηθούν.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Aft, L., (1998), *Fundamentals of Industrial Quality Control*.
2. Bachmann, C., (1999), *Radiometric Ash Monitor with Iron Compensation*, International Workshop on Dissemination of New Technologies for Coal Quality Control and Homogenization, Athens-Sept 30 & Oct 1,1999.
3. Bachmann, C., Klein A., Ritter A., (1999), *X Ray Fluorescence Based Online Analysis of Coal and Coal Products*, International Workshop on Dissemination of New Technologies for Coal Quality Control and Homogenization, Athens-Sept 30 & Oct 1,1999.
4. Besterfield, D., (1990), *Quality Control*.
5. Bissell, D., (1994), *Statistical Methods for SPC and TQM*.
6. Ganguli, R., (2001), *A critical review of on-line quality analyzers*, Mineral Resources Engineering, Vol. 10, No 4, pp. 435-444.
7. Garrity, S., (1993), *Basic Quality Improvement*.
8. Hofmann, Faber, Päßgen, (1999), *On-line Determination of Lignite Quality in Rheinbraun Opencast Mines*, International Workshop on Dissemination of New Technologies for Coal Quality Control and Homogenization, Athens-Sept 30 & Oct 1,1999.
9. König, R., (1999), *Concept and Performance of SOLAS-type On-Line Analyzers for Sulfur and Ash-Constituents*, International Workshop on Dissemination of New Technologies for Coal Quality Control and Homogenization, Athens-Sept 30 & Oct 1,1999.

10. Lock, D., (1994), *Handbook of Quality management*.
11. Michaelides, X., (1999), *Successful on line physical and chemical analysis of coal*, International Workshop on Dissemination of New Technologies for Coal Quality Control and Homogenization, Athens-Sept 30 & Oct 1,1999.
12. Montgomery, D., (1997), *Introduction to Statistical Quality Control*.
13. Sikora, T., Czerw B., Kryca M., (1999), *The natural gamma technique for on-line coal quality monitoring - three years experience in Poland*, International Workshop on Dissemination of New Technologies for Coal Quality Control and Homogenization, Athens-Sept 30 & Oct 1,1999.
14. Storer, P., Rockomanovic P. and Smith K., (1999), *On-line Analysis of Lignite using Prompt Gamma Neutron Activation, Natural Gamma Radiation or Dual Energy Gamma Transmission*, International Workshop on Dissemination of New Technologies for Coal Quality Control and Homogenization, Athens-Sept 30 & Oct 1,1999.
15. Taylor, P., (1999), *On-line Ash Monitoring with the Natural Gamma Coal Quality Monitor (NGCQM) - A Description and a Case Study*, International Workshop on Dissemination of New Technologies for Coal Quality Control and Homogenization, Athens-Sept 30 & Oct 1,1999.
16. Γαλετάκης, Μ., (2000), *Έλεγχος Ποιότητας Ορυκτών Πρώτων Υλών*, Σημειώσεις του Μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης – Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.
17. Γαλετάκης, Μ., (2001), *Εφαρμογή διαγραμμάτων ελέγχου Hotelling, στο λιγνιτωρυχείο του Νοτίου Πεδίου της Πτολεμαΐδας*, Ορυκτός Πλούτος / Mineral Wealth 119, pp.35-43.
18. Δερβιτσιώτης, Κ., (1993), *Διοίκηση Ολικής Ποιότητας*.
19. Ταγαράς, Γ., (2001), *Στατιστικός Έλεγχος Ποιότητας*.

20. Παυλουδάκης, Φ., (2001), *Ανάπτυξη Συστήματος Αυτοματοποιημένου Ποιοτικού Ελέγχου και Ομογενοποίησης του Λιγνίτη σε Πολυστρωματικά Κοιτάσματα*, Διδακτορική Διατριβή (Πολυτεχνείο Κρήτης).
21. Πανάρετος, Ι., Ξεκαλάκη Ε., (1997), *Εισαγωγή στη Στατιστική Σκέψη*, Τόμος 1 (Περιγραφική Στατιστική).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α΄

Οι προσεγγίσεις των Deming, Juran και Crosby για την ποιότητα

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β΄

Διαγράμματα ελέγχου ιδιοτήτων

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α΄

ΟΙ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΤΩΝ DEMING, JURAN ΚΑΙ CROSBY

Στο παράρτημα αυτό αναφέρονται οι θέσεις μερικών σημαντικών εκπροσώπων της σύγχρονης προσέγγισης στην έννοια της ποιότητας. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι βασικές απόψεις τριών γνωστών Αμερικανών επιστημόνων που οι ιδέες τους επηρέασαν βαθύτατα την επιστημονική σκέψη και άνοιξαν δρόμους για νέες εφαρμογές.

1. Η συμβολή του Deming

Ο Αμερικανός **W. Edwards Deming** ξεκίνησε την σταδιοδρομία του από την επιστήμη της στατιστικής, όμως εξελίχθηκε σε ένα από τους σημαντικότερους δασκάλους στη διοίκηση ολικής ποιότητας. Θεωρείται ο πρωτοπόρος της Ιαπωνικής επανάστασης στο τομέα της ποιότητας με τις διαλέξεις τους στα 1950.

Ο **Deming** θεωρούσε ότι η ανώτερη διοίκηση θα έπρεπε να εστιάσει στην συνεχή βελτίωση των προϊόντων και των υπηρεσιών με σκοπό τη ικανοποίηση των πελατών και την υπεροχή έναντι του ανταγωνισμού. Θα έπρεπε να ενθαρρύνει τη συνεργασία μεταξύ των τμημάτων της επιχείρησης και να παρέχει συνεχή εκπαίδευση και τα απαραίτητα μέσα στους εργαζομένους για τη βελτίωση της ποιότητας. Επειδή η διοίκηση ήταν κατά 85% υπεύθυνη για την εμφάνιση προβλημάτων που είχαν σχέση με τη ποιότητα θα έπρεπε να αναλάβει πρωτοβουλίες για την αλλαγή των διαδικασιών που ήταν υπεύθυνες για την εμφάνιση αυτών των προβλημάτων.

Ο **Deming** έδωσε έμφαση σε δύο χαρακτηριστικά στη αντίληψη του περί ποιότητας :

- Στην αλλαγή των κοινών αιτίων (common causes) που είναι συστηματικές και οφείλονται σε κακό σχεδιασμό και φτωχό εξοπλισμό

- Στην αλλαγή των ειδικών αιτίων (special causes) που προκαλούν ανεπιθύμητες διακυμάνσεις στο σύστημα και οφείλονται σε έλλειψη ικανοτήτων και απροσεξία των εργαζομένων.

Οι κοινές αιτίες είναι ευθύνη της διοίκησης και οι ειδικές αιτίες ευθύνη των εργαζομένων. Ο **Deming** πρότεινε τον στατιστικό έλεγχο ποιότητας για τη διάκριση ανάμεσα στις κοινές και ειδικές αιτίες και για το περιορισμό των διακυμάνσεων που θα οδηγούσαν σε μεγαλύτερη ικανοποίηση των πελατών.

Συνοπτικά, η φιλοσοφία του **Deming** για αποτελεσματική διοίκηση με συνεχή βελτίωση ποιότητας εκφράζεται από 14 κανόνες :

- Δημιουργία σταθερών στόχων για τη βελτίωση προϊόντων και υπηρεσιών με σκοπό την μακροχρόνια ανάπτυξη.
- Υιοθέτηση της νέας φιλοσοφίας που δεν επιτρέπει την αποδοχή σφαλμάτων ή ελαττωματικών προϊόντων.
- Διακοπή της εξάρτησης από την διασφάλιση ποιότητας με μαζικό έλεγχο της παραγωγής και υιοθέτηση στατιστικών μεθόδων ελέγχου και βελτίωσης της ποιότητας.
- Κατάργηση της πρακτικής για την επιλογή προμηθευτών με κριτήριο μόνο τη τιμή. Οι επιχειρήσεις θα πρέπει να συνεργάζονται με λιγότερους προμηθευτές που καλύπτουν τις απαιτήσεις σε ποιότητα.
- Σταθερή και συνεχής βελτίωση των συστημάτων παραγωγής και παροχής υπηρεσιών για την αύξηση της παραγωγικότητας και τη μείωση του κόστους.
- Καθιέρωση σύγχρονων εκπαιδευτικών προγραμμάτων για την ποιότητα στον χώρο εργασίας για όλους τους εργαζομένους.
- Καθιέρωση σύγχρονων μεθόδων ηγεσίας για την καλύτερη εκτέλεση των διαφόρων εργασιών.
- Απομάκρυνση του φόβου που μπορεί να έχουν οι εργαζόμενοι και ενθάρρυνση επικοινωνίας τους με την διοίκηση.
- Κατάργηση των εμποδίων μεταξύ διαφορετικών τμημάτων. Ενθάρρυνση της ομαδικής εργασίας και αντιμετώπισης προβλημάτων.
- Κατάργηση ποσοτικών στόχων για τους εργαζομένους.
- Κατάργηση προτύπων χρόνων εργασίας και σκοπών που δυσχεραίνουν την ποιότητα και αντικατάσταση τους από συνεχή βελτίωση των συνθηκών εργασίας.

- Απομάκρυνση εμποδίων, όπως κακών μεθόδων παραγωγής, που στερούν από τους εργαζόμενους τη δυνατότητα να είναι υπερήφανοι για τη δουλεία τους,
- Καθιέρωση της συνεχούς εκπαίδευσης και αυτοβελτίωσης του προσωπικού με σκοπό την αύξηση της παραγωγικότητας.
- Συμμετοχή όλων για την καθημερινή υλοποίηση των 13 παραπάνω σημείων.

Η παραπάνω προσέγγιση του **Deming** έχει κριθεί ότι βοήθησε την Ιαπωνία να βελτιώσει την ποιότητα των προϊόντων της και να καταστεί μια από τις τρεις μεγαλύτερες οικονομικές δυνάμεις της εποχής.

2. Η συμβολή του Juran

Η συμβολή του **Joseph Juran** στην θεμελίωση και ανάπτυξη της Διοίκησης ολικής ποιότητας είναι επίσης σημαντική. Και αυτός συνέβαλε στην βελτίωση της ποιότητας των ιαπωνικών προϊόντων όπως ο **Deming**.

Ο **Juran** διατύπωσε την άποψη ότι η διοίκηση ολικής ποιότητας μπορεί να εξεταστεί ως ένα σύνολο λειτουργιών για τη ποιότητα ανάλογο με αυτό που υπάρχει για άλλες επιχειρηματικές δραστηριότητες. Η τριλογία του **Juran** αναφέρεται στις λειτουργίες του σχεδιασμού (planning), ελέγχου (control) και βελτίωσης ποιότητας (improvement). Το αρχικό στάδιο είναι ο σχεδιασμός ποιότητας. Είναι η διαδικασία στην οποία καθορίζονται οι στόχοι. Στη συνέχεια η ευθύνη για την επίτευξη των στόχων περνά στους εργαζόμενους που πρέπει να αποδώσουν με την μεγαλύτερη δυνατή αποτελεσματικότητα. Πολλές φορές, στη φάση του σχεδιασμού εμφανίζονται ελλείψεις που μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα. Τότε θα πρέπει να υπάρχει κάποιος έλεγχος ώστε να εντοπιστούν αυτές οι ανεπάρκειες και να αντιμετωπιστούν έγκυρα. Με τη τελευταία λειτουργία, που είναι αρμοδιότητα της ανώτερης διοίκησης, επιχειρείται να βελτιωθεί το επίπεδο της ποιότητας και θεωρείται συμπληρωματική του ελέγχου ποιότητας.

Μια σύντομη περιγραφή αυτής της διαδικασίας παρουσιάζεται στο παρακάτω πίνακα:

Βασικές διαδικασίες ποιότητας

Σχεδιασμός ποιότητας

Αναγνώριση των εσωτερικών και εξωτερικών πελατών.

Διάκριση των αναγκών των πελατών.

Ανάπτυξη διαδικασιών που ανταποκρίνονται στις ανάγκες αυτές

Καθορισμός ποιοτικών στόχων που ανταποκρίνονται στις ανάγκες των πελατών με το ελάχιστο δυνατό κόστος.

Απόδειξη ότι οι στόχοι είναι επιτεύξιμοι κάτω από πραγματικές συνθήκες.

Έλεγχος ποιότητας

Επιλογή των διαδικασιών που θα ελεγχθούν.

Επιλογή μονάδων μέτρησης.

Καθορισμός προτύπων ποιότητας

Πραγματοποίηση μετρήσεων.

Σύγκριση μετρήσεων με πρότυπα.

Μελέτη των αποκλίσεων.

Βελτίωση ποιότητας

Απόδειξη της ανάγκης πραγματοποίησης βελτιώσεων.

Καθορισμός διαδικασιών που θα πρέπει να βελτιωθούν.

Διάγνωση των αιτίων που προκαλούν προβλήματα.

Πραγματοποίηση αλλαγών.

Απόδειξη ότι οι αλλαγές μπορούν να υλοποιηθούν.

Μια άλλη σημαντική συμβολή του **Juran** είναι η αποδοχή του κόστους ποιότητας ως βασικού δείκτη του επιπέδου ποιότητας που έχει μια επιχείρηση και το μέγεθος των βελτιώσεων που επιτυγχάνει με τη μείωση του. Αναλυτικά, στο κόστος ποιότητας θα γίνει αναφορά σε επόμενο κεφάλαιο. Τέλος, ο **Juran**, όπως και ο **Deming**, θεωρεί ότι η ανώτατη διοίκηση είναι βασική προϋπόθεση για την ανάπτυξη και αποτελεσματική εφαρμογή της διοίκησης ολικής ποιότητας.

3. Η συμβολή του Crosby

Μεγάλη επιρροή στην ανάπτυξη της Διοίκησης ολικής ποιότητας έχει ασκήσει και ο αμερικανός **Philip B. Crosby**. Εργάστηκε σε πολλές εταιρίες ως υπεύθυνος ποιότητας και δημιούργησε το δικό του ίδρυμα ποιότητας. Ο **Crosby** απευθύνθηκε στην ανώτατη διοίκηση και επιχείρησε να αλλάξει την νοοτροπία που επικρατούσε σχετικά με τη ποιότητα. Θεωρούσε ότι η βελτίωση της θα οδηγούσε σε μείωση του κόστους και αύξηση της κερδοφορίας με ευεργετικά αποτελέσματα για την αντιμετώπιση του ανταγωνισμού. Η φιλοσοφία του ήταν ότι η ποιότητα επιτυγχάνεται με τη πρόληψη των ελαττωματικών και όχι με τον έλεγχο και την αξιολόγηση μετά την παραγωγή. Κάθε εταιρία θα έπρεπε να διαμορφώσει κατάλληλες διαδικασίες για την παραγωγή με μηδέν ελαττωματικά (zero defects). Το κλειδί για αυτό είναι η αλλαγή του τρόπου που σκέφτονται οι **managers**. Αν η διοίκηση θεωρούσε ότι οι ελλείψεις και οι ατέλειες ήταν φυσιολογικές ανάλογη νοοτροπία θα είχαν και οι εργαζόμενοι. Αλλά, αν καθιερώνονταν υψηλά πρότυπα απόδοσης και ποιότητας θα ήταν δυνατή η παραγωγή χωρίς απώλειες.

Για να δείξει τη σημασία της ποιότητας ο **Crosby** υπολόγισε το κόστος ποιότητας σε 15% με 20% των συνολικών πωλήσεων και τόνισε την ανάγκη αυτοβελτίωσης αυτών που έχουν την ευθύνη της διοίκησης. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει 5 στάδια : Αρχικά, υπάρχει το στάδιο της άγνοιας όπου η επιχείρηση αδυνατεί να καταλάβει την σημασία της ποιότητας, ακολουθεί το στάδιο της αφύπνισης όπου συνειδητοποιείται η ανάγκη της ποιότητας χωρίς όμως να παρθούν αποφάσεις, το στάδιο της ανάληψης δράσης με την εφαρμογή κάποιου προγράμματος ποιότητας, το στάδιο της γνώσης με την έγκαιρη αντιμετώπιση των δυσλειτουργιών και τελευταίο το στάδιο της ωριμότητας όπου έχει γίνει σε όλους συνείδηση η αξία της ποιότητας.

Από τη στιγμή που η επιχείρηση αντιληφθεί τη σημασία της βελτίωσης της ποιότητας ο **Crosby** προτείνει ένα σχέδιο δράσης 14 σημείων :

- *Δέσμευση της διοίκησης* : Η ανώτατη διοίκηση πρέπει να πειστεί για τη σημασία της βελτίωσης της ποιότητας και να δεσμευτεί για αυτή.

- *Ομάδες βελτίωσης της ποιότητας* : Θα πρέπει να δημιουργηθούν ομάδες που θα είναι υπεύθυνες για τη ποιότητα και θα προτείνουν βελτιώσεις όταν και όπου χρειάζεται.
- *Μέτρηση της ποιότητας* : Θα πρέπει να γίνονται μετρήσεις της ποιότητας για να διαπιστώνονται τυχόν ελλείψεις στα διάφορα τμήματα της επιχείρησης.
- *Υπολογισμός του κόστους ποιότητας* : Θα πρέπει να εκτιμώνται οι διαδικασίες που η εφαρμογή ενός προγράμματος ποιότητας θα αποφέρει μεγαλύτερα οφέλη.
- *Ενημέρωση για την ποιότητα* : Οι εργαζόμενοι θα πρέπει να αντιληφθούν τη σημασία της ποιότητας και τις δυσμενείς συνέπειες της έλλειψής της.
- *Λήψη διορθωτικών αποφάσεων* : Θα πρέπει να παρατηρούνται έγκαιρα τα διάφορα προβλήματα και να λύνονται άμεσα.
- *Σχεδιασμός προγράμματος για μηδενικές απώλειες* : Θα πρέπει να οργανωθεί μια επιτροπή που θα σχεδιάσει ένα πρόγραμμα για μηδέν απώλειες που θα ανταποκρίνεται στις ανάγκες και τη κουλτούρα της επιχείρησης.
- *Εκπαίδευση των προϊσταμένων* : Στην αρχή της εφαρμογής ενός σχεδίου βελτίωσης ποιότητας η ανώτατη διοίκηση θα πρέπει να γνωρίζει το ρόλο της σε αυτή τη διαδικασία.
- *Καθιέρωση της μέρας μηδενικών απωλειών* : Για να γίνει κατανοητή η σημασία της ποιότητας θα πρέπει να οργανωθεί μια μέρα αφιερωμένη αποκλειστικά σε αυτή.
- *Καθορισμός στόχων* : Οι υπεύθυνοι κάθε τμήματος θα πρέπει να καθορίσουν στόχους για τους ίδιους και τους εργαζομένους. Οι στόχοι αυτοί θα πρέπει να είναι συγκεκριμένοι και μετρήσιμοι.
- *Εξάλειψη των αιτίων που προκαλούν προβλήματα* : Οι εργαζόμενοι θα πρέπει να αναφέρουν εντός 24 ωρών οτιδήποτε τους εμποδίζει από το να εργάζονται αποτελεσματικά.
- *Αναγνώριση* : Θα πρέπει να επιβραβεύεται δημόσια η καλή απόδοση στο τομέα της ποιότητας.
- *Δημιουργία συμβουλίων ποιότητας* : Θα πρέπει να γίνονται τακτικές συναντήσεις των υπευθύνων για την ποιότητα για την ανταλλαγή απόψεων, ιδεών και εμπειριών.
- *Επανάληψη των ανωτέρω* : Για να γίνει κατανοητός ο δυναμικός χαρακτήρας της βελτίωσης της ποιότητας τα παραπάνω βήματα θα πρέπει να επαναλαμβάνονται.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β΄

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ

1. Έλεγχος ποσοστού ελαττωματικών

Το διάγραμμα ελέγχου ποσοστού ελαττωματικών ονομάζεται για συντομία διάγραμμα ελέγχου p ή διάγραμμα p . Δείγματα μεγέθους n λαμβάνονται από την παραγωγική διαδικασία σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές. Καταμετρείται ο αριθμός ελαττωματικών στο δείγμα και υπολογίζεται το ποσοστό ελαττωματικών του δείγματος που είναι και η εκτιμήτρια του ποσοστού ελαττωματικών της παραγωγικής διαδικασίας.

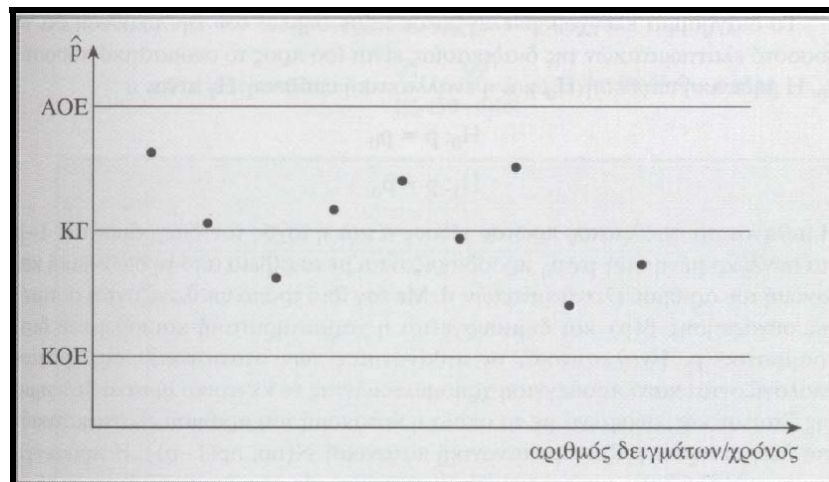
Για την περίπτωση όπου το μέγεθος του δείγματος δεν είναι σταθερό τα όρια ελέγχου δίνονται από τις σχέσεις :

$$\text{➤ } UCL = p + 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \quad (1.1)$$

$$\text{➤ } LCL = p - 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \quad (1.2)$$

Όπου n = μέση τιμή του μεγέθους όλων των δειγμάτων

p = κλάσμα των ελαττωματικών μονάδων ως προς το σύνολο των
εξετασθέντων



Σχήμα 1.1 Διάγραμμα ελέγχου ποσοστού ελαττωματικών p

2. Έλεγχος αριθμού ελαττωματικών

Το διάγραμμα ελέγχου αριθμού ελαττωματικών ή αλλιώς διάγραμμα np χρησιμοποιείται όταν το μέγεθος του δείγματος είναι σταθερό και η τιμή που παριστάνεται στο διάγραμμα, δηλαδή η εκτιμήτρια της παραγωγικής διαδικασίας είναι ο αριθμός ελαττωματικών ανά δείγμα και όχι η αναλογία όπως στο διάγραμμα p.

Τα όρια ελέγχου ορίζονται από τις σχέσεις :

$$\text{➤ } UCL = np + 3 \sqrt{\frac{np(1 - \frac{np}{n})}{n}} \quad (2.1)$$

$$\text{➤ } LCL = np - 3 \sqrt{\frac{np(1 - \frac{np}{n})}{n}} \quad (2.2)$$

$$\text{Όπου } \overline{np} = \frac{\sum_{i=1}^k np_i}{k} \quad (2.3)$$

np_i = αριθμός ελαττωματικών μονάδων στο δείγμα i

n = μέγεθος δείγματος (σταθερό)

k = αριθμός δειγμάτων

3. Έλεγχος αριθμού ελαττωμάτων

Υπάρχουν δύο τύποι διαγραμμάτων ελέγχου για την παρακολούθηση του αριθμού ελαττωμάτων σε μια παραγωγική διαδικασία (Ταγαράς, 2001) :

- Το διάγραμμα ελέγχου συνολικού αριθμού ελαττωμάτων, που ονομάζεται διάγραμμα ελέγχου c ή διάγραμμα c και χρησιμοποιείται όταν το μέγεθος δείγματος είναι σταθερό.
- Το διάγραμμα ελέγχου μέσου αριθμού ελαττωμάτων ανά μονάδα επιθεώρησης, που ονομάζεται διάγραμμα ελέγχου u ή διάγραμμα u και χρησιμοποιείται όταν το μέγεθος δείγματος είναι μεταβλητό.

Τα διαγράμματα αυτά συνδυάζονται συνήθως με ένα διάγραμμα πολλαπλών χαρακτηριστικών που βοηθάει στον εντοπισμό των σημαντικότερων αιτιών του προβλήματος.

Για την κατασκευή του διαγράμματος u τα όρια ελέγχου δίνονται από τις σχέσεις:

$$\text{➤ } UCL = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \quad (3.1)$$

$$\text{➤ } LCL = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \quad (3.2)$$

$$\text{Όπου } \bar{n} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k n_i \quad (3.3)$$

$$\bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^k u_i n_i}{\sum_{i=1}^k n_i} \quad (3.4)$$

n_i = μέγεθος δείγματος i

k = αριθμός δειγμάτων

n = μέσο μέγεθος δείγματος

\bar{u} = μέση τιμή κλάσματος ελαττωμάτων προς τις συνολικές μονάδες

u_i = κλάσμα ελαττωμάτων σε κάθε δείγμα

Για το διάγραμμα c τα όρια ελέγχου δίνονται από τις σχέσεις:

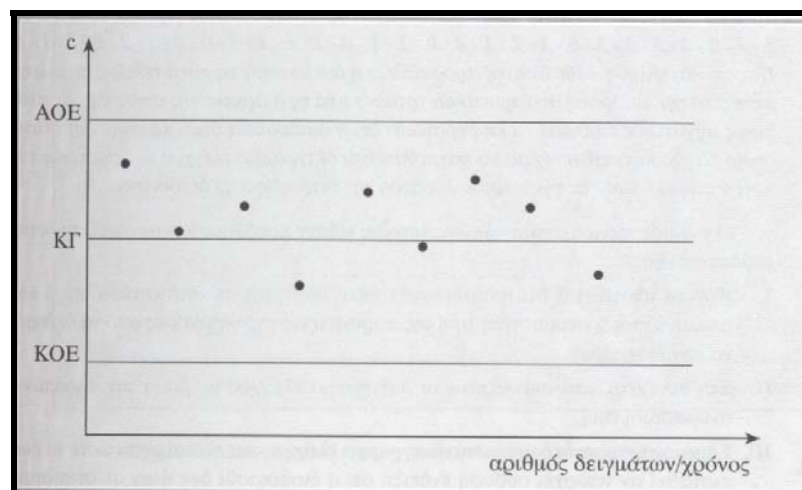
$$\text{➤ } UCL = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} \quad (3.5)$$

$$\text{➤ } LCL = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} \quad (3.6)$$

$$\text{Όπου } \bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^k c_i}{k} \quad (3.7)$$

c_i = αριθμός ελαττωμάτων στο δείγμα

k = αριθμός δειγμάτων



Σχήμα 3.1 Διάγραμμα ελέγχου c

Για τα διαγράμματα p και n θα πρέπει σε περιπτώσεις όπου έχουμε διαφορές στο μέγεθος των δειγμάτων μεγαλύτερη του 25% να υπολογίζονται τα μεμονωμένα όρια ελέγχου (Individual Control Limits). Ο υπολογισμός τους γίνεται χρησιμοποιώντας τις ίδιες σχέσεις με τα συνήθη όρια ελέγχου (UCL, LCL), αλλά αντί για το μέσο μέγεθος δείγματος n χρησιμοποιείται το μέγεθος n του συγκεκριμένου δείγματος (Γαλετάκης, 2000).