

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΔΥΝΑΜΟΚΥΨΕΛΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ TAGUCHI

Τατάκης Αυγουστής

Μενελάου 9, Μαρούσι 151 24

tatakis_avgoustis@yahoo.gr

Η εργασία πραγματεύεται την αρχή της δυναμικής ζύγισης γενικά, την μέθοδο που ακολουθήθηκε για την εύρεση των πιο κρίσιμων παραμέτρων και τη βελτιστοποίηση τους σε μια ψηφιακή δυναμοκυψέλη.

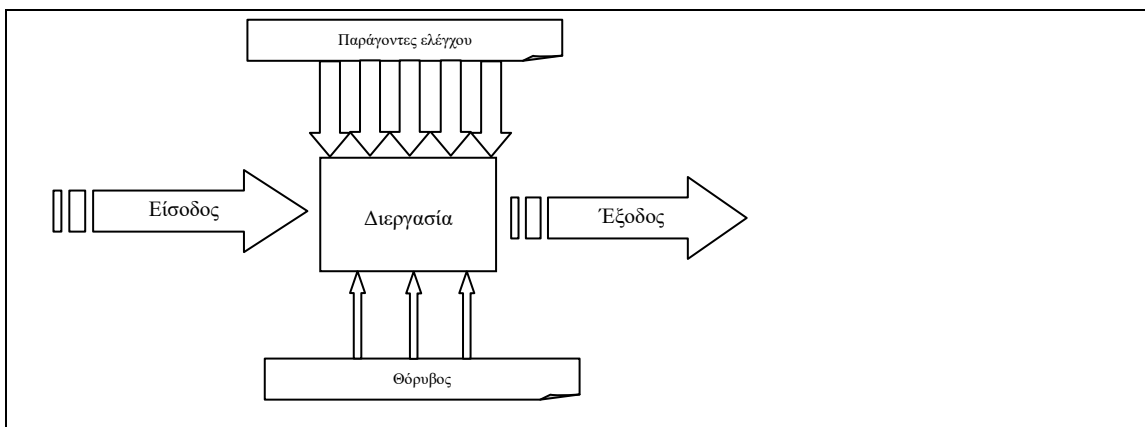
Η διάταξη σχεδιάζεται και κατασκευάζεται στην Ελλάδα, εκτός από την ψηφιακή δυναμοκυψέλη, που είναι της εταιρείας HBM. Βασικό μέλημα στην διαδικασία βελτιστοποίησης είναι η κατηγοριοποίηση των πιο κρίσιμων παραμέτρων ρύθμισης της δυναμοκυψέλης, που επηρεάζουν την ακρίβεια της μέτρησης, καθώς και η εύρεση των βέλτιστων τιμών τους. Εξαγόμενο της δοκιμής θα είναι και η εύρεση πιθανών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των διαφόρων παραμέτρων.

Απαραίτητο εργαλείο σε αυτή την προσπάθεια ήταν ο σχεδιασμός πειραμάτων με τη μέθοδο Taguchi, ώστε να αποφύγουμε την διαδικασία των συνεχών δοκιμών.

Λέξεις κλειδιά: Δυναμική Ζύγιση, Θόρυβος, Σχεδιασμός Πειραμάτων, Μέθοδος Taguchi

Πειραματικός σχεδιασμός (Design of experiments)

Κάθε διεργασία έχει μία ή περισσότερες εισόδους, μερικές παραμέτρους ελέγχου και ένα εξαγόμενο. Κάπου εκεί ενδιάμεσα υπάρχουν και μη επιθυμητοί παράγοντες, οι οποίοι επηρεάζουν όμως το αποτέλεσμα (θόρυβος).



Σχήμα 1: Απεικόνιση συστήματος

Η συνεχής βελτίωση επιτυγχάνεται με αλληπάλληλους κύκλους

- σχεδιασμού
- υλοποίησης
- ελέγχου
- δράσης

Επειδή η αρχή είναι το ήμισυ του παντός, αν η φάση του σχεδιασμού δεν πραγματοποιηθεί σωστά ή καθόλου, οι μετέπειτα φάσεις είναι καταδικασμένες να αποτύχουν. Όταν εφαρμόζουμε μια δοκιμή υπό συγκεκριμένες συνθήκες για να ελέγξουμε την επίδραση ενός παράγοντα ή το αληθές μιας υπόθεσης (δηλαδή ένα πείραμα), μπορούμε να ακολουθήσουμε δύο προσεγγίσεις:

α) Πρώτα μπορούμε να δοκιμάζουμε συνεχώς, ρυθμίζοντας συνήθως έναν παράγοντα κάθε φορά, μέχρι να φτάσουμε στο επιθυμητό αποτέλεσμα (trial and error). Η προσέγγιση αυτή, όμως, έχει τα παρακάτω μειονεκτήματα (Μπεσέρης 2006):

- Χρειάζεται πολύ χρόνο, μια που θα χρειαστεί να «τρέξουν» όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί.
- Δε θα μάθουμε ποτέ αν το αποτέλεσμα είναι το βέλτιστο που θα μπορούσαμε να έχουμε.
- Δε μας κατευθύνει προς το σωστό αποτέλεσμα.
- Δεν εξετάζονται οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των παραγόντων.
- Δε βαθμολογείται η βαρύτητα τους.
- Δε «κτίζουμε» γνώση για την διεργασία μας.
- Δε υπάρχουν τεκμηριωμένα δεδομένα.
- **Η επιτυχία θα είναι της θεάς τύχης και όχι δική μας.**

β) Από την άλλη μεριά, υπάρχει η προσέγγιση του σχεδιασμού πειραμάτων με πρωτεργάτη και κύριο εκπρόσωπο τον Genichi Taguchi, αν και ακολούθησαν και άλλοι με πιο «μαθηματικές» και λιγότερο πρακτικές προσεγγίσεις, όπως ο Montgomery.

Ο *πειραματικός σχεδιασμός* (design of experiment) είναι μια μέθοδος με την οποία εξετάζονται η απόκριση και η αλληλεπίδραση πολλαπλών παραμέτρων (όχι απαραίτητα ίδιου τύπου), χρησιμοποιώντας έναν από τους διαθέσιμους πίνακες που βασίζονται στα Latin squares (Μπεσέρης 2006).

Παράδειγμα εφαρμογής σε παραγωγή κόλλας πλακιδίων.

Παράγοντες που θεωρείται ότι επηρεάζουν το προϊόν και οι τιμές που παίρνουν:

Πίνακας 1: Εφαρμογή σε παραγωγή κόλλας πλακιδίων

Παράγοντας	Ρύθμιση 1	Ρύθμιση 2
α Ποσοστό προσμίξεων	α1. 5%	α2. 1%
β Κοκκομετρία	β1. χοντρό	β2. ψιλό
γ Ποσοστό τσιμέντου	γ1. 43%	γ2. 53%
δ Τύπος τσιμέντου	δ1. υπάρχων	δ2. φθηνότερο
ε Ποσότητα παρτίδας	ε1. 1300kg	ε2. 1200kg
ζ. Επαναχρησιμοποίηση φύρας	ζ1. 0%	ζ2. 4%
στ. Ποσοστό ξήρανσης	στ1. 0%	στ2. 55%

Στην παραπάνω περίπτωση, αν θέλαμε να δοκιμάσουμε όλους τους συνδυασμούς θα έπρεπε να «τρέξουμε» $2^7 = 128$ πειράματα, πράγμα αδύνατο. Θα πρέπει να μειώσουμε τον αριθμό, αλλά ποια από τα 128 θα επιλέξουμε;

Υπάρχουν στη βιβλιογραφία έτοιμοι πίνακες από τους οποίους, ανάλογα με τις παραμέτρους και τα επίπεδα ρύθμισης, επιλέγουμε αυτόν που μας ταιριάζει. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, ο πιο κατάλληλος είναι ο L8. Ακολουθούν τα πειράματα και τα αποτελέσματα.

Πίνακας 2: Παράδειγμα εφαρμογής πειραματικού σχεδιασμού και αποτελεσμάτων

Πείραμα	α	β	γ	δ	ε	ζ	στ	% φύρας
1	1	1	1	1	1	1	1	16
2	1	1	1	2	2	2	2	17
3	1	2	2	1	1	2	2	12
4	1	2	2	2	2	1	1	6
5	2	1	2	1	2	1	2	6
6	2	1	2	2	1	2	1	68
7	2	2	1	1	2	2	1	42
8	2	2	1	2	1	1	2	26

Με περαιτέρω ανάλυση των δεδομένων, μπορούμε να οδηγηθούμε στη βέλτιστη ρύθμιση, **ακόμη και αν ο βέλτιστος συνδυασμός δεν ήταν μέσα στην ομάδα των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν.**

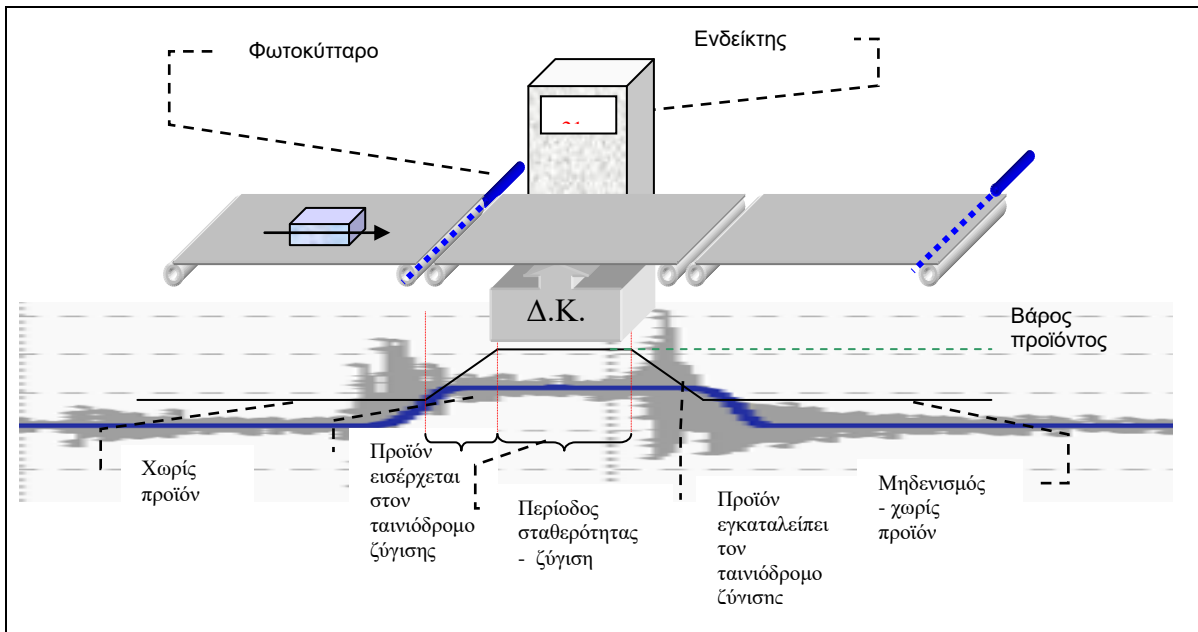
Αρχή δυναμικής ζύγισης

Με αρκετή δόση απλοποίησης, η ζύγιση γίνεται με τον παρακάτω τρόπο:

Χρησιμοποιούνται τρεις ταινιόδρομοι. Ο πρώτος είναι ο εισόδου, που αναλαμβάνει να «απλώσει» τα αντικείμενα και να τα προετοιμάσει για την σωστή και ομαλή είσοδο τους στον δεύτερο. Στον δεύτερο γίνεται η ζύγιση. Ο τρίτος είναι ο ταινιόδρομος εξόδου και περιλαμβάνει τη διάταξη απόρριψης ή διαχωρισμού. Μέχρι να διακόψει το κουτί τη δέσμη του φωτοκύτταρου (το φωτοκύτταρο βρίσκεται στην αρχή του δεύτερου ταινιόδρομου), το βάρος που ζυγίζει η δυναμοκυψέλη είναι μηδέν (μιλάμε για το νέο μηδέν, αφού έχει αφαιρεθεί ως απόβαρο το βάρος του ταινιόδρομου). Υπάρχουν διάφορες υλοποιήσεις σε δυναμοκυψέλες. Η επιλογή αφορά την περιοχή βάρους που θα λειτουργούμε και την επιθυμητή ακρίβεια και ταχύτητα. Μόλις το κουτί αρχίζει να μπαίνει στο δεύτερο ταινιόδρομο (βρισκόμαστε, λοιπόν, στο χρόνο t_1), διακόπτεται η δέσμη του φωτοκύτταρου και το βάρος που ζυγίζουμε αρχίζει να αυξάνεται, καθώς σταδιακά όλο και μεγαλύτερο μέρος του κουτιού πατάει επάνω του. Η φάση αυτή δεν είναι χρήσιμη στην ζύγιση, αλλά πρόκειται απλά για ένα μεταβατικό διάστημα. Η διάρκειά του εξαρτάται από το πλάτος του κουτιού και την ταχύτητα του ταινιόδρομου.

Περνάμε τώρα στην διαδικασία της ζύγισης. Αφού παρέλθει ο χρόνος t_1 , το βάρος έχει σταθεροποιηθεί σε μεγάλο βαθμό. Στην πραγματικότητα, βέβαια, αυτό το «οροπέδιο» τιμών δεν είναι τελείως επίπεδο, αλλά οι μικρές διακυμάνσεις που παρουσιάζονται είναι έτσι κι αλλιώς γύρω από την πραγματική τιμή. Η δυναμοκυψέλη αναλαμβάνει να δώσει την εκτίμησή της για το βάρος. Αν το βάρος είναι εκτός των ορίων που έχουμε θέσει, θα δοθεί εντολή για να γίνει η απόρριψη. Η απόρριψη πραγματοποιείται με διάφορους τρόπους ανάλογα με το προϊόν.

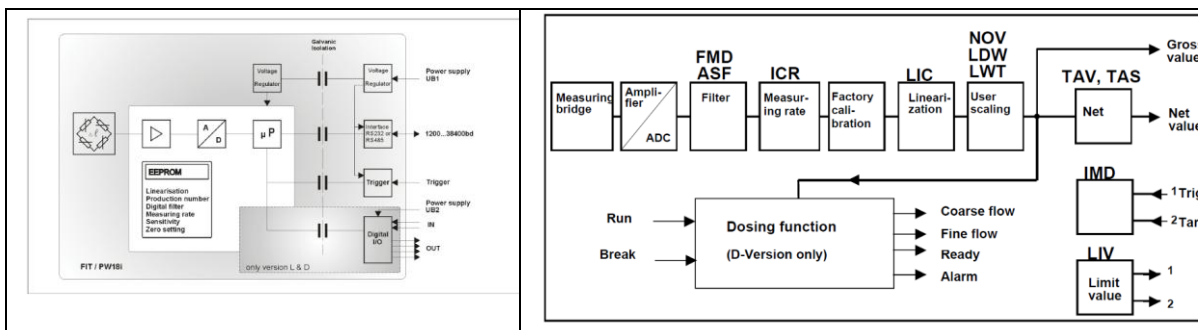
Τα πράγματα περιπλέκονται, αν αρχίσουμε να υπολογίζουμε και άλλες παραμέτρους, όπως την υστέρηση των φωτοκύτταρων, το χρόνο που χρειάζεται η δυναμοκυψέλη για να μηδενίσει, το χρόνο επεξεργασίας των δεδομένων κ.α. (Τατάκης, 2007)



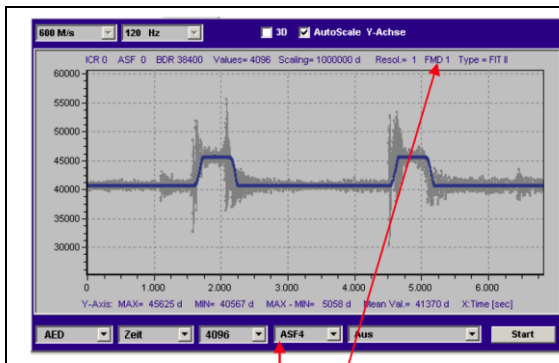
Σχήμα 2: Αρχή λειτουργίας δυναμικής ζύγισης (πηγή: Τατάκης)

Η δυναμοκυψέλη FIT

«Καρδιά» του συστήματος είναι η ψηφιακή δυναμοκυψέλη FIT, η οποία αναλαμβάνει να εκτελέσει όλη τη φάση της ζύγισης, χωρίς να απαιτούνται επιπλέον ηλεκτρονικά κυκλώματα για την επεξεργασία του σήματος εξόδου. Μετά την ενίσχυση και τη μετατροπή του σήματος από αναλογικό σε ψηφιακό, αυτό φιλτράρεται από τα εσωτερικά ψηφιακά φίλτρα. Όλες οι διεργασίες γίνονται εσωτερικά και το εξαγόμενο είναι το βάρος του προϊόντος.



Σχήμα 3: Βασικό διάγραμμα δυναμοκυψέλης και ροή σήματος. Πηγή HBM



Γκρι γραμμή: μετρούμενη τιμή μη φιλτραρισμένη.
Μπλε γραμμή: τελικό σήμα εξόδου με ρυθμίσεις φίλτρων ASF4 και FMD1.

Σχήμα 4: Δυναμική απόκριση Πηγή: PC Program AED_panel32 λογισμικό λειτουργίας και ρύθμισης δυναμοκυψέλης

Στήσιμο πειράματος - υποψήφιοι παράγοντες υπό εξέταση

Σύμφωνα με τον Montgomery (1997), πρέπει να ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα στην επιλογή των παραγόντων που θα εξεταστούν:

1. αναγνώριση του προβλήματος
2. επιλογή των υπό εξέταση παραγόντων και των ρυθμίσεων τους (ακρότατα)
3. επιλογή του εξαγόμενου ελέγχου
4. επιλογή του πειραματικού σχεδιασμού (λεπτομέρειες)
5. υλοποίηση πειράματος
6. ανάλυση των δεδομένων
7. συμπεράσματα και προτάσεις

Αναλυτικότερα:

1) Αναγνώριση του προβλήματος

Η αρχική συζήτηση επικεντρώθηκε στους παράγοντες που μας ενδιαφέρει να ελέγξουμε. Η έρευνα για τη βελτιστοποίηση τμημάτων του μηχανήματος (πλαίσιο, τριβείς, μάντες, κινητήρες) κρίθηκε περιττή, αφού αυτά είχαν κλείσει από παλαιότερες δοκιμές της εταιρείας. Από την άλλη, η βελτιστοποίηση των παραμέτρων ρύθμισης και των πραγματικών δυνατοτήτων του μηχανήματος ήταν το ζητούμενο και αυτό αποφασίστηκε να εξεταστεί.

2) Επιλογή των υπό εξέταση παραγόντων και των ρυθμίσεων τους (ακρότατα)

Με βάση τα παραπάνω και για τη διευκόλυνση του πειράματος, αποφασίστηκε να μη χρησιμοποιηθεί ο ενδείκτης του μηχανήματος, αλλά για όλες τις ρυθμίσεις και ενδείξεις να χρησιμοποιηθεί το λογισμικό της δυναμοκυψέλης μέσω φορητού υπολογιστή. Οι υπό εξέταση παράγοντες θα είναι τέσσερις:

- παράμετροι δυναμοκυψέλης
 - ASF
 - ICR
- παράμετροι λειτουργίας
 - βάρος προϊόντος
 - ταχύτητα προϊόντος

Λόγω του μικρού αριθμού των παραμέτρων, τα επίπεδα ρύθμισης επιλέχθηκε να είναι τρία, ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για τη γραμμική ή μη απόκριση των εξεταζόμενων παραμέτρων.

Για την πρώτη παράμετρο (ψηφιακό φίλτρο) επιλέχθηκαν τιμές μέσα στα όρια που συστήνει ο κατασκευαστής. Για τη δεύτερη (αριθμός δειγμάτων), καθοριστικό ρόλο έπαιξε η ταχύτητα, η οποία, αφού ορίστηκε μέσα στην περιοχή λειτουργίας του μηχανήματος, κατόπιν έδωσε τον ανώτερο δυνατό αριθμό δειγματοληψιών. Τέλος, η τρίτη παράμετρος επιλέχθηκε μέσα στα όρια που καθορίζει η εμπειρία από τις εφαρμογές στη βιομηχανία.

Ζητούμενο ήταν να βρεθούν οι συσχετισμοί (αν αυτό είναι δυνατό, καθώς ο πίνακας που χρησιμοποιήθηκε δε δίνει άμεση εικόνα), αλλά κυρίως η βαρύτητα του κάθε παράγοντα στη διαδικασία της ζύγισης.

Συγκεντρωτικά οι παράγοντες και οι ρυθμίσεις τους φαίνονται παρακάτω:

Πίνακας 3: Παράγοντες ελέγχου και ρυθμίσεις

Παράγοντες ελέγχου	Ρύθμιση 1	Ρύθμιση 2	Ρύθμιση 3
ASF (Hz.)	3	8	18
ICR (μετρήσεις/sec)	19	37	75
Weight (gr.)	10	50	100
Speed (πακέτα/min.)	80	100	120

Η ταχύτητα έχει αναχθεί σε κουτιά ανά λεπτό, βάσει υπολογισμού που έγινε με δεδομένο το μήκος του ταινιόδρομου και την ταχύτητα που υπολογίζονταν με στροφόμετρο κατά τη διάρκεια των πειραμάτων:

Πίνακας 4 : Συσχετισμός μεταξύ ταχύτητας ιμάντα (30cm.) και κουτιών

(κουτιά/min.)	80	100	120
(m/min.)	24	30	36

Πίνακας 5: Τελικός πίνακας πειραμάτων χρησιμοποιώντας τον τυποποιημένο L9 array (πηγή: Ross, 1996)

	Βάρος (gr.)	ASF (Hz)	ICR (Mv/sec)	Ταχύτητα	
				cartons / min.	(m/min)
1	10	3	19	80	(24)
2	10	8	37	100	(30)
3	10	18	75	120	(36)
4	50	3	37	120	(36)
5	50	8	75	80	(24)
6	50	18	19	100	(30)
7	100	3	75	100	(30)
8	100	8	19	120	(36)
9	100	18	37	80	(24)

3) Επιλογή του εξαγόμενου ελέγχου

Στο ερώτημα ποιο θα είναι το εξαγόμενο που θα ελεγχθεί και θα ζητηθεί να βελτιστοποιηθεί, έγινε συζήτηση και τελικά επικράτησε το σ της κάθε μέτρησης έναντι άλλων, όπως η διασπορά.

4) Επιλογή του πειραματικού σχεδιασμού (λεπτομέρειες)

Κάθε πείραμα (ρύθμιση) θα έχει δέκα επαναλήψεις. Τα δείγματα θα περαστούν δέκα φορές με το χέρι από τον ταινιοζυγό. Η επιλογή του συγκεκριμένου αριθμού έγινε, γιατί με τις δέκα επαναλήψεις πετυχαίνουμε ένα σ κοντά σε αυτό του πληθυσμού των άπειρων επαναλήψεων.

Συνθήκες πειράματος / παράγοντες θορύβου.

Για λόγους απλοποίησης του πειράματος, επιλέχθηκε να μην εισαχθούν στους πίνακες τυχόν παράγοντες θορύβου, αλλά να γίνει προσπάθεια περιορισμού και ελαχιστοποίησης βάσει της εμπειρίας. Ενδεικτικά αναφέρονται τα ακόλουθα:

- διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας και καταγραφή της σχετικής υγρασίας κατά τη διάρκεια του πειράματος.
- εξάλειψη ρευμάτων αέρα και σκόνης.
- έλεγχος καλωδιώσεων για επαφή με τον ταινιόδρομο.
- απομόνωση πηγών Η/Μ θορύβου (υπολογιστές, κινητά, κινητήρες).
- χρήση θωρακισμένου καλωδίου επικοινωνίας.
- ο φορητός υπολογιστής δε συνδέθηκε στην παροχή ρεύματος (χρήση μπαταρίας).
- χρήση ίδιων κουτιών και για τα τρία βάρη (αεροδυναμική).
- βαθμονόμηση στην αρχή - μηδενισμός μετά από κάθε πείραμα.
- χρήση βαθμονομημένων οργάνων.
- οι ενδείξεις ελέγχονταν από δύο άτομα (εξάλειψη ανθρώπινου παράγοντα).
- σύντομη διάρκεια πειράματος (εξάλειψη drift).
- εφαρμογή μοντέλου τυχαιότητας στη σειρά των πειραμάτων.

5) Υλοποίηση πειράματος

Το πείραμα έλαβε χώρα στις εγκαταστάσεις της εταιρείας στις 28/1/2009 σύμφωνα με τον σχεδιασμό, με εξαίρεση μια τροποποίηση που χρειάστηκε να γίνει στον ταινιόδρομο εισόδου (κατασκευή πλαϊνών οδηγών).

6) Ανάλυση των δεδομένων

Βάσει της ανάλυσης των δεδομένων που έγινε στο λογισμικό *minitab 15*, η κατηγοριοποίηση βαρύτητας είναι η εξής (αναλυτικά τα δεδομένα στο παράρτημα):

- 1st ASF
- 2nd Ταχύτητα
- 3rd Βάρος
- 4th ICR

7) Συμπεράσματα και προτάσεις

Από την κλίση της καμπύλης προκύπτει η μη σημαντική επίδραση των δύο τελευταίων ρυθμίσεων, κάτι που επιβεβαιώνει τον εμπειρικό κανόνα ότι οι μισοί παράγοντες από αυτούς που θα επιλεγούν είναι οι σημαντικοί (Beseris, 2006).

Όπως επιβεβαιώθηκε και από τους αριθμούς, ο κρισιμότερος παράγοντας είναι η σωστή επιλογή της τιμής του ψηφιακού φίλτρου, η οποία δεν πρέπει να επιτρέπεται να ρυθμίζεται κατά βούληση από το χρήστη του μηχανήματος. Μια πρόταση που έγινε ήταν να χρησιμοποιηθεί μια ταχογεννήτρια που θα δίνει πληροφορία για την ταχύτητα και στη συνέχεια να επιλέγεται το κατάλληλο φίλτρο χωρίς την επέμβαση του χειριστή. Σε ό,τι αφορά την ταχύτητα, επιβεβαιώθηκε ότι η ταχύτητα των 120 κουτιών ανά λεπτό είναι η οροφή δυνατοτήτων της συγκεκριμένης κατασκευής και οποιαδήποτε βελτίωση για αύξηση της ταχύτητας θα προκαλούσε αύξηση του κόστους και θα καθιστούσε το μηχάνημα μη ανταγωνιστικό σε σχέση με εισαγόμενες προτάσεις.

Συνοψίζοντας

Ο πειραματικός σχεδιασμός δεν αφορά μόνο τα τμήματα έρευνας και ανάπτυξης, όπου χρησιμοποιείται κατά κόρον. Αφορά όλους τους παραγωγικούς χώρους, είναι ένα εργαλείο στα χέρια των μηχανικών για να βελτιστοποιήσουν διεργασίες ή κατασκευές. Η εταιρεία που πραγματοποίησε το πείραμα είναι αξιέπαινη, γιατί δεν αρκέστηκε στην έτοιμη γνώση, αλλά θέλησε να εμβαθύνει και να την επεκτείνει. Είναι το όπλο για την επιβίωση στην αγορά. Η άγνοια ή οι παγιωμένες απόψεις μπορεί να αποτελέσουν τροχοπέδη στον πειραματικό σχεδιασμό, ο οποίος απαιτεί προγραμματισμό και αποκαλύπτει λάθη. Οι ειδικοί της ποιότητας οφείλουν να παίζουν σημαντικό ρόλο στην προώθηση του πειραματικού σχεδιασμού.

Παράρτημα.

Πειραματικά Δεδομένα

Πίνακας : 1st run results

meas.1	meas.2	meas.3	meas.4	meas.5	meas.6	meas.7	meas.8	meas.9	meas.10	sdev
93,52	93,71	93,67	93,58	93,59	93,59	93,70	93,46	93,71	93,78	0,099
93,87	93,99	94,19	94,09	94,06	94,00	94,13	94,10	94,07	94,10	0,089
50,64	50,74	50,61	50,64	50,67	50,67	50,66	50,66	50,69	50,61	0,038
94,13	94,17	94,14	94,12	94,12	94,14	94,14	94,18	94,09	94,13	0,025
10,16	10,23	10,20	10,23	10,24	10,21	10,20	10,17	10,20	10,21	0,025
10,31	10,41	10,39	10,37	10,60	10,57	9,91	10,58	10,44	10,38	0,198
50,11	50,16	50,03	50,07	50,12	50,08	50,02	50,12	50,08	50,07	0,043
10,22	10,30	10,29	10,37	10,27	10,35	10,26	10,29	10,31	10,27	0,043
49,79	49,99	49,88	50,03	50,05	49,95	50,13	49,87	50,17	50,03	0,119

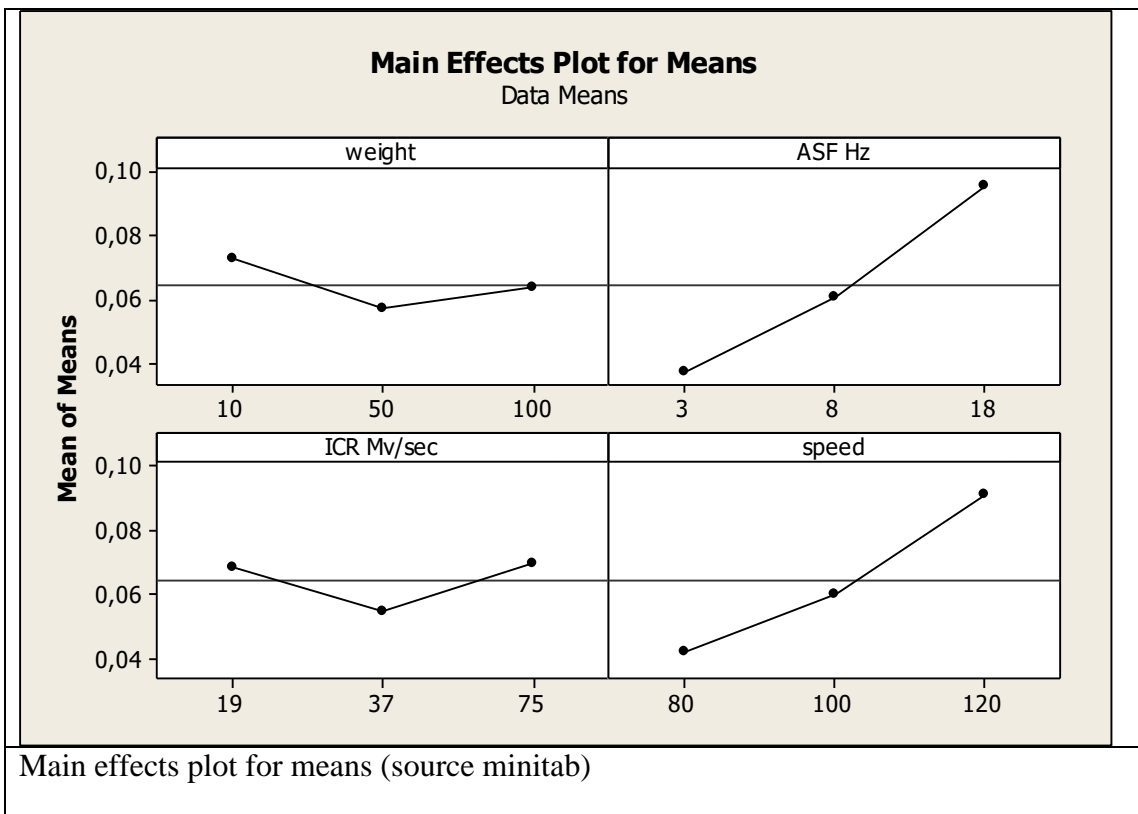
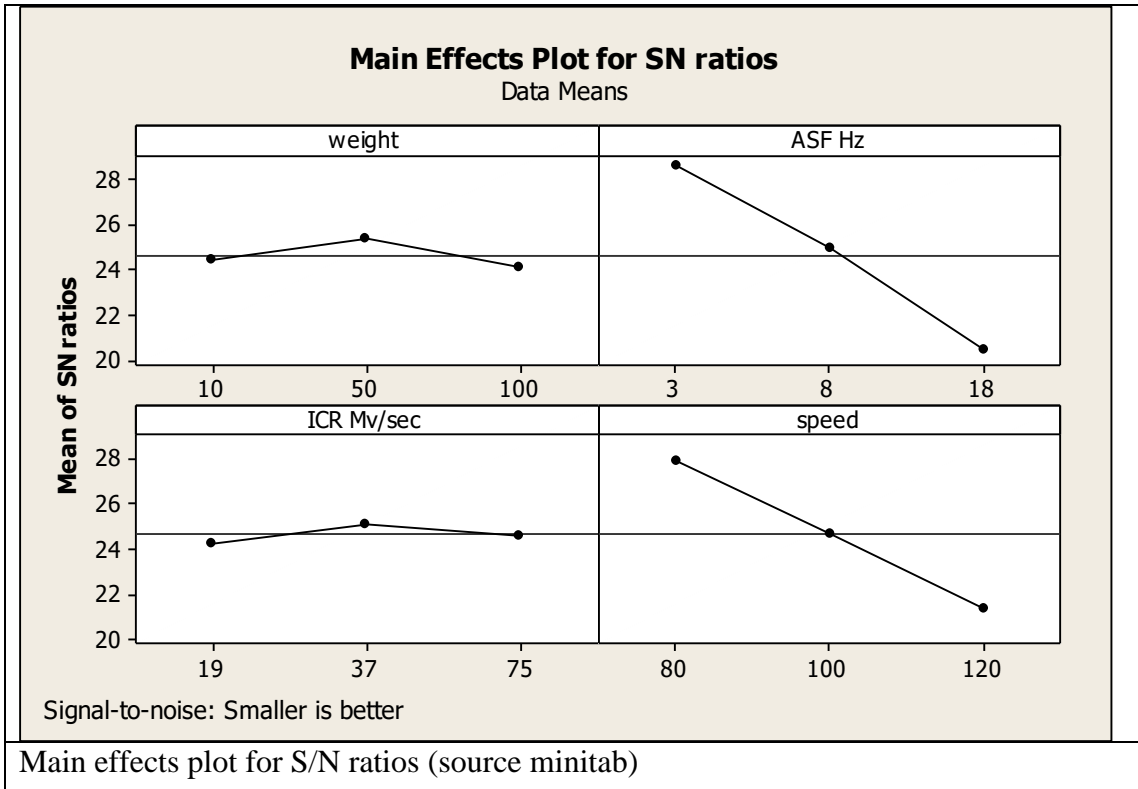
Πίνακας: 2nd run results

meas.1	meas.2	meas.3	meas.4	meas.5	meas.6	meas.7	meas.8	meas.9	meas.10	sdev
10,17	10,25	10,25	10,25	10,24	10,23	10,20	10,18	10,22	10,18	0,032
50,24	50,25	50,15	50,31	50,31	50,23	50,19	50,40	50,26	50,16	0,076
93,98	94,03	94,08	93,98	93,97	94,04	94,00	93,99	94,01	93,99	0,034
93,68	93,78	93,85	93,67	93,64	93,69	93,84	93,79	93,74	93,71	0,073
10,26	10,10	10,27	10,22	10,21	10,09	10,18	10,27	10,23	10,24	0,065
50,50	50,52	50,51	50,49	50,52	50,58	50,52	50,50	50,44	50,50	0,035
9,98	10,17	10,06	10,24	10,18	10,20	9,95	9,99	10,05	10,12	0,102
93,64	93,61	93,65	93,57	93,56	93,58	93,51	93,64	93,72	93,67	0,061
50,49	50,47	50,50	50,52	50,49	50,46	50,50	50,49	50,60	50,59	0,047

Πίνακας: 3rd run results

meas.1	meas.2	meas.3	meas.4	meas.5	meas.6	meas.7	meas.8	meas.9	meas.10	sdev
94,17	94,30	94,20	94,31	94,28	94,28	94,28	94,17	94,29	94,22	0,054
50,55	50,63	50,58	50,57	50,73	50,68	50,61	50,67	50,61	50,63	0,055
10,52	10,50	10,54	10,49	10,56	10,47	10,48	10,50	10,42	10,38	0,054
10,72	10,89	10,80	10,72	10,77	11,00	10,65	10,74	10,65	10,82	0,108
49,99	50,20	50,11	50,11	50,17	50,15	50,07	50,01	50,04	50,07	0,069
93,64	93,57	93,63	93,87	93,70	93,77	93,53	93,65	93,57	93,69	0,102
93,89	93,90	93,93	93,98	93,93	93,94	93,89	93,97	93,87	93,88	0,038
49,96	50,03	50,06	50,01	50,01	50,06	50,02	50,02	50,01	49,98	0,031
10,41	10,41	10,40	10,37	10,41	10,39	10,40	10,38	10,45	10,44	0,025

Επεξεργασία δεδομένων με την χρήση του προγράμματος Minitab 15



Linear Model Analysis: SN ratios versus weight; ASF Hz; ICR Mv/sec; speed

Estimated Model Coefficients for SN ratios

Term	Coef
Constant	24,6377
weight 10	-0,2014
weight 50	0,7351
ASF Hz 3	3,9215
ASF Hz 8	0,2577
ICR Mv/s 19	-0,3849
ICR Mv/s 37	0,4686
speed 80	3,2232
speed 100	0,0523

S = *

Analysis of Variance for SN ratios

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
weight	2	2,597	2,5972	1,2986	*	*
ASF Hz	2	98,732	98,7317	49,3658	*	*
ICR Mv/sec	2	1,124	1,1243	0,5622	*	*
speed	2	63,360	63,3604	31,6802	*	*
Residual Error	0	*	*	*		
Total	8	165,814				

Linear Model Analysis: Means versus weight; ASF Hz; ICR Mv/sec; speed

Estimated Model Coefficients for Means

Term	Coef
Constant	0,0644738
weight 10	0,0080370
weight 50	-0,0075286
ASF Hz 3	-0,0270730
ASF Hz 8	-0,0039536
ICR Mv/s 19	0,0043689
ICR Mv/s 37	-0,0099273
speed 80	-0,0224499
speed 100	-0,0045015

S = *

Analysis of Variance for Means

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
weight	2	0,000365	0,000365	0,000182	*	*
ASF Hz	2	0,005134	0,005134	0,002567	*	*
ICR Mv/sec	2	0,000446	0,000446	0,000223	*	*
speed	2	0,003752	0,003752	0,001876	*	*
Residual Error	0	*	*	*		
Total	8	0,009696				

Response Table for Signal to Noise Ratios

Smaller is better

ICR

Level	weight	ASF Hz	Mv/sec	speed
1	24,44	28,56	24,25	27,86
2	25,37	24,90	25,11	24,69
3	24,10	20,46	24,55	21,36
Delta	1,27	8,10	0,85	6,50
Rank	3	1	4	2

Response Table for Means

Level	weight	ASF Hz	ICR Mv/sec	speed
1	0,07251	0,03740	0,06884	0,04202
2	0,05695	0,06052	0,05455	0,05997
3	0,06397	0,09550	0,07003	0,09143
Delta	0,01557	0,05810	0,01549	0,04940
Rank	3	1	4	2

Αναφορές:

Beseris, G. (2006) Quality in design notes, University of Paisley, Scotland (Downloaded from blackboard)

HBM (2004) operator manuals, source HBM support software CD.

File name Contents

APPN001e.doc Checkweigher

APPN002e.doc Trigger function

APPN003e.doc Mechanical assembly of FIT load cells

APPN004e.doc Static adjustment of a scale

APPN005e.doc Measured value query (MSV?) for measuring rates up to 600 M/s

APPN006e.doc Filling and dosing with FIT II / AED103

APPN007e.doc Use of the panel program for time and frequency analyses of the scales

APPN008e.doc Digital corner load adjustment when several load cells are used

APPN009e.doc Measured value query (MSV?) for measuring rates up to 100 M/s

(AD104, AD105, FIT 1st generation)

APPN010e.doc AED / FIT in legal for trade applications

Hi-Speed, (1997) Principles of checkweighing third edition downloaded from

<http://www.packagingdigest.com/contents/pdf/principles%20of%20checkweighing.pdf> on 15/3/2007

Montgomery, D. (1997) Introduction to statistical quality control Wiley & sons U.S.A.

Taguchi, G. (1986) Introduction to quality engineering, Asian productivity organization, Japan

Tatakis, A. (2005) Operating principle of checkweighers FAMAR training manual according SOP B-TS-68

Tatakis, A. (2007) Dynamic weighting, 2nd Metrology conference, Thessaloniki 19-20/10/2007

Bell, S.(2001) A beginner's guide to uncertainty of measurement, NPL Middlesex UK ISSN 1368-6550

Ross, Phillip J. (1996) Taguchi techniques for quality engineering 2nd edition McGraw-Hill N.Y.