



ΚΑΝΟΝΙΚΗ – ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Μ. Γρ. Βραχόπουλος

NATURAL – LOWDEPTH GEOTHERMAL ENERGY

Vrachopoulos M. Gr.

FEBRUARY 09

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ ΤΕΙ ΧΑΛΚΙΔΑΣ
(Ψύξης, Κλιματισμού και Εναλλακτικών Μορφών Ενέργειας)



ASHRAE HELLAS
17 FEB 2009

Prof. M. Gr. Vrachopoulos

Η γη σαν πηγή θερμότητας

Η θερμοκρασία στο υπέδαφος αυξάνει με το βάθος και ροή θερμότητας που κινείται προς την επιφάνεια.

Ήταν ήδη γνωστό από τον 17^ο αιώνα ότι η θερμοκρασία σε βαθιά ορυχεία είναι μεγαλύτερη από αυτή της επιφάνειας της γης.

Μία τέτοια θερμοκρασιακή βαθμίδα προϋποθέτει ροή θερμότητας από το εσωτερικό προς την επιφάνεια

και

δημιουργεί πολλά ερωτηματικά που αφορούν στο ποσό της θερμότητας, τη διακύμανσή του από μέρος σε μέρος και την προέλευσή του.

Αν η θερμότητα μεταφέρεται με αγωγή, το ποσό που αναδύεται από τη γη ανά μονάδα επιφάνειας είναι ίσο προς το γινόμενο της θερμοκρασιακής βαθμίδας επί τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας.

Γεωθερμική ενέργεια

Με τον όρο «γεωθερμική ενέργεια» περιγράφεται η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης. Η ενέργεια αυτή φθάνει στην επιφάνεια της γης και στη συνέχεια ακτινοβολείται στο διάστημα,

παράλληλα αποθηκεύεται και σε υπόγειους ή επιφανειακούς σχηματισμούς με τη μορφή θερμών ατμών, υπόγειων θερμών νερών καθώς και θερμών ξηρών πετρωμάτων.

Γεωθερμία

- Η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ιταλία το 1903. Το πρωτοποριακό έργο πραγματοποιήθηκε στο γεωθερμικό πεδίο του Larderello όπου μέχρι και σήμερα παράγεται ηλεκτρική ενέργεια.
- Σήμερα ένα σημαντικό ποσό ηλεκτρικής ενέργειας παράγεται από την εκμετάλλευση γεωθερμικών πεδίων. Είκοσι χώρες σε όλο των κόσμο με βάση τη γεωθερμική ενέργεια παράγουν περισσότερο από 5700 MW ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι Η.Π.Α. ηγούνται της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας με περισσότερα από 2500 MW,

Το μεγαλύτερο γεωθερμικό πεδίο στο κόσμο στο Geysers της βόρειας Καλιφόρνιας.

Στις Η.Π.Α. ένα MW γεωθερμικής ενέργειας καλύπτει τις οικιστικές ανάγκες 1300 κατοίκων.

Γεωθερμία

- Σημαντικό πλεονέκτημα της «Γεωθερμίας» έναντι των λοιπών Α.Π.Ε. είναι η μόνιμη «παροχή» ενέργειας καθ' όλο το έτος, χωρίς διακυμάνσεις και με μικρό λειτουργικό κόστος καθώς και η δυνατότητα πλήρους ανάκτησης και εκμετάλλευσης της υπάρχουσας υπεδαφικής θερμότητας.
- Συγκρινόμενη με άλλες εφαρμογές εκμετάλλευσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας η ηλεκτροπαραγωγή μέσω γεωθερμικών ρευστών παρουσιάζει σημαντικά μεγαλύτερο ετήσιο συντελεστή λειτουργίας –τάξης 0,98 (98%)– αντίθετα με τα αιολικά που έχουν συντελεστή 0,25 ~ 0,30 και τα υδροηλεκτρικά με συντελεστή 0,40 ~ 0,55.

Σε ετήσια απόδοση λοιπόν, ένα σύστημα «γεωθερμικής» ηλεκτροπαραγωγής ισχύος 1,0 MW αντιστοιχεί με αιολικά της τάξης των 3,5 – 4,0 MW.

Γεωθερμία - Γενικά

Η «γεωθερμία» είναι ένας ενεργειακός πόρος ο οποίος στην Ελλάδα, μέχρι την παρούσα χρονική περίοδο, δεν έχει προσελκύσει το επενδυτικό ενδιαφέρον.

Η μέση τιμή της γεωθερμικής βαθμίδας ανέρχεται σε $30\text{K}(\text{°C})/\text{km}$ ή $1,0\text{K}$ ανά 30 μέτρα.

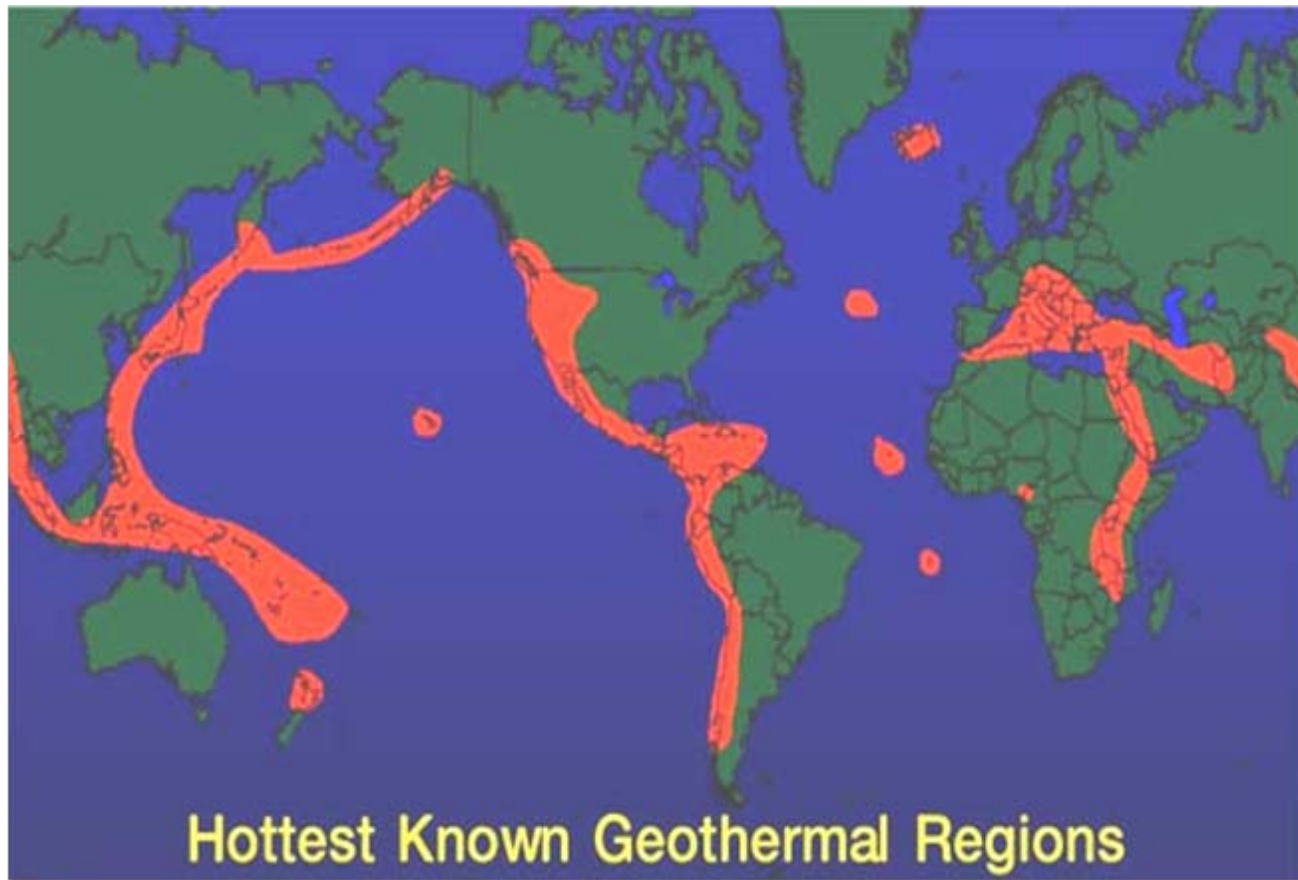
Κάθε αύξηση (ανωμαλία) στην τιμή της μέσης γεωθερμικής βαθμίδας μεταφράζεται ως αύξηση της ροής θερμότητας προς την επιφάνεια και βελτιώνει τις γεωθερμικές συνθήκες.

Γεωθερμικά πεδία

Ανάλογα με τη θερμοκρασία του υπεδάφους ή του ρευστού
χωρίζονται σε:

- Υψηλής Ενθαλπίας. Όταν η θερμοκρασία των παραγόμενων ρευστών ξεπερνά τους 150°C. Τα ρευστά αυτά αποτελούνται στις περισσότερες περιπτώσεις από μίγμα υγρού ατμού και θερμού νερού.
- Μέσης Ενθαλπίας με θερμοκρασίες ρευστών μεταξύ 150 - 90°C, και
- Χαμηλής Ενθαλπίας με θερμοκρασίες ρευστών μεταξύ 100 - 25°C
- Περιβαλλοντική (ή Πολύ Χαμηλής Ενθαλπίας με θερμοκρασίες αντίστοιχες των μέσων ετησίων του αέρα περιβάλλοντος συνήθως μικρότερες των 25°C, Κανονική, Ομαλή ή Αβαθής).
- Παγετός (ή Πάρα Πολύ Χαμηλής Ενθαλπίας με θερμοκρασίες μικρότερες των 0°C ή Permafrost).

Χάρτης Θερμότερων Γεωθερμικών Περιοχών



Οι δυνατές χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας:

- 180°C, Εξάτμιση συμπυκνωμένων διαλυμάτων, Ψύξη με απορρόφηση, Κατεργασία χαρτομάζας (170°C): Παραγωγή βαρέως ύδατος, Ξήρανση διατομών, (160°C): Ξήρανση ψαριών, ξυλείας
- 150°C, Παραγωγή αλουμίνας με τη μέθοδο Bayer, (140°C): Ξήρανση αγροτικών προϊόντων, Κονσερβοποίηση, (130°C): Εξάτμιση στην παραγωγή ζάχαρης, Ανάκτηση αλάτων με εξάτμιση και κρυστάλλωση
- 120°C, Παραγωγή γλυκού νερού με απόσταξη
- 110°C, Ξήρανση τσιμεντόλιθων, (100°C): Ξήρανση οργανικών ουσιών, φυκιών, οσπρίων κ.λ.π., Πλύσιμο και ξήρανση μαλλιού
- 90°C, Ξήρανση ψαριών
- 80°C, Θέρμανση οικισμών - θέρμανση θερμοκηπίων
- 70°C, Ψύξη (κατώτερο όριο)
- 60°C, Εκτροφή διαφόρων ζώων, (50°C): Καλλιέργεια μανιταριών, Ιαματικά λουτρά
- 40°C, Θέρμανση εδάφους - Θέρμανση οικισμών
- 30°C, Πισίνες, Ζύμωση, Θέρμανση θερμοκηπίων με ακτινωτό δίκτυο αγωγών
- 20°C, Ιχθυοκαλλιέργειες
- $T < 20^\circ\text{C}$, Εγκαταστάσεις αξιοποίησης κανονικού γεωθερμικού πεδίου

Κυριότερες άμεσες εφαρμογές της γεωθερμίας στον κόσμο (2005)

	Εγκατεστημένη ισχύς (MWt)	Ετήσια χρήση ενέργειας (TJ/yr)	Συντελεστής λειτουργίας
Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας	15.723	86.673	0.17
Θέρμανση χώρων	4,158	52.868	0.40
Θέρμανση θερμοκηπίων	1,348	19.607	0.46
Ιχθυοκαλλιέργειες-Υδατοκαλλιέργειες	616	10.969	0.56
Ξήρανση αγροτικών προϊόντων	157	2.013	0.41
Βιομηχανικές χρήσεις	489	11.068	0.72
Λουτρά-πισίνες	4.911	75.289	0.49
Ψύξη-Αντιπαγετική προστασία	338	1.885	0.18
Άλλα	86	1.045	0.39
ΣΥΝΟΛΟ	27.825	261.418	0.30

..... Γεωθερμία

Σήμερα εκτός από την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μεγάλη ανάπτυξη παρουσιάζουν και για την κάλυψη θερμικών αναγκών κτιριακών εγκαταστάσεων.

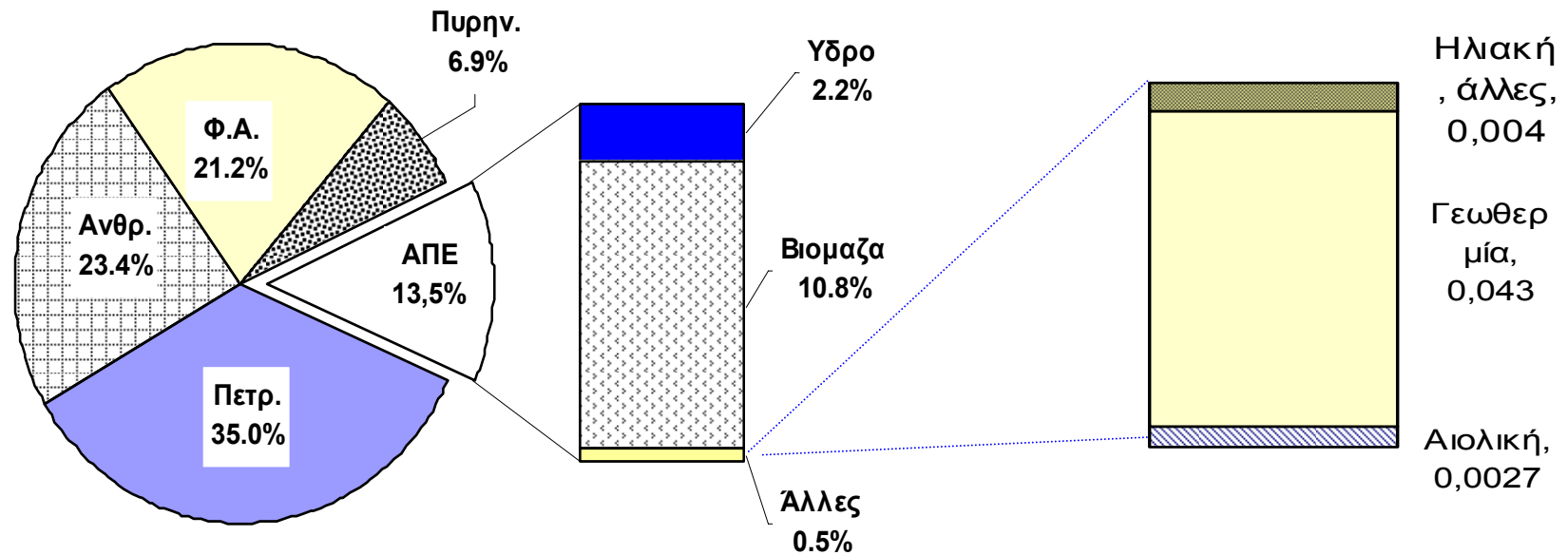
Η εκμετάλλευση της περιβαλλοντικής γεωθερμικής ενέργειας με γεωθερμικές αντλίες άρχισε στις τεχνολογικά προηγμένες χώρες, όπως:

Η.Π.Α., Καναδάς, Σουηδία, Γαλλία, Ελβετία και Γερμανία το 1980
(μετά την άνοδο των τιμών πετρελαίου στη δεκαετία του 1970).

Μέχρι το 1990 υπήρχε σε λειτουργία σημαντικός αριθμός εγκαταστάσεων με γεωθερμικές αντλίες στις χώρες αυτές, που αυξάνεται με ταχύ ρυθμό μέχρι και σήμερα.

Ειδικά στη Γερμανία έχουν αναπτυχθεί ταχύτερα τα τελευταία έτη με προοπτική πλήρους αντικατάστασης των άλλου τύπου εγκαταστάσεων κλιματισμού!!!

Γεωθερμική ενέργεια και Ε.Μ.Ε.

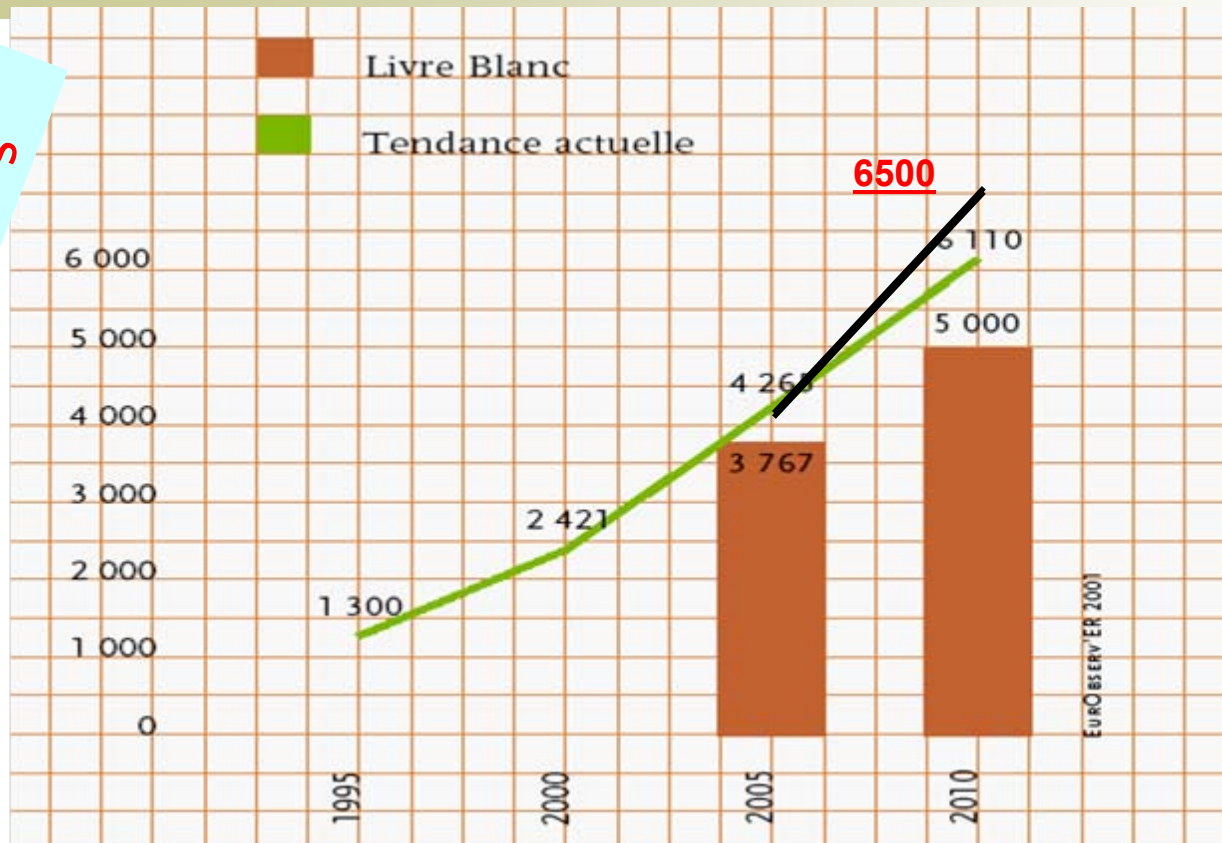


Η συμμετοχή των ΑΠΕ (και της γεωθερμικής ενέργειας) στην παγκόσμια παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας κατά το 2005.

*Στις άλλες ΑΠΕ περιλαμβάνονται η ηλιακή και η παλιρροϊκή
(Πηγή: IEA Renewables Information, 2007 Edition).*

Η γεωθερμική ενέργεια στην Ε.Ε.

Άμεσες Χρήσεις



Ανάπτυξη των άμεσων χρήσεων στην Ε.Ε. και σύγκριση προβλέψεων με τις απαιτήσεις της «Λευκής Βίβλου».

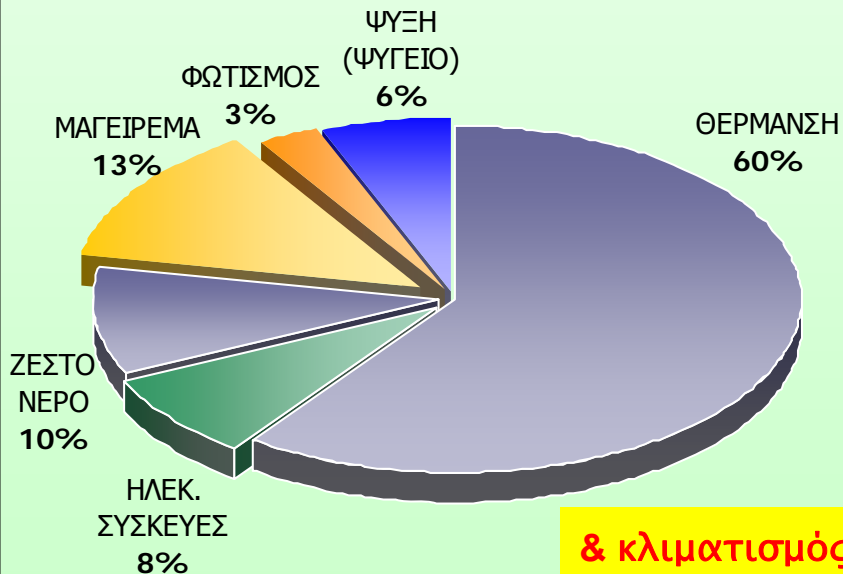
ΠΡΟΣΟΧΗ: Η αναμενόμενη υπερκάλυψη των στόχων που έχουν τεθεί οφείλεται στην ανάπτυξη των γεωθερμικών αντλιών

Κυριότερες εφαρμογές της γεωθερμίας στην Ελλάδα

Χρήση	Εγκατεστημένη ισχύς (MWt)	Ετήσια χρήση ενέργειας (TJ/yr = 10^{12} J/έτος)	Βαθμός λειτουργίας
Θέρμανση χώρων	~1,5	~17	0,37
Θέρμανση θερμοκηπίων	~29	~288	0,32
Ιχθυοκαλλιέργεια	2,0	13	0,20
Ξήρανση αγροτικών προϊόντων	0,3	2	0,20
Λουτροθεραπευτικές μονάδες	35	164	0,15
Αφαλάτωση νερού	~1,8	~22	0,40
Άλλες χρήσεις **	0,4	4	0,32
Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας	12,0	114	0,30
ΣΥΝΟΛΟ	82,0	624	0,23

Κατανάλωση Ενέργειας Οικιακού Τομέα

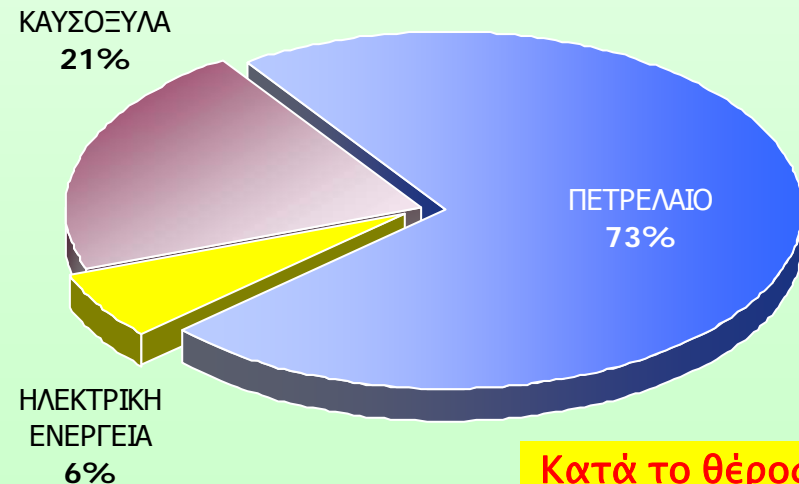
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΟΙΚΙΑΚΟΥ ΤΟΜΕΑ



& κλιματισμός

ΠΗΓΗ: ΥΠΕΧΩΔΕ

ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΚΑΤΟΙΚΙΩΝ



**Κατά το θέρους
ηλεκτρική!!!**

ΠΗΓΗ: ΥΠ. ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Κανονική ή Αβαθής Γεωθερμία

Η ενέργεια που συγκεντρώνεται μόνιμα ή εποχικά στις επιφανειακές λιθογραφικές μάζες

Τι προσφέρουν τα συστήματα GSHP (& ASHP)

- Θέρμανση
- Ψύξη
- Ζεστό νερό χρήσης

Και έχουν...

- Αποδοτικότητα
- Μειωμένη συντήρηση
- Μειωμένες ανάγκες χώρων
- Μικρό λειτουργικό κόστος

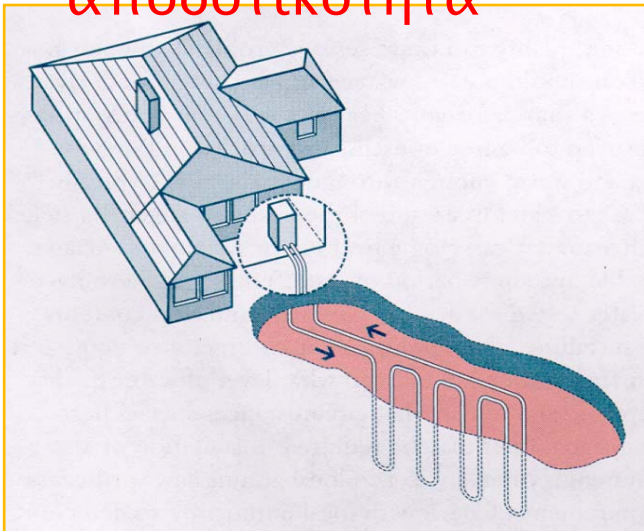


- Σταθερή απόδοση (ισχύ)
- Μειωμένα φορτία αιχμής για κλιματισμό

Τρόποι σύνδεσης με τη γη

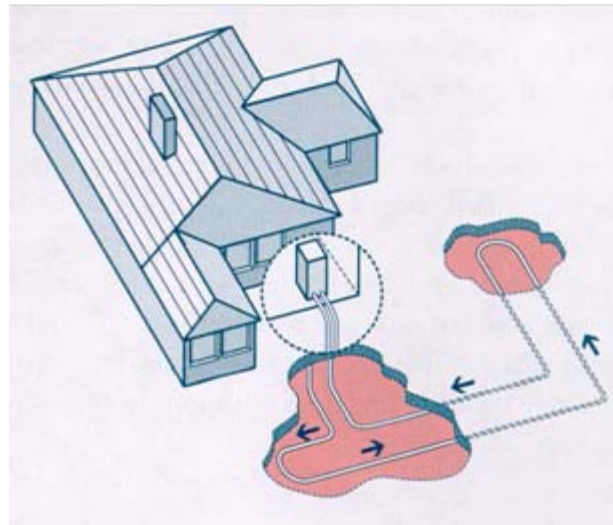
Κάθετες

- Πετρώδες έδαφος
- Αυξημένο κόστος
- Μικρή χρήση γης
- Υψηλή αποδοτικότητα



Οριζόντια

- Μεγάλη χρήση γης
- Μειωμένο κόστος
- Μικρά κτίρια
- Μεταβολή θερμοκρασίας



Υπόγειων Υδάτων

- Υδροφόρος ορίζοντας
- Μικρότερο κόστος
- Διατάξεις - Νόμοι
- Ρύπανση (εναλλακτών)



Παράγοντες έργου Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας

- ❖ Βέλτιστη οικονομικότητα όταν:
 - Απαιτείται θέρμανση και ψύξη
 - Μεγάλες εποχιακές αλλαγές θερμοκρασίας
 - Νέα κατασκευή ή αλλαγή - αντικατάσταση συστημάτων
 - Για θέρμανση μόνο: Χαμηλή τιμή ηλεκτρισμού και υψηλή τιμή πετρελαίου, αερίου
 - Για ψύξη μόνο: Υψηλή τιμή ηλεκτρισμού και χρέωση αιχμής
- ❖ Διαθεσιμότητα σκαπτικού και διατρητικού εξοπλισμού
- ❖ Αβεβαιότητα κόστους εγκατάστασης εναλλάκτη
- ❖ Κριτήρια οικονομικότητας ιδιοκτήτη

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Κατάργηση του πετρελαίου (μηδενικές εκπομπές CO₂ στο άμεσο περιβάλλον πραγματική συνολική μείωση 45~55%).
- Το 70÷80% της ενέργειας παρέχεται από το περιβάλλον.
- Μείωση του κόστους λειτουργίας ~50% σε σχέση με συμβατικούς τρόπους θέρμανσης και ψύξης.
- Δεν απαιτείται δεξαμενή καυσίμων, καμινάδα και καπνοδόχος.
- Αισθητική αναβάθμιση των κτιρίων (Απουσία αντιαισθητικών εγκαταστάσεων όπως ψύκτης, A/C κλπ)
- Ένα μηχάνημα για θέρμανση και ψύξη με μικρότερο κόστος συντήρησης.
- Αθόρυβη λειτουργία.

.....ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Απουσία καύσεων και σπινθήρων (συνεπώς δεν απαιτείται πυροπροστασία).
- Απουσία οσμών καυσαερίων, οσμών από δεξαμενή πετρελαίου.
- Απουσία ανάγκης χώρου για δεξαμενή καυσίμου.
- Δεν απαιτείται συντήρηση στους γεωεναλλάκτες, ενώ η αντλία θερμότητας χρειάζεται μακρόχρονο περιοδικό έλεγχο.

Πρώτα Συμπεράσματα

- Οι GSHP παρέχουν θέρμανση, ψύξη και θερμό νερό (χρήσης)
- Το έδαφος αποσβένει μεταβολές θερμοκρασίας και αυξάνει αποδοτικότητα των GSHP
- Αρχικό κόστος των GSHP υψηλό, αλλά το κόστος Λειτουργίας & Συντήρησης χαμηλό
- Προτιμητέες οι κλιματικές περιοχές όπου χρειάζεται ψύξη και θέρμανση, λχ Περιοχή Μεσογείου, (Ελλάδα, Κύπρος, Ιταλία κ.λπ.)

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Αρχικό κόστος κατασκευής
- Απαιτήση ύπαρξης ηλεκτρικής ενέργειας για λειτουργία.
- Ειδικός και ακριβής σχεδιασμός εγκαταστάσεων

Ανάλυση Είδους εγκαταστάσεων

Κάθετος Γεωθερμικός Εναλλάκτης (Vertical Earth Heat Exchanger – VEHE)

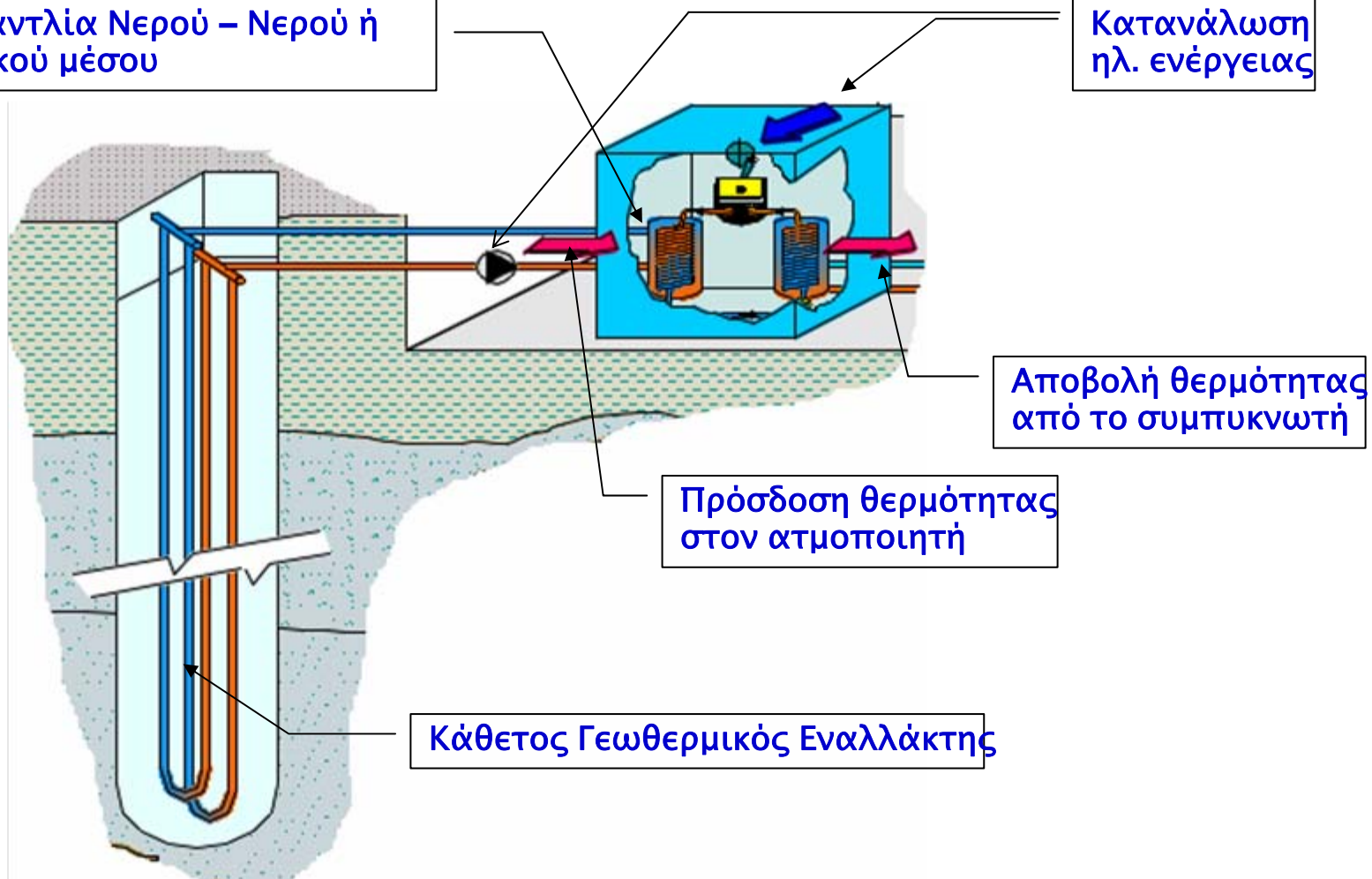
Θερμαντλία Νερού – Νερού ή
Ψυκτικού μέσου

Κατανάλωση
ηλ. ενέργειας

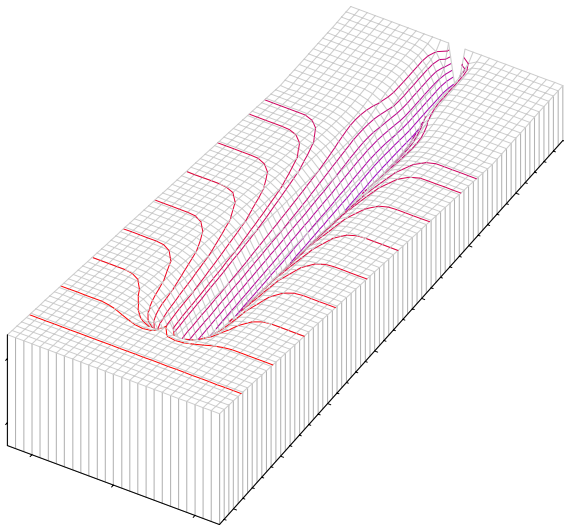
Αποβολή θερμότητας
από το συμπυκνωτή

Πρόσδοση θερμότητας
στον ατμοποιητή

Κάθετος Γεωθερμικός Εναλλάκτης



Προσδιορισμός Συμπεριφοράς Κατακόρυφου Γεωθερμικού Εναλλάκτη Θερμότητας

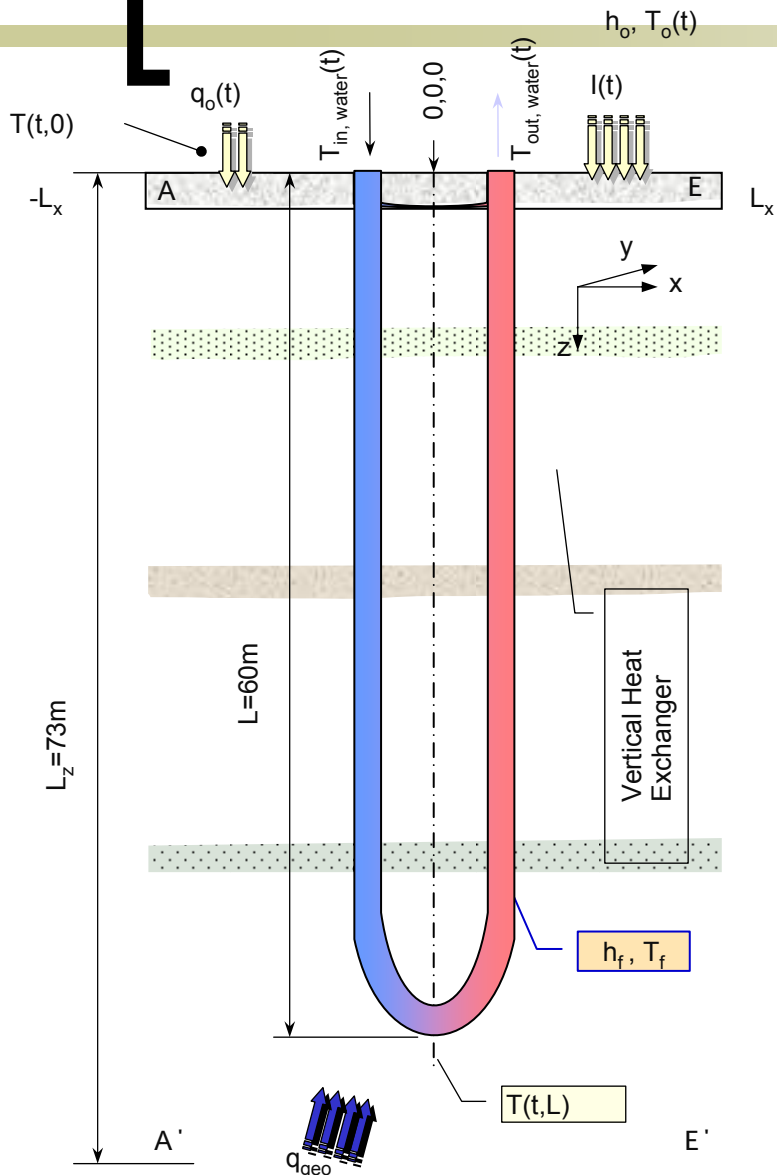


Έχει διαπιστωθεί ότι οι ατμοσφαιρικές συνθήκες επηρεάζουν τη θερμοκρασία σε μικρό σχετικά βάθος, συνήθως μέχρι τα 5 m ενώ έχουν μηδενική επίδραση κάτω των 31 m

Η μεταβολή της θερμοκρασίας στα 2m βάθους από την επιφάνεια του εδάφους δε μεταβάλλεται περισσότερο από $\pm 2^{\circ}\text{C}$ κατά τη διάρκεια του έτους.

(Εξαρτάται βέβαια και από τις θερμοφυσικές ιδιότητες του υλικού του υπεδάφους).

Μαθηματική έκφραση θερμορροής σε VEHE



Θερμότητα αγωγής υπεδάφους (θέση $z=L_z$)

$$\dot{Q}_{\text{geo}}(t, x, y, L_z) = \frac{k_J [T_{j-1}(t, x, y, z_{j-1}) - T_j(t, x, y, L_z)]}{L_J} = 0,03 \cdot \frac{k_J}{L_J}$$

Θερμότητα συναγωγής & ακτινοβολίας στην επιφάνεια

$$\dot{Q}_0(t, x, y, 0) = h_0 [T_0(t) - T_j(t, x, y, 0)] + I(t)$$

Θερμότητα συναγωγής νερού

$$\dot{Q}(t, z) = h_f [T_f(t) - T_j(t, z)]$$

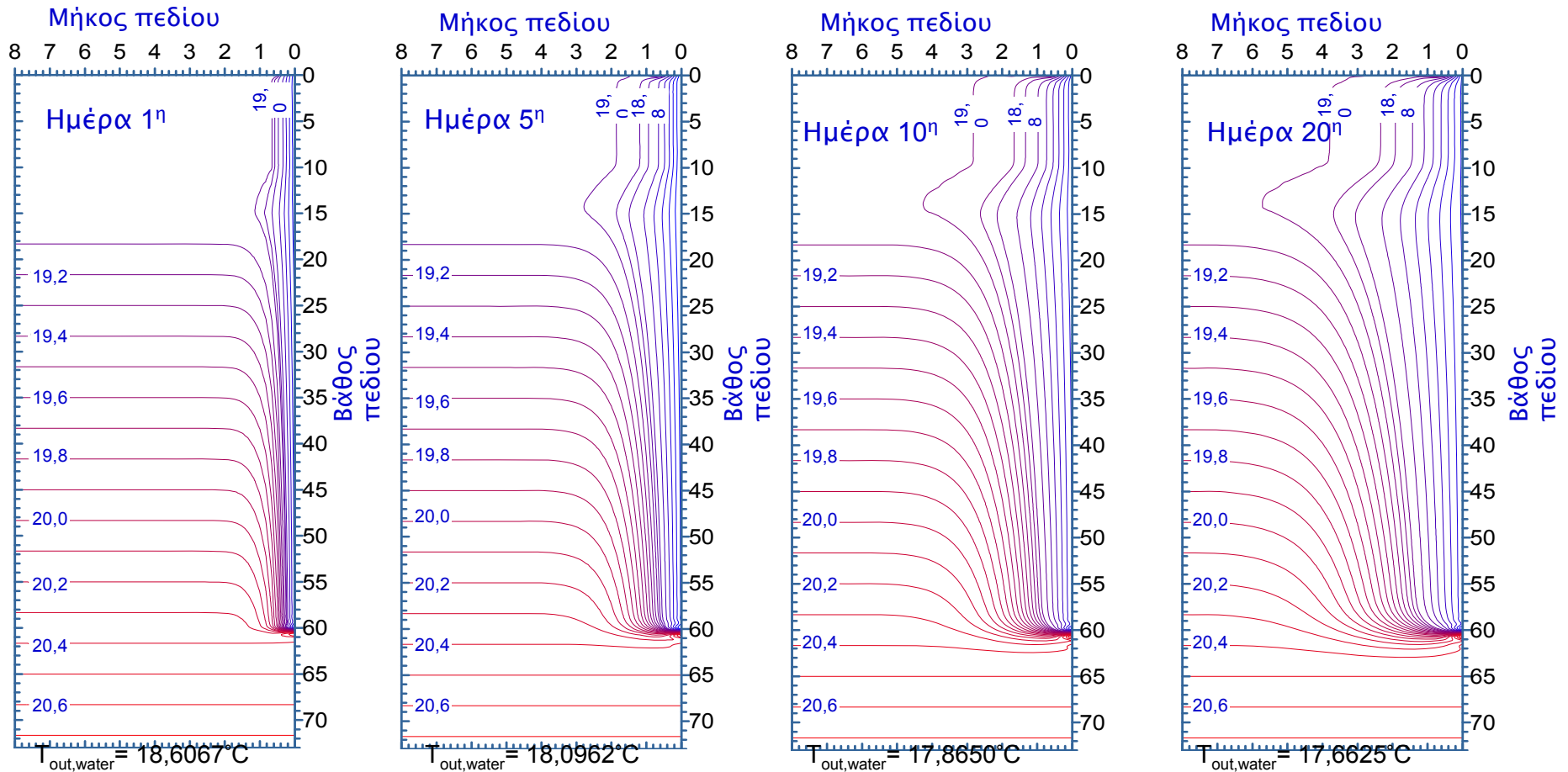
Απορροφούμενη θερμότητα εναλλάκτη

$$\dot{Q}(t) = n \cdot \int_0^{L_z} \dot{Q}(t, z) dz \quad n = 2 \text{ or } 4 \text{ σωλήνες}$$

Θερμοκρασιακή Κατανομή Εδάφους

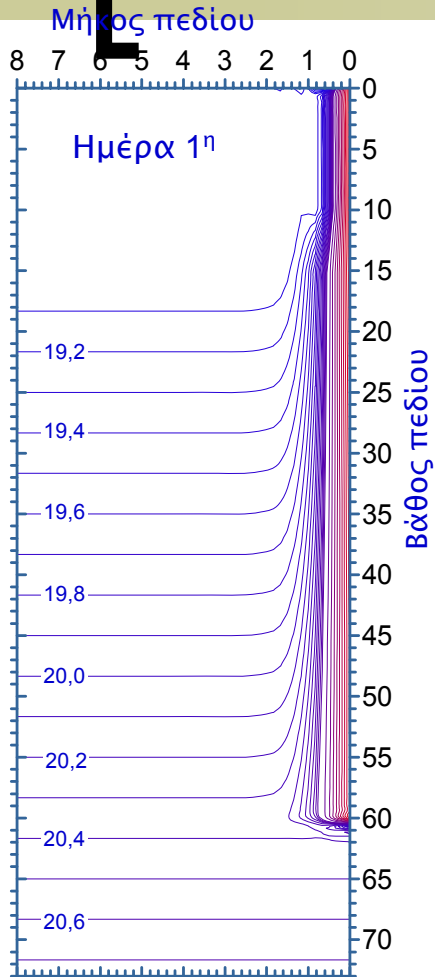
Ισοθερμοκρασιακές καμπύλες

Μήνας: Απρίλιος $T_{in, water} = 17,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $\dot{m} = 0,30 \text{ kg/s}$ $D = 28 \text{ mm}$ $d = 22 \text{ mm}$

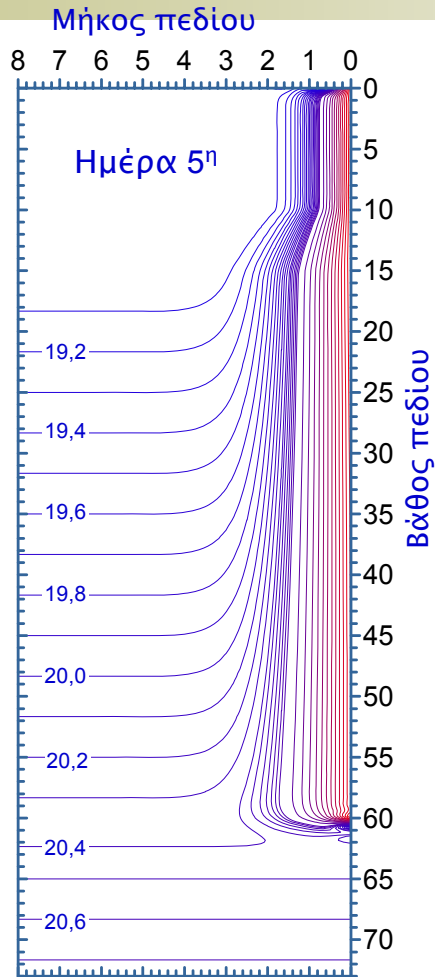


*Υλικά υπεδάφους με $k=1,0 \text{ W/mK}$, $c=800 \text{ kJ/kgK}$, $\rho=200 \text{ kg/m}^3$ υγρασία ~25%
Χωρίς την επίδραση της θερμικής διάχυσης απείρου.

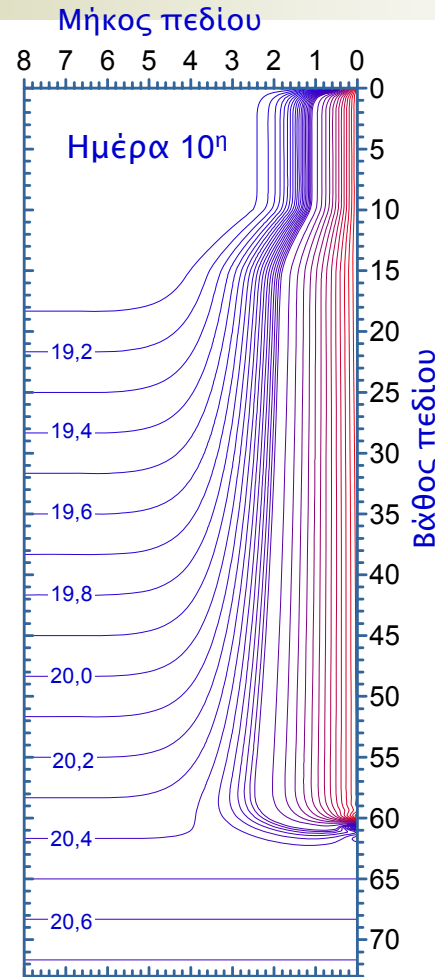
Μήνας: Ιούλιος $T_{in, water} = 30,0 \text{ }^\circ\text{C}$ $\dot{m} = 0,30 \text{ kg/s}$ $D = 28 \text{ mm}$ $d = 22 \text{ mm}$



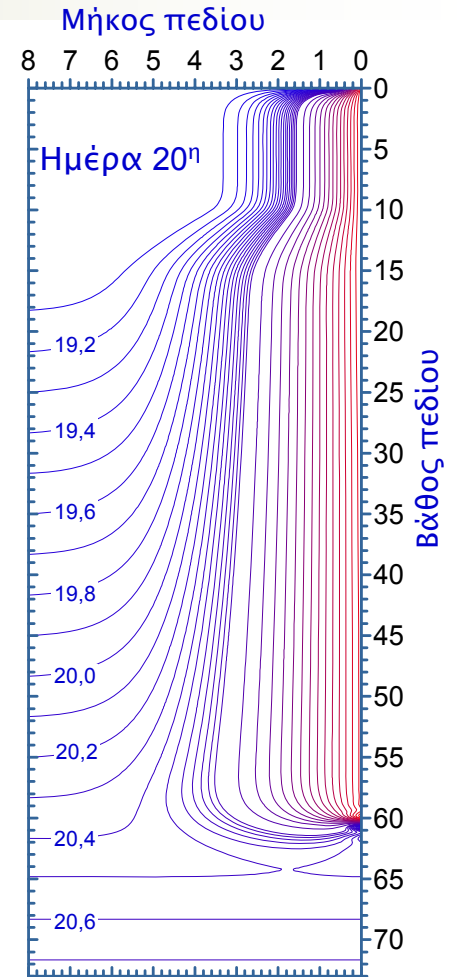
$T_{out, water} = 23,4044 \text{ }^\circ\text{C}$



$T_{out, water} = 25,4931 \text{ }^\circ\text{C}$



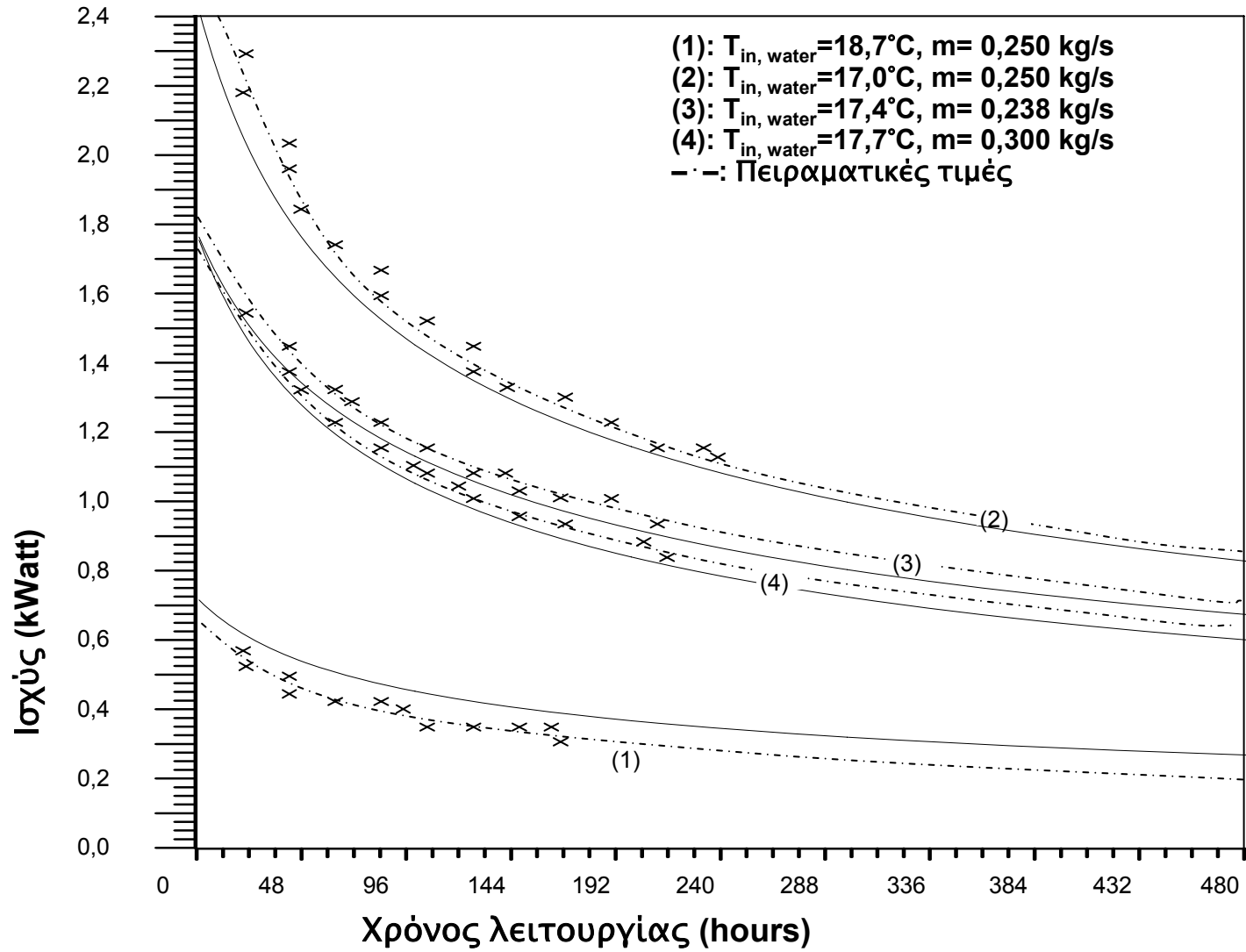
$T_{out, water} = 26,4457 \text{ }^\circ\text{C}$



$T_{out, water} = 27,2813 \text{ }^\circ\text{C}$

Διάγραμμα Ισχύος Γεωθερμικού Εναλλάκτη

Μήνας: Ιούλιος D=28 mm d=22 mm βάθος 60m



Οριζόντιος Γεωθερμικός Εναλλάκτης
(Horizontal Earth Heat Exchanger –HEHE)

Προσδιορισμός Συμπεριφοράς Οριζόντιου Γεωθερμικού Εναλλάκτη Θερμότητας



Θερμότητα αγωγής υπεδάφους κατά x (θέση $z=L_z$)

$$\Phi_{geo}(t, L_x, y, z) = \frac{k_j [T_{j-1}(t, x_{j-1}, -L_y, z) - T_j(t, L_x, L_y, z)]}{L_j}$$

Θερμότητα συναγωγής & ακτινοβολίας στην επιφάνεια έντονη η παρουσία για μικρά βάθη.

$$\Phi(t, x, y, 0) = h_o [T_o(t) - T_j(t, x, y, 0)] + I(t)$$

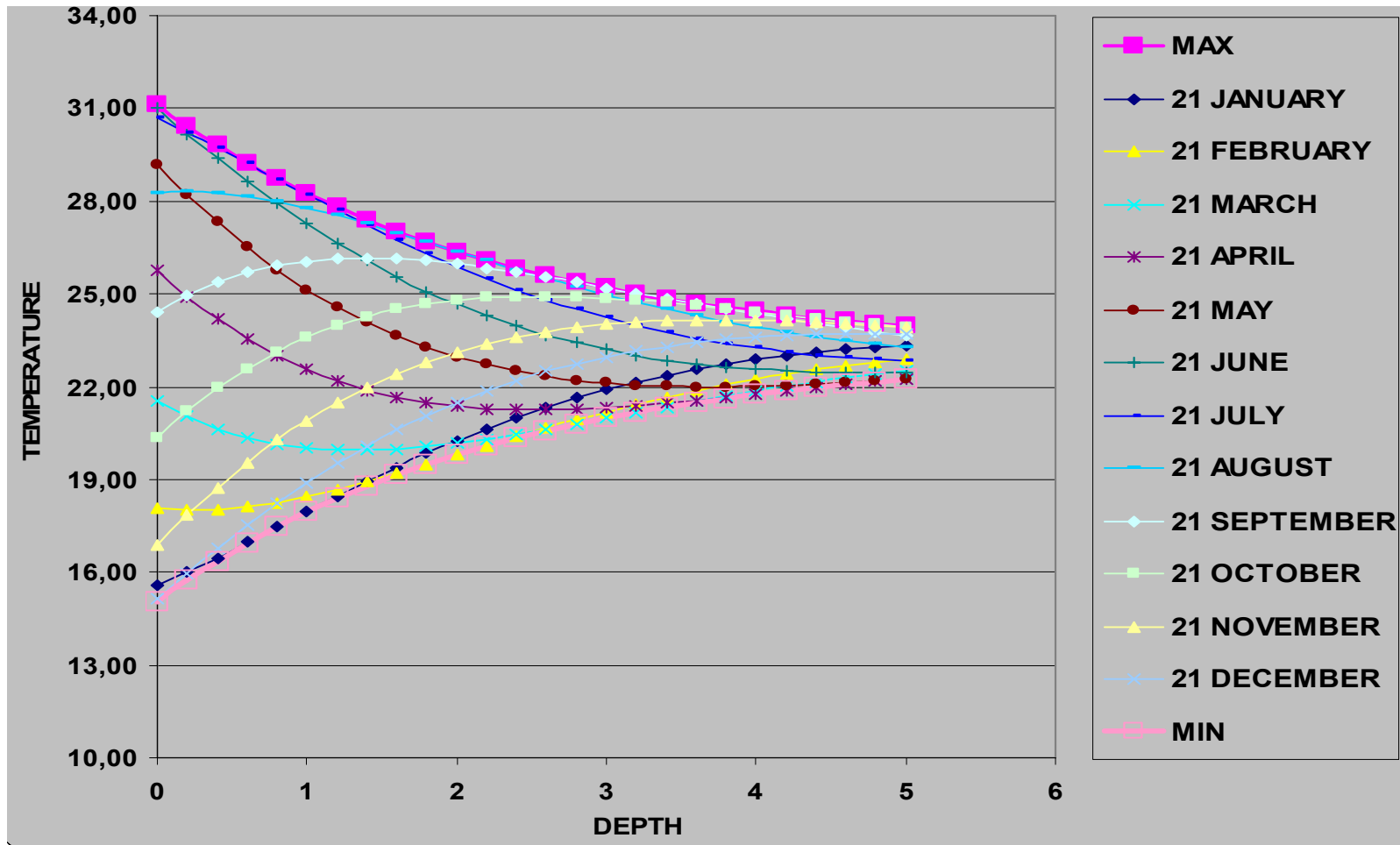
Θερμότητα συναγωγής νερού

$$\Phi(t, x) = h_f [T_f(t) - T_j(t, x)]$$

Απορροφούμενη θερμότητα εναλλάκτη

$$\mathcal{Q}(t) = \int_0^{L_x} \Phi(t, x) dx$$

Καμπύλες μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας υπεδάφους αναλόγως του βάθους

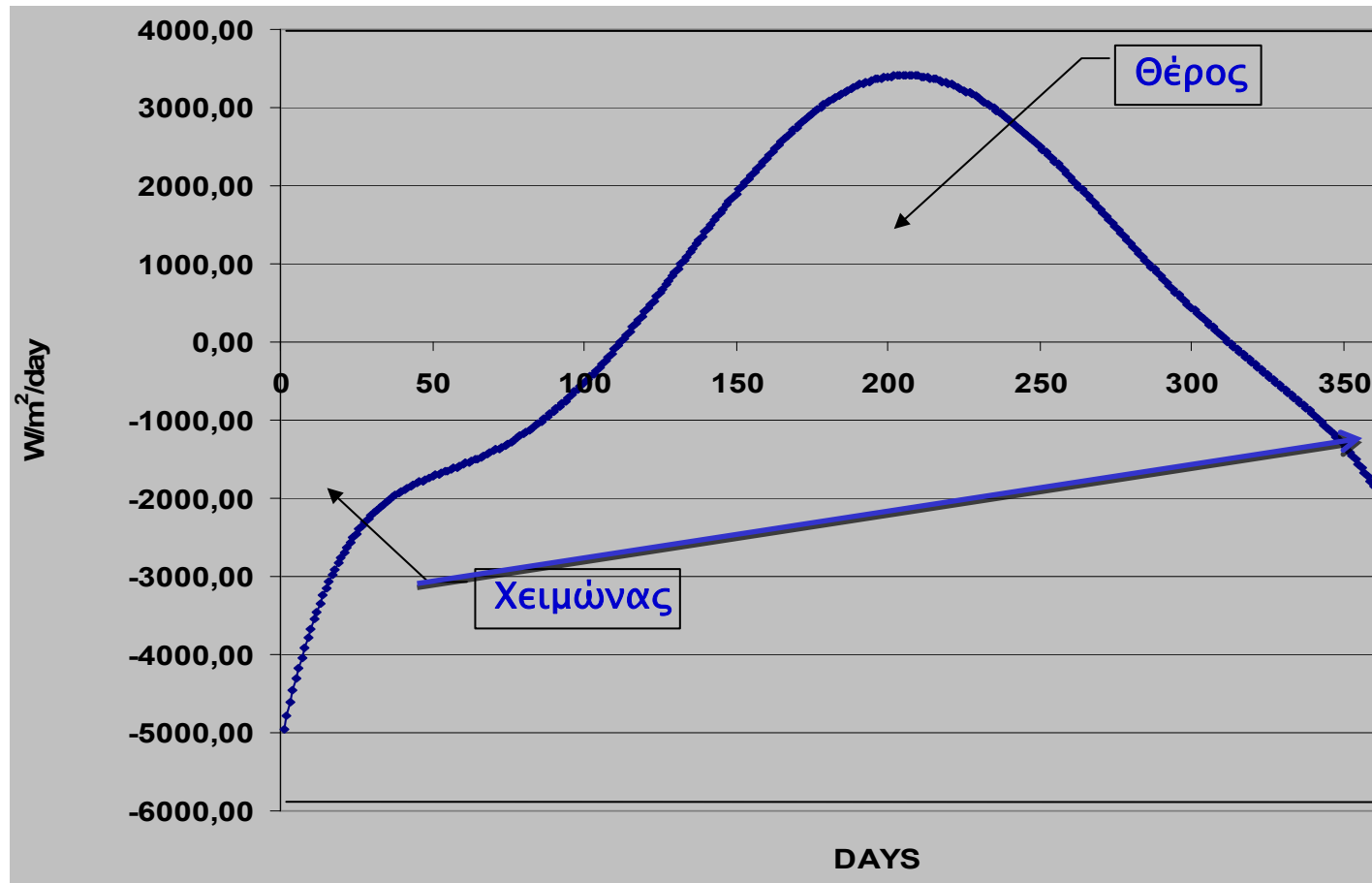


Μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες αέρα και επιφανειακού υπεδάφους*

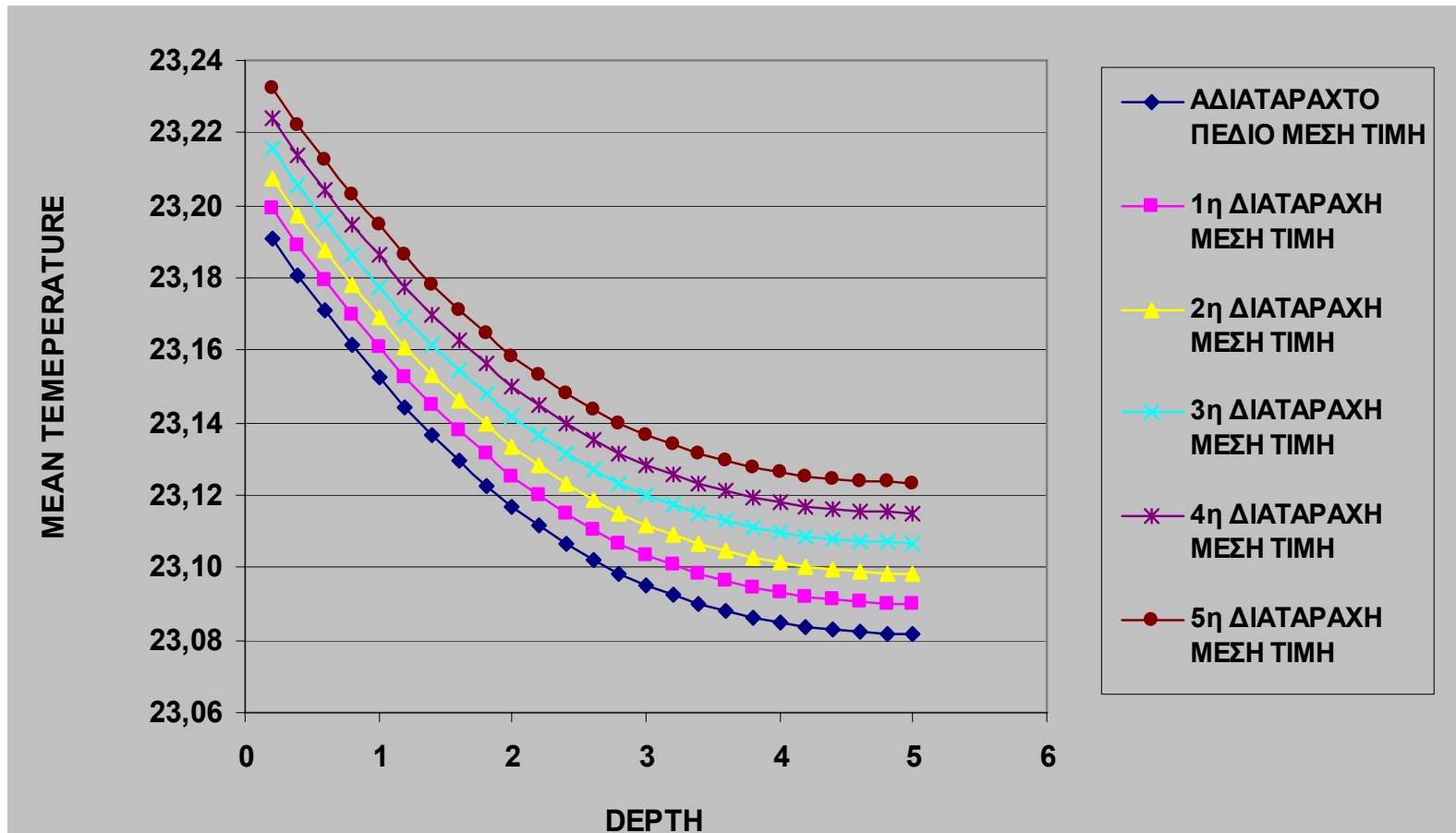
ΒΑΘΟΣ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜ.	ΗΜΕΡ.	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜ.	ΗΜΕΡ.
Αέρας	40,2 °C	6η/7ου	6 °C	26η /1ου
0,6μ	29,24 °C	<u>17η /7ου</u>	16,94°C	<u>16η /1ου</u>
1μ	28,24 °C	<u>27η /7ου</u>	17,94 °C	<u>24η /1ου</u>
2μ	26,38 °C	<u>22η /8ου</u>	19,72 °C	<u>22η /2ου</u>
3μ	25,20 °C	<u>17η /9ου</u>	20,98 °C	<u>19η/3ου</u>
4μ	24,44 °C	<u>13η/10ου</u>	21,74 °C	<u>14η /4ου</u>
5μ	23,95 °C	<u>12η/11ου</u>	23,23 °C	<u>10η/5ου</u>

*Υλικά υπεδάφους με $k=1,0\text{W/mK}$, $c=800\text{kJ/kgK}$, $\rho=200\text{kg/m}^3$ υγρασία ~25%

Τυπικά συνολικά φορτία για όλο το έτος στην Αττική



Μεταβολή της θερμοκρασίας του υπεδάφους για διαταραγμένο και αδιατάρακτο πεδίο, κατά βάθος



*Υλικά υπεδάφους με $k=1,0W/mK$, $c=800kJ/kgK$, $\rho=200kg/m^3$ υγρασία ~25%

Χωρίς την επίδραση της θερμικής διάχυσης απείρου

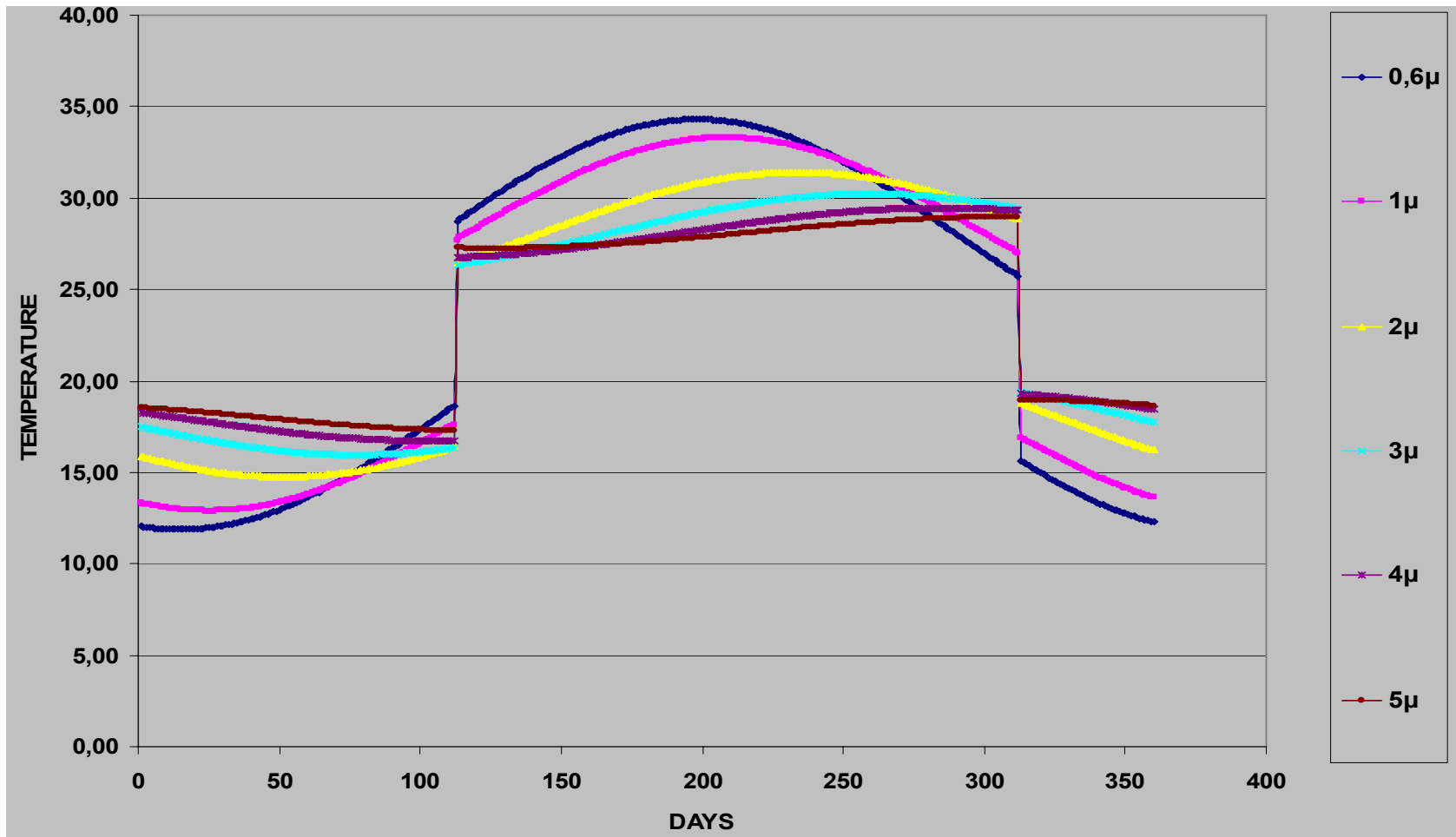
Περιοδική θέρμανση εδάφους

Η μέση τιμή της θερμοκρασίας του εδάφους κατά βάθος αυξάνεται από το 1^ο έως το 5^ο έτος λειτουργίας της κλιματιστικής εγκατάστασης από **23,20 σε 23,24 °C** δηλαδή 0,04K.

Κατά τους χειμερινούς μήνες παρατηρείται μικρή μείωση της θερμοκρασίας κατά βάθος λόγω της απορρόφησης θερμότητας από το έδαφος μέσω της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας κατά 1,77 K (°C),

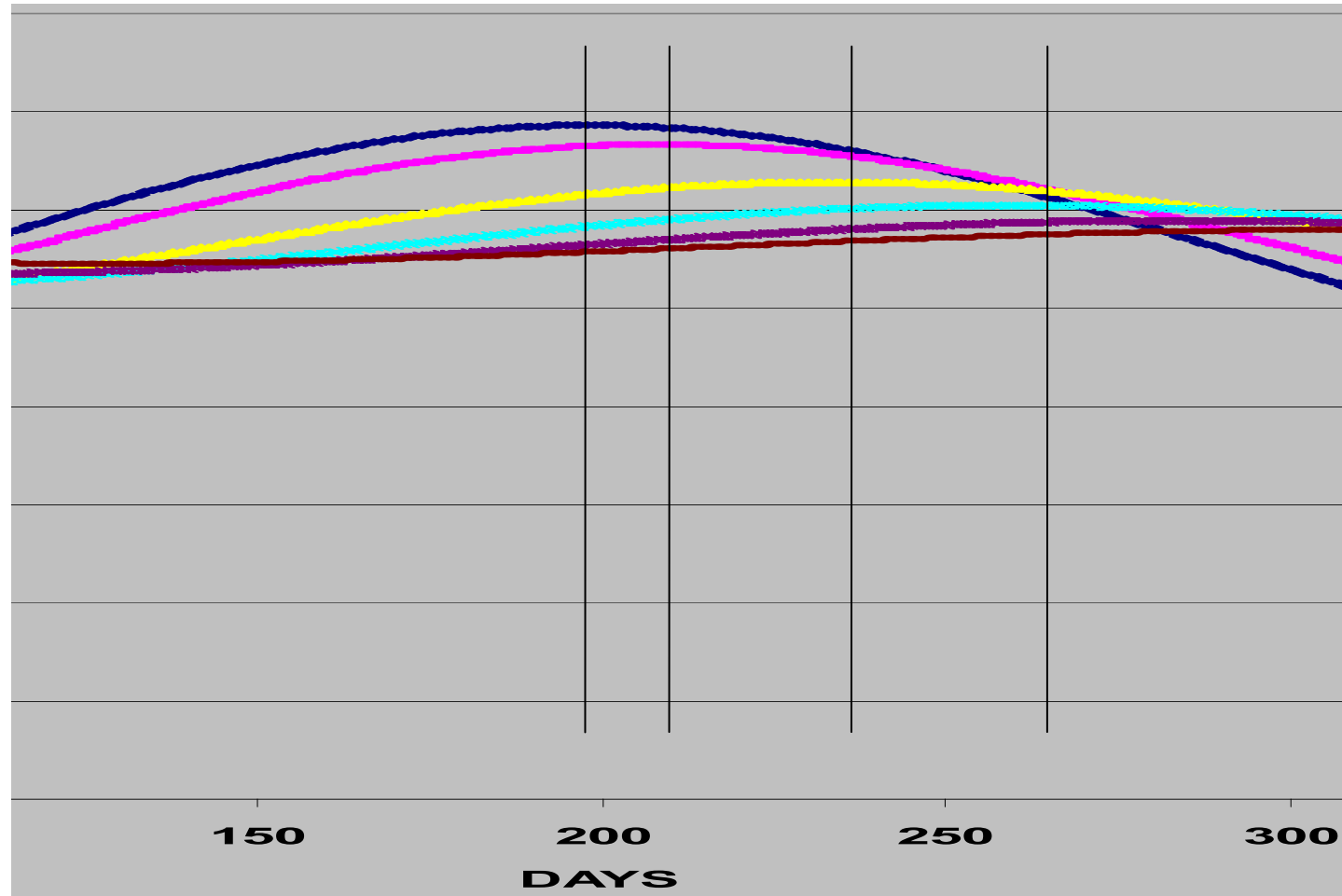
ενώ κατά τους θερινούς μήνες παρουσιάζεται μικρή αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1,8 K (°C) κατά βάθος λόγω αποβολής θερμότητας προς το έδαφος.

Η ετήσια μεταβολή θερμοκρασίας εισόδου στον εναλλάκτη εδάφους σαν συνάρτηση του βάθους.



*Υλικά υπεδάφους με $k=1,0\text{W/mK}$, $c=800\text{kJ/kgK}$, $\rho=200\text{kg/m}^3$ υγρασία ~25%
Χωρίς την επίδραση της θερμικής διάχυσης απείρου.

Χρονική (καθ-) υστέρηση των εποχών σαν συνάρτηση του βάθους.

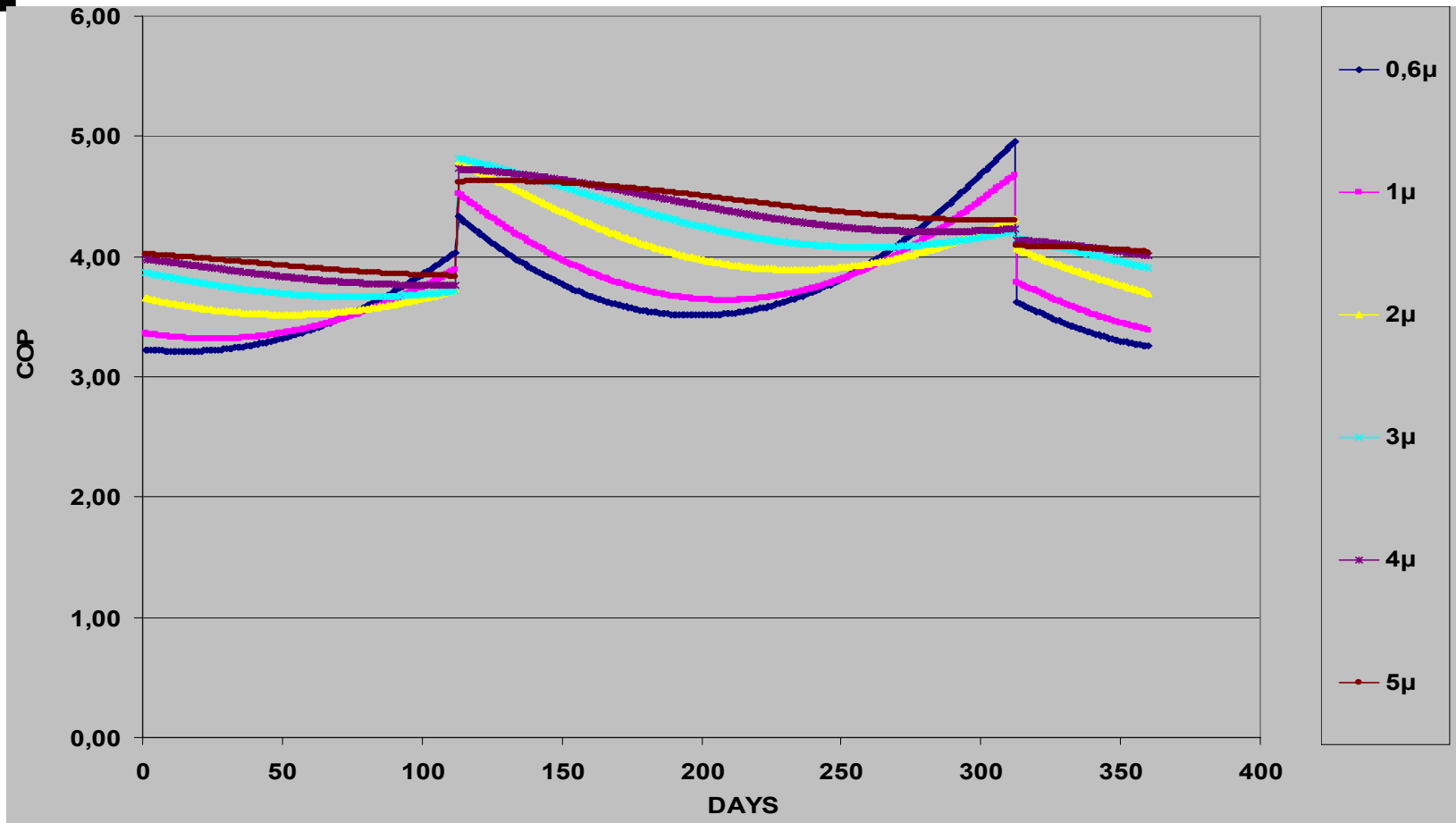


*Υλικά υπεδάφους με $k=1,0\text{W/mK}$, $c=800\text{kJ/kgK}$, $\rho=200\text{kg/m}^3$ υγρασία ~25%
Χωρίς την επίδραση της θερμικής διάχυσης απείρου.

Συμπέρασμα 2ο

Η αναπτυσσόμενη χρονική υστέρηση 10-120 ημερών συνεπάγεται σημαντική υποβοήθηση στα εποχικά φορτία.

Ετήσια μεταβολή COP με παράμετρο το βάθος τοποθέτησης οριζοντίου εναλλάκτη



*Υλικά υπεδάφους με $k=1,0W/mK$, $c=800kJ/kgK$, $\rho=200kg/m^3$ υγρασία ~25%
Χωρίς την επίδραση της θερμικής διάχυσης απείρου.

Σύγκριση κόστους λειτουργίας κανονικής γεωθερμίας και εγκαταστάσεων αέρα*

ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
Βάθος (m)	€/m²/έτος - %
0,6	22,12 – 22,4%
1	21,59 – 24,3%
2	20,31 – 28,8%
3	19,33 – 32,2%
4	18,73 – 34,2%
5	18,43 – 35,4%
ΑΕΡΑΣ	28,52 – 0%

*Υλικά υπεδάφους με $k=1,0\text{W/mK}$, $c=800\text{kJ/kgK}$, $\rho=200\text{kg/m}^3$ υγρασία ~25%
Χωρίς την επίδραση της θερμικής διάχυσης απείρου.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ (3^ο)

Εφόσον οι θερμοκρασίες του εδάφους κυμαίνονται από **15-31 °C** σε όλη τη διάρκεια του έτους από **0,6-5m**.

Οι τιμές του COP κυμαίνονται μεταξύ του **3,2-5,5** για όλες τις εποχές, χειμώνα και θέρος αντίστοιχα και η μέση ετήσια τιμή κοντά στο **4**.

Το ποσοστό μείωσης του λειτουργικού κόστους, **22-32%**,

σε σχέση με το ποσοστό αύξησης του αρχικού κόστους της εγκατάστασης κατά **27-30%**, αποσβένεται σε διάστημα μικρότερο από **3~5 έτη**

*Υλικά υπεδάφους με $k=1,0W/mK$, $c=800kJ/kgK$, $\rho=200kg/m^3$ υγρασία ~25%
Χωρίς την επίδραση της θερμικής διάχυσης απείρου.

Κύρια στοιχεία για σχεδιασμό

Χαρακτηριστικά μεγέθη υλικών
υπεδάφους

Θερμική αγωγιμότητα k [W/mK],

Ειδική Θερμότητα c [kJ/kgK],

Πυκνότητα ρ [kg/m³]

Υγρασία [%]

ΤΕΛΟΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ

*Ευχαριστούμε πολύ για την
προσοχή σας!*



Prof. M. Gr. Vrachopoulos