



ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ – ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ

Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Αλεξάνδρα Μπαρμπατζά



Αριθμητικό Παράδειγμα

-Δεδομένα

Σύμφωνα με μελέτη του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) προκύπτουν οι δύο παρακάτω πίνακες:

Πίνακας 1

Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μελέτης Θερμικών & Ψυκτικών φορτίων του κτιρίου

ΧΩΡΟΣ	ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ	ΨΥΚΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ
ΚΑΤΟΙΚΙΑ	$Q_{\text{heat}} = 8\text{kW}$	$Q_{\text{cool}} = 9\text{kW}$	$m^2 = 134$

Πίνακας 2

Θερμοκρασίες λειτουργίας των κυκλωμάτων του οριζοντίου εναλλάκτη για βέλτιστη τεχνοοικονομική λειτουργία (CRES)

ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ
40/45 °C*	7/12°C
5/10°C	35/40°C

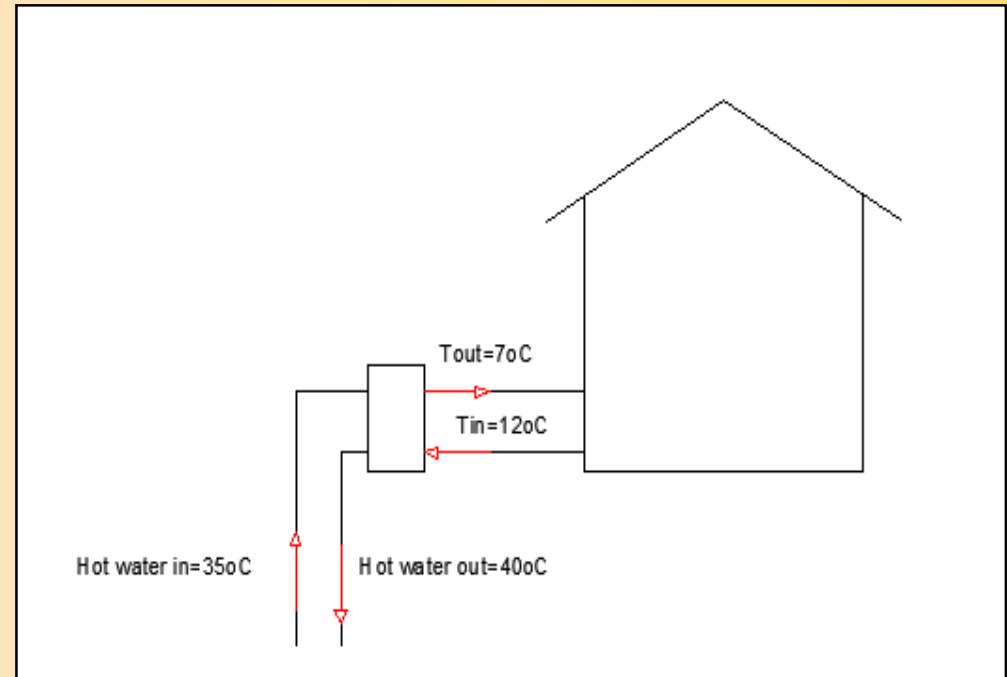
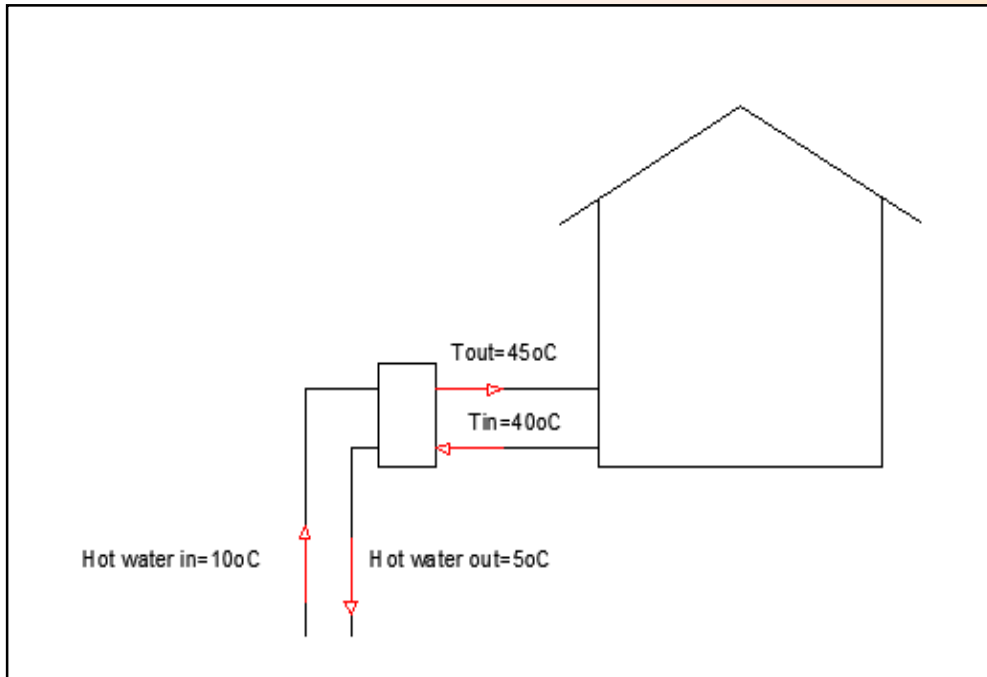
*Hot water out: 45°C και cold water in στο μηχάνημα: 10°C



Αριθμητικό Παράδειγμα

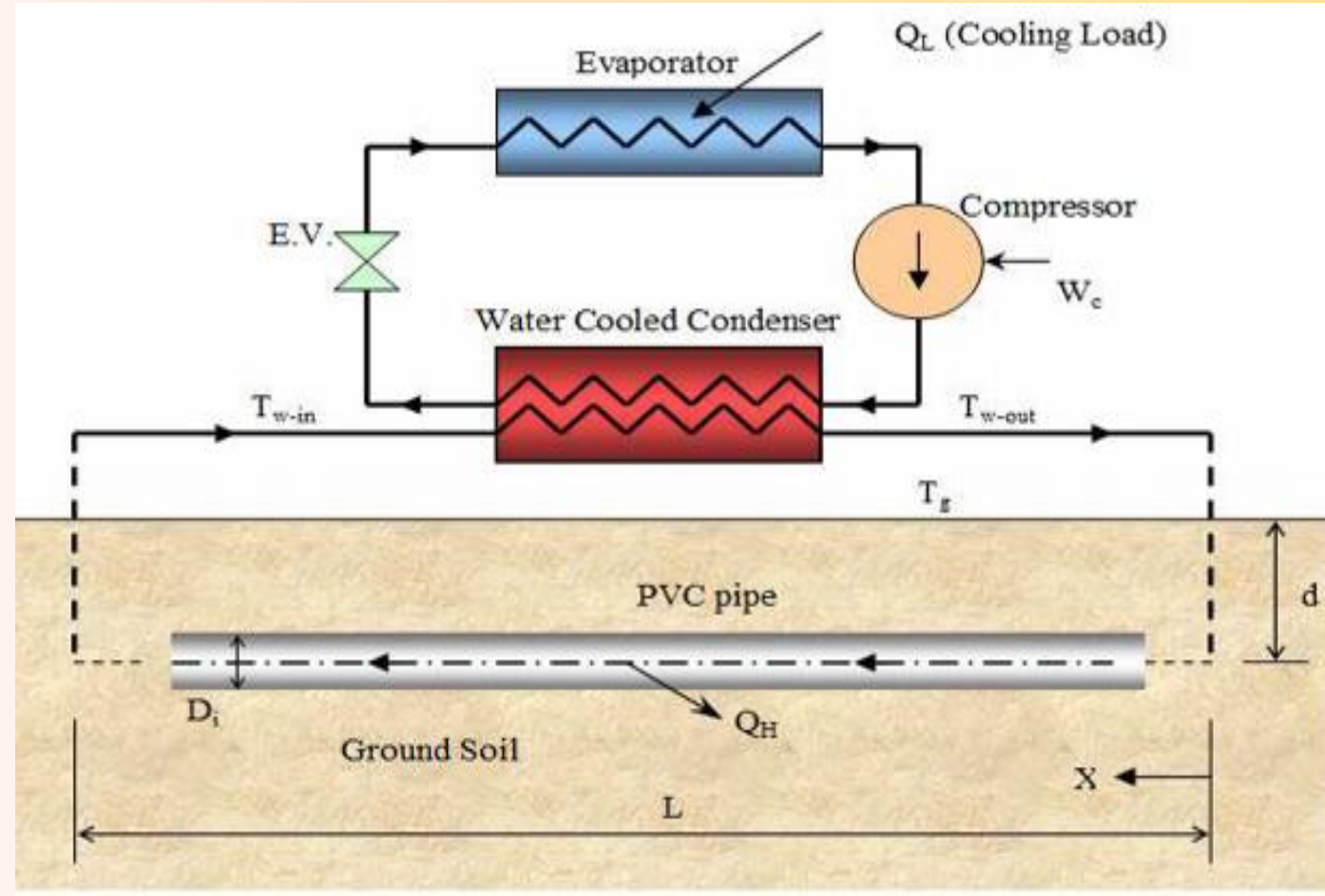
Στην αριστερή στήλη, παρουσιάζονται οι θερμοκρασίες του εναλλάκτη για την λειτουργία του συστήματος το χειμώνα. Η θερμοκρασία εξόδου από τον συμπυκνωτή είναι $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ και η θερμοκρασία εισόδου στο έδαφος είναι $5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Στη δεξιά στήλη, παρουσιάζονται οι θερμοκρασίες του εναλλάκτη για την λειτουργία του συστήματος το καλοκαίρι. Η θερμοκρασία εξόδου από τον εξατμιστή είναι $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ και η θερμοκρασία εισόδου στο έδαφος είναι $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.





Αριθμητικό Παράδειγμα





Αριθμητικό Παράδειγμα

-Επιλογή Γεωθερμικής Αντλίας το Χειμώνα

Για θερμοκρασία νερού εξόδου από τον συμπυκνωτή ίση με 45°C και εισόδου στον εξατμιστή 10°C

και

με κριτήριο ότι πρέπει η θερμική ισχύς της ΓΑΘ να υπερκαλύψει το Q_{heat} , δηλαδή θα πρέπει ($P_c > Q_{\text{heat}}=8\text{kW}$), επιλέγουμε (από Πίνακα 3) την ΓΑΘ 40z, με χαρακτηριστικά:

- P_f = ψυκτική ισχύς $10,4\text{kW}$
- P_a = απορροφώμενη ηλεκτρική ισχύς $2,8\text{kW}$
- P_c = θερμική ισχύς $10,9\text{kW}$
- P_r = ισχύς για ζεστά νερά $2,2\text{ kW}$



Αριθμητικό Παράδειγμα

Πίνακας 3

CIAT Water / water reversible heat pumps

auréa

COOLING AND HEATING OUTPUTS

AUREA MODULO	Cold water T ₁ in °C	HOT WATER OUTLET TEMPERATURE °C																								
		30				35				40				45				50				55				
		Pt kW	Pa kW	Pc kW	Pr kW	Pt kW	Pa kW	Pc kW	Pr kW	Pt kW	Pa kW	Pc kW	Pr kW	Pt kW	Pa kW	Pc kW	Pr kW	Pt kW	Pa kW	Pc kW	Pr kW	Pt kW	Pa kW	Pc kW	Pr kW	
40Z	30% Mono Ethylene Glycol solution	-6	5.3	1.9	6.2	1.9	4.8	2.1	5.6	1.9	4.4	2.4	5.2	1.8	4.1	2.7	4.8	2.0	3.8	3.0	4.2	2.7	3.5	3.5	3.4	3.6
		-4	5.9	1.9	6.9	0.9	5.4	2.1	6.2	1.2	5.0	2.4	5.9	1.8	4.7	2.7	5.4	2.0	4.3	3.0	4.7	2.7	4.0	3.5	3.8	3.6
		-2	6.8	1.9	7.8	0.9	6.2	2.1	7.1	1.2	5.7	2.4	6.7	1.5	5.4	2.7	6.1	2.0	5.0	3.0	5.4	2.7	4.5	3.5	4.4	3.7
		0	7.6	1.9	8.7	0.8	6.8	2.1	7.9	1.1	6.4	2.5	7.4	1.5	6.0	2.8	6.7	2.0	5.6	3.1	5.9	2.7	5.1	3.5	4.8	3.7
		2	8.2	1.9	9.3	0.8	7.4	2.1	8.5	1.0	6.9	2.5	7.9	1.5	6.5	2.8	7.2	2.0	6.0	3.1	6.4	2.8	5.5	3.5	5.2	3.8
		5	9.2	1.9	10.4	0.8	8.3	2.1	9.4	1.1	7.8	2.5	8.8	1.5	7.3	2.9	8.0	2.1	6.8	3.1	7.0	2.9	6.2	3.5	5.7	4.0
	pure water	6	10.0	1.9	11.1	0.7	9.0	2.2	10.1	1.1	8.4	2.5	9.5	1.5	7.9	2.8	8.8	2.1	7.3	3.1	7.6	2.9	6.6	3.5	6.2	4.0
		7	10.4	1.9	11.5	0.6	9.4	2.1	10.4	1.1	8.8	2.5	9.7	1.5	8.2	2.8	9.0	2.1	7.6	3.1	7.8	2.9	6.8	3.5	6.4	4.0
		8	11.0	1.9	12.2	0.6	9.9	2.2	11.0	1.1	9.3	2.5	10.3	1.5	8.7	2.8	9.4	2.1	8.1	3.1	8.3	2.9	7.3	3.5	6.8	4.0
		10	12.1	1.9	13.0	0.6	11.0	2.2	12.0	1.1	10.3	2.5	11.2	1.6	9.8	2.8	10.2	2.2	8.9	3.1	9.0	3.0	8.0	3.5	7.4	4.2
		12	13.1	1.9	14.0	0.6	11.8	2.1	12.9	1.1	11.1	2.5	12.0	1.6	10.4	2.8	10.9	2.2	9.6	3.1	9.6	3.1	8.7	3.5	7.9	4.3
		15	13.7	2.0	15.0	0.7	13.1	2.1	14.0	1.1	12.3	2.5	13.1	1.7	11.5	2.8	11.9	2.3	10.7	3.1	10.5	3.2	9.0	3.7	8.8	4.9
50Z	30% Mono Ethylene Glycol solution	-6	6.8	2.3	7.7	1.2	6.0	2.6	7.8	1.8	5.5	3.0	8.8	1.9	5.5	3.3	6.4	2.4	4.8	3.7	5.3	3.2	4.4	4.4	4.2	4.6
		-4	7.4	2.3	8.6	1.1	6.7	2.8	7.9	1.5	6.2	3.0	7.4	1.9	5.8	3.3	6.7	2.4	5.4	3.7	5.9	3.2	5.0	4.3	4.7	4.6
		-2	8.6	2.3	9.8	1.1	7.7	2.8	8.9	1.4	7.2	3.0	8.4	1.8	6.7	3.4	7.7	2.4	6.2	3.8	6.8	3.2	5.7	4.4	5.4	4.6
		0	9.5	2.4	10.9	1.0	8.6	2.8	9.9	1.5	8.0	3.1	9.3	1.8	7.5	3.4	8.5	2.4	6.9	3.8	7.5	3.3	6.4	4.4	6.0	4.7
		2	10.3	2.3	11.7	0.9	9.3	2.8	10.6	1.2	8.7	3.1	10.0	1.8	8.1	3.4	9.1	2.4	7.5	3.8	8.0	3.3	6.9	4.4	6.5	4.8
		5	11.6	2.3	13.0	0.9	10.4	2.8	11.8	1.5	9.8	3.1	11.0	1.8	9.1	3.5	10.1	2.5	8.5	3.9	8.9	3.5	7.8	4.4	7.2	5.0
8	12.5	2.4	14.0	0.9	11.3	2.7	12.7	1.3	10.8	3.1	11.9	1.8	9.9	3.5	10.8	2.5	9.2	3.9	9.6	3.5	8.4	4.4	7.8	5.0		



Αριθμητικό Παράδειγμα

-Επιλογή Γεωθερμικής Αντλίας το Καλοκαίρι

Για θερμοκρασία νερού εξόδου από τον συμπυκνωτή $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ και εισόδου στον εξατμιστή $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ και

με κριτήριο ότι πρέπει η ψυκτική ισχύς της ΓΑΘ να υπερκαλύψει το Q_{cool} , δηλαδή θα πρέπει ($P_f > Q_{\text{cool}}=9\text{kW}$), επιλέγουμε(από Πίνακα 3) την ΓΑΘ 40z με χαρακτηριστικά:

- P_f = ψυκτική ισχύς $11,11\text{kW}$
- P_{α} = απορροφώμενη ηλεκτρική ισχύς $2,5\text{kW}$
- P_c = θερμική ισχύς 12kW
- P_r = ισχύς για ζεστά νερά $1,6\text{kW}$

Μεταξύ των δύο αντλιών θα επιλέξουμε εκείνη η οποία έχει την επάρκεια να καλύψει τόσο τα θερμικά όσο και τα ψυκτικά φορτία της κατοικίας.

(Στην συγκεκριμένη περίπτωση μας καλύπτει η ίδια αντλία)



Αριθμητικό Παράδειγμα

-Από τα χαρακτηριστικά της αντλίας θερμότητας βρίσκουμε:

- Παροχή αντλίας νερού οριζόντιου γήινου εναλλάκτη
- Ονομαστική διάμετρος σωλήνωσης εναλλάκτη
- Μήκος εναλλάκτη



Αριθμητικό Παράδειγμα

-Υπολογισμός Παροχής αντλίας νερού οριζόντιου γήινου εναλλάκτη

Στο γήινο εναλλάκτη το χειμώνα απορροφάται η ισχύς Q_{Hf} .

Στο γήινο εναλλάκτη το καλοκαίρι απορρίπτεται η ισχύς Q_{Hc} .

$Q = \dot{m} C_v \Delta\theta$ όπου $C_v \approx 4,2 \text{ KJoule}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ η ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού

και $\Delta\theta = |t_{wi} - t_{wo}| = 5 \text{ K}$ (από σχήμα διαφάνειας 3)

t_{wi} η θερμοκρασία εισόδου του νερού στο γεωθερμικό εναλλάκτη

t_{wo} η θερμοκρασία εξόδου του νερού από το γεωθερμικό εναλλάκτη

- Χειμώνας

$$Q_{Hf} = Q_H \text{ frigorific kW} = \dot{m} C_v 5\text{K} \Rightarrow \dot{m} = 10,9/4,2*5 = 0,519\text{Kg/s} = 1,868\text{m}^3/\text{h}$$

$$\text{καθώς } 1 \text{ kg/sec} = 3.60 \text{ m}^3/\text{h}$$



Αριθμητικό Παράδειγμα

-Υπολογισμός Παροχής αντλίας νερού οριζόντιου γήινου εναλλάκτη

- Καλοκαίρι

$$Q_{HC} = Q_H \text{ calorific kW} = \dot{m} C_v 5K \Rightarrow \dot{m} = 11,11 / 4,2 * 5 = 0,529 \text{ kg/s} = 1,904 \text{ m}^3/\text{h}$$

Συνεπώς διακρίνουμε μια διαφορά όσον αφορά τις παροχές στο κύκλωμα του οριζόντιου εναλλάκτη. Για τη σωστή διαστασιολόγηση του συστήματος θα λάβουμε υπόψη την μεγαλύτερη παροχή νερού.



Αριθμητικό Παράδειγμα

-Ονομαστική διάμετρος σωλήνωσης εναλλάκτη

Η παροχή όγκου θα ισούται με:

$$\dot{V} = \dot{m} / \rho = 0,529 / 1000 = 0,000529 \text{ m}^3 / \text{s}$$

όπου ρ πυκνότητα του νερού ίση με 1000 Kg/m^3

Για ταχύτητα ροής $u = 1 \text{ m/sec}$, η διάμετρος της σωλήνωσης και θα ισούται με:

$$\dot{V} = u A \quad \dot{V} = (\pi d_i^2 / 4) u \quad \Rightarrow \quad d_i = \sqrt{4 \dot{V} / u \pi} = 0,0259 \text{ m}$$

Άρα $d_i = 25,9 \text{ mm}$ και συνεπώς επιλέγω σωλήνα με εξωτερική διάμετρο 32 mm και εσωτερική 26 mm .



Αριθμητικό Παράδειγμα

-Τύποι σωληνώσεων

Τύπος	Υλικό	Εξωτερική διάμετρος (mm)	Πάχος τοιχώματος (mm)	Θερμική αγωγιμότητα (W/(m.K))	Θερμική αντίσταση (K.m)/W)
PE DN25 PN8	Πολυαιθυλένιο	25,0	2,0	0,42	0,066
PE DN32 PN8	Πολυαιθυλένιο	32,0	2,0	0,42	0,051
PE DN40 PN8	Πολυαιθυλένιο	40,0	2,3	0,42	0,046
PE DN50 PN8	Πολυαιθυλένιο	50,0	2,9	0,42	0,047
PE DN20 PN12	Πολυαιθυλένιο	20,0	2,0	0,42	0,085
PE DN25 PN12	Πολυαιθυλένιο	25,0	2,3	0,42	0,077
PE DN32 PN12	Πολυαιθυλένιο	32,0	3,0	0,42	0,079
PE DN40 PN12	Πολυαιθυλένιο	40,0	3,7	0,42	0,078
PE DN50 PN12	Πολυαιθυλένιο	50,0	4,6	0,42	0,077
SDR-11 3/4" "	Πολυαιθυλένιο	26,7	2,5	0,42	0,079
SDR-11 1" "	Πολυαιθυλένιο	33,4	3,0	0,42	0,075
SDR-11 1-1/4" "	Πολυαιθυλένιο	42,2	3,9	0,42	0,077
SDR-11 1-1/2" "	Πολυαιθυλένιο	48,3	4,4	0,42	0,076
SDR-11 2" "	Πολυαιθυλένιο	60,3	5,5	0,42	0,076
SDR-13 1" "	Πολυαιθυλένιο	28,6	2,2	0,22	0,121
SDR-13 1-1/4" "	Πολυαιθυλένιο	34,9	2,6	0,22	0,117
SDR-13 1-1/2" "	Πολυαιθυλένιο	41,3	3,1	0,22	0,118
SDR-13 2" "	Πολυαιθυλένιο	54,0	4,0	0,22	0,116



Αριθμητικό Παράδειγμα

-Υπολογισμός θερμικών αντιστάσεων

Υποθέτοντας οριζόντιο σωλήνα εσωτερικής διαμέτρου d_i και εξωτερικής διαμέτρου d_o , ο οποίος θάβεται σε βάθος d από την επιφάνεια του εδάφους, οι θερμικές αντιστάσεις ανά μήκος σωλήνα για τη μεταφορά νερού θα είναι :

$$R_{conv} = 1 / (\pi d_i h_w) = 0,0244 \text{ mK/W}$$

όπου $h_w = 500 \text{ W/m}^2\text{k}$ ο συντελεστής συναγωγής του νερού

$$R_{pipe} = \ln(d_o / d_i) / (2\pi K_{pipe}) = 0,03834 \text{ mK/W}$$

όπου $K_{pipe} = 0,8597 \text{ W/mK}$ ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του σωλήνα GEO-FLEX

$$R_{soil} = 1 / (S K_{soil}) = 0,416 \text{ mK/W}$$

όπου $K_{soil} = 2 \text{ W/mK}$ ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του εδάφους και

$$S = 2\pi / \ln[(2d / d_o) + \sqrt{(2d / d_o)^2 - 1}] = 1,2$$

$$\text{Συνεπώς } R_{total} = R_{conv} + R_{pipe} + R_{soil} = 0,4794 \text{ mK/W}$$



Αριθμητικό Παράδειγμα

-Θερμική αγωγιμότητα υλικών εδάφους

Άργιλος 1,5

Άμμος-χαλίκι 2,0

Ομοιογενές πέτρωμα 3,5

Σε περίπτωση που ο τύπος του εδάφους δεν είναι γνωστός τότε να χρησιμοποιείται η ακόλουθη τιμή: $\lambda=2,0 \text{ W/(mK)}$

(CYS EN ISO 13790 Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling)



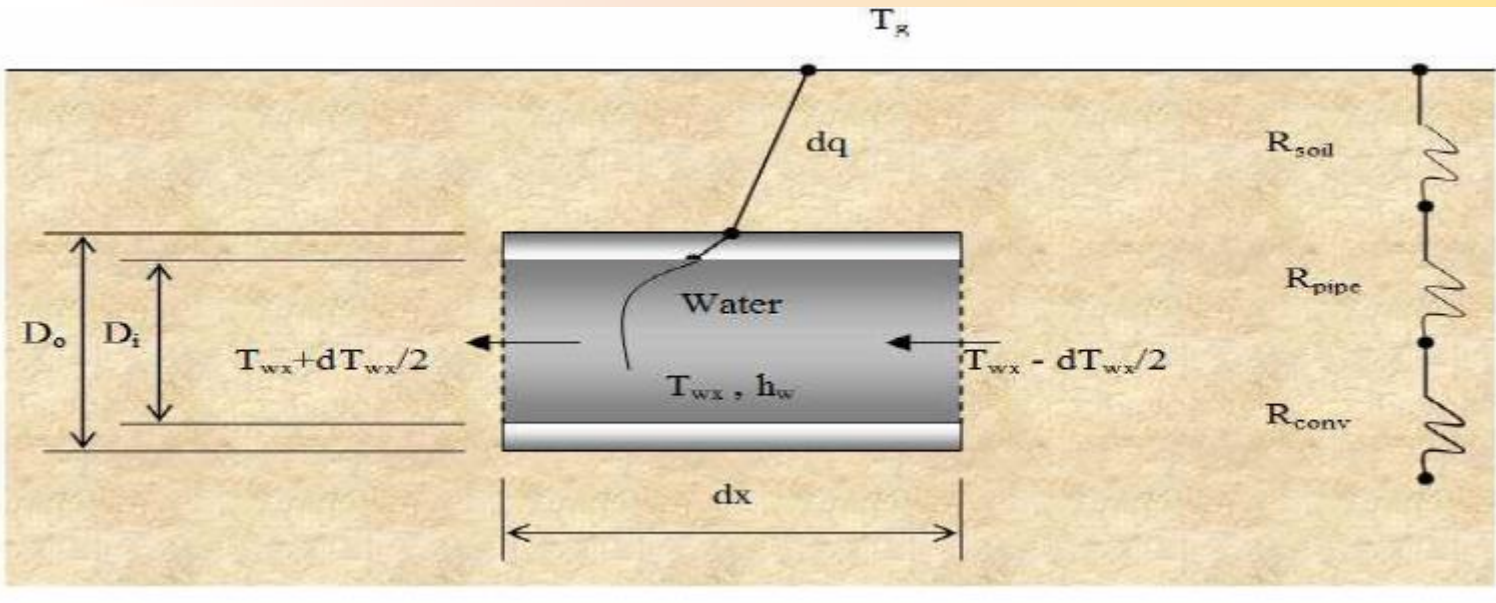
Αριθμητικό Παράδειγμα

-Μήκος εναλλάκτη

$$L = (\dot{m} C_v R_{\text{total}}) \ln(t_{wi}/t_{wo})$$

t_{wi} : θερμοκρασία εισόδου νερού στον εναλλάκτη

t_{wo} : θερμοκρασία εξόδου νερού από τον εναλλάκτη





Αριθμητικό Παράδειγμα

-Μήκος εναλλάκτη τη χειμερινή περίοδο

$$L=(\dot{m} C_v R_{total})\ln(t_{wi}/t_{wo})=738\text{m}$$

t_{wi} : θερμοκρασία εισόδου νερού στον εναλλάκτη=10 °C

t_{wo} : θερμοκρασία εξόδου νερού από τον εναλλάκτη=5 °C

$$\dot{m}= 0,529 \text{ kg/sec}$$

$$C_v = 4200 \text{ J/Kg K}$$

$$R_{total} =0,4794 \text{ mK/W}$$



Αριθμητικό Παράδειγμα

-Μήκος εναλλάκτη τη θερινή περίοδο

$$L=(\dot{m} C_v R_{total})\ln(t_{wi}/t_{wo})=574\text{m}$$

t_{wi} : θερμοκρασία εισόδου νερού στον εναλλάκτη=12 °C

t_{wo} : θερμοκρασία εξόδου νερού από τον εναλλάκτη=7 °C

$$\dot{m}= 0,529 \text{ kg/sec}$$

$$C_v= 4200 \text{ J/Kg K}$$

$$R_{total} =0,4794 \text{ mK/W}$$

Μετά τους υπολογισμούς για κάθε περίοδο, διαπιστώνουμε μια διαφορά στο μήκος του εναλλάκτη. Για την κάλυψη όλων των αναγκών της κατοικίας, τόσο το χειμώνα όσο και το καλοκαίρι επιλέγουμε το μεγαλύτερο μήκος του εναλλάκτη.

$$\text{Συνεπώς: } L=738 \text{ m}$$