

"ΣΥΝΕΧΗΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΙΑΣΤΑΤΙΚΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΕ ΕΥΡΩΣΤΑ ΣΧΕΔΙΑ TAGUCHI".

Αικατερίνη Πουστουρλή¹
Βρασίδης Λεώπουλος²

¹ Μετροτεχνικό Εργαστήριο, Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών, Ε.Μ.Π. (Υπ. Διδάκτωρ)
MSS & IMS Expertise and Auditor

Μηχανικός Δ/σης Τεχνικών Υπηρεσιών & Πληροφορικής ΤΕΙ Σερρών

² Αν. Καθηγητής Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π., Δ/ντής Τομέα Βιομηχανικής Διοίκησης & Επιχειρησιακής Έρευνας, Δ/ντής Μετροτεχνικού Εργαστηρίου

Περίληψη

Η συνεχής βελτίωση της ποιότητας αποτελεί θεμελιώδη απαίτηση των συστημάτων διαχείρισης ποιότητας στα σχήματα πιστοποίησης και διαπίστευσης. Στα πλαίσια διαπιστευμένου εργαστηρίου δοκιμών, η συμμόρφωση προς την απαίτηση αυτή περιλαμβάνεται στις απαιτήσεις των προτύπων συστημάτων διοίκησης ποιότητας όπως των ISO 17025:2005 και ISO 10012:2003. Οι προσπάθειες βελτίωσης ποιότητας διεργασιών μετρήσεων σχετίζονται με τη μείωση της μεταβλητότητας ενός συγκεκριμένου χαρακτηριστικού γύρω από την ονομαστική του τιμή. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η διερεύνηση της επίδρασης πηγών μεταβλητότητας και αλληλεπίδρασης τους στην απόδοση διεργασίας διαστατικής μέτρησης δακτυλίων, εξετάζοντας διαφορετικούς παράγοντες ταυτόχρονα, διεργασίας που υλοποιείται σε αίθουσα ελεγχόμενων συνθηκών κατά VDI/VDE 2627 Blatt 1&2. Οι πηγές μεταβλητότητας που είναι γνωστές, μπορούν να ρυθμιστούν και να ελεγχθούν, αποτελούν τους Παράγοντες Ελέγχου ενώ οι πηγές που δεν είναι ελεγχόμενες ή το κόστος ελέγχου τους είναι τεράστιο, αποτελούν τους Παράγοντες Θορύβου. Το μοντέλο συνεχούς βελτίωσης ποιότητας Taguchi αξιοποιεί πέντε εργαλεία για την επίτευξη εύρωστου σχεδιασμού, το διάγραμμα παραμέτρων, την αντικειμενική συνάρτηση, τη συνάρτηση απώλειας ποιότητας, την αναλογία σήματος προς θόρυβο και τις ορθογώνιες διατάξεις ή πίνακες. Η αξιολόγηση της απόδοσης των συστημάτων μετρήσεων και δοκιμών είναι απαραίτητη και υλοποιείται ενδοεργαστηριακά, διεργαστηριακά ή/και με εξωτερική επίβλεψη της τεχνικής τους απόδοσης, για να εκτιμάται ο βαθμός με τον οποίο τα αποτελέσματά τους ικανοποιούν τις απαιτήσεις διαπίστευσης αλλά και τις προσδοκίες των πελατών τους. Το μοντέλο εύρωστων σχεδιασμών του Taguchi μπορεί να συμβάλει σημαντικά προς αυτή την κατεύθυνση. Τα πειράματα της παρούσης εργασίας υλοποιήθηκαν με σύγχρονο εξοπλισμό συγκριτικής μέτρησης στην Αίθουσα Ελεγχόμενων Συνθηκών του Μετροτεχνικού Εργαστηρίου του Τομέα Βιομηχανικής Διοίκησης & Επιχειρησιακής Έρευνας της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ.

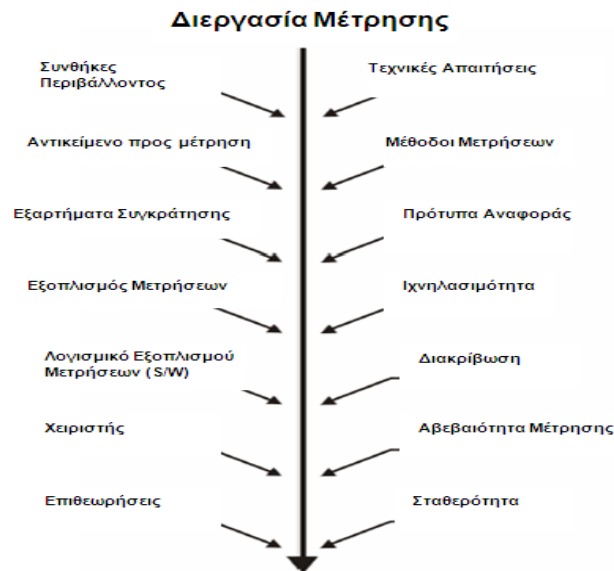
Abstract

Quality continuous improvement is a fundamental requirement of Management Standards Systems in Certification and Accreditation processes. The main object of this study is estimating the effect of the variability sources that lead to deviations in the measurements, by virtue of including laboratory factors as a measurement variability factors into the Measurement System, taking account the requirements of relative technical targeted quality standards and the standards for quality management systems like ISO 17025:2005 and ISO 10012:2003, as well as at establishing an improvement model with the usage of tools like DOE-Taguchi and Anova for the evaluation of the measurement system. Quality Improvement efforts in many instances have been directed at reducing the variation of a particular characteristic around a nominal design specification. Taguchi's robust designs make useful five tools for continuous improvement, parameter diagram, objective function, quality loss function, signal to noise ratio and orthogonal arrays. The measurement systems need to be examined and kept under

intralaboratory and accreditation surveillance, in order to set the extent to which their responses meet the customer's requirements and expectations. The experiments took place at the installations (controlled conditions room in accordance to VDI/VDE 2627 Blatt 1&2) of NTUA Metrotechnics Laboratory (Industrial Management and Operational Research Sector of Mechanical Engineering School).

1. Εισαγωγή

Το πιο σημαντικό μέρος ενός Συστήματος Διοίκησης Ποιότητας Εργαστηρίου Μετρήσεων ή Εύρωστου Έργου Σχεδιασμού Ποιότητας σε εργαστήριο, είναι η επιτυχής μέτρηση. Σκοπός ενός συστήματος διαχείρισης μετρήσεων είναι να εξαλείφει τον κίνδυνο παραγωγής εσφαλμένων αποτελεσμάτων παρακολουθώντας συστηματικά την επίδοση της λειτουργίας του εξοπλισμού μετρήσεων, των διεργασιών μέτρησης και των συνθηκών υλοποίησής των, παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την ποιότητα του αποτελέσματος μέτρησης. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την επίδοση του συστήματος διαχείρισης μετρήσεων εκτείνονται από την επαλήθευση του εξοπλισμού μετρήσεων έως και την εφαρμογή στατιστικών τεχνικών και ελέγχου ποιότητας των διεργασιών μέτρησης. Στο Σχήμα 1, που ακολουθεί, αποτυπώνονται οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τη διεργασία μέτρησης.



Σχήμα 1: Οι Κυριότεροι Παράγοντες που επηρεάζουν τη διεργασία διαστατικής μέτρησης.

2. Θεωρητικό υπόβαθρο - Μοντέλο Taguchi

Βασική αρχή της μεθοδολογίας εύρωστου σχεδιασμού είναι η βελτιστοποίηση της ποιότητας του προϊόντος και της διεργασίας σχεδιασμού έτσι ώστε να γίνουν ανθεκτικά στις διάφορες πηγές μεταβλητότητας, χωρίς όμως να εξαλείφονται αυτές οι πηγές. Ο εύρωστος σχεδιασμός εμπεριέχει δύο εργαλεία, την αναλογία σήματος προς θόρυβο S/N για την αποτίμηση της ποιότητας και τον πίνακα ορθογώνιας διάταξης για τη διευκόλυνση της μελέτης πολλών παραμέτρων σχεδιασμού ταυτόχρονα. Το μοντέλο διερευνά το πώς διαφορετικοί παράμετροι επηρεάζουν το μέσο και τη διασπορά του χαρακτηριστικού απόδοσης της διεργασίας και ορίζει το πόσο εύρωστη είναι η λειτουργία της. Η αξιοποίηση των ΟΔ (ορθογωνικών διατάξεων), επιτρέπει την επιλογή των αναγκαίων δεδομένων για τον προσδιορισμό του ποιοι παράγοντες επηρεάζουν περισσότερο την ποιότητα της διεργασίας με τον ελάχιστο αριθμό πειραμάτων, ώστε να εξοικονομείται χρόνος και κόστος. Αξιοποιείται η Ανάλυση Διασποράς (Analysis of Variance) στα συλλεχθέντα δεδομένα επί των πειραματικών δεδομένων ώστε να επικυρώνεται η επιλογή κύριων παραμέτρων που βελτιστοποιούν την απόδοση του χαρακτηριστικού ποιότητας (performance characteristic).

Οι παράγοντες οι οποίοι δημιουργούν τις αποκλίσεις στις λειτουργικές ιδιότητες (χαρακτηριστικά ποιότητας) μιας διεργασίας, ονομάζονται παράγοντες θορύβου (noise factors). Η συμπεριφορά μιας διεργασίας χαρακτηρίζεται από παράγοντες οι οποίοι ταξινομούνται σε δύο κύριες κατηγορίες:

- **Παράγοντες ελέγχου ή ελεγχόμενοι παράγοντες ή παράγοντες σχεδιασμού (control or design factors)**, των οποίων οι τιμές μπορούν να τεθούν ή να ρυθμιστούν εύκολα από τους μηχανικούς-ερευνητές
- **Παράγοντες θορύβου ή Μη ελεγχόμενοι παράγοντες (noise factors)**, οι οποίοι είναι πηγές διασποράς που συνήθως συνδέονται με το περιβάλλον υλοποίησης των μετρήσεων. Στόχος είναι, η συνολική απόδοση, στην ιδανικότερη περίπτωση, να μείνει ανεπηρέαστη από τη μεταβλητότητά τους.

2.1 Μέτρα Μείωσης της μεταβλητότητας

Το μοντέλο που προτείνει ο Δρ. G. Taguchi, είναι ένα σημαντικό εργαλείο τριών φάσεων για τη μείωση της επίδρασης των παραγόντων θορύβου και της μεταβλητότητας, και που ουσιαστικά αποτελεί φάσεις εξέτασης των παραγόντων:

1. Σχεδιασμός Συστήματος-System Design (πρωτογενής σχεδιασμός)
2. Σχεδιασμός Παραμέτρων-Parameter Design (δευτερογενής σχεδιασμός)
3. Σχεδιασμός Ανοχών-Allowance/Tolerance Design.

Οι παρατηρήσεις σε κάθε συνδυασμό τιμών των ελεγχόμενων παραγόντων δίνουν τα μέσα για την πραγματοποίηση των μέτρων απόδοσης (Performance Measures) :

Το Μέτρο της Απόδοσης του Θορύβου, που αφορά στη διασπορά της επίδοσης σε κάθε συνδυασμό παραγόντων και η ανάλυσή του θα προσδιορίσει τους ελεγχόμενους παράγοντες οι οποίοι μπορούν να επηρεάσουν, δηλαδή να ελέγξουν, τη διασπορά αυτή (τους παράγοντες ελέγχου της μεταβλητότητας). Η ανάλυση αυτή θα προσδιορίσει και τον καλύτερο συνδυασμό αυτών των παραγόντων για να ελαχιστοποιηθεί η μεταβλητότητα και άρα η επιρροή των παραγόντων θορύβου. Για τη μέτρηση επίδοσης, χρησιμοποιείται ο λόγος σήματος προς θόρυβο (Signal to Noise Ratio-SNR), ο οποίος υπολογίζει το αντίστροφο του συντελεστή διασποράς, δηλαδή το λόγο μ/σ , όπου μ είναι ο μέσος της διεργασίας και σ η τυπική απόκλιση της. Οι τρεις κύριοι τύποι αντικειμενικών συναρτήσεων που συστήνει ο Δρ. Taguchi για την αριστοποίηση έργων σχεδιασμού πειραμάτων, που ενδείκνυνται για στατικά προβλήματα είναι οι τρεις συναρτήσεις αναλογιών σήματος προς θόρυβο :

- Η «*smaller the better ή STB*», όπου ο επιθυμητό χαρακτηριστικό της επίδοσης είναι του τύπου όσο λιγότερο τόσο καλύτερο».
- Η «*nominal the best ή NTB*», στην κατηγορία αυτή των προβλημάτων επιθυμούμε την επίτευξη της συγκεκριμένης τιμής στόχου που δεν είναι μηδενική και πεπερασμένη (πχ επίτευξη μέτρησης ονομαστικής τιμής διαμέτρου δακτυλίου).
- Η «*larger the better ή LTB*», όπου τα χαρακτηριστικά ποιότητας είναι συνεχή και μη αρνητικά και ζητείται να λαμβάνουν τη μέγιστη το δυνατόν τιμή

Οι μαθηματικοί τύποι περιλαμβάνονται στον πίνακα 1 που ακολουθεί :

Πίνακας 1: Τύποι Αντικειμενικών Συναρτήσεων Taguchi –Μέτρα απόδοσης.

Τύπος S / N $S / N = -10 \log(MSD)$	εξισώσεις	Στόχος	MSD (μέση τετραγωνική απόκλιση παρατηρήσεων Κατά τη μέτρηση n μονάδων προϊόντων)
1. Nominal the best (NTB: Βέλτιστη η ονομαστική τιμή)	$S / N_{NTB} = 10 \log\left(\frac{\bar{y}^2}{s^2} - \frac{1}{n}\right) \approx 10 \log\left(\frac{\bar{y}^2}{s^2}\right)$	$i=y_0$ (ονομαστική τιμή)	$MSD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - m)^2 = \frac{n-1}{n} s^2 + (\bar{y} - m)^2$
2. Smaller the better (STB: Καλύτερη η μικρότερη τιμή)	$S / N_{STB} = -10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2\right)$	$i=y$ $y_0=m=0$ (το ελάχιστο)	$MSD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2$
3. Larger the better (LTB: Καλύτερη η μέγιστη τιμή)	$S / N_{LTB} = -10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}\right)$	$i=1/y$ $m=y_0=\infty$ (το μέγιστο)	$MSD = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}\right)$

Πίνακας : Τύποι συναρτήσεων S/N με τις λογαριθμικές εξισώσεις

y = μετρήσιμο στατιστικά χαρακτηριστικό ποιότητας
 m ή y_0 = ονομαστική τιμή ή τιμή στόχος του y
 n , = οι παρατηρήσεις
MSD = μέση τετραγωνική απόκλιση παρατηρήσεων
 y_i = η i -στή παρατήρηση του χαρακτηριστικού ποιότητας (τιμή αποτελέσματος μέτρησης i)
 \bar{y} = Μέσος n μετρήσεων (mean response) ή $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$
 s = τυπική απόκλιση $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}$

2.2 Στάδια υλοποίησης

Οι δύο παραπάνω φάσεις (Σχεδιομελέτη Συστήματος και Σχεδιομελέτη Παραμέτρων), υλοποιούνται, προσεγγιστικά, σε εννέα βήματα:

1. Ορισμός προβλήματος και αντικειμένου πειράματος
2. Αναγνώριση παραγόντων και αλληλεπιδράσεων
3. Επιλογή επιπέδων (τιμών) των παραγόντων
4. Επιλογή κατάλληλης ορθογώνιας διάταξης
5. Τελικός προσδιορισμός παραγόντων και αλληλεπιδράσεων
6. Προετοιμασία και υλοποίηση πειράματος
7. Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων με χρήση Anova
8. Ερμηνεία και Συμπεράσματα πειραματικών δεδομένων
9. Επικύρωση Πειραμάτων & Τελικά Συμπεράσματα.

2.2.1 Αντικείμενο Πειράματος και Προσδιορισμός Παραγόντων

Αντικείμενο της πειραματικής έρευνας είναι η συνεχής βελτίωση της διεργασίας διαστατικής μέτρησης του ΣΔΠ κατά ΕΛΟΤ EN ISO 17025:2005 (ΟΕ 3 : «Μέτρηση Τρίμματος με τη μηχανή ULM OPAL 600»), δηλαδή της μέτρησης εσωτερικής διαμέτρου δακτυλίου ονομαστικής διαμέτρου 55 mm (54,9990) με χρήση πρότυπου αναφοράς ένα διακριβωμένο δακτύλιο διαμέτρου 14mm (13,9993 mm). Ο εξοπλισμός μετρήσεων (Mahr ULM Opal 600), είναι διακριβωμένος, βαθμονομημένος και ιχνηλάσιμος σε διεθνή πρότυπα. Σκοπός, η μείωση της μεταβλητότητας και η ρύθμιση του μέσου όσο πιο κοντά στην τιμή στόχο 54,99900±0,00060 mm, (σύμφωνα και με το Πιστοποιητικό ΕΙΜ). Επιπροσθέτως στα στοιχεία που μελετήθηκαν για την υλοποίηση των πειραμάτων ήταν και τα δεδομένα μετρολογικής αβεβαιότητας.

2.2.2 Αναγνώριση παραγόντων και αλληλεπιδράσεων

Εξετάζουμε τα αποτελέσματα από την υλοποίηση πειραμάτων Taguchi, τεσσάρων παραγόντων με αλληλεπιδράσεις και παρουσία ενός παράγοντα θορύβου. Οι τέσσερις παράγοντες που επιλέχθηκαν, από ένα σύνολο παραγόντων που επιδρούν στη διεργασία μέτρησης, ως οι κατάλληλοι παράγοντες ελέγχου (control factors) για το πείραμα της μελέτης είναι οι :

A= θερμοκρασία αίθουσας ελεγχόμενων συνθηκών (ΑΕΣ) του εργαστηρίου,

B= θερμοκρασία του τεμαχίου προς μέτρηση,

C= Χειριστής (με την έννοια του επιπέδου ικανότητας μέτρησης) και

D= σχετική υγρασία.

Ως αλληλεπιδράσεις μεταξύ των παραγόντων επιλέγονται οι

αλληλεπίδραση «Χειριστή - Θερμοκρασία Δοκιμίου BXC»,

αλληλεπίδραση «Χειριστή - Θερμοκρασία ΑΕΣ AXC»,

αλληλεπίδραση «Θερμοκρασία Δοκιμίου - Θερμοκρασία ΑΕΣ AXB»,

παρουσία του παράγοντα θορύβου «Θερμοκρασία πρότυπου δακτυλίου αναφοράς N».

2.2.3 Επιλογή επιπέδων (τιμών) των παραγόντων

Σύμφωνα με τα όσα τεκμηριώθηκαν στις ενότητες 2.1 και 2.2, η διαμόρφωση της κατάλληλης ορθογώνιας διάταξης με τους επιλεγμένους παράγοντες ελέγχου και τα επίπεδά τους, θα γίνει λαμβάνοντας υπόψη τα στοιχεία του πίνακα που ακολουθεί :

Πίνακας 2: Στοιχεία Παραγόντων Πειράματος

α/α	Παράγοντας (Factor)	Επίπεδα (level)	Σήμανση Παράγοντα
1	Θερμοκρασία Αίθουσας Ελεγχόμενων Συνθηκών (ΑΕΣ)	1=19.00-19.70 °C, 2=19.71-20.50 °C	A
2	Θερμοκρασία τεμαχίου (δακτυλίου 54,99900 mm)	1=19.00-19.70 °C, 2=19.71-20.50 °C	B
3	Χειριστής (επίπεδο ικανότητας)	1=Operator, 3=Expertise	C
4	Υγρασία Αίθουσας ελεγχόμενων συνθηκών (%)	1=38.00-43.00 %, 2=43.01-48.00 %	D
5	Αλληλεπίδραση Δοκιμίου- Χειριστή	2	BXC
6	Αλληλεπίδραση ΑΕΣ- Χειριστή	2	AXC
7	Αλληλεπίδραση ΑΕΣ- Δοκιμίου	2	AXB
8	Θερμοκρασία πρότυπου δακτυλίου 14 mm	N1=19.00-19.70 °C, N2=19.71-20.50 °C	N

2.2.4 & 2.2.5 Επιλογή κατάλληλης ορθογώνιας διάταξης & Τελικός προσδιορισμός παραγόντων και αλληλεπιδράσεων

Η κατάλληλη ορθογώνια διάταξη με τους επιλεγμένους παράγοντες και τα επίπεδά τους, μετά τον υπολογισμό των βαθμών ελευθερίας, του Triangular Table του Taguchi και του Linear Graph, είναι η $L_8(2^7)$ και αποτυπώνεται ως ακολούθως :

Πίνακας 3. Διάταξη Πειράματος $L_8(2^7)$

							N	N1	N2	N1	N2	N1	N2
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	1	2	1	2
Exp	A	B	AXB	C	AXC	BXC	D	R1	R2	R3	R4	R5	R6
1	1	1	1	1	1	1	1						
2	1	1	1	2	2	2	2						
3	1	2	2	1	1	2	2						
4	1	2	2	2	2	1	1						
5	2	1	2	1	2	1	2						
6	2	1	2	2	1	2	1						
7	2	2	1	1	2	2	1						
8	2	2	1	2	1	1	2						

2.2.6 Προετοιμασία και υλοποίηση πειράματος Taguchi

Η υλοποίηση των οκτώ πειραμάτων για τους παράγοντες και τις ρυθμίσεις επιπέδων τους, σύμφωνα με την ανωτέρω ορθογώνια διάταξη, παράγει συγκεκριμένα αποτελέσματα μέτρησης τα οποία καταχωρούνται στις στήλες Y1 έως και Y6 του Minitab v.15 προς επεξεργασία (πίνακας 4). Με κατάλληλη αναγωγή στο επιλεγμένο μέτρο απόδοσης, δηλαδή στο Λόγο Σήματος προς Θόρυβο τύπου Nominal the Best - NTB, το Minitab v.15 δίδει τα αποτελέσματα που εμφανίζονται στους πίνακες 4, 5 και 6.

Πίνακας 4: Πίνακας καταχώρησης αποτελεσμάτων πειραματικών μετρήσεων (στήλες Y1 έως και Y6 ή C6 έως και C11) και αποτελεσμάτων Αναλογίας S/N_{NTB} σε dB (στήλη C12).

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18
	A (οC ΑΕΣ)	B (οC Δακτυλίου)	C Χειριστής	D (Υγρασία)		Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	SNRdB	LSTD8	STDEB	MEANB	CVB	PSNR1	PMEAN
1	1	1	1	1		54,99979	54,99955	54,99970	54,99974	54,99942	54,99895	104,901	-8,06981	0,0003128	54,9995	0,0000057	107,223	54,999
2	1	1	1	2		54,99968	54,99952	54,99969	54,99979	54,99931	54,99910	107,223	-8,33716	0,0002395	54,9995	0,0000044		
3	2	2	1	1		54,99968	54,99946	54,99950	54,99983	54,99923	54,99867	101,832	-7,71655	0,0004454	54,9994	0,0000081		
4	2	2	2	2		54,99943	54,99942	54,99928	54,99988	54,99935	54,99893	105,099	-8,09267	0,0003058	54,9994	0,0000056		
5	1	2	1	2		54,99955	54,99967	54,99977	54,99955	54,99941	54,99888	104,865	-8,06460	0,0003145	54,9995	0,0000057		
6	1	2	2	1		54,99971	55,00028	54,99961	54,99949	54,99993	54,99868	100,212	-7,53004	0,0005367	54,9996	0,0000098		
7	2	1	1	2		54,99971	55,00030	54,99967	54,99942	54,99949	54,99852	99,549	-7,45371	0,0005793	54,9995	0,0000105		
8	2	1	2	1		54,99990	54,99914	54,99944	54,99938	54,99945	54,99918	106,125	-8,21075	0,0002717	54,9994	0,0000049		

2.2.7 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων με χρήση Ανονα

Από τον πίνακα αποκρίσεων των αναλογιών S/N (αποτελέσματα Minitab), εξάγεται το συμπέρασμα ότι ο βέλτιστος συνδυασμός ρυθμίσεων παραγόντων είναι ο A1B1C2D2 (οι τιμές που μεγιστοποιούν την S/N_{NTB} και άρα το χαρακτηριστικό ποιότητας, δηλαδή την απόδοση της διεργασίας συγκριτικής μέτρησης εσωτερικής διαμέτρου δακτυλίων 55mm = μέτρηση πιο κοντά στην ονομαστική τιμή). Η ανάλυση ANOVA σύμφωνα με τον πίνακα αποτελεσμάτων του Minitab επικυρώνει τα αποτελέσματα για τα πειραματικά δεδομένα της παρούσας μελέτης.

Πίνακας 5: Πίνακας αποτελεσμάτων ANOVA από Minitab 15.

Welcome to Minitab, press F1 for help., **Taguchi Design / Taguchi**

Analysis of Variance for SN ratios

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A (οC ΑΕΣ)	1	2,6285	2,6285	2,6285	*	*
B (οC Δακτυλίου)	1	4,2029	4,2029	4,2029	*	*
C Χειριστής	1	7,0718	7,0718	7,0718	*	*
D (Υγρασία)	1	1,6714	1,6714	1,6714	*	*
A (οC ΑΕΣ)*B (οC Δακτυλίου)	1	8,6388	8,6388	8,6388	*	*
A (οC ΑΕΣ)*C Χειριστής	1	18,4936	18,4936	18,4936	*	*
B (οC Δακτυλίου)*C Χειριστής	1	13,1941	13,1941	13,1941	*	*
Residual Error	0	*	*	*		
Total	7	55,9012				

Response Table for Signal to Noise Ratios
Nominal is best (10*Log10(Ybar**2/s**2))

Level	A (οC ΑΕΣ)	B (οC Δακτυλίου)	C Χειριστής	D (Υγρασία)
1	104,3	104,4	102,8	103,3
2	103,2	103,0	104,7	104,2
Delta	1,1	1,4	1,9	0,9
Rank	3	2	1	4

2.2.8 Ερμηνεία και Συμπεράσματα πειραματικών δεδομένων

Στον πίνακα 6 που ακολουθεί, περιλαμβάνονται οι μέσοι των αναλογιών S/N όλων των παραγόντων του πειράματος για τα δύο επίπεδα τιμών τους, από τις διαφορές των οποίων ανακύπτει και η σειρά σημαντικότητας εκάστου παράγοντα (A1B1C2D2).

Πίνακας 6: Πίνακας Αποκρίσεων Αναλογίας Σήματος προς Θόρυβο

	A (S/N _A)	B (S/N _B)	C (S/N _C)	D (S/N _D)
Level 1	104,3	104,4	102,8	103,3
Level 2	103,2	103,0	104,7	104,2
Delta Level _{max} - Level _{min}	1,1	1,4	1,9	0,9
Rank	3	2	1	4

Για την αποτίμηση της προόδου από το σχεδιασμό και εφαρμογή πειραμάτων $L_8(2^7)$ Taguchi της συγκεκριμένης περιόδου, προκύπτει ότι το κέρδος από την εφαρμογή της ανωτέρω βέλτιστης επιλογής ρυθμίσεων, είναι :

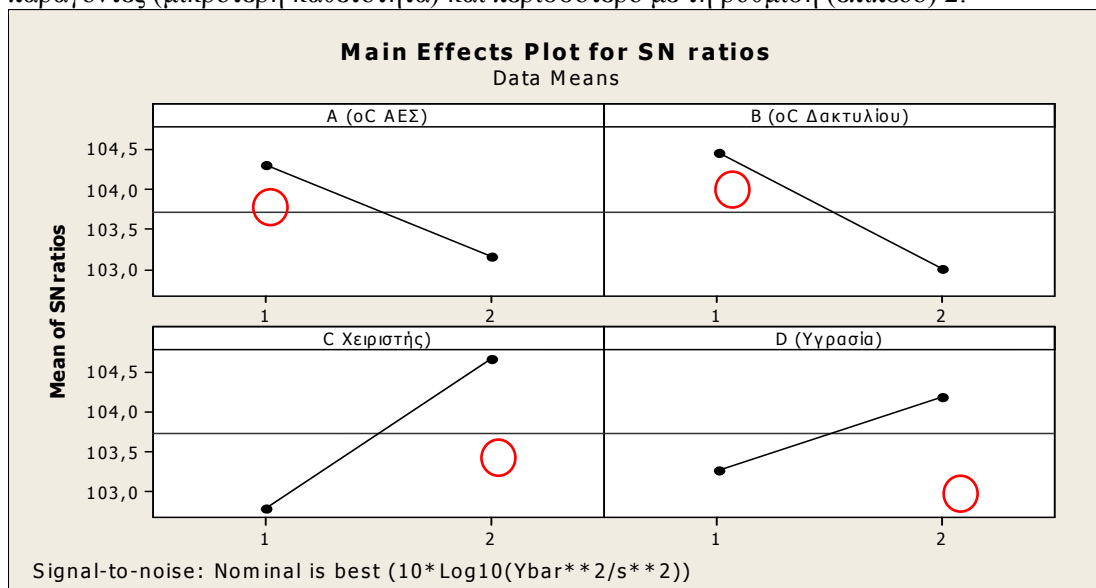
$$\eta_{\text{optimum}} - \eta_{\text{present}} = 107,22 - 101,12 = 6,1 \text{ dB αφού}$$

$$\eta_{\text{opt}} = 107,22 \text{ dB}$$

$$\eta_{\text{present}} = 101,12 \text{ dB}$$

Η παραπάνω διαφορά επιβεβαιώνει τη βελτίωση της διεργασίας μέτρησης και συγκεκριμένα κατά 6,1dB. Τα πειράματα επιβεβαίωσης (*Taguchi confirmation experiment*) που ακολούθησαν, επαλήθευσαν το ανωτέρω αποτέλεσμα.

Και από το διάγραμμα Main Effects Plot for SN ratios που ακολουθεί, φαίνεται ότι τη μεγαλύτερη επίδραση στην αναλογία S/N έχει ο παράγοντας C-Χειριστής λαμβάνοντας την τιμή του επιπέδου 2. Αντίθετα οι παράγοντες A και B δίνουν μεγαλύτερη απόδοση (S/N) στις τιμές των επιπέδων 1. Τέλος ο παράγοντας D επιδρά λιγότερο από τους άλλους τρεις παράγοντες (μικρότερη καθετότητα) και περισσότερο με τη ρύθμιση (επίπεδο) 2.



Σχήμα 2. Διάγραμμα Κύριων Επιδράσεων Παραγόντων για τις αναλογίες S/N

2.2.9 Επικύρωση Πειραμάτων

Ακολουθεί ο πίνακας 7 με τα αποτελέσματα (των μέσων των αναλογιών S/N) των πειραμάτων επιβεβαίωσης που υλοποιήθηκαν :

Πίνακας 7: Αποτελέσματα πειραμάτων επιβεβαίωσης

	Πειράματα Επιβεβαίωσης			
	1	2	3	Μέσος Όρος
Απόδοση Διεργασίας Συγκριτικής Μέτρησης Εσωτερικής Διαμέτρου Δακτυλίων (dB)	106,913	107,012	106,998	106,974

3. Συμπεράσματα

Η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση της συγκεκριμένης πειραματικής διάταξης άμεσα, με χρήση του Minitab, με σκοπό τη μελέτη και επεξεργασία των αποτελεσμάτων σε κάθε χρονική περίοδο, επιβεβαιώνει ότι είναι ένα σημαντικό εργαλείο συνεχούς βελτίωσης των διεργασιών του ΣΔΠ του εργαστηρίου προς συμμόρφωση με την απαίτηση §4.10 του ΕΛΟΤ EN ISO/IEC 17025:2005. Συνοψίζοντας, με το μοντέλο Taguchi επιτεύχθηκε η βελτίωση διεργασίας συγκριτικής μέτρησης εσωτερικής διαμέτρου δακτυλίων, μέσα από τον προσδιορισμό ελεγχόμενων παραγόντων και των ρυθμίσεών τους, που ελαχιστοποιούν τη μεταβλητότητα. Αυτοί οι παράγοντες ρυθμίζονται στα βέλτιστα επίπεδά τους και η διεργασία γίνεται εύρωστη έναντι τυχόν μεταβολών στις περιβαλλοντικές συνθήκες. Επιτυγχάνουμε απομάκρυνση της κακής επιρροής του αιτίου και όχι την απομάκρυνση του αιτίου της κακής επιρροής. Επιπλέον μειώνεται κατά πολύ ο αριθμός των χρονοβόρων δοκιμών που θα απαιτούνταν αν χρησιμοποιούσαμε κλασικό (παραγοντικό) σχεδιασμό πειραμάτων (8 αντί για 128), για τον καθορισμό συνθηκών αποδοτικών διεργασιών, γεγονός που μας απαλλάσσει από κόστος σε χρήμα και χρόνο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ελληνικό Πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO/IEC 17025:2006-07-04, «Γενικές απαιτήσεις για την ικανότητα των εργαστηρίων δοκιμών και διακριβώσεων».
2. Ελληνικό Πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO/IEC 10012:2004-03-22, «Συστήματα διαχείρισης μετρήσεων».
3. ISO 3534-3:1999, “Statistics-Vocabulary and symbols, Part 3: Design of experiments”.
4. VDI/VDE 2627 (Blatt 1 & 2) «Χώροι Μετρήσεων Μεγάλης Ακριβείας»
5. NPL, Measurement Good Practice Guide No. 80, Fundamental Good Practice in Dimensional Metrology
6. Δρ Ε. Μαθιουλάκης, «Μέτρηση, Ποιότητα Μέτρησης και Αβεβαιότητα», Έκδοση : ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΝΩΣΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΩΝ – HellasLab, 2004 (ISBN 960-88226-0-2)
7. Ν. Λογοθέτης (1992), ‘Μάνατζμεντ Ολικής Ποιότητας’, Prentice Hall UK-Interbooks Hellas, σελίδες 381-450.
8. Genichi Taguchi, Subir Chowdhury, Yuin Wu (2005). ‘Taguchi’s Quality Engineering Handbook’, Wiley Book Company, p. 589-594, 672-678, 848-851, 1530-1593
9. P Apps “The Critical Role of Skilled Technicians in Laboratory Measurement”, NLA Test & Measurement Conference, October 2006.
10. Catherine A. Poustourli-V.I.N. Leopoulos, “An Innovative model for quality optimization”, 2nd International Conference on Simulation, Modelling and Optimization, WSEAS-ICOSMO 2002, Σκιάθος 25-28/9/2002.