

Μηχανική μάθηση και μεταερευτικοί αλγόριθμοι ως εργαλεία για τον σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση προηγμένων συστημάτων αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας

Θ. Ξενιτόπουλος¹, Α. Αναγνωστόπουλος^{1*}, Π. Σεφερλής¹

¹Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

(*argyanag@meng.auth.gr)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ανάκτηση της απορριπτόμενης θερμότητας είναι μια ιδιαίτερα σημαντική πρόκληση για τον βιομηχανικό τομέα[1]. Τα συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας (TES), ιδίως με χρήση υλικών αλλαγής φάσης (PCM), αποτελούν μια πολλά υποσχόμενη λύση[2]. Από τα διάφορα υπάρχοντα συστήματα, αυτά της αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας σε packed bed (PBLHS) είναι ιδιαίτερα πλεονεκτικά λόγω της αποδοτικότητάς τους σε διάφορα θερμοκρασιακά εύρη, τον ευέλικτο σχεδιασμό αλλά και το χαμηλό κόστος κεφαλαίου[3]. Ωστόσο, οι τρέχουσες πρακτικές σχεδιασμού για τα PBLHS αντιμετωπίζουν περιορισμούς ως προς την ακρίβεια και την προσαρμοστικότητα. Μια ολοκληρωμένη βιβλιογραφική ανασκόπηση δείχνει ότι ενώ η ακρίβεια των μοντέλων πεπερασμένων στοιχείων (FEM) χρησιμοποιείται συνήθως στην έρευνα PBLHS, το υψηλό υπολογιστικό τους κόστος και η έλλειψη προσαρμοστικότητας περιορίζουν τη χρήση τους σε εφαρμογές μεγάλης κλίμακας και πραγματικού χρόνου, ενώ τα αναλυτικά μοντέλα παρέχουν ευελιξία αλλά θυσιάζουν την ακρίβεια λόγω υπεραπλουστευμένων παραδοχών. Η ενσωμάτωση της μηχανικής μάθησης (ML) προσφέρει μια νέα προσέγγιση για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων[4]. Στο πλαίσιο αυτό, σε αυτή την εργασία, αναπτύχθηκε ένα βαθύ μοντέλο ML για την πρόβλεψη επιδόσεων PBLHS, εκπαιδευμένο χρησιμοποιώντας δεδομένα που δημιουργήθηκαν από ένα επικυρωμένο FEM. Το μοντέλο ML παρουσίασε υψηλή απόδοση με R^2 τιμή 0,975 και χαμηλό MAPE <9,14%. Για να ενισχυθεί η αποτελεσματικότητα του μοντέλου ML και βελτιστοποιημένης απόδοσης, διερευνήθηκαν διάφοροι μεταερευτικοί αλγόριθμοι. Ο Harmony Search (HS) αλγόριθμος αναδείχθηκε ως ο πιο αποτελεσματικός μέσω μιας πρώιμης διαλογής και υποβλήθηκε σε περαιτέρω βελτίωση. Ο βελτιστοποιημένος αλγόριθμος HS σχεδίασε διατάξεις PBLHS συνολικής απόδοσης έως και 85% ανώτερη σε σχέση με τα διαθέσιμα πειραματικά σχέδια PBLHS. Αυτό επιτεύχθηκε με υπολογιστικούς χρόνους λιγότερους από 6 λεπτά. Η έρευνα αυτή υπογραμμίζει τις δυνατότητες των ολοκληρωμένων προσεγγίσεων ML στη δημιουργία βάσεων για γενικευμένα πλαίσια σχεδιασμού συστημάτων TES, προσφέροντας αποδοτικές και αποτελεσματικές λύσεις για την ανάκτηση απορριπτόμενης θερμότητας.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Αποθήκευση Θερμικής Ενέργειας, Σχεδιασμός, Μηχανική Μάθησης, Μεταερευτικοί Αλγόριθμοι, Βελτιστοποίηση

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Jouhara H., Khordehgah N., Almahmoud S., Delpech B., Chauhan A., Tassou S. (2018). *Therm. Sci. Eng. Prog.*, 6 (April), 268–289.
- [2] Miró L., Gasia, J., Cabeza L. F. (2016). *Applied Energy*, 179, 284-301.
- [3] He X., Qiu J., Wang W., Hou Y., Ayyub M., Shuai Y. (2022). *J. Energy Storage*, 51, 104555.
- [4] Gu G., Noh J., Kim I., Jung Y., (2019). *J. Mater. Chem. A*, 7, 17096-17117.