

# ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΚΑΙ ΨΥΞΗ ΣΕ ΧΩΡΕΣ ΜΕ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΚΛΙΜΑ

Δημήτριος Μενδρινός,  
*Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας*

Κωνσταντίνος Καρύτσας  
*Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας*

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Με περισσότερα από ένα εκατομμύριο εγκατεστημένα συστήματα στη Ευρώπη, οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας αποτελούν καθιερωμένη τεχνολογία θέρμανσης-κλιματισμού και παροχής ζεστού νερού χρήσης, που κερδίζει συνεχώς έδαφος. Το Ευρωπαϊκό έργο Ground-Med αποβλέπει στο να αναπτύξει και να επιδείξει τη νέα γενιά συστημάτων γεωθερμικών αντλιών θερμότητας, εξαιρετικής ενεργειακής απόδοσης, εγκατεστημένα σε κτήρια που βρίσκονται σε περιοχές με Μεσογειακό κλίμα. Στα πλαίσια του έργου Ground-Med έχουν αναπτυχθεί 8 πρωτότυπες γεωθερμικές αντλίες θερμότητας ισχύος 15-75 kW(th), οι οποίες θα παρέχουν θέρμανση και κλιματισμό σε 8 κτήρια. Στόχος του έργου είναι να αποδείξει ότι είναι εφικτή η παροχή ωφέλιμης θερμότητας και ψύξης στα κτήρια τουλάχιστον 5 φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη ηλεκτρική κατανάλωση. Καθώς η ενεργειακή αυτή απόδοση εξαρτάται τόσο από την τεχνολογία της αντλίας θερμότητας, όσο και από τις παραμέτρους λειτουργίας της, οι οποίες της επιβάλλονται από τον γεωεναλλάκτη και το σύστημα θέρμανσης-ψύξης του κτηρίου, αναπτύσσονται κατάλληλες τεχνολογικές λύσεις σε ολοκληρωμένα συστήματα γεωθερμικών αντλιών θερμότητας, με έμφαση στα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του γεωεναλλάκτη, την ανάπτυξη και χρήση εξοπλισμού ενεργειακής τάξης A, και τη συνεχή ρύθμιση των παραμέτρων λειτουργίας. Σε όλα τα συστήματα θα εγκατασταθεί εξοπλισμός μετρήσεων και καταγραφής των παραμέτρων λειτουργίας, ενώ θα γίνεται ταυτόχρονη απευθείας παρουσίαση των μετρήσεων και των αποτελεσμάτων στο διαδίκτυο.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (ΓΑΘ) είναι συστήματα που παρέχουν θέρμανση, ψύξη και ζεστό νερό σε κτήρια. Αποτελούνται από τρία υποσυστήματα: α) τον γεωεναλλάκτη που είναι τοποθετημένος εντός του εδάφους αποτελούμενος είτε από οριζόντιους σωλήνες, είτε από κατακόρυφους εντός γεωτρήσεων, β) την αντλία θερμότητας και γ) το εντός του κτηρίου σύστημα παροχής θέρμανσης, ψύξης και ζεστού νερού χρήσης.

Με περισσότερες από 1 εκατομμύριο εγκατεστημένες μονάδες συνολικής ισχύος 11 GWth, και με ετήσιες πωλήσεις που ανέρχονται σε 125.000 μονάδες αυξανόμενες με ετήσιο ρυθμό 10%, οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας αποτελούν ήδη καθιερωμένη και ώριμη τεχνολογία, που συνεχώς κερδίζει μερίδιο αγοράς στην Ευρώπη, με πρωτοπόρες χώρες τις Γερμανία, Σουηδία, Γαλλία, Ελβετία και Αυστρία. Πρόσφατα έχουν διεισδύσει και στην αγορά της Νότιας Ευρώπης για παροχή ψύξης.

Αποτελούν την πιο ενεργειακά αποδοτική τεχνολογία από τις αντλίες θερμότητας, με μετρημένο βαθμό απόδοσης βελτιωμένο κατά 40% σε σχέση με αερόψυκτες αντλίες θερμότητας, όπως μετρήθηκε επί σειρά ετών στην επιδεικτική μονάδα του Πολυτεχνείου της Βαλένσια της Ισπανίας στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού έργου GeoCool. (Mendrinis 2010)

Αναγνωρίζονται ως τεχνολογία ανανεώσιμης ενέργειας σύμφωνα με την οδηγία 2009/28/EC του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και Συμβουλίου της 23ης Απριλίου 2009 για τη διάδοση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

## 2. ΤΟ ΕΡΓΟ GROUND-MED

Το έργο «Advanced Ground Source Heat Pump Systems for Heating and Cooling in Mediterranean Climate» (GROUND-MED) με αριθμό συμβολαίου TREN/FP7EN/218895/, εξετάζει τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας ως ένα ολοκληρωμένο σύνολο το οποίο περιλαμβάνει πεδίο γεωεναλλακτών, υδρόψυκτη αντλία θερμότητας και εσωτερικό σύστημα θέρμανσης-ψύξης του κτηρίου, με στόχο τη μεγιστοποίηση της ενεργειακής του απόδοσης. Η τεχνολογία γεωθερμικών αντλιών θερμότητας που αναπτύσσεται στα πλαίσια του έργου εφαρμόζεται σε οκτώ επιδεικτικά κτήρια (Εικόνα 1), όπου κατασκευάζονται προηγμένα συστήματα γεωθερμικών αντλιών θερμότητας για θέρμανση και ψύξη (και παροχή ζεστού νερού χρήσης σε μια περίπτωση), τα οποία θα λειτουργήσουν δοκιμαστικά για τουλάχιστον 24 μήνες στα πλαίσια του έργου προκειμένου να γίνει αξιολόγηση της τεχνολογίας.

Ο στόχος είναι να αποδειχτεί η δυνατότητα λειτουργίας των συστημάτων αυτών με μετρημένο εποχιακό βαθμό απόδοσης SPF τουλάχιστον 5,0. Ως SPF ορίζεται το πηλίκο της αποδιδόμενης στο κτήριο θέρμανσης και ψύξης δια της αντίστοιχης ηλεκτρικής κατανάλωσης κατά τη διάρκεια ενός έτους.

Το έργο Ground-Med, άρχισε στις 1 Ιανουαρίου 2009, έχει διάρκεια 5 έτη και προϋπολογισμό περί τα 7,25 εκατομμύρια ευρώ, ενώ περιλαμβάνει 25% έρευνα και 75% δράσεις επίδειξης και διάδοσης της τεχνολογίας. Συγχρηματοδοτείται κατά 60% ή ~4,3 εκατομμύρια ευρώ από το 7<sup>ο</sup> Ευρωπαϊκό πρόγραμμα πλαίσιο (FP7).



Εικόνα 1. Γεωγραφική θέση των επιδεικτικών κτηρίων του έργου GROUND-MED

Το έργο Ground-Med υλοποιείται από εταιρική συνεργασία 24 φορέων από χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, κυρίως από τη Νότια Ευρώπη, περιλαμβάνοντας Πανεπιστήμια, ερευνητικά κέντρα, βιομηχανίες παραγωγής αντλιών θερμότητας, Εθνικούς και Ευρωπαϊκούς συνδέσμους βιομηχανιών, ενεργειακούς συμβούλους και τεχνικές εταιρείες. Αυτοί είναι το Κέντρο Ανανεώσιμων και Εξοικονόμησης Ενέργειας, ΚΑΠΕ, (Ελλάδα) συντονιστής του έργου, οι βιομηχανίες παραγωγής αντλιών θερμότητας Compagnie Industrielle d'Applications Thermiques (CIAT), HIREF Spa και OCHSNER Wärmepumpen GmbH, οι φορείς οι οποίοι κατασκευάζουν και θα λειτουργήσουν τα επιδεικτικά συστήματα του έργου Institute of Systems and Robotics - University of Coimbra,

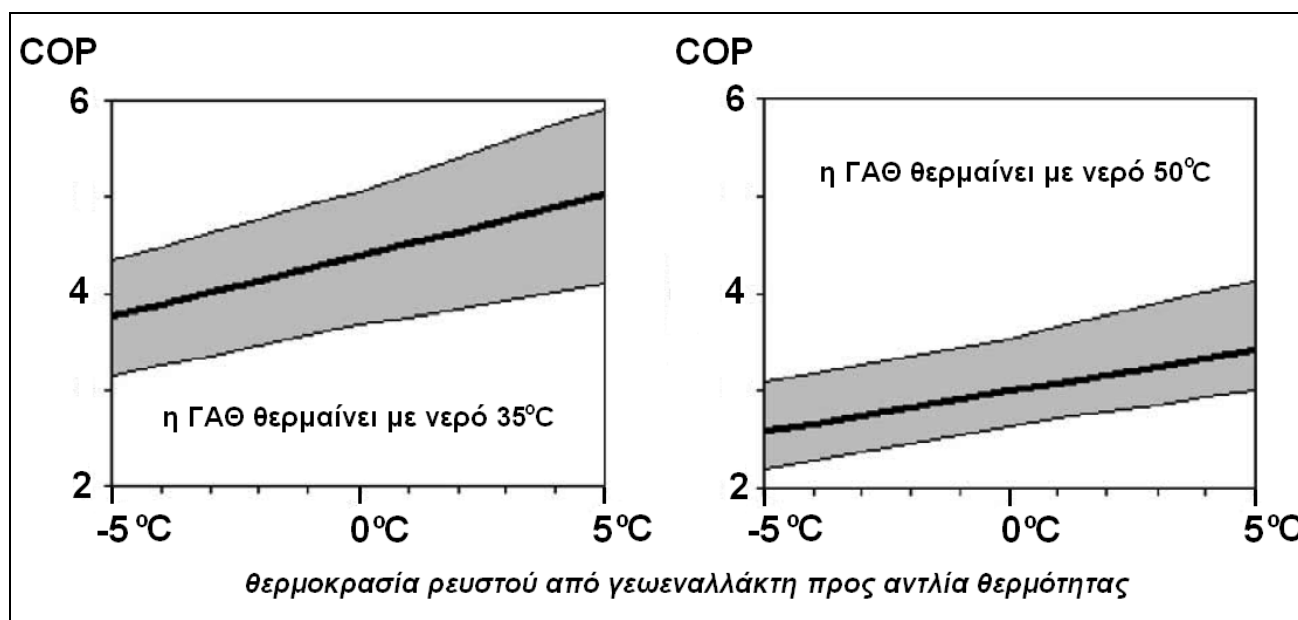
University of Oradea, Gejzir Consulting, Ecoserveis, Έδραση-Χ.Ψαλλίδας ΑΤΕ, και Eneren, τα πανεπιστήμια ή ερευνητικά κέντρα University College Dublin, Università degli Studi di Padova, Universidad Politécnica de Valencia, Commissariat à l'Énergie Atomique, Groupement pour la Recherche sur les Echangeurs Thermiques (GRETh), Instituto Politecnico de Setubal και ΚΤΗ – Royal Institute of Technology, οι εταιρείες Geoteam GmbH, και Groenholland BV, οι φορείς υπεύθυνοι για την καταγραφή μετρήσεων και αξιολόγηση της τεχνολογίας του έργου Besel S.A., και Centre Technique des Industries Aérauliques et Thermique (CETIAT), καθώς και οι φορείς που έχουν αναλάβει την διάδοση των αποτελεσμάτων του έργου Fachinformationszentrum Karlsruhe GmbH (FIZ), European Heat Pump Association (EHPA), και European Geothermal Energy Council (EGEC).

Αναλυτικές πληροφορίες και νέα για το έργο GROUNDMED αλλά και για εφαρμογές γεωθερμικών αντλιών θερμότητας, είναι διαθέσιμες στις ιστοσελίδες του έργου <http://www.groundmed.eu/>.

### 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

#### 3.1 Ελαχιστοποίηση της διαφοράς θερμοκρασίας

Όπως προκύπτει από τη θερμοδυναμική του ψυκτικού κύκλου, αλλά και όπως έχει επιβεβαιωθεί πειραματικά, μείωση της διαφοράς θερμοκρασίας ανάμεσα στην πηγή και απαγωγή θερμότητας οδηγεί σε αύξηση του ενεργειακού βαθμού απόδοσης COP της αντλίας θερμότητας. Ειδικότερα για τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, μείωση της διαφοράς αυτής θερμοκρασίας κατά 1 °C προκαλεί βελτίωση του COP κατά 2-4% (Mendrinios et al 2011). Αναλυτικότερη περιγραφή της σχέσης βαθμού απόδοσης και θερμοκρασίας τροφοδοσίας γεωθερμικών αντλιών θερμότητας παρουσιάζεται στην Εικόνα 2, όπως αυτή έχει προκύψει από σειρά εργαστηριακών μετρήσεων σε μηχανές ΓΑΘ διαθέσιμες στην αγορά (Sanner et al 2003).



Εικόνα 2. Βαθμός ενεργειακής απόδοσης (COP) γεωθερμικών αντλιών θερμότητας σε σχέση με την παρεχόμενη θερμοκρασία ρευστού από τον γεωεναλλάκτη για ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης (αριστερά) και για θέρμανση με σώματα καλοριφέρ ή παροχή ζεστού νερού χρήσης (δεξιά). Η έντονη γραμμή στο μέσον αντιστοιχεί στη μέση τιμή των μετρήσεων, ενώ η σκιασμένη περιοχή περιλαμβάνει μεγάλη γκάμα μηχανών ΓΑΘ διαθέσιμες στην αγορά κατά τα έτη 2000-2002.

Προκειμένου να επιτύχουμε καλύτερη προσέγγιση της θερμοκρασίας παροχής του γεωεναλλάκτη με εκείνη του εδάφους, στις επιδεικτικές μονάδες του έργου δίδεται ιδιαίτερη προσοχή στον σχεδιασμό και την κατασκευή του γεωεναλλάκτη. Συγκεκριμένα, σχεδόν όλοι οι γεωεναλλάκτες έχουν σχεδιαστεί να λειτουργούν με νερό ως μέσον μεταφοράς θερμότητας από το έδαφος στην αντλία θερμότητας το οποίο παρουσιάζει εξαιρετικές ιδιότητες μετάδοσης θερμότητας. Μοναδική εξαίρεση παρουσιάζει ο γεωεναλλάκτης του Πανεπιστημίου της Οράντσα (Ρουμανία), όπου έχει προστεθεί 10% αντιψυκτικό για αντιπαγετική προστασία, λόγω των καιρικών συνθηκών της περιοχής. Λειτουργία του γεωεναλλάκτη με νερό σημαίνει ότι η θερμοκρασία παροχής νερού στην αντλία θερμότητας θα είναι περί τους 10°C για θέρμανση, αντί για τους -3 °C που είναι ο συνήθης σχεδιασμός, πράγμα που οδηγεί σε σημαντική βελτίωση του SPF του συστήματος. Παράλληλα λόγω της μεγαλύτερης δυναμικότητας του γεωεναλλάκτη που απαιτείται, αντίστοιχη βελτίωση προκύπτει και κατά τη λειτουργία σε ψύξη.

Περαιτέρω βελτίωση του SPF της αντλίας θερμότητας επιτυγχάνεται με το να έχουμε το νερό και το ψυκτικό ρευστό και στους δύο εναλλάκτες της αντλίας θερμότητας (εξατμιστή και συμπυκνωτή) συνεχώς σε αντιροή, τόσο κατά τη θέρμανση τον χειμώνα, όσο και κατά τη ψύξη το καλοκαίρι. Αυτό επιτυγχάνεται με δύο μεθόδους.

Κατά τη πρώτη μέθοδο η αντιστροφή της λειτουργίας της αντλίας θερμότητας από θέρμανση σε ψύξη γίνεται με εναλλαγή της ροής του νερού με διάταξη από 4 τριόδες βαλβίδες έτσι ώστε κατά τη λειτουργία σε θέρμανση το κύκλωμα του κτηρίου να τροφοδοτείται από τον συμπυκνωτή της αντλίας θερμότητας, ενώ κατά τη λειτουργία σε ψύξη από τον εξατμιστή. Η ροή του ψυκτικού ρευστού εντός της αντλίας θερμότητας έχει πάντα σταθερή κατεύθυνση έτσι ώστε ο εξατμιστής και ο συμπυκνωτής να λειτουργούν σε αντιροή. Η εξωτερική αυτή αντιστροφή της λειτουργίας της αντλίας θερμότητας εφαρμόζεται στις μονάδες που εγκαθίστανται στο δημοτικό πολιτιστικό κέντρο της Βενεδικτίνης και στα γραφεία της τεχνικής εταιρείας ΕΔΡΑΣΗ.

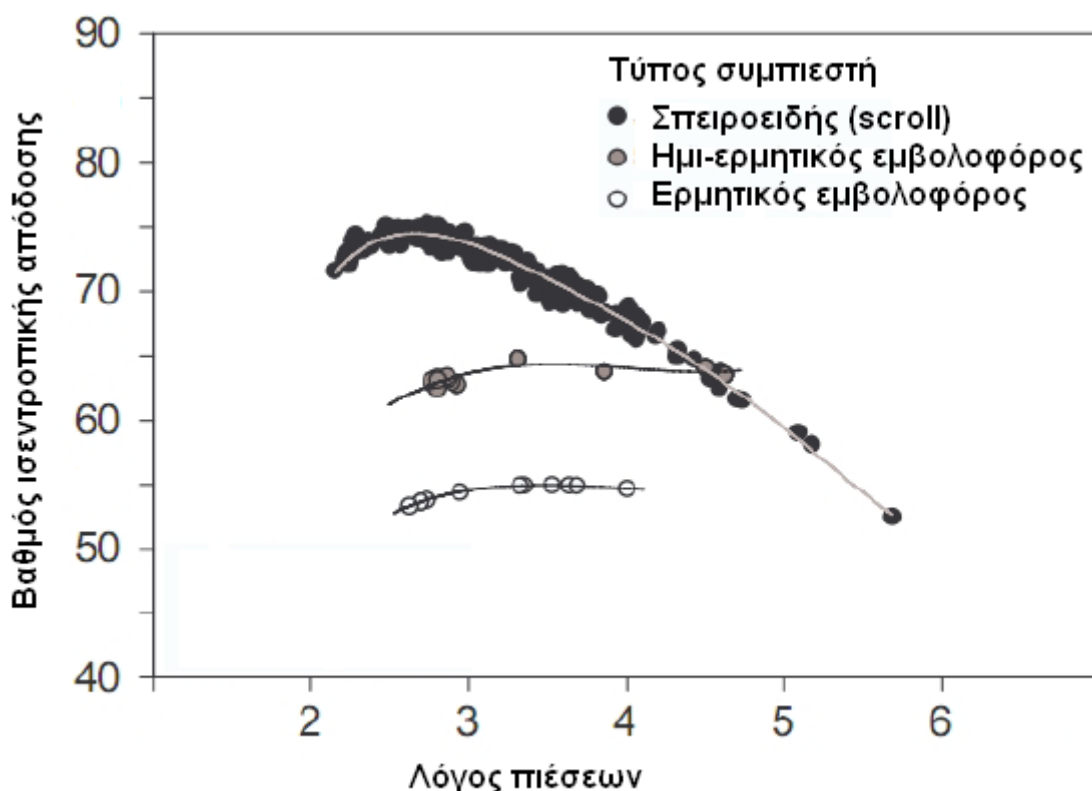
Σε όλα τα άλλα επιδεικτικά συστήματα του έργου, η αντιστροφή της λειτουργίας της αντλίας θερμότητας από θέρμανση σε ψύξη γίνεται με αναστροφή του ψυκτικού κύκλου. Εκεί, προκειμένου να έχουμε συνεχώς αντιροή, κατά την αλλαγή μεταξύ χειμερινής και θερινής περιόδου γίνεται και αναστροφή της ροής του νερού τόσο στο κύκλωμα του γεωεναλλάκτη όσο και στο κύκλωμα του κτηρίου. Η αναστροφή αυτή της ροής του νερού γίνεται με τη βοήθεια τετράοδης ή τριόδων βαλβίδων, οι οποίες παρέχονται ως τυποποιημένο εξάρτημα που συνοδεύει τις αντλίες θερμότητας (flow switch kit).

Σημαντική βελτίωση του βαθμού ενεργειακής απόδοσης SPF του συστήματος επιτυγχάνεται ελαχιστοποιώντας συνεχώς τη θερμοκρασία παροχής νερού θέρμανσης από την αντλία θερμότητας κατά τη χειμερινή περίοδο και αντίστοιχα μεγιστοποιώντας τη θερμοκρασία παροχής νερού ψύξης κατά τη θερινή περίοδο. Συγκεκριμένα αρχικά σχεδιάζουμε το σύστημα ώστε να παρέχει φορτίο αιχμής θέρμανσης με όσο το δυνατότερο χαμηλότερη θερμοκρασία και φορτίο αιχμής ψύξης με όσο το δυνατό υψηλότερη θερμοκρασία. Τυπικές τιμές της θερμοκρασίας του νερού στις επιδεικτικές μονάδες του έργου είναι 40°C για θέρμανση με φαν-κόιλ, μειωμένη κατά 5 °C από τον συνήθη σχεδιασμό, και 10°C για ψύξη, δηλαδή αυξημένη κατά 3°C. Μελέτες που έγιναν, έδειξαν ότι είναι δυνατή η επίτευξη ικανοποιητικής θερμικής άνεσης ακόμη και για θέρμανση με παροχή νερού 35°C αρκεί να χρησιμοποιηθεί ο κατάλληλος τύπος φαν-κόιλ. Η αντλία θερμότητας παρέχει φορτίο αιχμής συνήθως όταν εξωτερικά επικρατούν ακραίες συνθήκες, ενώ κατά το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα λειτουργεί με μειωμένο φορτίο. Η παροχή θέρμανσης με μειωμένο φορτίο μπορεί να γίνει σε χαμηλότερη θερμοκρασία. Ρυθμίζοντας τη θερμοκρασία του νερού θέρμανσης / ψύξης ανάλογα με το φορτίο που παρέχει η αντλία θερμότητας στο κτήριο, επιτυγχάνεται μείωση του  $\Delta T$  του συστήματος και συνεπώς βελτίωση του SPF, η οποία είναι σημαντική, δεδομένου ότι η αντλία θερμότητας λειτουργεί με μειωμένο φορτίο τον περισσότερο χρόνο.

### 3.2 Βαθμός απόδοσης συμπίεστη

Ο συμπιεστής αποτελεί την «καρδιά» μιας αντλίας θερμότητας και είναι το στοιχείο εκείνο που καταναλώνει και την περισσότερη ενέργεια σε ένα σύστημα ψύξης-θέρμανσης. Η ηλεκτρική κατανάλωση ενός συμπιεστή εξαρτάται άμεσα από τον βαθμό ισεντροπικής απόδοσής του.

Ο βαθμός ισεντροπικής απόδοσης ενός συμπιεστή εξαρτάται από τον τύπο του συμπιεστή και από το πηλίκο των πιέσεων κατάθλιψης-αναρρόφησης. Η σχέση αυτή για διαφορετικούς τύπους συμπιεστών απεικονίζεται στην Εικόνα 3, όπως έχει προκύψει από πειραματικές μετρήσεις (Corberan et al 2008). Από την Εικόνα 3 γίνεται φανερό ότι οι συμπιεστές τύπου σκρόλ (σπειροειδής) παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη απόδοση, και αυτό όμως συμβαίνει σε μικρό εύρος των λόγων πίεσης, στο διάστημα 2 – 3,5.



Εικόνα 3. Πειραματικές μετρήσεις βαθμού ισεντροπικής απόδοσης συμπιεστών, ως συνάρτηση του λόγου πιέσεων του συμπιεστή, για διαφορετικούς τύπους συμπιεστών.

Στο έργο Ground-Med επιλέγουμε συμπιεστές σπειροειδούς τύπου με όσο το δυνατόν μεγαλύτερο ισεντροπικό βαθμό απόδοσης για τις πρωτότυπες γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Τα ψυκτικά ρευστά που χρησιμοποιούνται είναι το R407C σε τρεις πρωτότυπες αντλίες θερμότητας και R410A στις υπόλοιπες πέντε. Για τις αναμενόμενες παραμέτρους λειτουργίας των αντλιών θερμότητας, όπως αυτές επιβάλλονται από το θερμοκρασιακό εύρος των κυκλωμάτων νερού του γεωεναλλάκτη και της θέρμανσης-ψύξης του κτηρίου, για το μεν R407C αναμένονται λόγοι πιέσεων συμπιεστή 2,4 το καλοκαίρι και 3,4 το χειμώνα, ενώ για το R410A λόγοι πιέσεων 2,2 το καλοκαίρι και 3,1 το χειμώνα, με αναμενόμενο βαθμό ισεντροπικής απόδοσης συμπιεστών ίσο με 70-75%.

### 3.3 Ρύθμιση ισχύος

Δεδομένου ότι όπως αναφέρεται στο κεφάλαιο 3.1 το σύστημα θέρμανσης-ψύξης κτηρίου λειτουργεί περισσότερο σε μειωμένη παρά σε πλήρη ισχύ, ο τρόπος ρύθμισης της αποδιδόμενης ισχύος από την αντλία θερμότητας είναι σημαντικός παράγοντας για την ενεργειακή συμπεριφορά του συστήματος.

Στις πρωτότυπες μηχανές του έργου GROUND-MED χρησιμοποιούνται οι εξής τρόποι ρύθμισης της ισχύος: ON-OFF, με μετατροπέα συχνότητας Ινβέρτερ και με ζεύγος συμπιεστών.

Σε αντίθεση με τα αερόψυκτα συστήματα η ρύθμιση ON-OFF είναι ικανοποιητική για τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, επειδή η μεγάλη θερμική αδράνεια του νερού περιορίζει τον αριθμό εκκινήσεων του συμπιεστή, όπου έχουμε και τις περισσότερες ενεργειακές απώλειες, και επειδή στην αγορά υπάρχουν διαθέσιμοι πολλοί συμπιεστές σταθερής ισχύος με εξαιρετική ενεργειακή απόδοση. Οι πρωτότυπες αντλίες θερμότητας που είναι εγκατεστημένες ή πρόκειται να εγκατασταθούν στα επιδεικτικά κτήρια του Πανεπιστημίου της Οράντσα, της Βενεδικτίνης και της ΕΔΡΑΣΗ ρυθμίζονται σε ON-OFF λειτουργία.

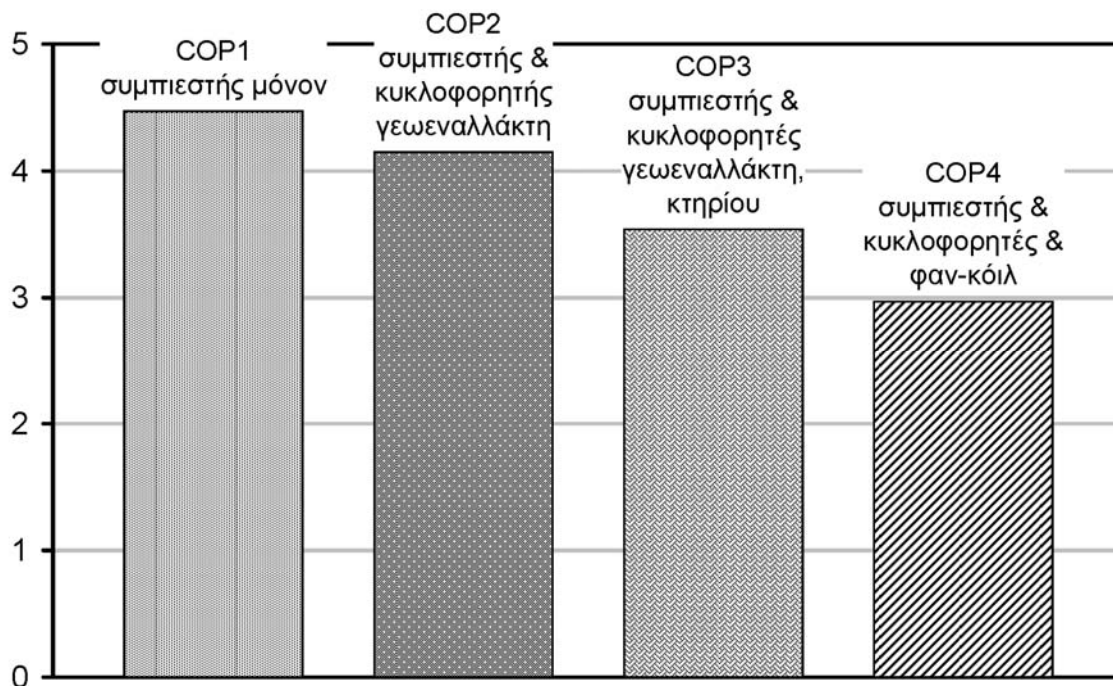
Συμπιεστής με μετατροπέα συχνότητας (ινβέρτερ) για ρύθμιση των στροφών του κινητήρα του, χρησιμοποιείται στην πρωτότυπη γεωθερμική αντλία θερμότητας του έργου που είναι εγκατεστημένη στο εργοστάσιο της HIREF στο Τριμπάνο. Παρόλο που η χρήση ινβέρτερ θεωρητικά θα έπρεπε να οδηγεί σε αυξημένο βαθμό ενεργειακής απόδοσης SPF λόγω των μειωμένων εκκινήσεων του συμπιεστή και λόγω καλύτερης θερμοκρασιακής προσέγγισης, αφενός οι πειραματικές μετρήσεις έδειξαν μεγάλες ηλεκτρικές απώλειες στον ινβέρτερ ιδίως σε περιόδους λειτουργίας σε πολύ μικρές ή πολύ μεγάλες συχνότητας, και αφετέρου δεν είναι διαθέσιμοι στην αγορά συμπιεστές με ινβέρτερ που να έχουν ικανοποιητική ενεργειακή απόδοση.

Η διάταξη ρύθμισης ισχύος που παρουσιάζει τον μεγαλύτερο βαθμό ενεργειακής απόδοσης SPF, όπως αυτός μετρήθηκε πειραματικά στο εργαστήριο, είναι η χρήση ζεύγους συμπιεστών. Με αυτή τη διάταξη αξιοποιούμε συμπιεστές σταθερής ισχύος εξαιρετικής ενεργειακής απόδοσης που είναι διαθέσιμοι στην αγορά, επιτυγχάνουμε μειωμένο αριθμό εκκινήσεων του συμπιεστή δεδομένου ότι τον περισσότερο χρόνο λειτουργεί μόνον ο ένας από τους δύο συμπιεστές, ενώ παράλληλα αποφεύγουμε τις ηλεκτρικές απώλειες στον Ινβέρτερ.

### 3.4 Απόδοση λοιπών στοιχείων του συστήματος

Με βάση την εμπειρία από το έργο GeoCool το επιδεικτικό σύστημα του οποίου στην Πολυτεχνειούπολη της Βαλένσια χρησιμοποιείται και στο έργο GroundMed αλλά με νέα αντλία θερμότητας, γνωρίζουμε ότι σημαντικό μέρος των ενεργειακών καταναλώσεων σε ένα σύστημα γεωθερμικής αντλίας θερμότητας γίνεται στους κυκλοφορητές και στα φαν-κόιλ. Αυτό επιβεβαιώνεται και από πρόσφατες μετρήσεις οι οποίες παρουσιάζονται στην Εικόνα 4. Γι αυτό το λόγο η τεχνολογία που αναπτύσσεται στα πλαίσια του έργου GroundMed περιλαμβάνει τόσο αντλίες θερμότητας, όσο και φαν-κόιλ, κεντρικές μονάδες κλιματισμού (air handling units) και συστήματα θερμικής αποθήκευσης (PCM). Συγκεκριμένα αναπτύσσεται από τη CIAT νέος τύπος φαν-κόιλ με ηλεκτρική κατανάλωση 4 φορές μικρότερη από συμβατικές μονάδες, νέος τύπος κεντρικής μονάδας κλιματισμού που τροφοδοτείται με θερμότητα από τον συμπυκνωτή αντλίας θερμότητας, και νέα προϊόντα θερμικής αποθήκευσης (PCM) για ψύξη ή θέρμανση, τα οποία θα εγκατασταθούν στο επιδεικτικό κτήριο των γραφείων της CIAT κοντά στη Μασσαλία. Στα υπόλοιπα επιδεικτικά κτήρια, δίνεται ιδιαίτερη προσοχή τόσο στους κυκλοφορητές, όσο και στα φαν-κόιλ, έτσι ώστε να χρησιμοποιούνται ενεργειακά αποδοτικές μονάδες, κατά προτίμηση πιστοποιημένες με επισήμανση ενεργειακής τάξης A.

Για την αξιολόγηση των παραπάνω τεχνολογιών και τη μεγιστοποίηση του αποτελέσματος του έργου, υπολογίζονται τέσσερις συντελεστές βαθμών απόδοσης τόσο για το COP (στιγμιαία τιμή), όσο και το SPF (μέση εποχική τιμή) λαμβάνοντας υπόψιν στους υπολογισμούς α) μόνον τον συμπιεστή της αντλίας θερμότητας (COP1, SPF1), β) τον συμπιεστή και τον κυκλοφορητή του γεωεναλλάκτη (COP2, SPF2), γ) τον συμπιεστή και τους κυκλοφορητές του γεωεναλλάκτη και του κτηρίου (COP3, SPF3) και δ) το σύνολο των ηλεκτρικών καταναλώσεων δηλαδή στον συμπιεστή, τους κυκλοφορητές και τα φαν-κόιλ (COP4, SPF4). Ως σημείο αναφοράς των τιμών COP και SPF χρησιμοποιούνται οι μετρήσεις στην επιδεικτική μονάδα της Βαλένσια πριν από την εγκατάσταση της νέας πρωτότυπης γεωθερμικής αντλίας θερμότητας, ενδεικτικές τιμές από τις οποίες παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.



Εικόνα 4. Ενεργειακός βαθμός απόδοσης COP για λειτουργία σε θέρμανση όπως μετρήθηκε στην επιδεικτική μονάδα της Πολυτεχνειούπολης της Βαλένσια προτού εγκατασταθεί η πρωτότυπη αντλία θερμότητας του Ground-Med. Γίνεται φανερό ότι οι ηλεκτρικές καταναλώσεις στους κυκλοφορητές και τα φαν-κόιλ είναι σημαντικές και αντιστοιχούν περίπου στο 30% του συνόλου.

Χρήση	Θέση	Ισχύς	Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά
Γραφεία CIAT	Προάστιο της Μασσαλίας, Γαλλία	26 kW <sub>th</sub> 27 kW <sub>c</sub>	Αντλία θερμότητας CIAT Σύστημα θερμικής αποθήκευσης Κεντρική κλιματιστική μονάδα Φαν-Κόιλ χαμηλής κατανάλωσης
Αίθουσες διδασκαλίας	Πανεπιστημιούπολη, Οράντεα, Ρουμανία	38 kW <sub>th</sub> 31 kW <sub>c</sub>	Αντλία θερμότητας OCHSNER Ενδοτοιχίο σύστημα θέρμανσης-ψύξης Ρύθμιση ON-OFF
Γραφεία Περιφερειακής Διοίκησης	Κοϊμπρα, Πορτογαλία	74 kW <sub>th</sub> 61 kW <sub>c</sub>	Αντλία θερμότητας CIAT Σύστημα θερμικής αποθήκευσης Φαν-Κόιλ χαμηλής κατανάλωσης
Δημοτικό Πολιτιστικό κέντρο	Βενεδικτίνη, Σλοβενία	20 kW <sub>th</sub> 19 kW <sub>c</sub>	Αντλία θερμότητας OCHSNER Σώματα καλοριφέρ Κεντρική κλιματιστική μονάδα
Γραφεία, αίθουσα Η/Υ	Πολυτεχνειούπολη, Βαλένσια, Ισπανία	19 kW <sub>th</sub> 17 kW <sub>c</sub>	Αντλία θερμότητας HIREF Ζεύγος συμπιεστών
Γραφεία, Μουσείο ΑΠΕ	Βαρκελώνη, Ισπανία	56 kW <sub>th</sub> 61 kW <sub>c</sub>	Αντλία θερμότητας CIAT Ζεύγος συμπιεστών
Εργοστάσιο HIREF	Τριμπάνο, Ιταλία	19 kW <sub>th</sub> 17 kW <sub>c</sub>	Αντλία θερμότητας HIREF Παροχή ζεστού νερού χρήσης Ρύθμιση με Ινβέρτερ
Κτήριο γραφείων ΕΔΡΑΣΗ	Ε. Βενιζέλος, Αττική, Ελλάδα	55 kW <sub>th</sub> 45 kW <sub>c</sub>	Αντλία θερμότητας OCHSNER Καλύπτει φορτίο βάσης κτηρίου

Πίνακας 1: Κύρια χαρακτηριστικά επιδεικτικών μονάδων του έργου Ground-Med

Θέση Γεωεναλλάκτη	Είδος	Ρευστό	Αριθμός γεωτρήσεων	Βάθος	Ρευστοκονίαμα
Γραφεία CIAΤ, Μασσαλία	Διπλό - U	νερό	6	100 m	Μπεντονιτικό
Κτήριο Πανεπιστημιούπολης, Οράντεα	Μονό - U	10% γλυκόλη	10	130 m	Άμμος (χονδρόκοκκη) Άνω: μπετονιτικό
Γραφεία Περιφερειακής Διοίκησης Κοϊμπρα	Διπλό - U	νερό	7	125 m	Άμμος (διαβαθμισμένη)
Δημοτικό Πολιτιστικό κέντρο, Βενεδικτίνη	Μονό - U	νερό	3	98 m 125 m 166 m	Άμμος (χαλαζιακή)
Γραφεία, αίθουσα Η/Υ, Πολυτεχνειούπολη Βαλένσια	Μονό - U	νερό	6	50 m	Μπεντονιτικό
Ήλιακό εργοστάσιο Βαρκελώνης	Μονό - U	νερό	7	110 m	Άμμος (χονδρόκοκκη)
Εργοστάσιο HIREF, Τριμπάνο	Μονό - U Διπλό - U	νερό	4	80 m	Άμμος
Κτήριο γραφείων ΕΔΡΑΣΗ	Διπλό - U	νερό	5 1 6	120 m 102 m 107 m	Κάτω: ψηφίδα Άνω: μπετονιτικό

Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά γεωεναλλακτών Ground-Med

#### 4. ΕΠΙΔΕΙΚΤΙΚΑ ΚΤΗΡΙΑ

Τα επιδεικτικά συστήματα γεωθερμικών αντλιών θερμότητας του έργου Ground-Med συνοψίζονται στον Πίνακα 1, ενώ τα κύρια χαρακτηριστικά των αντίστοιχων γεωεναλλακτών στον Πίνακα 2.

#### 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα πλαίσια του έργου Ground-Med αναπτύσσονται πρωτότυπες γεωθερμικές αντλίες θερμότητας υψηλής ενεργειακής απόδοσης, φαν-κόιλ χαμηλής ηλεκτρικής κατανάλωσης, κεντρικές κλιματιστικές μονάδες τροφοδοτούμενες από τον συμπυκνωτή αντλίας θερμότητας, βελτιωμένα συστήματα αποθήκευσης θερμότητας, καινοτόμες μεθοδολογίες ρύθμισης και ελέγχου λειτουργίας, βελτιωμένοι γεωεναλλάκτες και άλλα. Η τεχνολογία αυτή εφαρμόζεται σε οκτώ επιδεικτικά κτήρια κυρίως για θέρμανση και ψύξη, όπου θα εγκατασταθεί μετρητικός εξοπλισμός και σύστημα καταγραφής και επεξεργασίας μετρήσεων με στόχο τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης SPF και την αξιολόγηση της τεχνολογίας.

#### ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ / ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Corberán J. M., González, J., Martínez, I. O., Radulescu, C. (2008). Development and performance characterisation of a water to water reversible heat pump working with propane. 8th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids, Copenhagen.
- Mendrinós D., Corberán J.M., Da Riva E., Del Col D., Montagud C. (2011). Ground Source Heat Pumps for Heating and Cooling in the Mediterranean Countries. Πρακτικά Διεθνούς Συνεδρίου «Sources/Sinks alternative to the outside Air for Heat Pump and Air-Conditioning Techniques (Alternative Sources - AS)», Πάδοβα, Ιταλία 5-7 Απριλίου: 113-122.
- Mendrinós D. (2010). Ground source heat pumps: latest technology and advancement through European projects. Energy Bulletin No 1 [8], international sustainable Energy development centre under the auspices of UNESCO (ISED), Moscow, Russia: 70-76.
- Sanner, B., Karystas, C., Mendrinós, D., Rybach, L. (2003). Current status of ground source heat pumps and underground thermal storage in Europe. Geothermics, Vol. 32: 579-588.