

**ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ TAGUCHI
ΣΤΟΝ ΠΟΙΟΤΙΚΟ ΕΛΕΓΧΟ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ**

Φ. Μπατζιάς

Τμήμα Τεχνολογίας & Συστημάτων Παραγωγής

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Καραολή & Δημητρίου 80, 18534 Πειραιάς

Τηλ.4142000, Fax 4179064, fbatzi@unipi.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή εφαρμόζονται ορισμένες απλές τεχνικές πειραματικού σχεδιασμού κατά Taguchi, ειδικά προσαρμοσμένες ώστε να καταστούν χρήσιμες για τον ποιοτικό έλεγχο επίπεδων ηλιακών συλλεκτών. Στις τεχνικές αυτές περιλαμβάνονται, εκτός των παραγόντων ελέγχου (χαρακτηριστικά υλικών και γεωμετρικά χαρακτηριστικά), και παράγοντες θορύβου, δηλ. μεταβλητές που προκαλούν διασπορά και που είναι δύσκολο να ελεγχθούν a priori. Δίνονται δύο ενδεικτικά παραδείγματα, από τα οποία φαίνονται οι αντίστοιχες αλγοριθμικές διαδικασίες. Η εφαρμογή των τεχνικών αυτών είναι δυνατό να εξοικονομήσει χρόνο και πόρους με σύγχρονη αναβάθμιση της ποιότητας του ηλιακού συλλέκτη.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο δυτικός τρόπος σκέψης, ως προς τον έλεγχο ποιότητας, κινείται στο ορθολογικό πρότυπο που οικοδομείται μία θεωρία με την τεχνική της δοκιμής ενός παράγοντα κάθε φορά, τηρουμένων των λοιπών μεταβλητών αμεταβλήτων (ceteris paribus). Η διαδικασία αυτή είναι δαπανηρή και χρονοβόρα αλλά εκπληρώνει τις προϋποθέσεις της αυστηρής επιστημονικής προσέγγισης. Ο ιαπωνικός τρόπος σκέψης, ως προς τον έλεγχο ποιότητας, κινείται στο εμπειρικό / επαγωγικό πρότυπο: εύρεση / σχεδιασμός εναλλακτικών εφικτών λύσεων και έλεγχος αυτών στο φαινομενολογικό επίπεδο των πρακτικών λύσεων και όχι (αναγκαία) των θεωρητικών αιτιών. Η διαδικασία αυτή είναι φθηνή και σύντομη ενώ παράλληλα παραπέμπει την επιστημονική διερεύνηση στους εξειδικευμένους ερευνητές κάθε πεδίου. Με τον τρόπο αυτό εξοικονομούνται πόροι και ανοίγει ο δρόμος για την υιοθέτηση προϊόντων και μεθόδων σε επίπεδο εμπορικής / βιομηχανικής τεχνογνωσίας χωρίς να προαπαιτείται η έρευνα σε βάθος των συναφών

φαινομένων. Η πολιτική αυτή δεν αποφέρει επιστημονικά άλματα και βραβεία nobel, δίνει όμως ένα μεσοπρόθεσμο συγκριτικό πλεονέκτημα στο πρακτικό πεδίο.

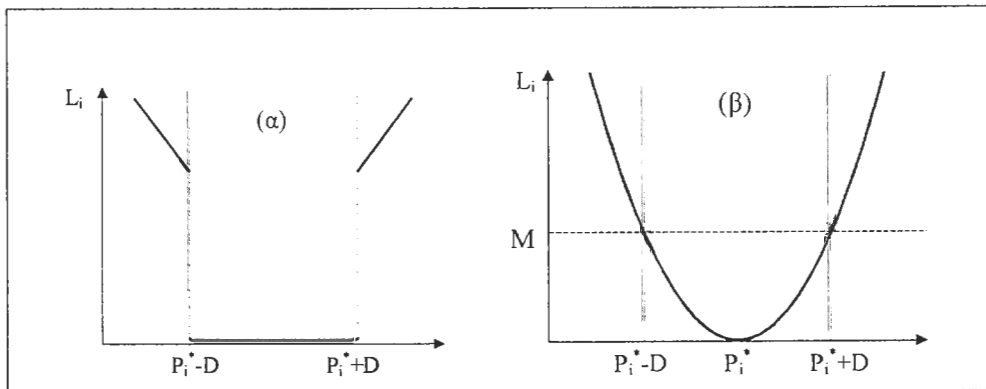
Αντιπροσωπευτικός εκφραστής του εμπειρικού τρόπου σκέψης είναι ο καθηγητής Genichi Taguchi, διευθυντής της Ιαπωνικής Ακαδημίας Ποιότητας, ο οποίος χρησιμοποίησε μεθόδους πειραματικού σχεδιασμού (experimental design) για την προαγωγή τεχνικών βελτίωσης της ποιότητας. Η ποιότητα, κατά Taguchi, είναι δυναμική έννοια και συναρτάται με την αποφυγή απώλειας κατά την παραγωγή και χρήση ενός προϊόντος. Η απώλεια είναι μηδενική, δηλ. επιτυγχάνεται ο στόχος που τίθεται a priori αλλά αναθεωρείται τακτικά, όταν τα χαρακτηριστικά είναι εντός των προδιαγραφών που συνεπάγονται πλήρη ικανοποίηση του χρήστη / καταναλωτή. Ο στόχος είναι δυνατό να είναι είτε μία περιοχή τιμών κάθε χαρακτηριστικής παραμέτρου P_i είτε μία προκαθορισμένη τιμή αυτής. (βλ. Σχήμα 1). Στη δεύτερη περίπτωση, η απώλεια $L_i = f(P_i)$

εκφράζεται με την παραβολική σχέση $f(P_i) = M[(P_i - P_i^*) / D]^2$,

όπου P_i^* η τιμή-στόχος, δηλ. μηδενική απώλεια για $P_i = P_i^*$

$2D$ η περιοχή αποδοχής (συμμετρικά κατανεμημένη με κέντρο την τιμή P_i^*),

M η οριακή απώλεια, όταν $P_i = P_i^* \pm D$.



Σχήμα 1: Εξάρτηση της απώλειας L_i από μία χαρακτηριστική παράμετρο ποιοτικού ελέγχου P_i , όταν ο στόχος είναι (α) μία περιοχή τιμών $P_i^* \pm D$ ή (β) μία προκαθορισμένη τιμή P_i^* .

Κατά τον Ν.Λογοθέτη [1], οι υποδείξεις που αντανακλούν τα βασικά σημεία των μεθόδων Taguchi είναι:

1. Αλλάζετε το χρόνο εφαρμογής του ποιοτικού ελέγχου από εν σειρά σε εκτός σειράς. Έτσι θα μπορέσετε να μειώσετε την ανάγκη της (μαζικής) επιθεώρησης, να οικοδομήσετε την

ποιότητα στο προϊόν και τα μέσα παραγωγής και, επομένως, «να το κάνετε σωστά από την αρχή».

2. Αλλάζετε τη διαδικασία πειραματισμού από τη μέθοδο μεταβολής ενός παράγοντα κάθε φορά σε αυτή της μεταβολής πολλών παραγόντων ταυτόχρονα, μέσω των τεχνικών του στατιστικού πειραματικού σχεδιασμού.
3. Αλλάζετε τους αντικειμενικούς σκοπούς των πειραμάτων και τον ορισμό της ποιότητας: από «επίτευξη συμμόρφωσης ως προς τις προδιαγραφές» σε «επίτευξη του στόχου και ελαχιστοποίηση της μεταβλητότητας».
4. Αλλάζετε τη συμπεριφορά σας απέναντι στους μη-ελεγχόμενους παράγοντες : απομακρύνετε την επιρροή και όχι το αίτιο, συντονίζοντας κατάλληλα τους ελεγχόμενους παράγοντες.

Ειδικότερα, ο πειραματικός σχεδιασμός κατά Taguchi είναι δυνατό να υποδείξει [2] :

- α. τις παραμέτρους σχεδιασμού που έχουν τη μεγαλύτερη και τη μικρότερη επίδραση στα χαρακτηριστικά ποιότητας του προϊόντος,
- β. τις περιοχές των τιμών των παραμέτρων σχεδιασμού που εγγυώνται ελαχιστοποίηση του 'θορύβου' και της μεταβλητότητας των χαρακτηριστικών ποιότητας, χωρίς αύξηση του κόστους παραγωγής.

Στην παρούσα μελέτη, εφαρμόζονται ορισμένες σχετικά απλές τεχνικές πειραματικού σχεδιασμού στον ποιοτικό έλεγχο επίπεδου ηλιακού συλλέκτη.

2. ΑΠΛΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΧΩΡΙΣ ΘΟΡΥΒΟ

Για μια πρώτη απλή προσέγγιση, θεωρούμε τις παρακάτω μεταβλητές ως παράγοντες ελέγχου της εκτιμώμενης συνολικής απόδοσης του επίπεδου ηλιακού συλλέκτη, λογιζόμενης σε ενέργεια Y (kWh) που απολαμβάνεται / αποδίδεται καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του συλλέκτη.

- | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| A. Πάχος Καλύμματος | E. Υλικό Πλαισίου |
| B. Απόσταση Καλύμματος - Απορροφητή | F. Υλικό πίσω και πλευρικής μόνωσης |
| C. Υλικό Σωλήνων - Πτερυγίων | G. Πάχος πίσω και πλευρικής μόνωσης |
| D. Τύπος Απορροφητικής Επιφάνειας | |

Στην προσέγγιση αυτή, δεν περιλαμβάνεται 'θόρυβος', δηλ. μεταβλητές / παράγοντες που προκαλούν διασπορά και που είναι δύσκολο να ελεγχθούν a priori. Με τους παραπάνω παράγοντες ελέγχου, να λειτουργούν σε δύο (1,2) επίπεδα, λαμβάνουμε την παρακάτω ενδεικτική ορθογωνική διάταξη για 8 πειράματα.

Η τιμή απόκρισης (response value), για κάθε συνδυασμό παράγοντα ελέγχου και επιπέδου εξέτασης, δίνεται ως μέση τιμή των αντίστοιχων τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής Y , που δείχνει το εκτιμώμενο συνολικό αποτέλεσμα κάθε πειράματος. Π.χ. η τιμή απόκρισης του

Πείραμα α.α.	Παράγοντας Ελέγχου							Y (kWh)
	A	B	C	D	E	F	G	
1	1	1	1	1	1	1	1	18 475
2	1	1	1	2	2	2	2	22 920
3	1	2	2	1	1	2	2	21 635
4	1	2	2	2	2	1	1	22 920
5	2	1	2	1	2	1	2	20 390
6	2	1	2	2	1	2	1	22 065
7	2	2	1	1	2	2	1	21 245
8	2	2	1	2	1	1	2	21 580

παράγοντα ελέγχου «Πάχος Καλύμματος» στο επίπεδο 1 είναι $A1=(18475+22920+21635+22920)/4=21487,5$ kWh ενώ στο επίπεδο 2 είναι $A2=(20390+22065+21245+21580)/4=21320$ kWh. Επειδή το κριτήριο πρόκρισης είναι του τύπου «όσο μεγαλύτερο τόσο καλύτερο», επιλέγεται ως καλύτερος ο συνδυασμός A1. Με τον ίδιο τρόπο επιλέγονται και οι λοιποί συνδυασμοί B2, C2, D2, E2, F2, G2. Για την εκτίμηση της τιμής - στόχου Y_i της εξαρτημένης μεταβλητής λαμβάνεται υπ' όψη μόνο το 50 % των καλύτερων συνδυασμών, προς αποφυγή υπερεκτίμησης του αποτελέσματος [3]. Για το σκοπό αυτό, οι επιλεχθέντες συνδυασμοί κατατάσσονται κατά σειρά φθίνουσα ως προς την αντίστοιχη τιμή απόκρισης g_i και λαμβάνονται υπ' όψη οι m πρώτοι από αυτούς, όπου $m = \text{INT}(k/2 - 0.5)$, k =αριθμός παραγόντων ελέγχου (εδώ $k = 7$ και οι m συνδυασμοί είναι D2, E2, F2, κατά λεξικογραφική σειρά). Η σχέση που δίνει την τιμή - στόχο Y_i είναι

$$Y_i = \bar{y} + \sum_{i=1}^m (g_i - \bar{y}) = \sum_{i=1}^m g_i - (m-1)\bar{y} \quad \text{όπου} \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Y_j$$

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, $\bar{y} = 21403.75$ kWh, $Y_i = 23398,75$ kWh.

3. ΑΠΛΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕ ΘΟΡΥΒΟ

Η εισαγωγή παραγόντων θορύβου διαφοροποιεί πλήρως την αλγοριθμική διαδικασία επίλυσης του προβλήματος. Η κρίσιμη μεταβλητή τώρα είναι ο λόγος σήματος προς θόρυβο $\eta=S/N$ (signal to noise ratio), ο οποίος υπολογίζεται για κάθε πείραμα i με βάση τις εκτιμώμενες τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής Y_{ij} ($i=1,2,\dots,r$, όπου r ο αριθμός των παραγόντων θορύβου) ως εξής:

$$\eta_i = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Y_{ij}^{-2} \right], \quad \eta_i = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Y_{ij}^2 \right], \quad \eta_i = -10 \log_{10} \left[\frac{1-p_i}{p_i} \right]$$

όταν το κριτήριο είναι «όσο μεγαλύτερο τόσο καλύτερο», «όσο λιγότερο τόσο καλύτερο», «αποτέλεσμα αποδεκτό ή μη αποδεκτό», αντίστοιχα (ρ είναι το ποσοστό των αποδεκτών αποτελεσμάτων).

Με τον τρόπο αυτό, προκύπτει μια στήλη με n στοιχεία ($\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$), ένα για κάθε αριθμημένο πείραμα ΝΕ. Η στήλη αυτή χρησιμοποιείται όπως ακριβώς χρησιμοποιήθηκε η στήλη των τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής Y στο προηγούμενο κεφάλαιο με τη μόνη διαφορά ότι εδώ το κριτήριο είναι πάντοτε του τύπου «όσο μεγαλύτερο τόσο καλύτερο». Οι προκρινόμενοι m (από συνολικό αριθμό k) συνδυασμοί, και μόνο αυτοί, εξετάζονται σε κάθε παράγοντα θορύβου, οπότε προκύπτει ο βέλτιστος συνδυασμός με τα συνήθη κριτήρια. Η τιμή – στόχος \hat{Y}_s προκύπτει από την εύρεση του μεγίστου ή ελαχίστου (ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο κριτήριο) των στοιχείων του συνόλου $\hat{Y}_s = \bar{y} + \sum_{i=1}^m (g_{s,i} - \bar{y})$, όπου $\bar{y} = \frac{1}{n \Gamma} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{\Gamma} Y_{i,j}$, $s = 1, 2, \dots, \Gamma$

Μια απλή εφαρμογή με τέσσερις παράγοντες θορύβου δίνεται στον παρακάτω πίνακα. Οι παράγοντες θορύβου 1-Q, 2-Q, 1-R, 2-R, εξάγονται από το συνδυασμό δύο επιπέδων συνεργείου / εξοπλισμού στον κατασκευαστή (1,2) και δύο προμηθευτών υλικών (Q, R). Οι παρακάτω αναφερόμενοι 11 παράγοντες ελέγχου προκύπτουν με απλή επέκταση αυτών που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο Κεφάλαιο, με μόνη προσθήκη τη γεωμετρία του ηλιακού συλλέκτη, η οποία επηρεάζει την απόδοσή του [4]. Οι εκτιμήσεις των τιμών Y_{ij} βασίζονται σε μετρήσεις ποιοτικού ελέγχου που γίνονται είτε από τον κατασκευαστή των ηλιακών συλλεκτών είτε από εργαστήριο ποιοτικού ελέγχου που επιλέγεται με ορισμένα κριτήρια και διαδικασία. [5].

- | | |
|-------------------------------------|----------------------------|
| A. Γεωμετρία Συλλέκτη | G. Υλικό Πλαισίου |
| B. Αριθμός Καλυμμάτων | H. Υλικό πίσω μόνωσης |
| C. Πάχος Καλυμμάτων | I. Πάχος πίσω μόνωσης |
| D. Απόσταση Καλύμματος - Απορροφητή | J. Υλικό πλευρικής μόνωσης |
| E. Υλικό Σωλήνων – Πτερυγίων | K. Πάχος πλευρικής μόνωσης |
| F. Τύπος Απορροφητικής Επιφάνειας | |

Με βάση την αναφερόμενη αλγοριθμική διαδικασία, το σύνολο των k αρχικά επιλεγόμενων συνδυασμών είναι [A1, B1, C2, D2, E2, F2, G2, H2, I1, J2, K2]. Το υποσύνολο των m προκρινόμενων συνδυασμών είναι [D2, F2, G2, H2, K2]. Η τιμή $\max[\hat{Y}_1, \hat{Y}_2, \hat{Y}_3, \hat{Y}_4] = \max[20977, 24734, 25677, 24720]$ δίνει την τιμή-στόχο $\hat{Y}_3 = 25677$ kWh,

η οποία προκύπτει από το συνδυασμό του συνεργείου (με τον αντίστοιχο εξοπλισμό) Ι και τον προμηθευτή υλικών R.

NE	Παράγοντας Ελέγχου											Παράγοντας Θορύβου				Μέση Τιμή	Λόγος S/N
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	1-Q	2-Q	1-R	2-R		
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19730	20240	20657	20460	20276,25	86,1358
2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	23045	23610	23950	23745	23587,50	87,4510
3	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	20980	21455	21835	21485	21438,75	86,6214
4	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2	21840	22325	22775	22895	22458,75	87,0232
5	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1	21995	22570	23010	23090	22666,25	87,1027
6	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1	22265	23085	23325	23070	22936,25	87,2064
7	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1	21715	22460	22690	22430	22323,75	86,9718
8	2	1	2	1	2	2	1	1	1	1	2	22820	23815	23745	23510	23472,50	87,4075
9	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1	22070	23005	22960	22680	22678,75	87,1088
10	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2	20510	21655	21445	21225	21208,75	86,5248
11	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2	21655	22590	22580	22140	22241,25	86,9392
12	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1	20415	21075	21320	21310	21030,00	86,4527
Συνολική Μέση Τιμή :																22193,23	86,9121

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Υποδεικνύεται ότι ο κατά Taguchi πειραματικός σχεδιασμός είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί στον ποιοτικό έλεγχο επίπεδου ηλιακού συλλέκτη με μεταβλητές ελέγχου το πάχος του καλύμματος, την απόσταση καλύμματος-απορροφητή, το υλικό σωλήνων και πτερυγίων, τον τύπο της απορροφητικής επιφάνειας, το υλικό του πλαισίου, το υλικό και το πάχος της μόνωσης. Αυτές οι μεταβλητές ελέγχου είναι δυνατό να διασπαστούν ή να επεκταθούν, ώστε να γίνει περισσότερο λεπτομερής ο ποιοτικός έλεγχος. Η διαδικασία φαίνεται να λειτουργεί ικανοποιητικά και στην περίπτωση που εισάγεται 'θόρυβος' στο σύστημα. Λαμβάνοντας υπ' όψη ότι η κατασκευή του συλλέκτη βασίζεται σε τυποποιημένες διαδικασίες και υλικά του εμπορίου, δηλ. οι παράμετροι λαμβάνουν τιμές πεπερασμένου πλήθους και διακριτές, ο συγκεκριμένος πειραματικός σχεδιασμός εγγυάται αξιόπιστα αποτελέσματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ν.Λογοθέτης,, «Μάνατζμεντ Ολικής Ποιότητας», TQM HELLAS-INTERBOOKS, Αθήνα ,1992, 381-435.
- [2] J.S. Oakland, "Statistical Process Control", Butterworth-Heinemann, Oxford, 1999, 349-353.
- [3] T.J.Kazmierski, "Statistical Problem Solving in Quality Engineering", McGraw-Hill, New York, 1995, 235-247.
- [4] Ν.Κουμούτσος, Ι.Παλυβός, Γ.Θωμαΐδης, "Η Επίδραση του Ανέμου πάνω στην Απόδοση του Επίπεδου Ηλιακού Συλλέκτη", Πρακτικά 1^{ου} Εθνικού Συνεδρίου για τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας, Εκδ. Ι.Η.Τ., Θεσσαλονίκη, 1982, τομ. Α, HEX - 1-15.
- [5] Α.Μπατζιάς, Κ.Ρήγας, Β.Μπελεσιώτης, "Σχεδιασμός Νευρωνικού Δικτύου για Βέλτιστο Ποιοτικό Έλεγχο. Εφαρμογή σε Ηλιακά Συστήματα", Πρακτικά 5^{ου} Εθνικού Συνεδρίου για τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας, Εκδ. Ι.Η.Τ., Αθήνα, 1996, τομ. Α, 154-163.