

Διερεύνηση Αξιοπιστίας και Βελτιστοποίηση Συντηρησιμότητας Εξοπλισμού Μονάδας Ξήρανσης σε Βιομηχανία Παραγωγής Δομικών Υλικών

Βασίλειος Θ. Σαλτογιαννης

Μεταπτυχιακός Φοιτητής ΔΙΠ/ΣΘΕΤ, ΕΑΠ

Email basileiossaltogiannis@yahoo.gr,

Email std160649@ac.eap.gr

Αλεξ Καραγρηγορίου

Μέλος ΣΕΠ ΔΙΠ/ΣΘΕΤ ΕΑΠ

Email alex.karagrigoriou@gmail.com

Περίληψη - Η παρούσα εργασία πραγματοποιείται τη διερεύνηση της αξιοπιστίας (Reliability) και τη βελτιστοποίηση της συντηρησιμότητας (Maintainability) του εξοπλισμού Μονάδας Ξήρανσης σε βιομηχανία παραγωγής δομικών υλικών. Η μελέτη βασίζεται σε πραγματικά δεδομένα λειτουργίας και συντήρησης για την περίοδο 2019–2025 και εντάσσεται στο πλαίσιο της ανάλυσης RAM (Reliability–Availability–Maintainability).

Η ποσοτική αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε μέσω δεικτών TTF, MTBF, MTTR και Availability, ενώ εφαρμόστηκαν στατιστικές μέθοδοι Kaplan–Meier και προσαρμογή κατανομής Weibull για τη μοντελοποίηση του χρόνου αστοχίας κρίσιμων υποσυστημάτων. Η συγκριτική αξιολόγηση παραμετρικής και μη παραμετρικής προσέγγισης επέτρεψε τον εντοπισμό κρίσιμων σημείων μειωμένης αξιοπιστίας και αυξημένου ρυθμού αστοχίας. Τα αποτελέσματα ανέδειξαν υπομονάδες με αυξημένη μεταβλητότητα χρόνου ζωής και διαφοροποιημένη συμπεριφορά ρυθμού βλάβης, οδηγώντας σε τεκμηριωμένες προτάσεις ανασχεδιασμού της πολιτικής συντήρησης. Η προτεινόμενη στρατηγική εστιάζει στη μείωση απρογραμμάτιστων διακοπών, στη βελτίωση του MTBF και στη μείωση του MTTR μέσω στοχευμένων προληπτικών και συντηρήσεων βάσει κατάστασης, προτείνοντας πρακτικές βελτιώσεις στη διαχείριση συντήρησης της μονάδας.

Λέξεις-Κλειδιά: Αξιοπιστία, Συντηρησιμότητα, Διαθεσιμότητα, Weibull, Kaplan–Meier, RAM, Βιομηχανική Συντήρηση.

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σύγχρονη βιομηχανική πραγματικότητα χαρακτηρίζεται από αυξημένες απαιτήσεις ανταγωνιστικότητας, ποιότητας και βιωσιμότητας. Η διασφάλιση της συνεχούς λειτουργίας του εξοπλισμού αποτελεί κρίσιμο παράγοντα επιτυχίας, ιδιαίτερα σε παραγωγικές μονάδες υψηλής έντασης λειτουργίας. Η συντήρηση δεν αντιμετωπίζεται πλέον ως υποστηρικτική δραστηριότητα, αλλά ως στρατηγική λειτουργία που

επηρεάζει άμεσα το κόστος, την ποιότητα και την αξιοπιστία της παραγωγής.

Η Μονάδα Ξήρανσης αποτελεί βασικό τμήμα της παραγωγικής διαδικασίας σε βιομηχανία δομικών υλικών. Η συνεχής λειτουργία της υπό απαιτητικές θερμικές και μηχανολογικές συνθήκες καθιστά αναγκαία τη συστηματική παρακολούθηση της αξιοπιστίας και της απόδοσής της. Η παρούσα μελέτη εστιάζει στη διερεύνηση της συμπεριφοράς αστοχίας των επιμέρους υποσυστημάτων και στην ανάπτυξη προτάσεων βελτιστοποίησης της συντήρησης.

II. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Η αξιοπιστία ορίζεται ως η πιθανότητα ένα σύστημα να εκτελεί τη λειτουργία του χωρίς αστοχία για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα υπό καθορισμένες συνθήκες. Η συντηρησιμότητα αναφέρεται στην ικανότητα αποκατάστασης της λειτουργίας εντός προκαθορισμένου χρόνου, ενώ η διαθεσιμότητα αποτελεί συνδυαστικό δείκτη αξιοπιστίας και συντηρησιμότητας (RAM).

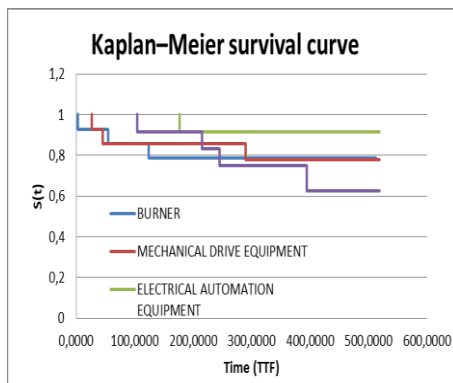
Οι βασικοί δείκτες που χρησιμοποιούνται είναι: MTTF (Mean Time To Failure), MTBF (Mean Time Between Failures), MTTR (Mean Time To Repair) και Availability. Η ανάλυση επιβίωσης επιτρέπει την εκτίμηση της πιθανότητας λειτουργίας χωρίς αστοχία, ενώ η συνάρτηση κινδύνου περιγράφει τον ρυθμό αστοχίας.

Η μέθοδος Kaplan–Meier παρέχει μη παραμετρική εκτίμηση της καμπύλης επιβίωσης, ενώ η κατανομή Weibull χρησιμοποιείται ευρέως για την παραμετρική προσρμογή δεδομένων αστοχίας. Η παράμετρος σχήματος k επιτρέπει τον προσδιορισμό του μηχανισμού αστοχίας (πρώιμες αστοχίες, τυχαίες αστοχίες, φθορά) ενώ η παράμετρος κλίμακας λ καθορίζει τη χρονική κλίμακα της κατανομής και επηρεάζει τον αναμενόμενο χρόνο ζωής του συστήματος.

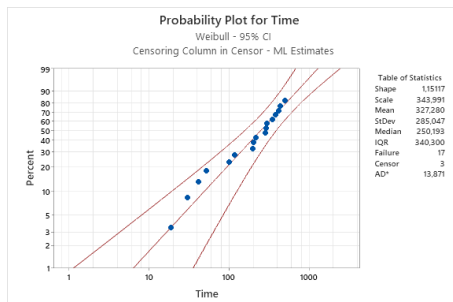
III. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η έρευνα βασίστηκε σε δεδομένα βλαβών και επισκευών της περιόδου 2019–2025. Τα δεδομένα οργανώθηκαν ανά υποσύστημα (Καυστήρας, Μηχανολογικός Εξοπλισμός Κίνησης, Ηλεκτρολογικός Εξοπλισμός, Ηλεκτρομειωτήρας). Υπολογίστηκαν οι χρόνοι μέχρι την αστοχία (TTF) και οι χρόνοι αποκατάστασης (TTR).

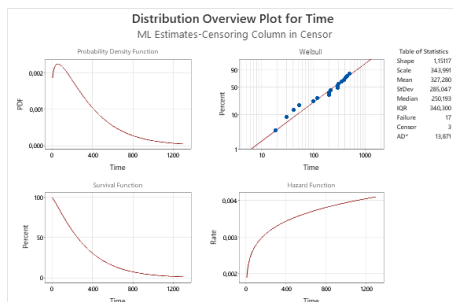
Ακολούθησε στατιστική ανάλυση με εφαρμογή της μεθόδου Kaplan–Meier για την εκτίμηση της καμπύλης επιβίωσης και της κατανομής Weibull για τον υπολογισμό των παραμέτρων σχήματος και κλίμακας. Η σύγκριση των δύο προσεγγίσεων επέτρεψε μια πληρέστερη αξιολόγηση των δεδομένων και την εξαγωγή τεκμηριωμένων συμπερασμάτων.



Σχήμα 1. Καμπύλη επιβίωσης Kaplan–Meier



Σχήμα 2. Διάγραμμα πιθανοτήτων της κατανομής Weibull με 95% διάστημα εμπιστοσύνης για τον χρόνο αστοχίας



Σχήμα 3. Συνοπτική απεικόνιση της προσαρμοσμένης κατανομής Weibull (ML εκτιμήσεις) για τον χρόνο αστοχίας

IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η ανάλυση έδειξε διαφοροποιήσεις στη συμπεριφορά αστοχίας μεταξύ των υποσυστημάτων. Σε ορισμένες περιπτώσεις παρατηρήθηκε αυξανόμενη συνάρτηση κινδύνου, γεγονός που υποδηλώνει φθορά και γήρανση. Σε άλλες περιπτώσεις παρατηρήθηκε φθίνουσα τάση, ενδεικτική πρώιμων αστοχιών.

Η διαθεσιμότητα του συστήματος διατηρήθηκε σε υψηλά επίπεδα, ωστόσο εντοπίστηκαν περιθώρια βελτίωσης μέσω αναθεώρησης των διαστημάτων προληπτικής συντήρησης και εφαρμογής προβλεπτικών τεχνικών.

V. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η μελέτη κατέδειξε τη σημασία της συστηματικής ανάλυσης δεδομένων συντήρησης. Η εφαρμογή στατιστικών εργαλείων ενισχύει τη δυνατότητα πρόβλεψης αστοχιών και βελτιστοποίησης πόρων. Προτείνεται η ενίσχυση της προβλεπτικής συντήρησης, η αξιοποίηση συστημάτων παρακολούθησης κατάστασης και η ενσωμάτωση των αρχών του ISO 55000 στη στρατηγική διαχείριση εξοπλισμού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Alsyouf, I. (2009). Maintenance practices in Swedish industries: Survey results and analysis. *International Journal of Production Economics*, 121(1), 212–223.
- Barlow, R. E., & Proschan, F. (1996). *Mathematical theory of reliability*. SIAM.
- Bhadury, B. (2012). *Principles and practice of total productive maintenance*. Allied Publishers.
- Blanchard, B. S., & Fabrycky, W. J. (2011). *Systems engineering and analysis* (5th ed.). Pearson.
- Collett, D. (2015). *Modelling survival data in medical research* (3rd ed.). CRC Press.
- Dhillon, B. S. (2006). *Maintainability, maintenance, and reliability for engineers*. CRC Press.
- European Committee for Standardization. (2017). EN 13306:2017 – Maintenance – Maintenance terminology. CEN.
- International Electrotechnical Commission. (2015). IEC 60050-192: International electrotechnical vocabulary – Dependability. IEC.
- International Organization for Standardization. (2014). ISO 55000:2014 – Asset management – Overview, principles and terminology. ISO.
- International Organization for Standardization. (2017). ISO 13306:2017 – Maintenance terminology. ISO.
- International Organization for Standardization. (2018). ISO 45001:2018 – Occupational health and safety management systems - Requirements with guidance for use.
- International Labour Organization. (2013). *Safety and health in the use of machinery: ILO code of practice*. Geneva: International Labour Office.
- Jardine, A. K. S., Lin, D., & Banjevic, D. (2006). A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 20(7), 1483–1510.
- Kaplan, E. L., & Meier, P. (1958). Nonparametric estimation from incomplete observations. *Journal of the American Statistical Association*, 53(282), 457–481.
- Kelly, A., & Harris, M. (1978). *Management of industrial maintenance*. Butterworths.
- Kleinbaum, D. G., & Klein, M. (2012). *Survival analysis: A self-learning text* (3rd ed.). Springer.
- Mobley, R. K. (2002). *An introduction to predictive maintenance* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.
- Moubray, J. (1997). *Reliability-centered maintenance* (2nd ed.). Industrial Press.
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: Total productive maintenance*. Productivity Press.
- Reason, J. (1997). *Managing the risks of organizational accidents*. Aldershot, UK: Ashgate.
- O'Connor, P. D. T., & Kleyner, A. (2012). *Practical reliability engineering* (5th ed.). Wiley.
- Smith, D. J., & Hinchliffe, G. R. (2004). *RCM guide: Getting started with reliability-centred maintenance*. Elsevier.
- Weibull, W. (1951). A statistical distribution function of wide applicability. *Journal of Applied Mechanics*, 18, 293–297.
- Wireman, T. (2014). *Maintenance management*. Industrial Press.
- Wireman, T. (2004). *Total Productive Maintenance*. New York: Industrial Press.