

**ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ CO₂ - ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕΣΩ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΔΙΔΥΜΟΥ**

**Α. Στόικος^{1,2*}, Α.-Σ. Κυριακίδης², Γ. Γραβάνης^{2,3}, Δ. Τρίγκας^{2,4}, Ι.Ν. Τσιμπανογιάννης², Σ.
Βουτετάκης², Π. Σεφερλής^{1,2}**

¹Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

²Εθνικό Κέντρο Έρευνας & Τεχνολογικής Ανάπτυξης, Θέρμη, Ελλάδα

³Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων, ΔΙΠΑΕ, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

⁴Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, ΔΙΠΑΕ, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

(*astoik@meng.auth.gr)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αναδεικνύονται ως μια βιώσιμη λύση για τη μείωση της χρήσης των ορυκτών καυσίμων. Ωστόσο, η ακανόνιστη/διαλείπουσα παραγωγή ενέργειας είναι το βασικό μειονέκτημά τους, καθιστώντας απαραίτητη τη χρήση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας. Η ηλεκτροθερμική αποθήκευση ενέργειας με χρήση κύκλων ισχύος με διακρίσιμο CO₂ ως ρευστό εργασίας (transcritical CO₂ cycle-TCO₂), αποτελούμενη από μία αντλία θερμότητας (HP) και μία θερμική μηχανή (HE), αναδεικνύεται ως μια πολλά υποσχόμενη λύση^[1], με το νερό και τον πάγο να χρησιμοποιούνται ως το θερμό και το ψυχρό μέσο αποθήκευσης της θερμικής ενέργειας, αντιστοίχως.

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο την ανάπτυξη και αξιολόγηση μοντέλων ηλεκτροθερμικής αποθήκευσης ενέργειας με CO₂, κάτω από διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας, μέσω διαφορετικών κύκλων, καθώς και με τη χρήση εναλλακτικών μέσων θερμικής αποθήκευσης ενέργειας. Αρχικά παρουσιάζεται η ανάπτυξη και επαλήθευση ενός μαθηματικού μοντέλου μόνιμης κατάστασης του συστήματος για τρεις κλάσεις ισχύος, 1 MW, 5 MW και 100 MW. Ακολουθεί η παραμετρική ανάλυση ευαισθησίας, με σκοπό τη διερεύνηση της επίδρασης διαφορετικών παραμέτρων του μοντέλου ($P_{HP,High}$, $P_{HE,High}$) στην απόδοση του συστήματος (η_{R-T} , η_{HP} , η_{HE}). Επιπροσθέτως, γίνεται αξιολόγηση εναλλακτικών ψυχρών μέσων αποθήκευσης της θερμικής ενέργειας (με σημείο πήξης μικρότερο του πάγου). Αποδεικνύεται ότι υπάρχουν πιέσεις $P_{HP,High}$ και $P_{HE,High}$ για τις οποίες η απόδοση του συστήματος (η_{R-T}) αυξάνεται έως 7.68 %, ενώ η χρήση ψυχρών μέσων με σημείο πήξης μικρότερο του πάγου, οδηγεί σε μείωση του η_{R-T} . Επιπλέον, αξιολογείται η εφαρμογή του προτεινόμενου συστήματος με παράλληλη γεωλογική αποθήκευση CO₂ για δύο μεγέθη ισχύος (5 MW και 100 MW). Για το σκοπό αυτό, πραγματοποιείται παραμετρική ανάλυση ευαισθησίας για διαφορετικά σενάρια γεωλογικής αποθήκευσης CO₂, ώστε να εκτιμηθεί η επίδρασή τους στους ίδιους δείκτες απόδοσης. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης συγκρίνονται με την περίπτωση χωρίς γεωλογική αποθήκευση CO₂. Όλα τα σενάρια εκτός από ένα παρουσιάζουν βελτίωση του η_{R-T} , ενώ το βέλτιστο εντοπίζεται για το ίδιο σενάριο, 51.30 % (5 MW) και 51.18 % (100 MW). Τέλος, παρουσιάζεται ένα ψηφιακό δίδυμο των συστημάτων, με και χωρίς γεωλογική αποθήκευση CO₂, το οποίο αναπτύχθηκε σε Python, μέσω του οποίου δίνεται στο χρήστη η δυνατότητα προσομοίωσης της λειτουργίας του συστήματος και εφαρμογής προηγμένων εργαλείων για την βέλτιστη λειτουργία του συστήματος.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ηλεκτροθερμική αποθήκευση ενέργειας, TCO₂, γεωλογική αποθήκευση CO₂, ψηφιακό δίδυμο

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Mercangöz M, Hemrle J, Kaufmann L, Z'Graggen A, Ohler C. (2012). *Energy*, 45, 407–415.