

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι θερμικές ιδιότητες του εδάφους είναι σημαντικές για τον σχεδιασμό ενός γεωθερμικού εναλλάκτη. Οι πιο απαραίτητες θερμικές ιδιότητες είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας(λ), η ειδική θερμότητα του εδάφους (c), η πυκνότητα (ρ) και η θερμική διαχυτότητα στο έδαφος (α). Οι ιδιότητες αυτές υπολογίζονται με πειραματικές μετρήσεις. Από τις πειραματικές μετρήσεις αναλύονται τα αποτελέσματα με διάφορες μαθηματικές σχέσεις. Οι σχέσεις αυτές περιγράφουν την μεταφορά θερμότητας σε θερμική ισορροπία μεταξύ του εδάφους και του γεωθερμικού εναλλάκτη.

Στα εργαστήρια Συκοπετρίτη του τμήματος Μηχανολόγων μηχανικών έχει τοποθετηθεί ένα βαρέλι με διαστάσεις 65 cm διάμετρος και 120 cm ύψος. Στο βαρέλι εγκαταστάθηκαν σε παράλληλη διάταξη τρεις κάθετοι γεωθερμικοί εναλλάκτες τύπου U, κατασκευασμένοι από χαλκό και άμμο. Κατά μήκος των γεωθερμικών εναλλακτών έχουν τοποθετηθεί ειδικά θερμοστοιχεία σε διάφορες αποστάσεις (23 cm, 34 cm, 57 cm). Το κενό στο βαρέλι καλύφθηκε με την στρώση βάσης και τρεις στρώσεις: (α) κοκκινόχωμα (23 cm) (β) μείγμα από κοκκινόχωμα, μπεντονίτη και άμμο (23 cm) και (γ) μείγμα από μπεντονίτη και άμμο (24 cm). Για κάθε στρώση μετρήθηκε η θερμική αγωγιμότητα και η πυκνότητα των υλικών. Το πείραμα βασίστηκε στην ανακυκλοφορία νερού με σταθερή ροή στους εναλλάκτες, μέσω τριών αντλιών. Για να λειτουργήσουν οι αντλίες χρειάστηκαν να τοποθετηθούν 4 αντιστάσεις σε παράλληλη διάταξη των 18 Ohm για κάθε μία ξεχωριστά.

Το νερό που ανακυκλοφορούσε στον κεντρικό εναλλάκτη θερμαινόταν συνεχώς με ηλεκτρικό θερμαντικό στοιχείο (coil) ισχύος 18.95 W, 12 W, 9.45 W, τοποθετημένο σε ειδικά διαμορφωμένο και μονωμένο δοχείο. Στο θερμαντικό στοιχείο παρεχόταν συνεχής τάση από μετασχηματιστή ενωμένο στο δίκτυο της Αρχής Ηλεκτρισμού Κύπρου. Το νερό που ανακυκλοφορούσε στους δύο άλλους εναλλάκτες, περιφερειακά τοποθετημένους, ήταν τοποθετημένο σε ειδικά διαμορφωμένα και μονωμένα δοχεία χωρίς να δέχεται θέρμανση ή ψύξη από στοιχεία. Για να υπολογιστεί η θερμοκρασία του νερού τοποθετήθηκαν στα τρία δοχεία θερμικές αντιστάσεις (θερμίστορες) που ενώθηκαν με ειδικούς καταγραφείς θερμοκρασίας.

Χρησιμοποιώντας τις μεθόδους line source και του ρυθμού πτώσης της θερμοκρασίας μετά από θέρμανση του υλικού βρέθηκαν οι θερμικές αγωγιμότητες και οι ειδικές ογκομετρικές

θερμοχωρητικότητες σε τρία πειράματα. Στην μέθοδο line source οι πειραματικές θερμικές αγωγιμότητες ήταν $\lambda_1=1.84 \text{ W/m.K}$, $\lambda_2=0.719 \text{ W/m.K}$, $\lambda_3=0.750 \text{ W/m.K}$. Στην μέθοδο του ρυθμού πτώσης της θερμοκρασίας μετά από θέρμανση του υλικού ήταν $\lambda_1=2.306 \text{ W/m.K}$, $\lambda_2=0.294 \text{ W/m.K}$, $\lambda_3=0.361 \text{ W/m.K}$. Οι ειδικές ογκομετρικές θερμοχωρητικότητες σε απόσταση 0.08 m ήταν $C_1=12001666.67 \text{ J/m}^3\text{K}$, $C_2=14972343.75 \text{ J/m}^3\text{K}$, $C_3=826478.8732 \text{ J/m}^3\text{K}$ ενώ σε απόσταση 0.2 m ήταν $C_1=3661525.424 \text{ J/m}^3\text{K}$, $C_2=2921432.927 \text{ J/m}^3\text{K}$, $C_3=199591.8367 \text{ J/m}^3\text{K}$. Η θεωρητική τιμή της θερμικής αγωγιμότητας ήταν $\lambda=0.316 \text{ W/m.K}$ ενώ της ειδικής ογκομετρικής θερμοχωρητικότητας ήταν $C=145700000 \text{ J/m}^3\text{K}$.

ABSTRACT

Thermal properties of soil are important for the design of a geothermal heat exchanger. The most essential properties are the thermal conductivity (λ), the specific heat of soil (c), density (ρ) and thermal diffusivity of the ground (a). These properties are calculated with experimental measurements. The results of the experimental measurements are analysed using various mathematical relationships. These relationships describe the heat transfer in thermal equilibrium between the ground and the fluid in the heat exchanger.

A barrel measuring 65 cm in diameter and 120 cm in height has been placed at the workshops of the Mechanical Engineering Department. Three parallel vertical U heat exchangers, made of copper and sand were installed in the barrel. Thermocouples were fitted along the length of the vertical heat exchangers at various distances (23 cm, 34 cm, 57 cm). The empty place in the barrel was covered with the base layer and three more layers: (a) red coloured soil (23 cm) (b) mixture of red coloured soil, bentonite and sand (23 cm) and (c) mixture of bentonite and sand (24 cm). The thermal conductivity and density were measured for each layer.

The experiment was based on the recirculation of water with a constant velocity flow through three pumps. Four resistors arranged in parallel (of 18 Ohm each) were used for each pump in order to operate at the required speed.

The water which was re-circulated in the main heat exchanger was heated continuously with an electric heating element (coil) of 18.95 W, 12 W, 9.45 W power, mounted in a specially designed and insulated container. Constant voltage was supplied to the heating element by a transformer connected to the EAC network. The water which was re-circulated in the other two heat exchangers which were peripherally mounted, was placed in specially designed and insulated containers. Three thermistors which were connected to temperature recording devices were used to record the temperature of the water in the containers.

Thermal conductivity and volumetric specific heat capacity were calculated by using the methods of line source and the rate of temperature fall after the delivery of a heat pulse in three experiments. The experimental thermal conductivities measurements using the line source method were $\lambda_1 = 1.84$ W/m.K, $\lambda_2 = 0.719$ W/m.K, $\lambda_3 = 0.750$ W/m.K. The same measurements using the second method were $\lambda_1 = 2.306$ W/m.K, $\lambda_2 = 0.294$ W/m.K, $\lambda_3 = 0.361$ W/m.K. The

specific volumetric heat capacity at a distance of 0.08 m was $C_1=12001666.67 \text{ J/m}^3\text{K}$, $C_2=14972343.75 \text{ J/m}^3\text{K}$, $C_3=826478.8732 \text{ J/m}^3\text{K}$ while at a distance 0.2 m was $C_1=3661525.424 \text{ J/m}^3\text{K}$, $C_2=2921432.927 \text{ J/m}^3\text{K}$, $C_3=199591.8367 \text{ J/m}^3\text{K}$ respectively. The theoretical value of thermal conductivity was $\lambda = 0.316 \text{ W/m.K}$ and the specific volumetric heat capacity was $C=145700000 \text{ J/m}^3\text{K}$.