



## **ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.)  
"ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΟΡΕΙΝΩΝ  
ΠΕΡΙΟΧΩΝ"**

**«Ενεργειακή αναβάθμιση κτιριακού συγκροτήματος  
Μετσόβιου Κέντρου Διεπιστημονικής Έρευνας με  
χρήση συστήματος αβαθούς γεωθερμίας»**



**Βερροίου Κωνσταντίνα  
Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π.**

Αθήνα, Μάρτιος 2014

**Περιβάλλον  
και  
Ανάπτυξη**

**Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:**  
Καθηγητής Δ. Καλιαμπάκος (Επιβλέπων)  
Επ. Καθηγητής Δ. Δαμίγος  
Επ. Καθηγητής Ι. Σαγιάς

# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



## «Ενεργειακή αναβάθμιση κτιριακού συγκροτήματος Μετσόβιου Κέντρου Διεπιστημονικής Έρευνας με χρήση συστήματος αβαθούς γεωθερμίας»

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Βερροίου Ι. Κωνσταντίνα  
Διπλωματούχος Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εξετάστηκε επιτυχώς.

Η τριμελής επιτροπή

.....  
Δημήτριος Δαμίγος  
Επικ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Δημήτριος Καλιαμπάκος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Ίων Σαγιάς  
Επικ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2014



## Πρόλογος

Η παρούσα εργασία με τίτλο «Ενεργειακή αναβάθμιση κτιριακού συγκροτήματος Μετσόβιου Κέντρου Διεπιστημονικής Έρευνας με χρήση συστήματος αβαθούς γεωθερμίας», εκπονήθηκε στα πλαίσια του διεπιστημονικού και διατμηματικού προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών «Περιβάλλον και Ανάπτυξη των ορεινών περιοχών».

Οι ορεινές περιοχές και ιδιαίτερα το Μέτσοβο, χαρακτηρίζονται από ένα ιδιαίτερο ενεργειακό προφίλ, με δύσκολες κλιματικές συνθήκες και αυξημένες θερμικές καταναλώσεις που καθιστούν την εξοικονόμηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα, αναπόσπαστο κομμάτι μιας άρτιας ενεργειακής πολιτικής.

Σκοπός της εργασίας είναι η ανάλυση των ενεργειακών καταναλώσεων του Μετσόβιου Κέντρου Διεπιστημονικής Έρευνας (ΜΕ.Κ.Δ.Ε.) του Ε.Μ.Π. στο Μέτσοβο και η παρουσίαση μιας ολοκληρωμένης πρότασης για ενεργειακή εξοικονόμηση, με αξιοποίηση γεωθερμίας, μέσω συστήματος γεωθερμικής αντλίας θερμότητας κλειστού κυκλώματος.

Με την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας και συνάμα την περάτωση των σπουδών μου στο παρόν μεταπτυχιακό πρόγραμμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους συνέβαλαν στην εκπόνηση της εργασίας αυτής.

Νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα της μεταπτυχιακής μου εργασίας, κ. Δ. Καλιαμπάκο, Καθηγητή Ε.Μ.Π., ο οποίος πίστεψε σε μένα, με καθοδήγησε και αποτελεί πάντα παράδειγμα για τους φοιτητές, τόσο επιστήμονα όσο και ανθρώπου. Από την πρώτη στιγμή του μεταπτυχιακού προγράμματος και καθ' όλη τη διάρκειά του, ο κ. Καλιαμπάκος ήταν πάντα δίπλα στους φοιτητές, συμβάλλοντας καθοριστικά στο να αντλήσουμε τη μέγιστη γνώση από τις μεταπτυχιακές μας σπουδές αλλά και συνδράμοντας στο να αποτελέσει η διαμονή μας στο Μέτσοβο και η παρακολούθηση αυτού του προγράμματος, μια αξέχαστη εμπειρία που θα μας συνοδεύει για όλη μας τη ζωή.

Ακόμα, ευχαριστώ από καρδιάς το Δρ. Νικόλαο Κατσουλάκο, για τον άπλετο χρόνο που μου αφιέρωσε και την προθυμία του. Η διεξαγωγή και η ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας δε θα ήταν δυνατή χωρίς την καθοδήγηση και τις πολύτιμες υποδείξεις του. Συνέβαλε στην εργασία αυτή τόσο με τις γνώσεις του, όσο και με την προσωπικότητά του και με έμαθε να συνδυάζω την ουσιαστική δουλειά με τη θετική διάθεση, δημιουργώντας πάντα ένα ευχάριστο κλίμα, με το μοναδικό δικό του τρόπο.

Θέλω επίσης να ευχαριστήσω ιδιαίτέρως τον Δρ. Γεώργιο Φραγκογιάννη για την καθοριστική συνεισφορά του στο κομμάτι της γεωθερμίας, για τις γνώσεις που μου μετέδωσε και για την προθυμία του.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, τον κ. Δ. Δαμίγο και τον κ. Ι. Σαγιά, Επίκουροι Καθηγητές Ε.Μ.Π. για την παρουσία τους και το χρόνο τους στην εξέταση της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά τους φίλους και συμφοιτητές που ήταν δίπλα μου καθ' όλο το διάστημα της εκπόνησης της εργασίας μου, για την εμπύχωση αλλά και τη συμβολή τους με επιστημονική γνώση και φυσικά τους γονείς μου για τη διαρκή τους υποστήριξη και για την υπομονή που δείχνουν.

## Πίνακας περιεχομένων

Πρόλογος.....	1
Περίληψη .....	5
Abstract.....	6
1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	7
1.1. Ενεργειακές καταναλώσεις κτιριακού τομέα .....	7
1.1.1. Ενεργειακή κατανάλωση κτιρίων στην Ευρώπη.....	7
1.1.2. Ενεργειακή κατανάλωση κτιρίων στην Ελλάδα.....	9
1.2. Θεσμικό πλαίσιο για την Εξοικονόμηση Ενέργειας.....	15
1.2.1. Ευρωπαϊκή και Ελληνική Νομοθεσία .....	15
1.2.2. Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK) .....	20
1.3. Εξοικονόμηση ενέργειας και ορεινές περιοχές .....	25
1.4. Γεωθερμία ως μέσο εξοικονόμησης ενέργειας .....	29
1.4.1. Τι είναι Γεωθερμία .....	29
1.4.2. Είδη Γεωθερμικών Συστημάτων .....	30
1.4.3. Σύστημα αβαθούς γεωθερμίας – Γεωθερμική αντλία θερμότητας (Γ.Α.Θ.)	31
1.4.4. Πλεονεκτήματα χρήσης Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας .....	42
1.4.5. Διαστασιολόγηση και Εγκατάσταση Συστήματος Γ.Α.Θ. ....	43
1.5. Περιγραφή προβλήματος – Σημασία.....	46
2. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ .....	50
2.1. Περιοχή Μελέτης .....	50
2.1.1. Το «ενεργειακό προφίλ» του οικισμού του Μετσόβου .....	50
2.1.2. Το Μετσόβιο Κέντρο Διεπιστημονικής Έρευνας (ΜΕ.Κ.Δ.Ε).....	52
2.2. Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίου με χρήση του λογισμικού TEE- KENAK.....	59
2.2.1. Περιγραφή Λογισμικού .....	59
2.2.2. Εισαγωγή Δεδομένων .....	60
2.2.3. Μεθοδολογία .....	61
2.2.4. Αποτελέσματα.....	65
2.3. Εξοικονόμηση ενέργειας με χρήση Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας.....	66
2.3.1. Θερμικά φορτία και Ενεργειακές καταναλώσεις ΜΕ.Κ.Δ.Ε. ....	66

2.3.2. Διαστασιολόγηση και διάταξη Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας και Γεωεναλλακτών.....	75
2.3.3. Οικονομοτεχνική Αξιολόγηση Επέμβασης.....	80
3. ΣΥΝΟΨΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	92
4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	97
5. ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ .....	102
6. ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	103
7. ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	104
8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ .....	106

## Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ενεργειακή αναβάθμιση της κτιριακής μονάδας του Μετσόβιου Κέντρου Διεπιστημονικής Έρευνας του Ε.Μ.Π., που βρίσκεται στο Μέτσοβο, μέσω αξιοποίησης της αβαθούς γεωθερμίας, με σύστημα γεωθερμικής αντλίας θερμότητας.

Στο πρώτο στάδιο της εργασίας παρουσιάζονται οι ενεργειακές καταναλώσεις στον κτιριακό τομέα, γίνεται αναφορά σε σχετική νομοθεσία και τονίζεται η ιδιαίτερη ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας στις ορεινές περιοχές. Επιπλέον, αναλύεται η έννοια της γεωθερμικής ενέργειας και οι τρόποι αξιοποίησής της, δίνοντας έμφαση στις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας ως μέσο ενεργειακής εξοικονόμησης.

Ακολούθως, προσδιορίζονται τα φορτία του κτιρίου μελέτης σε θέρμανση/ψύξη και ζεστό νερό χρήσης και οι αντίστοιχες ενεργειακές καταναλώσεις. Εφαρμόζεται μεθοδολογία σύμφωνα με το λογισμικό TEE-KENAK και τις βαθμομέρες θέρμανσης, τα αποτελέσματα των οποίων συγκρίνονται και αξιολογούνται.

Τέλος, διεξάγεται μελέτη εγκατάστασης για την αξιοποίηση της γεωθερμίας μέσω γεωθερμικής αντλίας θερμότητας με κατακόρυφο γεωναλλάκτη κλειστού κυκλώματος στο χώρο του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. και προσδιορίζεται η ενεργειακή εξοικονόμηση της επέμβασης. Ακολουθεί διατύπωση εναλλακτικών σεναρίων λειτουργίας του συστήματος, οικονομοτεχνική ανάλυση αυτών και εν κατακλείδι παρατίθενται τα συμπεράσματα της παρούσας μελέτης.



## **Abstract**

This thesis studies the energy optimization of the building unit of the Technical Centre for Interdisciplinary Research (MIRC) of the NTUA, located in Metsovo, Greece, using geothermal energy, by applying ground source heat pumps.

In the first stage of the study, the energy consumption in the building sector in general is presented, relevant legislation is mentioned and emphasis is given on the particular need for energy conservation in mountain areas. In addition, the concept of geothermal energy and the utility of geothermal heat pumps as a means of saving energy are analyzed.

Moreover, the peak loads and the energy consumption of MIRC for heating/cooling and domestic hot water are specified, using the methodology of software TEE – KENAK and the methodology of «heating degrees days». The individual results of these two phases are crossed and compared.

Finally, a comprehensive study of sizing and installing vertical closed loop geothermal heat pump system on the site of MIRC is presented, emphasizing on the energy savings. Alternative scenarios of the operating system and a feasible economic analysis are carried out and, to conclude, the exporting findings of the study are listed.

## 1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 1.1. Ενεργειακές καταναλώσεις κτιριακού τομέα

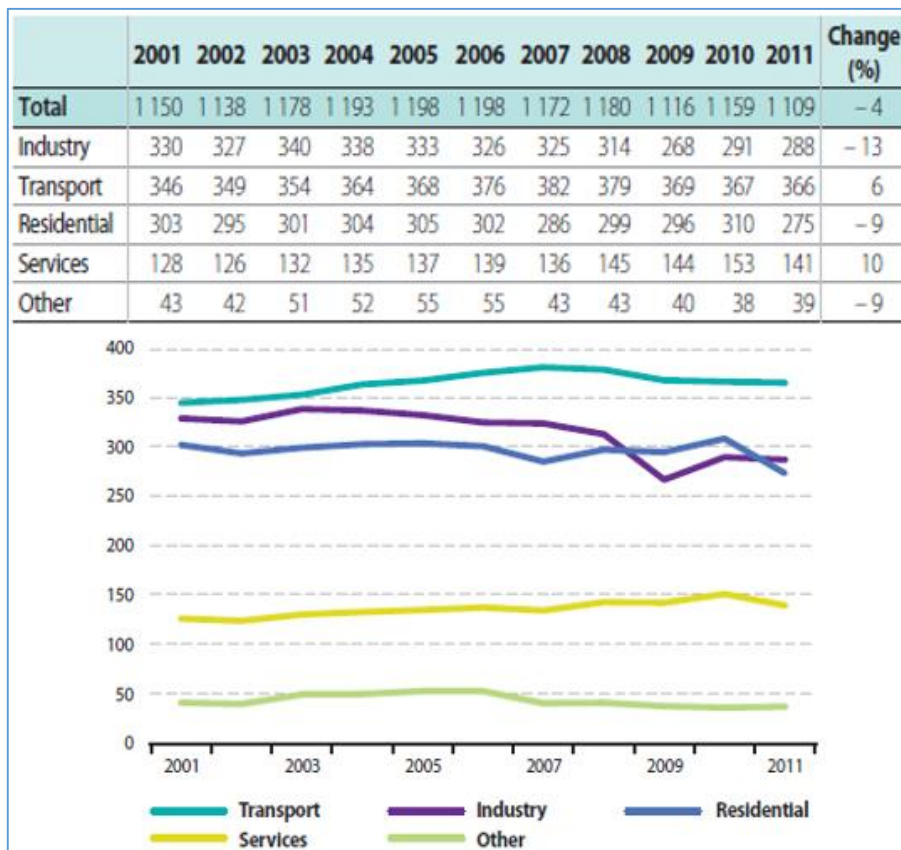
#### 1.1.1. Ενεργειακή κατανάλωση κτιρίων στην Ευρώπη

Ο τομέας της ενέργειας είναι ένας από τους βασικούς πυλώνες ανάπτυξης των σύγχρονων οικονομιών και ο συνεχής μετασχηματισμός του στη Ευρώπη απαιτεί τη διαρκή παροχή επακριβών και ενημερωμένων δεδομένων. Σύμφωνα με στοιχεία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, η κατανάλωση ενέργειας στον κτιριακό τομέα (οικιακός και τριτογενής τομέας) αναλογεί στο 40% περίπου της συνολικής ενέργειας κατανάλωσης στην Ευρώπη. Η ανά χώρα κύμανση ποικίλει, ενώ στην Ελλάδα ξεπερνάει το 30% (European Commission, 2013). Η ενέργεια στα κτίρια καταναλώνεται κυρίως για θέρμανση, ψύξη, ζεστό νερό χρήσης, μαγείρεμα και λειτουργία συσκευών, με την ενέργεια για τη θέρμανση των χώρων (space heating) να κυριαρχεί (70% της ενεργειακής κατανάλωσης). (Economidou, et al., 2011)

Μέχρι πρότινος, οι περισσότερες πηγές δεδομένων εμφάνιζαν την τελική κατανάλωση ενέργειας να διαχωρίζεται σε τρεις κύριους τομείς: βιομηχανία, μεταφορές και «λοιπές», όπου περιλαμβάνεται ο τομέας της γεωργίας, των υπηρεσιών και των κατοικιών. Αυτό καθιστά δύσκολη τη συγκέντρωση πληροφοριών σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας στον κτιριακό τομέα, τόσο σε επίπεδο νοικοκυριού όσο και σε κτίρια του τριτογενή τομέα. Λαμβάνοντας υπόψη τη συνολική σημασία της κατανάλωσης ενέργειας σε κτίρια στις ανεπτυγμένες χώρες, είναι απαραίτητος ο διαχωρισμός σε κτίρια κατοικιών και κτίρια του τριτογενή τομέα. Ο τομέας των υπηρεσιών (Services), ο οποίος καλύπτει τα κτίρια για εμπορική και δημόσια χρήση, περιλαμβάνει πολλούς τύπους κτιρίων (σχολεία, εστιατόρια, ξενοδοχεία, νοσοκομεία, μουσεία κλπ.) με ευρεία ποικιλία χρήσεων και ενεργειακών υπηρεσιών (HVAC, ζεστού νερού χρήσης, φωτισμό, ψύξη, παρασκευή τροφίμων κλπ.) και λόγω της πληθυσμιακής αύξησης μεγαθύνεται η ζήτηση των υπηρεσιών (υγεία, παιδεία, πολιτισμός, αναψυχή, κ.λπ.) αλλά και η ενεργειακή κατανάλωση. (Perez-Lombard, et al., 2008)

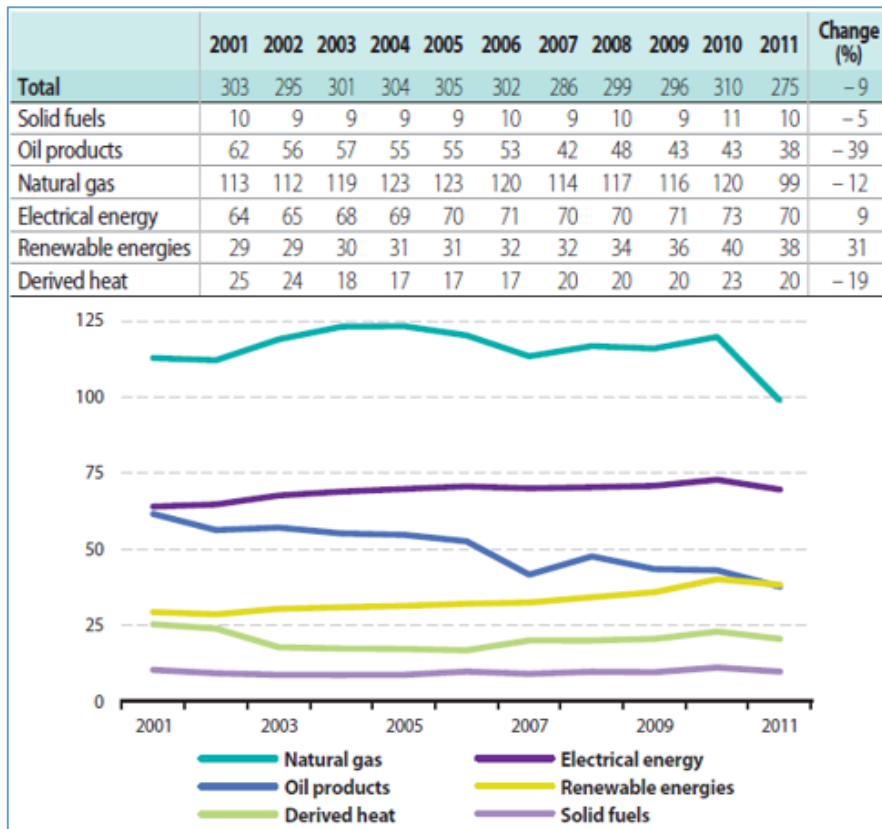
Όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 1, η κατανάλωση ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση (EE-28) στις κατοικίες μειώθηκε κατά 9%, στον τομέα των υπηρεσιών αυξήθηκε κατά 10%, μεταξύ των ετών 2001 και 2011, ενώ η συνολική κατανάλωση ενέργειας παρουσιάζει μείωση κατά 4%. Οι σημαντικότερες μειώσεις στην κατανάλωση ενέργειας το διάστημα 2010-2011 καταγράφηκαν στην οικιακή κατανάλωση (- 11%) και στον τομέα των

υπηρεσιών (- 8%). Το 2011, η τελική κατανάλωση ενέργειας στην ΕΕ-28 ανήλθε σε 1109 Mtoe (Million tones of oil equivalent), όπου το ένα τρίτο του ποσού αυτού που καταναλώνεται από τον τομέα των μεταφορών (33%) και ακολουθούν ο βιομηχανικός τομέας (26%), τα νοικοκυριά (25%) και ο τριτογενής τομέας (υπηρεσιών) (13%). (Eurostat, 2013)



**Εικόνα 1:** Ενεργειακή κατανάλωση στην Ευρώπη (ΕU-28) ανά τομέα, 2001- 2011 (Mtoe), Πηγή: (Eurostat, 2013)

Ειδικότερα, στα πλαίσια της επίτευξης θερμικής και οπτικής άνεσης εντός των χώρων καθώς και για την χρήση ειδικών συσκευών, η τελική ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι της τάξης των 350 Mtoe ανά έτος. Στη διάρκεια 2001-2011, το καύσιμο που υπερτερεί έναντι των υπολοίπων ως προς τη χρήση του στην κατανάλωση στον οικιακό τομέα, είναι το φυσικό αέριο και το 2011 αποτελεί το 36% της συνολικής ενέργειας κατανάλωσης των νοικοκυριών. Είναι άξιο σημασίας ότι το πετρέλαιο παρουσιάζει τη μεγαλύτερη μείωση (-39%), ενώ καταγράφηκε σημαντική αύξηση στην κατανάλωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (31%), (Εικόνα 2). (Eurostat, 2013)



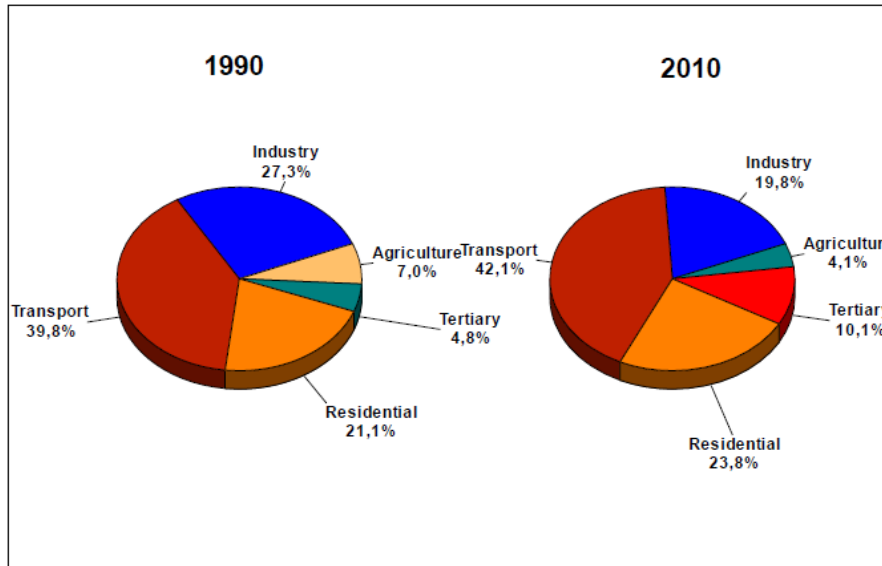
**Εικόνα 2:** Ενεργειακή κατανάλωση στον οικιακό τομέα στην Ευρώπη (EU-28) ανά καύσιμο, 2001-2011 (Mtoe), Πηγή: (Eurostat, 2013)

Με στοιχεία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής προκύπτει ότι ακαθάριστη εγχώρια κατανάλωση ενέργειας (GIC) ανά κάτοικο στην Ευρώπη (ΕΕ-28) μειώθηκε κατά 7% τα τελευταία δέκα χρόνια. Από το 2010 έως το 2011 η πτώση ήταν - 4%, ενώ η κατά κεφαλήν κατανάλωση στην ΕΕ-28 έφτασε 3,37 toe. Τα κράτη μέλη με το υψηλότερο κατά κεφαλήν GIC το 2011 είναι το Λουξεμβούργο (8,96 toe) και η Φινλανδία (6,65 toe), ενώ στην Ελλάδα η ακαθάριστη εγχώρια κατανάλωση ενέργειας ανά κάτοικο είναι μόλις 2,47 toe. (Eurostat, 2013)

### 1.1.2. Ενεργειακή κατανάλωση κτιρίων στην Ελλάδα

Ο Ελληνικός ενεργειακός τομέας χαρακτηρίζεται από μια ολοένα και λιγότερο αποδοτική κατανάλωση κυρίως στους τομείς των μεταφορών και του τριτογενούς-οικιακού τομέα, από μια ανεπάρκεια της εσωτερικής παραγωγής να ικανοποιήσει τις ενεργειακές ανάγκες και κατά συνέπεια από μια εξωτερική εξάρτηση αυξημένη και δαπανηρή για την οικονομία της χώρας. (ΚΑΠΕ, 2009)

Σε γενικές γραμμές, ο δείκτης ενεργειακής απόδοσης (ODEX) σε όλους τους τομείς δραστηριότητας στην Ελλάδα, μειώθηκε το 2010 κατά 24% σε σχέση με το 1990 και κατά 9% σε σχέση με το 2000. Από το 2005 παρατηρείται βελτίωση του δείκτη, κυρίως λόγω της επίδρασης της οικονομικής κρίσης, η οποία γίνεται αισθητή σε όλους τους τομείς τελικής κατανάλωσης ενέργειας, ειδικά από το 2009 και μεταγενέστερα. (ΚΑΠΕ, 2012)

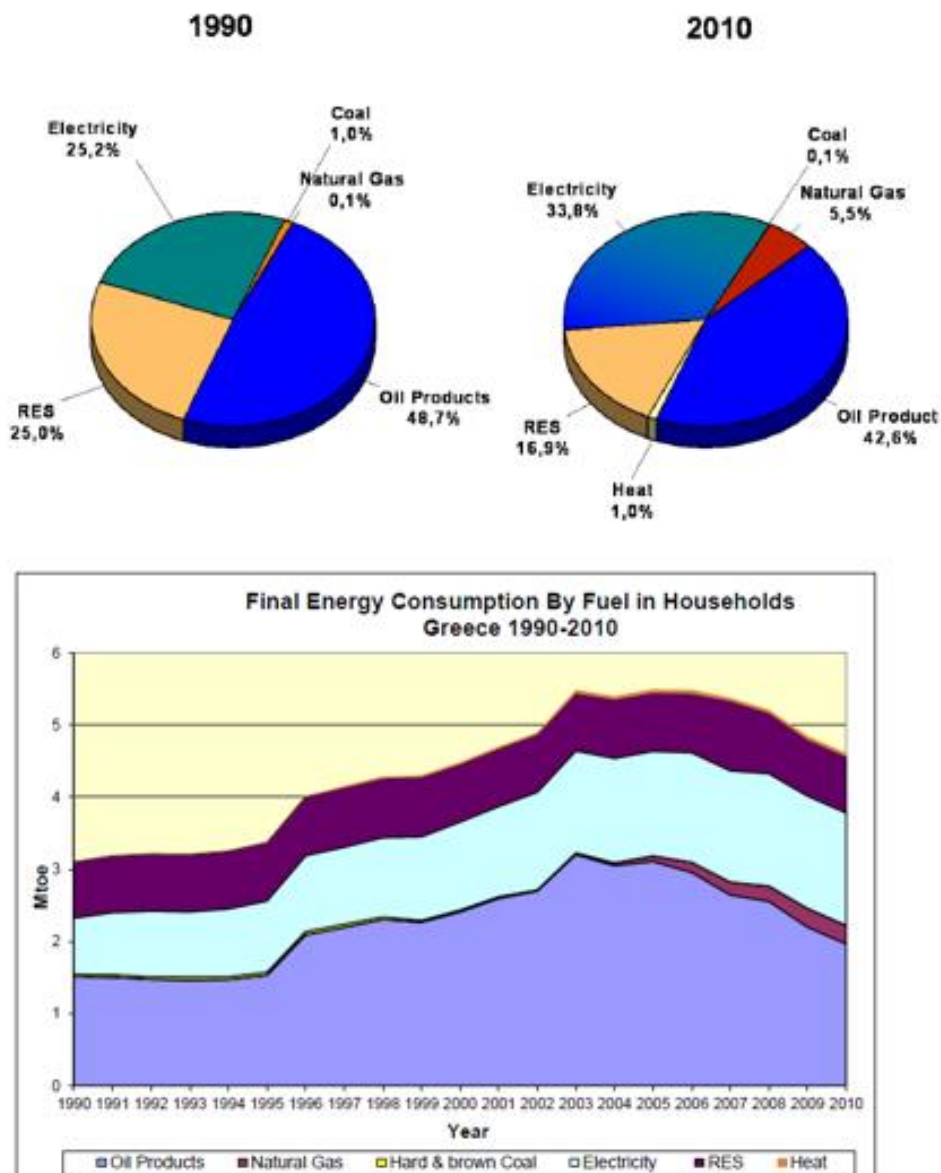


**Εικόνα 3:** Συνολική τελική κατανάλωση ανά τομέα στην Ελλάδα, 1990 και 2010, Πηγή: (ΚΑΠΕ, 2012)

Το ποσοστό που καταλαμβάνει κάθε τομέας στη συνολική κατανάλωση ενέργειας την περίοδο 1990-2010 αποδίδει σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με την εξέλιξη της κατανάλωσης ενέργειας και της ενεργειακής αποδοτικότητας των επιμέρους τομέων της οικονομικής δραστηριότητας στην Ελλάδα (Εικόνα 3). Ο τομέας των κατοικιών έχει αυξηθεί κατά 2,7%, ενώ ο τριτογενής τομέας παρουσιάζει τη σημαντική αύξηση των 4.9%, κάτι το οποίο είναι σύμφωνο με τον προσανατολισμό της ελληνικής οικονομίας, η οποία ολοένα και εξελίσσεται σε μια οικονομία υπηρεσιών, όπου ο τριτογενής τομέας κερδίζει ένα συνεχώς αυξανόμενο μερίδιο αγοράς. (ΚΑΠΕ, 2012)

Η ενεργειακή κατανάλωση στον οικιακό τομέα το 2010 καταγράφηκε 4,6 Mtoe , έναντι 3,1 Mtoe το 1990, δηλαδή σημειώθηκε συνολική αύξηση 48,6 % της κατανάλωσης (Εικόνα 4). Αυτή η αυξητική τάση προέρχεται κυρίως από την αύξηση της κατανάλωσης πετρελαίου κατά 30% (1,5 Mtoe το 1990 με 2 Mtoe το 2010) και από την σημαντική αύξηση της κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας η οποία σχεδόν διπλασιάστηκε από το 1990 (0,78 Mtoe το 1990 με 1,6 Mtoe το 2010). Παρά όμως το γεγονός ότι μέχρι το 2007 η τελική κατανάλωση των νοικοκυριών παρουσίαζε σταθερή αύξηση, ο οικιακός τομέας

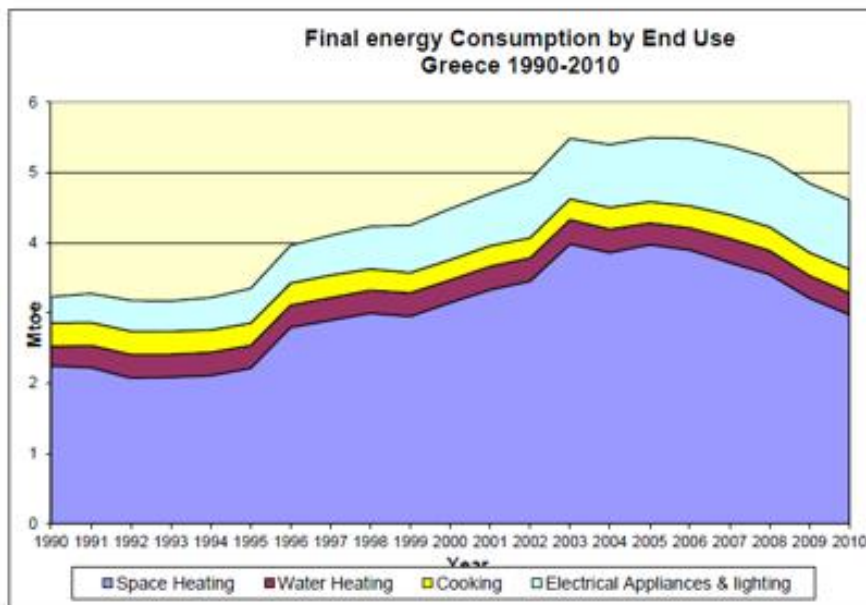
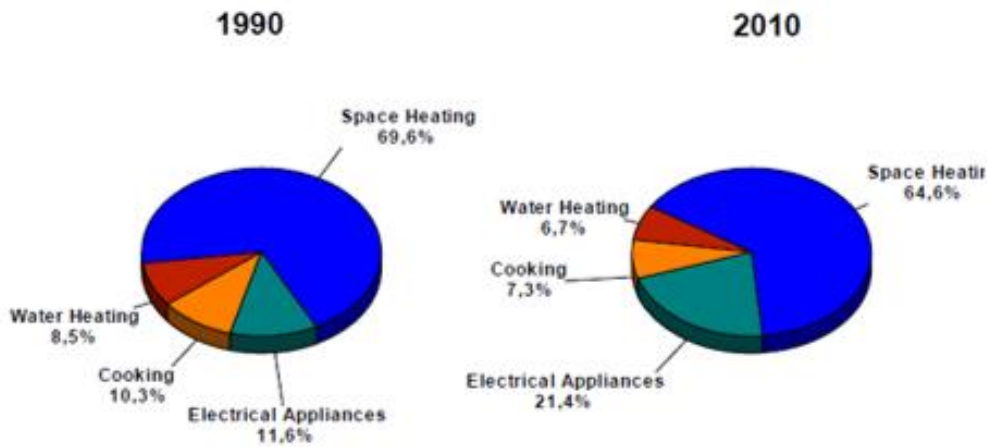
ήταν ένας από τους πρώτους τομείς που υπέστησαν τις επιπτώσεις της οικονομικής ύφεσης στην τελική κατανάλωση ενέργειας. Η κατανάλωση των προϊόντων πετρελαίου, που είναι το κύριο καύσιμο που χρησιμοποιείται από τον τομέα των νοικοκυριών, μειώθηκε κατά 25,7% μεταξύ των ετών 2007 και 2010. Η διείσδυση του φυσικού αερίου στην ενεργειακή αγορά της χώρας από το 1998 οδήγησε στην αύξηση του μεριδίου του φυσικού αερίου στην τελική κατανάλωση των νοικοκυριών (ΚΑΠΕ, 2012).



**Εικόνα 4:** Ενεργειακή κατανάλωση στη Ελλάδα στον οικιακό τομέα ανά καύσιμο (1990-2010), Πηγή: (ΚΑΠΕ, 2012)

Το μεγαλύτερο μέρος της τελικής κατανάλωσης ενέργειας στα νοικοκυριά χρησιμοποιείται για θέρμανση των χώρων με κατανάλωση 3 Mtoe το 2010 έναντι 2,2 Mtoe το 1990 (Εικόνα 5). Το ποσό της ενέργειας που καταναλώνεται από ηλεκτρικές

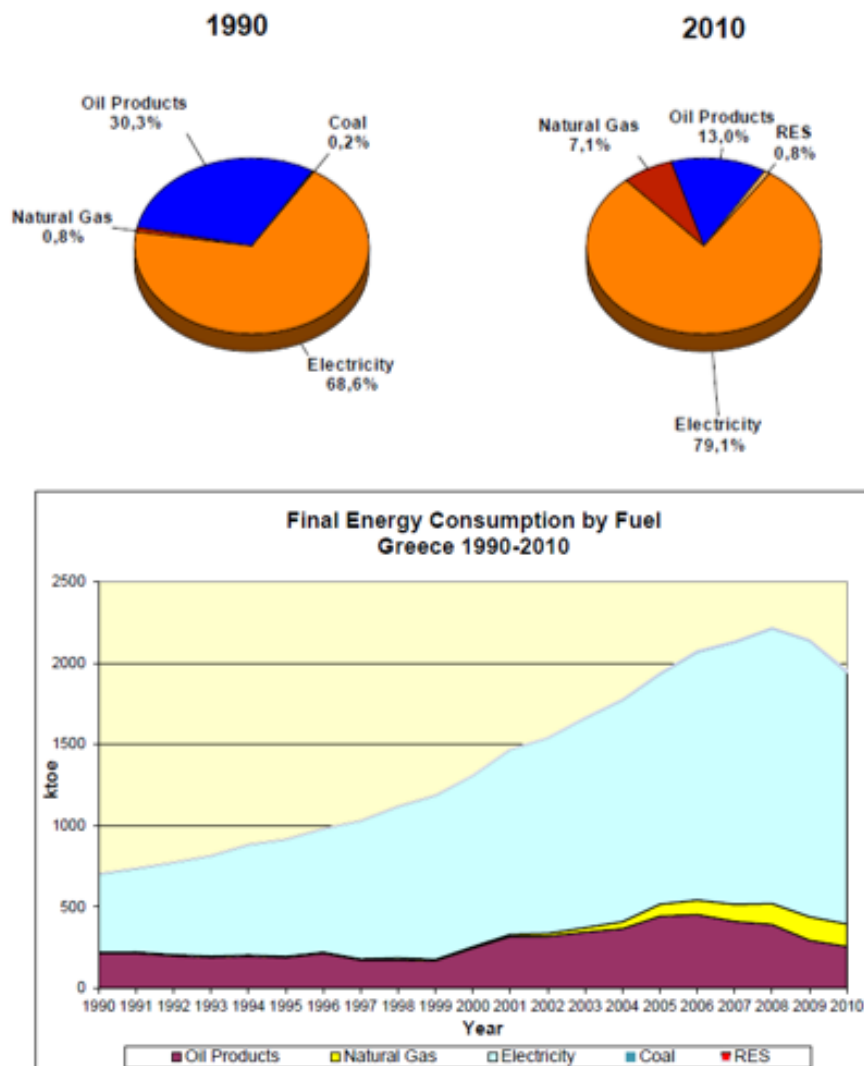
συσκευές/φωτισμό έχει σχεδόν τριπλασιαστεί από το 1990 και το μερίδιο αυτής στην συνολική κατανάλωση ενέργειας κτιρίων έχει αυξηθεί κατά 9,8% (ΚΑΠΕ, 2012).



**Εικόνα 5:** Ενεργειακή κατανάλωση στη Ελλάδα στον οικιακό τομέα ανά τελική χρήση (1990-2010), Πηγή: (ΚΑΠΕ, 2012)

Ο πιο ραγδαία αναπτυσσόμενος τομέας από πλευράς ενεργειακής κατανάλωσης είναι ο τριτογενής τομέας: Η κατανάλωση ενέργειας του τριτογενή τομέα έχει σχεδόν τριπλασιαστεί από το 1990 (0,7 Mtoe το 1990 σε 1,91 Mtoe το 2010), με αυξανόμενο ρυθμό κατά μέσο όρο 6,7 % ετησίως. Παρατηρείται σημαντική αύξηση στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (0,48 Mtoe το 1990 σε 1,5 Mtoe το 2010), ενώ οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καταλαμβάνουν ελάχιστο ποσοστό. Ακόμα, λόγω εμφάνισης του φυσικού αερίου το 1998 και αύξησης του μεριδίου της ηλεκτρικής ενέργειας κατά 10,5%, το

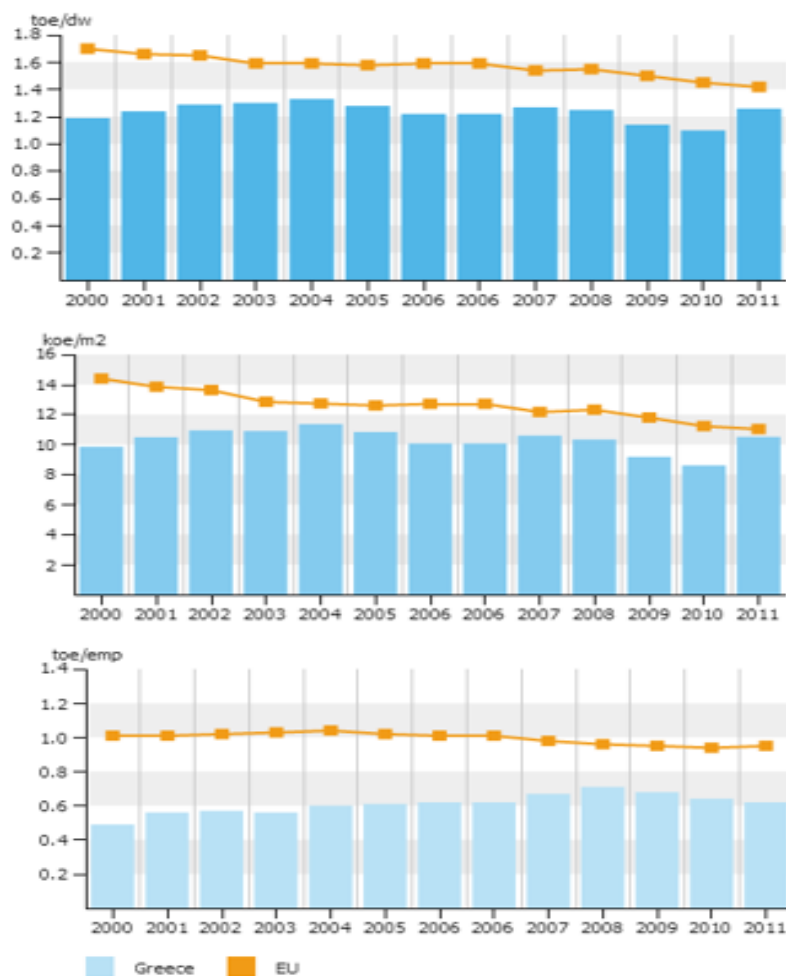
μερίδιο των προϊόντων πετρελαίου στη συνολική κατανάλωση ενέργειας του τριτογενή τομέα, έχει μειωθεί κατά 17,3% από το 1990 (Εικόνα 6). (ΚΑΠΕ, 2012)



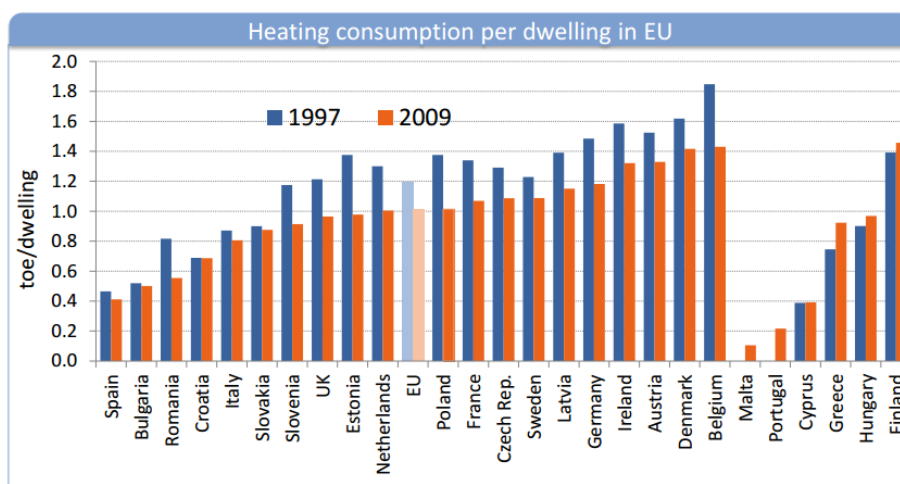
**Εικόνα 6:** Ενεργειακή κατανάλωση στη Ελλάδα στον τριτογενή τομέα ανά καύσιμο (1990 - 2010), Πηγή: (ΚΑΠΕ, 2012)

Τέλος, παρατίθενται συγκριτικά διαγράμματα κατανάλωσης ενέργειας για την Ελλάδα και την Ευρώπη, τη δεκαετία 2000-2011 (Εικόνες 7α ,7β, 7γ και 8).





**Εικόνα 7:** α) Κατανάλωση Ενέργειας ανά νοικοκυριό, β) σε νοικοκυριό για θέρμανση χώρου, γ) σε κτίρια τριτογενή τομέα ανά εργαζόμενο, Πηγή: (ΚΑΠΕ, 2012)



**Εικόνα 8:** Κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση χώρου ανά νοικοκυριό, Πηγή: (ΚΑΠΕ, 2012)

Από τους διάφορους τύπους κτιρίων της Χώρας, τη μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση έχουν τα παλιά κτίρια (που οικοδομήθηκαν μέχρι το 1980, πριν από την

εφαρμογή του κανονισμού θερμομόνωσης), δεδομένου ότι ο κτιριακός πυρήνας της χώρας έχει ηλικία 40 ετών και τα γυάλινα κτίρια, τα οποία σε θέματα κλιματισμού απαιτούν 2 έως 3 φορές περισσότερη ενέργεια από τα συμβατικά κτίρια. Τα σημαντικότερα στοιχεία σε ένα κτίριο, που έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης, είναι η απουσία μόνωσης στο κέλυφος και την οροφή, η κακή ποιότητα κουφωμάτων και τζαμιών, η μη αεροστεγανότητα, η κακή συντήρηση του λέβητα και η έλλειψη θερμοστατικού ελέγχου. Σύμφωνα με τα στοιχεία της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας (ΕΣΥΕ), το 2001 καταγράφηκαν 4 εκατομμύρια κτίρια, από τα οποία το 10% εκτιμάται ότι διαθέτει πλήρη μόνωση, το 20% ελλιπή και το 70% δε διαθέτει καθόλου μόνωση. (Γαγλία, 2008)

## **1.2. Θεσμικό πλαίσιο για την Εξοικονόμηση Ενέργειας**

### **1.2.1. Ευρωπαϊκή και Ελληνική Νομοθεσία**

Η διεθνής επιστημονική κοινότητα, μετά από εντατικοποιημένη έρευνα, έχει προτείνει διάφορες δράσεις προκειμένου να ελεγχθεί και να μειωθεί η χρήση της ενέργειας και να εισαχθούν τεχνολογίες εξοικονόμησης και προτάσεις διαχείρισης. Για την υλοποίηση αυτών, έχει θεσπιστεί ένα σημαντικός αριθμός οδηγιών και νομοθετικών διατάξεων σε διάφορους τομείς, με κυριότερους τον κτιριακό τομέα και τον τομέα των Α.Π.Ε. Η ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων είναι απαιτητική, έχει άμεση επίδραση στον άνθρωπο και τις δραστηριότητές του και πρέπει συνεπώς να έχει βέλτιστη τιμή σε θέματα θέρμανσης, ψύξης, φωτισμού για την επίτευξη συνθηκών άνεσης με μικρό κόστος. Η ανάπτυξη των Α.Π.Ε. εντάσσεται σε ευρύτερους στόχους και πολιτικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης που συνδέονται με την προστασία του περιβάλλοντος, την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού, τη χάραξη κοινής εξωτερικής ενεργειακής πολιτικής, την τόνωση της ανταγωνιστικότητάς της στην παγκόσμια αγορά ενέργειας καθώς και τη σταδιακή επίτευξη της ενεργειακής της αυτονομίας. (Καραγκούνη, 2012) (Στέγγου-Σαγιά, 2013).

Στη συνέχεια ακολουθούν οι σημαντικότερες οδηγίες-νομοθετικές διατάξεις στην Ευρώπη και στην Ελλάδα, κατά χρονολογική σειρά.

#### ***Οδηγία 2002/91/ΕΚ για την «Ενεργειακή Απόδοση των κτιρίων»***

Η Οδηγία 2002/91/ΕΚ για την «Ενεργειακή Απόδοση των κτιρίων» δημοσιεύτηκε στις 4 Ιανουαρίου του 2003 και έχει δεσμεύσει τα κράτη μέλη να την υιοθετήσουν από τις 4 Ιανουαρίου του 2006. Στόχοι της Οδηγίας 2002/91/ΕΚ για την «Ενεργειακή Απόδοση των

κτιρίων» (η οποία αναδιατυπώθηκε από την οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 19-5-2010) είναι η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, λαμβάνοντας υπόψη τις εξωτερικές κλιματολογικές και τοπικές συνθήκες, τις κλιματικές απαιτήσεις των εσωτερικών χώρων και τη σχέση κόστους/οφέλους. Συγκεκριμένα, θέτει τις απαιτήσεις για μια μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων, καθορίζει ελάχιστες απαιτήσεις για την ενεργειακή απόδοση νέων και υφιστάμενων μεγάλων κυρίως κτιρίων, προδιαγράφει την πιστοποίηση και συνιστά την τακτική επιθεώρηση. Όταν τα κτίρια είναι άνω των 1000 μ<sup>2</sup>, διερευνάται η δυνατότητα εγκατάστασης εναλλακτικών ενεργειακών συστημάτων.

Η οδηγία είναι προσανατολισμένη στα λειτουργικά κόστη του κτιρίου και η ενεργειακή συμπεριφορά που ελέγχεται περιλαμβάνει όλα τα είδη ενεργειακής κατανάλωσης (θέρμανση, ψύξη, αερισμό, ζεστό νερό χρήσης, συσκευές). Σύμφωνα με αυτήν κάθε κατανάλωση πρέπει να εκφράζεται σε όρους πρωτογενούς ενέργειας. Όμως τα κράτη μέλη ενδεχομένως να θεωρήσουν διαφορετικές τιμές παράγοντα μετατροπής ενέργειας με αποτέλεσμα μη συγκρίσιμες αποδόσεις.

Η θετική συνεισφορά της οδηγίας είναι η επιβολή ελέγχου και συντήρησης των εγκαταστάσεων θέρμανσης-κλιματισμού, η δράση μείωσης της χρήσης της ενέργειας με τα παθητικά συστήματα, τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, το βέλτιστο σχεδιασμό των κτιρίων. Ο Οργανισμός Ευρωπαϊκής Τυποποίησης αναπτύσσει σύνολο προτύπων για τη διευκόλυνση των υπολογισμών με το ISO 13790.

***Οδηγία 2006/32/ΕΚ για την «Ενεργειακή Απόδοση κατά την τελική χρήση και τις Ενεργειακές Υπηρεσίες και για την κατάργηση της οδηγίας 93/76/ΕΟΚ του Συμβουλίου»***

Η Οδηγία 2006/32/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου της 5-4-2006 «για την Ενεργειακή Απόδοση κατά την τελική χρήση και τις Ενεργειακές Υπηρεσίες και για την κατάργηση της οδηγίας 93/76/ΕΟΚ του Συμβουλίου» αποσκοπεί στην ενίσχυση της οικονομικώς αποτελεσματικής βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης κατά την τελική χρήση στα κράτη μέλη με την παροχή κινήτρων, μηχανισμών και πλαισίων για την άρση υφιστάμενων φραγμών και ατελειών της αγοράς που παρεμποδίζουν την αποδοτική τελική χρήση της ενέργειας καθώς και τη δημιουργία συνθηκών για την ανάπτυξη και προώθηση της αγοράς ενεργειακών υπηρεσιών. Θέτει ενδεικτικό στόχο εξοικονόμησης ενέργειας στα κράτη-μέλη 9% για τα επόμενα εννέα χρόνια και επίσης υποχρεώνει τα κράτη-μέλη να εκπονήσουν σχέδια δράσης ενεργειακής απόδοσης (ΣΔΕΑ) ξεκινώντας από τις 30 Ιουνίου 2007.

Στην Ελλάδα, το νομοθετικό πλαίσιο σχετικά με το ζήτημα της ενεργειακής απόδοσης του κτιριακού τομέα, καλύπτεται από διάφορα μέτρα (κτιριοδομικούς και άλλους κανονισμούς) που εξελίχθηκαν από το 1975 έως σήμερα, ενώ μέχρι το 2008 ήταν σε ισχύ ο κανονισμός θερμομόνωσης του 1979.

***Π.Δ. 1.6/4.7/1979 «Κανονισμός Θερμομόνωσης Κτιρίων»***

Ο Κανονισμός Θερμομόνωσης Κτιρίων αποτέλεσε πρωτοποριακή κίνηση για τα δεδομένα της εποχής και συνέβαλε σημαντικά στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης στα κτίρια. Ο κανονισμός αυτός αφορούσε στη θερμική προστασία του κτιριακού κελύφους μέσω ελέγχων στα δομικά στοιχεία, στις κατακόρυφες επιφάνειες του ορόφου και στο συνολικό περίβλημα του κτιρίου. Ουσιαστικά μελετάται η προσθήκη μόνωσης στο κέλυφος του κτιρίου με σκοπό τη μείωση των θερμικών απωλειών μέχρι επιτρεπτών ορίων που καθορίζονται από την κλιματική ζώνη που βρίσκονται.

Κατά το έτος 1998, προκειμένου η Ελλάδα να συμμορφωθεί στην οδηγία 93/76/ΕΚ «για τον περιορισμό των εκπομπών CO<sub>2</sub> με τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων», προτάθηκε ο ΚΟΧΕΕ (Κανονισμός Ορθολογικής Χρήσης και Εξοικονόμησης Ενέργειας) ο οποίος δεν εφαρμόστηκε. Τα προτεινόμενα συμφωνούσαν με την οδηγία 2002/91/ΕΚ. Ο ΚΟΧΕΕ προέβλεπε διεξαγωγή ενεργειακών επιθεωρήσεων, πιστοποίηση και ενεργειακή κατάταξη κτιρίων.

***Νόμος 2244/1994 «Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις»***

Οι βάσεις για τη διείσδυση των Α.Π.Ε. στο ελληνικό ενεργειακό χώρο τέθηκαν από τον Ν. 2244/1994 “Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις” (ΦΕΚ Α’168). Ορίστηκαν σταθερές τιμές πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας παραγόμενης από ΑΠΕ, για το διασυνδεδεμένο σύστημα της χώρας, σε επίπεδο ίσο με το 90% του γενικού τιμολογίου στη μέση τάση. Ειδικά για τα νησιά, αφού δεν ανήκουν στο διασυνδεδεμένο σύστημα, προτάθηκε νέο τιμολογιακό σύστημα. Σύμφωνα με αυτό, η τιμολόγηση γίνονταν στο 90% του τιμολογίου γενικής χρήσης (χαμηλή τάση) και κατά το ίδιο έτος αντιστοιχούσε σε 0,08458 Ευρώ/kWh.

***Νόμος 3175/2003 «Αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού, τηλεθέρμανση και άλλες διατάξεις»***

Μέσω του Ν. 3175/2003 ορίστηκε ένα νέο πλαίσιο εντός του οποίου η γεωθερμία αποτελεί μορφή ανανεώσιμης ενέργειας που μπορεί να συνεισφέρει στη βιώσιμη ανάπτυξη. Έτσι, η γεωθερμία αποδεσμεύτηκε από τον χαρακτηρισμό της ως ορυκτού υπαγόμενου στις ρυθμίσεις του Ν. 210/1973 "Περί Μεταλλευτικού Κώδικος" (ΦΕΚ Α'277). Σκοπός του νόμου αυτού είναι η δημιουργία των προϋποθέσεων για την ορθολογική αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού της χώρας. Ο Υπουργός Ανάπτυξης, με απόφασή του, μπορεί να ορίζει ότι το δικαίωμα διαχείρισης του γεωθερμικού δυναμικού κατισχύει του δικαιώματος εκμετάλλευσης άλλων μεταλλευτικών ή λατομικών ορυκτών, εφόσον κατά την κρίση του η συγκεκριμένη εκμετάλλευση του γεωθερμικού δυναμικού είναι μεγαλύτερης σημασίας για την εθνική οικονομία (άρθρο 1). Στην περίπτωση βεβαιωμένων γεωθερμικών πεδίων εκμισθώνεται το δικαίωμα διαχείρισης.

Η διαχείριση του γεωθερμικού πεδίου περιλαμβάνει το σύνολο των δραστηριοτήτων, χρήσεων και εφαρμογών που απαιτεί η ολοκληρωμένη ορθολογική αξιοποίησή του για γεωργική, οικιστική, βιοτεχνική, βιομηχανική και ηλεκτροπαραγωγική εκμετάλλευση. Με απόφαση του Υπουργού Ανάπτυξης ρυθμίζονται οι ειδικότεροι όροι και η διαδικασία εκμίσθωσης του δικαιώματος έρευνας και της εν γένει διαχείρισης των γεωθερμικών πεδίων της χώρας. Η εκμίσθωση και διαχείριση των πιθανών και βεβαιωμένων γεωθερμικών πεδίων χαμηλής θερμοκρασίας διενεργείται από το Γενικό Γραμματέα Περιφέρειας ενώ η εκμίσθωση και διαχείριση μη ερευνημένων χώρων και των γεωθερμικών πεδίων υψηλής θερμοκρασίας διενεργείται από τον Υπουργό Ανάπτυξης.

***Νόμος 3468/2006 «Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας υψηλής απόδοσης και λοιπές διατάξεις»***

Ο Ν. 3468/2006 «Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας υψηλής απόδοσης και λοιπές διατάξεις» (ο οποίος τροποποιήθηκε με το ν.3851/2010 «Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής») θέτει ως στόχο τη συμμετοχή της ηλεκτροπαραγωγής μέσω ΑΠΕ σε ποσοστό 20,1% για το έτος 2010 ενώ το 2020 να ανέλθει στο 29% της ακαθάριστης εγχώριας κατανάλωσης. Ουσιαστικά, ο Ν. 3468/2006 ενσωματώνει στο εθνικό δίκαιο την Οδηγία 2001/77/ΕΚ και εν μέρει την Οδηγία 2004/8/ΕΚ. Επιδιώκεται η απλοποίηση της αδειοδοτικής διαδικασίας

για την κατασκευή και λειτουργία σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με χρήση ΑΠΕ και η μείωση του απαιτούμενου χρόνου χορήγησης αδειών.

#### ***N.3661/2008 «Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων»***

Με το νόμο Ν3661/2008 «Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων», ΦΕΚ 89/19 Μαΐου 2008, η ελληνική νομοθεσία εναρμονίζεται με την Οδηγία 2002/91/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16<sup>ης</sup> Δεκεμβρίου 2002 «Για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων», προβλέπεται η έκδοση Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης των κτιρίων (ΚΕΝΑΚ), ο οποίος εφαρμόζεται από το 2010 (Απόφαση αρ. Δ6/Β/οικ. 5825 Έγκριση Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων. ΦΕΚ 407/9-4-2010) και σύμφωνα με τον οποίο τα κτίρια κατατάσσονται ανάλογα με την ενεργειακή του απόδοση. Διακρίνονται πέντε βασικές θεματικές ενότητες, οι οποίες αφορούν στον καθορισμό των ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης και στη μέθοδο υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης (άρθρο 3) νέων και υφιστάμενων κτιρίων (άρθρα 4 και 5), στην έκδοση πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης (άρθρο 6), στις επιθεωρήσεις των λεβήτων και των εγκαταστάσεων κλιματισμού (άρθρα 7 και 8) και στην πρόβλεψη ειδικευμένων και διαπιστευμένων ενεργειακών επιθεωρητών (άρθρο 9). Το αναλυτικότερο πλαίσιο της μεθοδολογίας του ΚΕΝΑΚ παρουσιάζεται στη συνέχεια στο κεφάλαιο 1.2.2.

#### ***Νόμος 3851/2010, Εθνικό Σχέδιο Δράσης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας***

Στο νόμο 3851 « Επιτάχυνση της ανάπτυξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής» (ΦΕΚ Α' 85), με το άρθρο 10 τροποποιούνται ρυθμίσεις του ν. 3661/2008. Επίσης τροποποιήθηκε το άρθρο 25 του Κτιριοδομικού Κανονισμού (ΦΕΚ 380/Δ/1997) ως προς τις απαιτήσεις εκπόνησης μελετών υδραυλικών και Η/Μ εγκαταστάσεων με την 49731/2010 υπουργική απόφαση ΥΠΕΚΑ (ΦΕΚ 498 ΑΑΠ/23.11.2010). Ο Κανονισμός Θερμομόνωσης Κτιρίων ( ΦΕΚ 362/4-7-79) που εφαρμόστηκε στην Ελλάδα για 30 χρόνια, καταργήθηκε και αντικαταστάθηκε με τον έλεγχο θερμομονωτικής επάρκειας, στον οποίο επικαιροποιήθηκαν επί το αυστηρότερο τα όρια του συντελεστή θερμοπερατότητας U που έθετε ο παλιός κανονισμός. Η μελέτη θερμομονωτικής επάρκειας εντάχθηκε ως αναπόσπαστο τμήμα στη μελέτη ενεργειακής απόδοσης που απαιτείται για κάθε νέο και ριζικώς ανακαινιζόμενο κτίριο σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ.

Σύμφωνα με τις δεσμεύσεις για τα κράτη-μέλη της Ε.Ε. μέχρι το 2020, προβλέπεται:

α) 20% διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας [ΟΔΗΓΙΑ 2009/28/ΕΚ]

β) 20% μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 [ΟΔΗΓΙΑ 2009/29/ΕΚ]

γ) 20% εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας.

Οι προβλεπόμενοι στόχοι για την Ελλάδα είναι η μείωση των εκπομπών αερίων ρύπων του θερμοκηπίου κατά 4% στους τομείς εκτός εμπορίας σε σχέση με τα επίπεδα του 2005, 18% διείσδυση των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση, 40 % συμμετοχή των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή, 20% σε ανάγκες θέρμανσης-ψύξης και 10% στις μεταφορές.

### ***Νόμος 3855/2010 «Μέτρα για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά την τελική χρήση, ενεργειακές υπηρεσίες και άλλες διατάξεις»***

Με τις διατάξεις του παρόντος νόμου εναρμονίζεται η ελληνική νομοθεσία με την Οδηγία 2006/32/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 5ης Απριλίου 2006 «για την ενεργειακή απόδοση κατά την τελική χρήση και τις ενεργειακές υπηρεσίες και για την κατάργηση της Οδηγίας 93/76/ΕΟΚ του Συμβουλίου» (ΕΕ L 114/64). Ακόμα στοχεύει στην Εξοικονόμησης Ενέργειας (ανταγωνιστικότητα οικονομίας, ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού, προστασία περιβάλλοντος), ρυθμίζει την αγορά των Επιχειρήσεων Ενεργειακών Υπηρεσιών, παρέχει πλαίσιο για εξοικονόμηση ενέργειας στο δημόσιο τομέα και συντονίζει την προώθηση των Πράσινων Δημόσιων Προμηθειών.

#### **1.2.2. Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ)**

Σκοπός της παρούσας απόφασης αποτελεί η μείωση της κατανάλωσης συμβατικής ενέργειας για θέρμανση, ψύξη, κλιματισμό (ΘΨΚ), φωτισμό και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (ΖΝΧ) με την ταυτόχρονη διασφάλιση συνθηκών άνεσης στους εσωτερικούς χώρους των κτιρίων. Ο σκοπός αυτός επιτυγχάνεται μέσω του ενεργειακά αποδοτικού σχεδιασμού του κελύφους, της χρήσης ενεργειακά αποδοτικών δομικών υλικών και ηλεκτρομηχανολογικών (Η/Μ) εγκαταστάσεων, ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) και συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ).

Στα πλαίσια της μεθοδολογίας του ΚΕΝΑΚ (Απόφαση αρ. Δ6/Β/οικ. 5825 Έγκριση Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων. ΦΕΚ 407/9-4-2010), καθορίζονται οι εθνικές προδιαγραφές για όλες τις παραμέτρους που απαιτούνται, η μέθοδος υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, οι ελάχιστες απαιτήσεις για την ενεργειακή απόδοσή τους, ο τύπος και το περιεχόμενο της μελέτης ενεργειακής

απόδοσης των κτιρίων, τα αρμόδια για την εκπόνησή της πρόσωπα, η διαδικασία και η συχνότητα διενέργειας ενεργειακών επιθεωρήσεων των κτιρίων, των λεβήτων, των εγκαταστάσεων θέρμανσης και των συστημάτων κλιματισμού, ο τύπος και το περιεχόμενο του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης που προβλέπεται στο άρθρο 6, η διαδικασία έκδοσής του, ο έλεγχος αυτής και τα προς τούτο αρμόδια όργανα, το ύψος της δαπάνης έκδοσής του και ο τρόπος υπολογισμού της, τυχόν πρόβλεψη κινήτρων για την εφαρμογή πρόσθετων μέτρων για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, καθώς και κάθε άλλο ειδικότερο θέμα ή αναγκαία λεπτομέρεια. Στη συνέχεια παρατίθενται σημαντικά μέρη από τα επιμέρους άρθρα του κανονισμού.

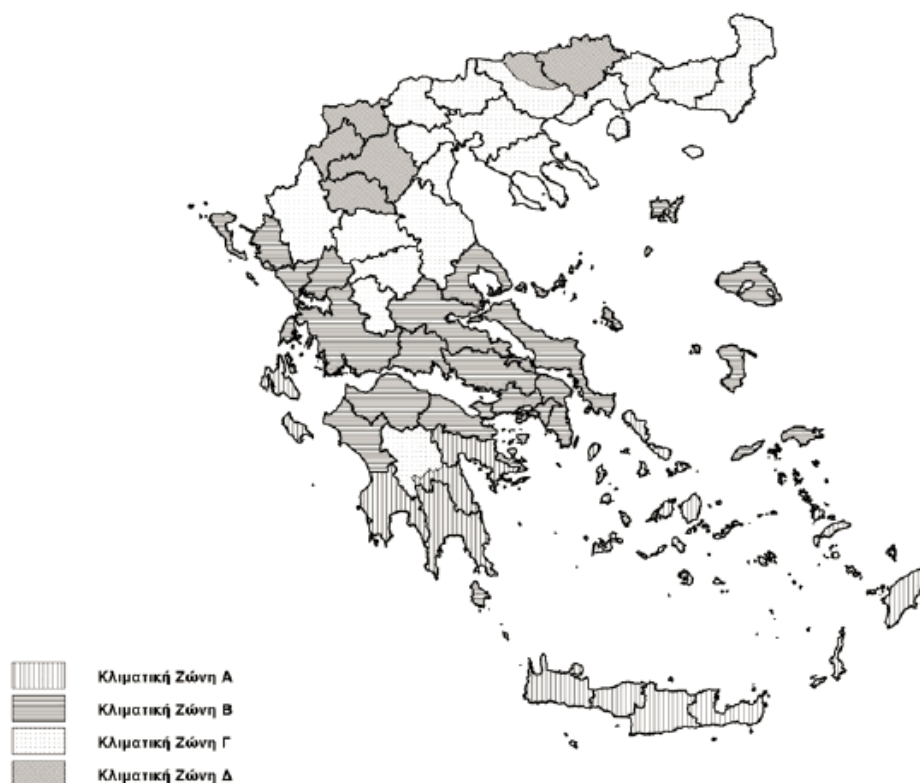
Στο άρθρο 4 αναφέρονται τα στοιχεία που περιλαμβάνονται για τη μεθοδολογία υπολογισμού για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων με βάση την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας. Μεταξύ αυτών είναι η χρήση του κτιρίου, οι επιθυμητές συνθήκες εσωτερικού περιβάλλοντος και τα χαρακτηριστικά λειτουργίας, τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής του κτιρίου, τα γεωμετρικά και θερμικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους, τα τεχνικά χαρακτηριστικά των εγκαταστάσεων για ΘΨΚ, αερισμό, ΖΝΧ και φωτισμό για κτίρια του τριτογενή τομέα και τα παθητικά ηλιακά συστήματα.

Σύμφωνα με το άρθρο 5, για τους υπολογισμούς της ενεργειακής απόδοσης και της ενεργειακής κατάταξης των κτιρίων εφαρμόζεται η μέθοδος ημι-σταθερής κατάστασης μηνιαίου βήματος του Ευρωπαϊκού Προτύπου ΕΛΟΤ EN ISO 13790, και των υπολοίπων προτύπων όπως απεικονίζονται στους Πίνακες του Παραρτήματος 1 της απόφασης Δ6/Β/οικ. 5825. Οι παράμετροι υπολογισμού καθορίζονται από τα στοιχεία της αρχιτεκτονικής και ηλεκτρομηχανολογικής μελέτης του κτιρίου και σύμφωνα με τις Τεχνικές Οδηγίες του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.), οι οποίες εγκρίνονται με απόφαση Υπουργού Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΠΕΚΑ) και επικαιροποιούνται κατά περίπτωση, σύμφωνα με τις εθνικές απαιτήσεις και εξελίξεις.

Το άρθρο 6 αφορά τον διαχωρισμό των κλιματικών ζωνών στην Ελλάδα. Για την εκπόνηση της μελέτης ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, η ελληνική επικράτεια διαιρείται σε τέσσερις κλιματικές ζώνες με βάση τις βαθμοημέρες θέρμανσης. Σε κάθε νομό, οι περιοχές που βρίσκονται σε υψόμετρο άνω των 500 μέτρων, εντάσσονται στην επόμενη ψυχρότερη κλιματική ζώνη από εκείνη στην οποία ανήκουν σύμφωνα με τα παραπάνω. Έτσι, γίνεται αντιληπτό ότι το υψόμετρο επιδρά σημαντικά στην κλιματική κατάταξη μιας περιοχής και ο ΚΕΝΑΚ λαμβάνει υπόψη τη συγκεκριμένη παράμετρο,



προκειμένου να αποτυπώσει την ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου, σε συνδυασμό με τα χαρακτηριστικά του.



**Εικόνα 9:** Σχηματική Απεικόνιση κλιματικών ζωνών ελληνικής επικράτειας, Πηγή: ΚΕΝΑΚ

Το άρθρο 7 αφορά τις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης. Για το αποτέλεσμα της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου πραγματοποιείται μια σύγκριση ανάμεσα στο υπό μελέτη κτίριο και στο κτίριο αναφοράς, το οποίο δημιουργεί το λογισμικό που χρησιμοποιείται, με βάση της προδιαγραφές του ΚΕΝΑΚ. Οι ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης ικανοποιούνται όταν το κτίριο πληροί όλες τις ελάχιστες προδιαγραφές που περιγράφονται στο άρθρο 8 του ΚΕΝΑΚ και:

α) είτε η συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του εξεταζόμενου κτιρίου είναι μικρότερη από τη συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς, ή ίση με αυτήν.

β) είτε το εξεταζόμενο κτίριο έχει τα ίδια τεχνικά χαρακτηριστικά με το κτίριο αναφοράς τόσο ως προς το κτιριακό κέλυφος, όσο και ως προς τις ηλεκτρομηχανολογικές του εγκαταστάσεις στο σύνολό τους.

Το «κτίριο αναφοράς» καθορίζεται να είναι το ίδιο με το υπό μελέτη κτήριο. Συγκεκριμένα, θεωρείται πως έχει τα ίδια γεωμετρικά χαρακτηριστικά, θέση,

προσανατολισμό, χρήση και χαρακτηριστικά λειτουργίας με το εξεταζόμενο κτίριο. Το κτίριο αναφοράς πληροί τις ελάχιστες προδιαγραφές και έχει καθορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά τόσο στα εξωτερικά δομικά στοιχεία του, όσο και στις Η/Μ εγκαταστάσεις που αφορούν τη ΘΨΚ των εσωτερικών χώρων, την παραγωγή ΖΝΧ και το φωτισμό.

Στο άρθρο 8 γίνεται αναφορά των ελάχιστων προδιαγραφών των κτιρίων (οι οποίες προκύπτουν από σχετική ΤΟΤΕΕ), ως προς το σχεδιασμό (κατάλληλη χωροθέτηση και προσανατολισμός του κτιρίου και των ανοιγμάτων, ενσωμάτωση τουλάχιστον ενός παθητικού ηλιακού συστήματος, ηλιοπροστασία κ.α.), ως προς το κτιριακό κέλυφος (θερμικά χαρακτηριστικά δομικών στοιχείων, συντελεστές θερμοπερατότητας) και ως προς τις ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις (πάχος θερμομόνωσης δικτύου διανομής και αεραγωγού διανομής κ.τ.λ.)

Η αναφορά για τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κτιρίου αναφοράς γίνεται στο άρθρο 9. Συγκεκριμένα, σε συνδυασμό με τη σχετική ΤΟΤΕΕ, αναφέρονται τα θερμικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους και η θερμομόνωση, τα τεχνικά χαρακτηριστικά των Η/Μ εγκαταστάσεων όπως της κεντρικής θέρμανσης, της εγκατάστασης ψύξης/κλιματισμού, των τερματικών μονάδων κεντρικής θέρμανσης και κλιματισμού, των δικτύων διανομής θέρμανσης-ψύξης, των συστημάτων Ζεστού Νερού Χρήσης (ΖΝΧ) κ.α.

Σχετικά με τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης, τα άρθρα 10 και 11 αποδίδουν αναλυτικά το σκοπό και περιεχόμενο αυτής. Μεταξύ αυτών αναφέρεται ότι η Μελέτη Ενεργειακής Απόδοσης:

1. Τεκμηριώνει ότι το κτίριο ικανοποιεί τις ελάχιστες απαιτήσεις, όπως αυτές ορίζονται στο άρθρο 7 της παρούσας.

2. Αντικαθιστά τη μελέτη θερμομόνωσης, σύμφωνα με το άρθρο 13 του ν. 3661/2008. Εφ' εξής οι υπολογισμοί για τη θερμομόνωση του κτιριακού κελύφους περιλαμβάνονται στη μελέτη ενεργειακής απόδοσης, όπως καθορίζεται στην παράγραφο 2 του άρθρου 8 της παρούσας και με σχετικές Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.

Για την εκπόνηση της μελέτης ενεργειακής απόδοσης κτιρίου υπολογίζονται, σύμφωνα με τη μεθοδολογία του κεφαλαίου Β' της παρούσας, οι καταναλώσεις πρωτογενούς ενέργειας ανά τελική χρήση: θέρμανση, ψύξη, κλιματισμό, ΖΝΧ, συμπεριλαμβανομένου του φωτισμού για κτίρια του τριτογενούς τομέα.

Για τα νέα ή ριζικά ανακαινιζόμενα κτίρια, πρέπει να εκπονείται και να υποβάλλεται στην αρμόδια Πολεοδομική Υπηρεσία μελέτη τεχνικής, περιβαλλοντικής και οικονομικής

σκοπιμότητας, που συνοδεύει την ενεργειακή μελέτη της παρούσας, σύμφωνα με τα οριζόμενα στην παράγραφο 2 του άρθρου 4 του ν. 3661/08.

Τέλος, στο τεύχος της μελέτης ενεργειακής απόδοσης κτιρίου περιλαμβάνονται τα αναλυτικά αποτελέσματα των υπολογισμών με σαφή αναφορά των μονάδων μέτρησης των μεγεθών, όπως:

1. Θερμικές απώλειες κελύφους και αερισμού. Ηλιακά και εσωτερικά κέρδη κλιματιζόμενων χώρων.

2. Ετήσια τελική ενεργειακή κατανάλωση (kWh/m<sup>2</sup>), συνολική και ανά χρήση (θέρμανση, ψύξη, αερισμός, ΖΝΧ, φωτισμός), ανά θερμική ζώνη και ανά μορφή χρησιμοποιούμενης ενέργειας (ηλεκτρισμός, πετρέλαιο κ.α.).

3. Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m<sup>2</sup>) ανά χρήση (θέρμανση, ψύξη, αερισμός, ΖΝΧ, φωτισμός) και αντίστοιχες εκπομπές διοξειδίου του Άνθρακα.

Σύμφωνα με το άρθρο 5 του ΚΕΝΑΚ, η μεθοδολογία υπολογισμών για την ενεργειακή απόδοση κτιρίων βασίζεται σε Ευρωπαϊκά πρότυπα.

Όσον αφορά τις κατηγορίες και το πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης κτιρίων (άρθρα 13 και 14), βάσει της τελικής ανηγμένης σε πρωτογενή ενέργεια κατανάλωσης του κτιρίου, καθορίζεται και η κατηγορία της ενεργειακής απόδοσής του και εκδίδεται το «πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης κτιρίου - Π.Ε.Α». Οι κατηγορίες ενεργειακής ταξινόμησης των κτιρίων δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Ο δείκτης RR είναι ίσος με την υπολογιζόμενη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς. Ο λόγος T είναι το πηλίκο της υπολογιζόμενης κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας του εξεταζόμενου κτιρίου (EP) προς την υπολογιζόμενη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς (RR) και αποτελεί το κριτήριο για την κατάταξη του κτιρίου στην αντίστοιχη κατηγορία ενεργειακής απόδοσης. Για να θεωρείται ενεργειακά αποδεκτό ένα κτίριο, πρέπει να βρίσκεται έως την κατηγορία B (Πίνακας 1).

Το πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης κτιρίου εκδίδεται από ενεργειακούς επιθεωρητές, κατά τα οριζόμενα στον Κανονισμό, και ισχύει, κατά ανώτατο όριο, για δέκα (10) έτη. Εάν στο κτίριο γίνει ριζική ανακαίνιση ή προσθήκη σε έκταση που επηρεάζει την ενεργειακή απόδοσή του, η ισχύς του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης κτιρίου λήγει κατά το χρόνο ολοκλήρωσης της ανακαίνισης ή της προσθήκης, πριν παρέλθει το διάστημα των δέκα (10) ετών. Το πιστοποιητικό περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, τιμές αναφοράς, όπως ισχύουσες νομικές απαιτήσεις και κριτήρια συγκριτικής αξιολόγησης, ώστε να επιτρέπει στους καταναλωτές να συγκρίνουν και να αξιολογούν την ενεργειακή

απόδοση του κτιρίου. Το πιστοποιητικό συνοδεύεται από συστάσεις για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, σε σχέση με το κόστος που μπορεί αυτή να συνεπάγεται.

**Πίνακας 1:** Κατηγορίες ενεργειακής απόδοσης κτιρίων, Πηγή: ΚΕΝΑΚ

Κατηγορία	Όρια κατηγορίας	Όρια κατηγορίας
A+	$EP \leq 0,33R_R$	$T \leq 0,33$
A	$0,33R_R < EP \leq 0,50R_R$	$0,33 < T \leq 0,50$
B+	$0,50R_R < EP \leq 0,75R_R$	$0,50 < T \leq 0,75$
B	$0,75R_R < EP \leq 1,00R_R$	$0,75 < T \leq 1,00$
Γ	$1,00R_R < EP \leq 1,41R_R$	$1,00 < T \leq 1,41$
Δ	$1,41R_R < EP \leq 1,82R_R$	$1,41 < T \leq 1,82$
E	$1,82R_R < EP \leq 2,27R_R$	$1,82 < T \leq 2,27$
Z	$2,27R_R < EP \leq 2,73R_R$	$2,27 < T \leq 2,73$
H	$2,73R_R < EP$	$2,73 < T$

Για την υποστήριξη της εφαρμογής του ΚΕΝΑΚ το Τ.Ε.Ε. συνέταξε 4 Τεχνικές Οδηγίες (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.) οι οποίες εγκρίθηκαν με την οικ. 17178/2010 Απόφαση Υπουργού ΠΕΚΑ (ΦΕΚ Β' 1387):

1. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010 Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και της έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης.
2. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-2/2010 Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτιρίων.
3. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010 Κλιματικά δεδομένα Ελληνικών περιοχών.
4. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-4/2010 Οδηγίες και έντυπα ενεργειακών επιθεωρήσεων κτιρίων και λεβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης και κλιματισμού.

### 1.3. Εξοικονόμηση ενέργειας και ορεινές περιοχές

Εξοικονόμηση ενέργειας, με την ευρύτερη έννοια, είναι η συμπεριφορά που οδηγεί σε λιγότερη κατανάλωση ενέργειας. Το σκεπτικό της εξοικονόμησης ενέργειας βασίζεται στην προσπάθεια για εξεύρεση τρόπων που θα μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας και θα βελτιώσουν την ενεργειακή απόδοση του εξοπλισμού που καταναλώνει ενέργεια, χωρίς να επηρεάζονται οι συνθήκες άνεσης των χρηστών. Αποτελεί έναν ταχύ, οικονομικό και αποτελεσματικό τρόπο για μείωση της κατανάλωσης καυσίμων και της ζήτησης

ενέργειας, μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα καθώς και μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, εξαιτίας της χρήσης τους.

Οι τεχνολογικές λύσεις μέσω των οποίων επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας είναι πολυάριθμες. Συνδυαστικά όμως με το παραπάνω, είναι ουσιαστικής σημασίας η καλλιέργεια συνείδησης στα κοινωνικά σύνολα σχετικά με την έννοια της εξοικονόμησης ενέργειας, καθώς το όφελος είναι άμεσο για τους ίδιους τους ανθρώπους, το περιβάλλον και την οικονομία (Θεοδώρου, 2012). Οι ορεινές περιοχές έχουν μία ιδιαίτερη ενεργειακή ταυτότητα που χαρακτηρίζεται από αυξημένες θερμικές καταναλώσεις, διαθέτουν πλούσιο ανανεώσιμο ενεργειακό δυναμικό και πολλές δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας. (Καλιαμπάκος, et al., 2009) (Κατσουλάκος & Καλιαμπάκος, 2010)

Η Ελλάδα είναι μία κατ' εξοχήν ορεινή χώρα καθώς το 70% του εδάφους της καλύπτεται από βουνά. Η αξία των βουνών για την πλανητική ισορροπία έχει αναγνωριστεί διεθνώς, εδώ και πολλά χρόνια. Στα βουνά διατηρούνται ανέπαφα σημαντικά οικοσυστήματα και δημιουργούνται εστίες βιοποικιλότητας, λόγω της γεωγραφικής απομόνωσης και των ιδιαίτερων κλιματικών συνθηκών. Παράλληλα με τη βιοποικιλότητα, η γεωγραφική απομόνωση οδηγεί σε πολιτισμική ποικιλομορφία με πλούσια παράδοση. Ακόμα, οι ορεινοί όγκοι αποτελούν τις δεξαμενές νερού του πλανήτη: Οι μεγαλύτεροι ποταμοί της γης πηγάζουν από ορεινά συγκροτήματα, ενώ υπολογίζεται ότι το 50% του παγκόσμιου πληθυσμού εξαρτάται από τα βουνά για να καλύψει τις ανάγκες του σε πόσιμο νερό. (Καλιαμπάκος, et al., 2009)

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το υψηλό ενεργειακό δυναμικό των ορεινών περιοχών σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, το οποίο μπορεί και να αποτελέσει αφετηρία για μία περισσότερο φιλική προς το περιβάλλον αναπτυξιακή πορεία. Αρχικά, τα ορεινά δάση αποτελούν το 25% των δασών της γης και στην Ελλάδα το αντίστοιχο ποσοστό ανέρχεται σε περίπου 50%, ενώ αποτελούν σημαντικό ανανεώσιμο ενεργειακό πόρο. Το ξύλο των κωνοφόρων, της οξιάς, της βελανιδιάς και άλλων δασικών ειδών, μετά από απλή σχετικά επεξεργασία, μπορεί να αξιοποιηθεί ενεργειακά με αποδοτικό τρόπο, αφού η θερμογόνο δύναμή του είναι παρόμοια με του λιγνίτη και ενίοτε μεγαλύτερη. Ακόμα, υπάρχει σημαντικό αιολικό δυναμικό προς αξιοποίηση στις ορεινές περιοχές και ειδικά στις κορυφογραμμές, καθώς, οι αέριες μάζες ανέρχονται επιταχυνόμενες για να προσπεράσουν το εμπόδιο στην κίνησή τους, τον ορεινό όγκο, με αποτέλεσμα τις αυξημένες τιμές της ταχύτητας του αέρα. Στα μέσα γεωγραφικά πλάτη, οι βροχοπτώσεις αυξάνονται συναρτήσει του υψομέτρου και ειδικά στις πλαγιές που δέχονται τις υγρές αέριες μάζες από τη θάλασσα, δημιουργούνται πολλά υδατορρεύματα, με αξιοποιήσιμο

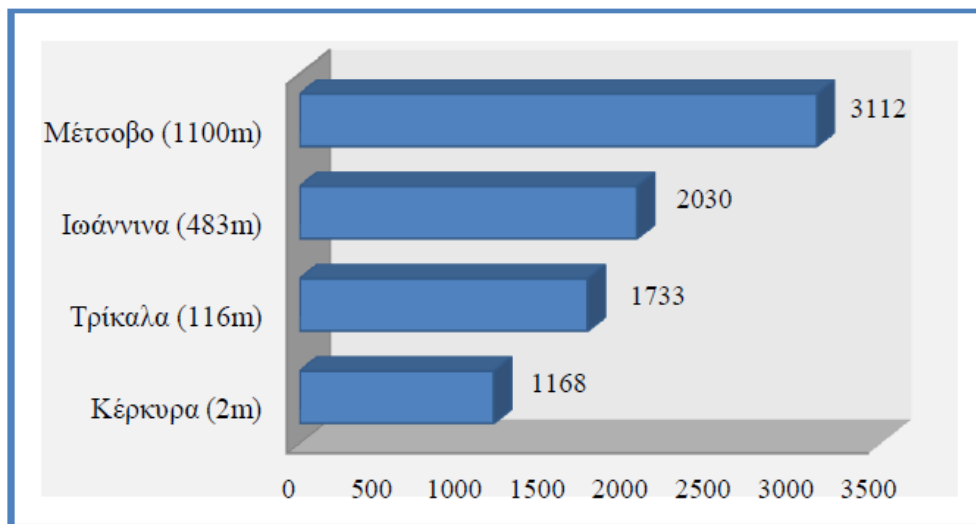
δυναμικό υδατοπτώσεων. Τα υδάτινα ρεύματα που πηγάζουν από τα βουνά, σε συνδυασμό με τις υψομετρικές διαφορές, μπορούν να αξιοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων. Τέλος, το γεωγραφικό πλάτος της Ελλάδας συντελεί σε υψηλά ποσοστά ηλιοφάνειας ακόμη και στα ορεινά. (Καλιαμπάκος, et al., 2009)

Το ορεινό ανάγλυφο με τις απότομες κλίσεις και τα μεγάλα υψόμετρα, συντελεί στη γεωγραφική απομόνωση των ορεινών οικισμών και των ορεινών περιοχών γενικότερα. Βασική επίπτωση της απομόνωσης στον ενεργειακό τομέα είναι οι δυσχέρειες στην ενεργειακή τροφοδοσία. Η επέκταση του δικτύου ηλεκτροδότησης λόγω μεγάλης απόστασης από τα ενεργειακά κέντρα (που βρίσκονται συνήθως σε αστικές-βιομηχανικές περιοχές) και η μεταφορά καυσίμων στις ορεινές περιοχές επιβαρύνονται με ιδιαίτερα μεγάλα κόστη. Επίσης, σε πολλές περιπτώσεις τα δίκτυα ηλεκτροδότησης που υπάρχουν στα ορεινά είναι ανεπαρκή ή παλιά και καθιστούν τους ορεινούς οικισμούς ευάλωτους σε διακοπές ηλεκτροδότησης. Όπως και στην περίπτωση των δικτύων ηλεκτροδότησης, η επέκταση φυσικού αερίου είναι ιδιαίτερα περιορισμένη στις ορεινές περιοχές και οι οικισμοί με τις αυξημένες θερμικές ανάγκες, στερούνται της χρήσης μιας αποδοτικής ενεργειακής πηγής, με μικρότερο κόστος και λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από το πετρέλαιο. (Κατσουλάκος, 2013)

Η ενεργειακή ταυτότητα λοιπόν των ορεινών περιοχών καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν και παρουσιάζεται εμφανώς διαφοροποιημένη από αυτή των περιοχών με χαμηλότερο υψόμετρο. Το υψόμετρο, αποτελεί το δεύτερο σε σημαντικότητα παράγοντα διαμόρφωσης του κλίματος μετά το γεωγραφικό πλάτος. Σε γενικές γραμμές, στα ορεινά των μεσογειακών περιοχών, αυξανόμενου του υψομέτρου, μειώνεται η μέση θερμοκρασία, αυξάνονται οι βροχοπτώσεις και μειώνεται η σχετική υγρασία. (Parish, 2002)

Οι θερμικές καταναλώσεις στις ορεινές περιοχές είναι ιδιαίτερα υψηλές, γεγονός που επιβεβαιώνεται και κατά τον υπολογισμό των βαθμοημερών θέρμανσης. Η μέθοδος των βαθμοημερών είναι μια εύχρηστη μέθοδος που χρησιμοποιείται κατά κόρον προκειμένου να εκτιμηθεί η μηνιαία ή ετήσια ενεργειακή κατανάλωση, τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη των κτιρίων. Οι βαθμοημέρες είναι ένα μέτρο της διακύμανσης της εξωτερικής θερμοκρασίας μιας περιοχής και ένας δείκτης για το πόσο δριμύ είναι το κλίμα της. Είναι επίσης ανάλογες της θερμικής ζήτησης. Ως εκ τούτου, έχοντας δεδομένα για τα χαρακτηριστικά του κελύφους του κτιρίου και του συστήματος θέρμανσης που χρησιμοποιείται, είναι δυνατός ο υπολογισμός της κατανάλωσης ενέργειας με πολύ μικρά

περιθώρια σφάλματος. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η σύγκριση του μεγέθους αυτού μεταξύ περιοχών που έχουν παραπλήσιο γεωγραφικό πλάτος αλλά μεγάλη υψομετρική διαφορά. Είναι άξιο προσοχής, ότι ο αριθμός των βαθμομερών θέρμανσης στο Μέτσοβο είναι κατά 53% μεγαλύτερος, σε σχέση με τα γειτονικά Ιωάννινα και κατά 166% σε σχέση με την Κέρκυρα, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα που ακολουθεί (Κατσουλάκος & Καλιαμπάκος, 2010).



**Εικόνα 10:** Βαθμομέρες θέρμανσης στην Κέρκυρα, τα Ιωάννινα, το Μέτσοβο και τα Τρίκαλα, Πηγή: (Κατσουλάκος & Καλιαμπάκος, 2010), (Θεοδώρου, 2012)

Έτσι, είναι κατανοητό ότι οι μικρότερες μέσες θερμοκρασίες που επικρατούν στις ορεινές περιοχές, σε σχέση με τις πεδινές και παραθαλάσσιες περιοχές, συντελούν στην ιδιαίτερα αυξημένη ζήτηση ενέργειας για θέρμανση κτιριακών χώρων. Αυτό είναι ένα από τα βασικότερα χαρακτηριστικά του ενεργειακού προφίλ των ορεινών περιοχών. (Κατσουλάκος & Καλιαμπάκος, 2010)

Το οικονομικό κόστος που αναλογεί στις αυξημένες θερμικές καταναλώσεις, λόγω του ψυχρού κλίματος, είναι δυσβάστακτο για την πλειοψηφία των κατοίκων στις ορεινές κοινωνίες. Το πρόβλημα εντείνεται συνεχώς, εν μέσω οικονομικής κρίσης, με την αύξηση των τιμών των συμβατικών καυσίμων. Συνεπώς, για τον σχεδιασμό μιας σωστής ενεργειακής πολιτικής, η εξοικονόμηση ενέργειας πρέπει να αποτελεί το σημείο εκκίνησης. Σε παγκόσμιο επίπεδο, οι τακτικές που προτείνονται για την αντιμετώπιση του προβλήματος έχουν ως βασικό άξονα και κατεύθυνση την επέκταση της χρήσης των Α.Π.Ε. σε εθνικό και τοπικό επίπεδο και την ενίσχυση της ενεργειακής αποδοτικότητας, μειώνοντας το κόστος και την εκπομπή επιβλαβών ρύπων. (Καραγκούνη, 2012)

Λόγω της γειτνίασής τους με τη φύση, του πλούσιου ενεργειακού δυναμικού τους καθώς και την κουλτούρα των κατοίκων τους, οι ορεινές περιοχές αποτελούν ιδανικό χώρο για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, διατηρώντας παράλληλα ένα υψηλό βιοτικό επίπεδο, και πεδίο εφαρμογής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η ενεργειακή ανεξαρτησία των περιοχών αυτών παρέχει ένα ισχυρό κίνητρο για την Ε.Ε. να επιτύχει τους στόχους που έχει θέσει για το έτος 2020 (οι στόχοι «20-20-20»). (Euromontana, 2010)

## **1.4. Γεωθερμία ως μέσο εξοικονόμησης ενέργειας**

### **1.4.1. Τι είναι Γεωθερμία**

Μιλώντας για γεωθερμία, εννοούμε τη γεωθερμική ενέργεια, δηλαδή τη θερμότητα που περιέχεται στο εσωτερικό της γης και σχετίζεται με την ηφαιστειότητα και τις ειδικότερες γεωλογικές και γεωτεκτονικές συνθήκες της κάθε περιοχής. Ο όρος «γεωθερμική ενέργεια» χρησιμοποιείται σήμερα για να δηλώσει το τμήμα της γήινης θερμότητας που μπορεί να ανακτηθεί και να αξιοποιηθεί από τον άνθρωπο (Dickson & Fanelli, 2004). Τα ηφαίστεια, οι θερμοπίδακες (geysers), οι θερμές πηγές, τα θερμά νερά και οι ατμοί, αποτελούν ορατή εκδήλωση της θερμότητας του εσωτερικού της γης (Κατσαπρακάκης, 2010).

Διάφορες θεωρίες έχουν διατυπωθεί σχετικά με τους μηχανισμούς παραγωγής της γεωθερμικής ενέργειας. Η θερμική ισορροπία και εξέλιξη της κατανοήθηκαν καλύτερα τον 20<sup>ο</sup> αιώνα, με την ανακάλυψη του ρόλου της «ραδιενεργούς θερμότητας», σύμφωνα με την οποία η θερμική κατάσταση του εσωτερικού της γης οφείλεται στη θερμότητα που συνεχώς παράγεται από τη διάσπαση ραδιενεργών ισοτόπων με μεγάλο χρόνο ημιζωής, όπως του ουρανίου ( $U^{238}$ ,  $U^{235}$ ), του θορίου ( $Th^{232}$ ) και του καλίου ( $K^{40}$ ), τα οποία βρίσκονται στο εσωτερικό της γης (Lubimova, 1968). Εκτός από τη ραδιενεργό θερμότητα, δρουν αθροιστικά, σε απροσδιόριστες όμως ποσότητες, και άλλες δυναμικές πηγές θερμότητας, όπως είναι η «αρχέγονη ενέργεια». Για περαιτέρω εμβάθυνση σχετικά με την ιστορική αναδρομή της γεωθερμικής ενέργειας και την προέλευσή της, προτείνεται σχετική βιβλιογραφία: (Barbier, 2002), (Dickson & Fanelli, 2004).

Η γεωθερμική βαθμίδα ορίζεται ως ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας της γης σε συνάρτηση με το βάθος, μέσα στο γήινο φλοιό. Σε βάθη που είναι προσβάσιμα με τις σύγχρονες γεωτρητικές μεθόδους, δηλαδή μέχρι τα 10.000m, η μέση γεωθερμική βαθμίδα κυμαίνεται περίπου στους 3°C /100 m δηλαδή έχουμε αύξηση περίπου 1°C



σε βάθος 30m. Για παράδειγμα, εάν η θερμοκρασία στα πρώτα μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους ανταποκρίνεται κατά μέσο όρο στη μέση ετήσια θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα, δηλ. στους 15°C, τότε μπορούμε να υποθέσουμε ότι η θερμοκρασία στο βάθος των 2000 m θα είναι περίπου 65-75°C (Dickson & Fanelli, 2004). Περιοχές με γεωθερμική βαθμίδα μεγαλύτερη από τη μέση τιμή, παρουσιάζουν ιδιαίτερο γεωθερμικό ενδιαφέρον και καλούνται «γεωθερμικές» (Κατσαπρακάκης, 2010).

#### **1.4.2. Είδη Γεωθερμικών Συστημάτων**

Ένα γεωθερμικό σύστημα αποτελείται από τρία στοιχεία: α) την εστία θερμότητας, η οποία μπορεί να είναι πολύ υψηλής θερμοκρασίας από μαγματική διείσδυση ή κανονικής θερμοκρασίας από τα πετρώματα του εσωτερικού της γης, β) τον ταμιευτήρα, δηλαδή ένα σχηματισμό από θερμά υδατοπερατά πετρώματα που επιτρέπει την κυκλοφορία των ρευστών μέσα σε αυτόν και από τον οποίο τα ρευστά αντλούν θερμότητα και γ) το γεωθερμικό ρευστό, το οποίο συνήθως είναι νερό μετεωρικής προέλευσης σε υγρή ή αέρια κατάσταση και λειτουργεί ως μέσο μεταφοράς της θερμότητας. Πάνω από τον ταμιευτήρα βρίσκεται συνήθως ένα κάλυμμα αδιαπέρατων πετρωμάτων. Ο ταμιευτήρας πολλές φορές συνδέεται με μια επιφανειακή περιοχή τροφοδοσίας, δια μέσου της οποίας μετεωρικό ή επιφανειακό νερό κατεβαίνει και αντικαθιστά μερικώς ή ολικώς τα ρευστά που φεύγουν από τον ταμιευτήρα και εξέρχονται στην επιφάνεια με τη μορφή θερμών πηγών ή αντλούνται από γεωτρήσεις. (Dickson & Fanelli, 2004)

Κάποια διεθνώς καθιερωμένη και κοινώς αποδεκτή μέθοδος ταξινόμησης των γεωθερμικών συστημάτων, που να χρησιμοποιείται από το σύνολο της γεωθερμικής κοινότητας, δεν υπάρχει. Το πλέον συνηθισμένο κριτήριο για την ταξινόμηση των γεωθερμικών πόρων είναι αυτό που βασίζεται στην ενθαλπία των γεωθερμικών ρευστών. Η ενθαλπία, η οποία σε γενικές γραμμές θεωρείται ότι είναι ανάλογη της θερμοκρασίας, χρησιμοποιείται για να εκφράσει την περιεχόμενη θερμική ενέργεια των ρευστών και δίνει μια γενική εικόνα της ενεργειακής «αξίας» τους. Οι γεωθερμικοί πόροι διακρίνονται σε χαμηλής, μέσης και υψηλής ενθαλπίας (ή θερμοκρασίας), σύμφωνα με το ενεργειακό τους περιεχόμενο και τις πιθανές μορφές αξιοποίησής τους. (Dickson & Fanelli, 2004)

Ακόμα, συχνά γίνεται διάκριση των γεωθερμικών συστημάτων ανάλογα με τη φάση του κυρίαρχου ρευστού (υγρή φάση-liquid dominated systems ή ατμός- vapour dominated systems ή dry steam systems) (White, 1973). Ένας άλλος

διαχωρισμός είναι αυτός που βασίζεται στην κατάσταση ισορροπίας στον ταμιευτήρα, σύμφωνα με τον οποίο λαμβάνονται υπόψη η κυκλοφορία των ρευστών του ταμιευτήρα και ο μηχανισμός μεταφοράς της θερμότητας. Έτσι τα γεωθερμικά πεδία ταξινομούνται: στην υδροθερμική ενέργεια, την αβαθή γεωθερμία, τα θερμά ξηρά πετρώματα, την γεωπεπιεσμένη ενέργεια και την ενέργεια μάγματος. (Nicholson, 1993), (Ανδρίτσος, 2004).

### **Αβαθής Γεωθερμία**

Στην παρούσα εργασία γίνεται εκτενής αναφορά στην αβαθή γεωθερμία. Αβαθής γεωθερμική ενέργεια είναι η αποθηκευμένη ενέργεια του φλοιού της γης, σε μορφή θερμότητας – έως 400 m και με θερμοκρασίες υπογείων πετρωμάτων και ρευστών μικρότερες από 25°C – με δυνατότητα αξιοποίησης της φυσικής θερμοκρασίας των σχηματισμών του υπεδάφους ή της θερμοκρασίας του νερού του υδροφόρου οριζοντα ως πηγής θερμότητας κατά τη διάρκεια της θέρμανσης και ως αποθήκης θερμότητας κατά τη διάρκεια της ψύξης ενός κτιρίου. (Sanner, 2001) (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004)

Έχει διαπιστωθεί ότι οι ατμοσφαιρικές συνθήκες επηρεάζουν τη θερμοκρασία κάτω από την επιφάνεια της γης για μικρό σχετικά βάθος, μέχρι 15 m. Πέραν αυτού του βάθους, η μεταβολή της θερμοκρασίας του εδάφους υπακούει μόνο στους κανόνες της γεωθερμικής βαθμίδας, αυξάνεται σταθερά με το βάθος και παραμένει περίπου σταθερή (15-20°C) καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Σε βάθη 0 - 100 m η αποθηκευμένη θερμική ενέργεια προέρχεται και ανανεώνεται συνεχώς από δύο πηγές: (α) τη ροή θερμότητας από το εσωτερικό της γης (50 – 100 mW.m<sup>-1</sup>.sec<sup>-1</sup>) και (β) την ηλιακή ακτινοβολία. (Ανδρίτσος, et al., n.d.) (Παπανικολάου, 2012)

Η σταθερή και μόνιμη αυτή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση και ψύξη κτιρίων, όπως επίσης για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους (Παπανικολάου, 2012). Για την εκμετάλλευση αυτής της ενέργειας, τα τελευταία χρόνια έχει εξελιχθεί ραγδαία η χρήση αντλιών θερμότητας. Τα συστήματα αυτά καλούνται γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (ΓΑΘ) και παρουσιάζονται αναλυτικά στη συνέχεια.

#### **1.4.3. Σύστημα αβαθούς γεωθερμίας – Γεωθερμική αντλία θερμότητας (Γ.Α.Θ.)**

Η φιλοσοφία της λειτουργίας ενός γεωθερμικού συστήματος αβαθούς γεωθερμίας είναι η μεταφορά θερμότητας από και προς το υπέδαφος με σκοπό την κάλυψη των

θερμικών και ψυκτικών αναγκών των κτιρίων. Η εναλλαγή θερμότητας μεταξύ υπεδάφους και κτιρίου επιτυγχάνεται με ολοκληρωμένες τεχνικές εφαρμογές, τις γεωθερμικές αντλίας θερμότητας (ΓΑΘ), μέσω ανακυκλοφορίας υγρού σε κλειστές υδροφόρες ή ξηρές γεωτρήσεις ή σε ρηχές επιφάνειες εδάφους/πετρωμάτων, καθώς και με την απευθείας χρήση νερών. (Ανδρίτσος, et al., n.d.) (Φραγκογιάννης, 2011) (Μαστοράκη, 2012)

Τα γεωθερμικά συστήματα αβαθούς γεωθερμίας διακρίνονται σε:

α) Συστήματα κλειστού βρόχου (closed loop systems): η θερμότητα του υπεδάφους μεταφέρεται μέσω ρευστού που κυκλοφορεί σε μία διάταξη σωληνώσεων (οριζόντια ή κατακόρυφα με γεώτρηση)

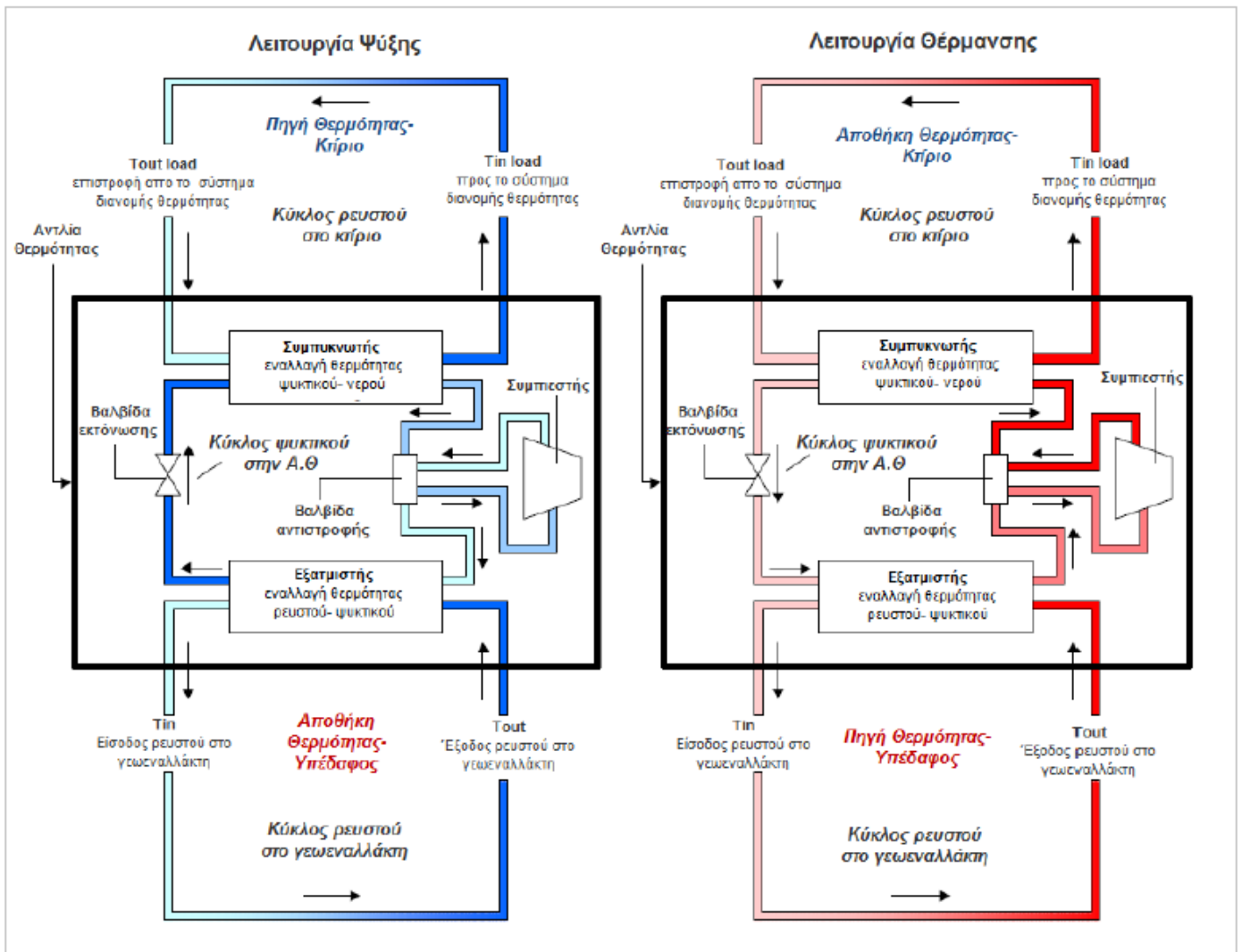
β) Συστήματα ανοικτού βρόχου (open loop systems): αξιοποιείται η θερμοκρασία του νερού του υδροφόρου ορίζοντα. (Φραγκογιάννης, 2011)

Ένα σύστημα γεωθερμικής αντλίας θερμότητας (ΓΑΘ) αποτελείται από:

1. τη μηχανική μονάδα της αντλίας θερμότητας
2. το γεωθερμικό εναλλάκτη (γεωεναλλάκτη) θερμότητας που απορροφά/αποβάλλει ενέργεια στο έδαφος
3. το σύστημα κυκλοφορίας νερού (δίκτυο διανομής) που προσδίδει θερμότητα στο κτίριο (RETSscreen, 2005)

Η γεωθερμική αντλία θερμότητας αξιοποιεί τις σταθερές θερμοκρασίες κάτω από την επιφάνεια του εδάφους για να δεσμεύσει την "ελεύθερη" ενέργεια. Το χειμώνα, το ρευστό που κυκλοφορεί μέσα στο κύκλωμα του γεωεναλλάκτη απορροφά την αποθηκευμένη θερμότητα του εδάφους και τη μεταφέρει στη μονάδα αντλίας θερμότητας, η οποία «αντλεί» τη θερμότητα αυτή σε μια υψηλότερη θερμοκρασία και την διανέμει στο κτίριο. Το καλοκαίρι, το σύστημα αντιστρέφεται, απάγει τη θερμότητα από το κτίριο, τη μεταφέρει στο κύκλωμα του γεωεναλλάκτη και την αποθέτει στο υπέδαφος. (Cyprus Energy Agency, 2010)

Στη συνέχεια σχηματικά η λειτουργία συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας για ψύξη και θέρμανση (Εικόνα 11).



**Εικόνα 11:** Διάγραμμα λειτουργίας συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας για ψύξη και θέρμανση, Πηγή: (Chiasson, 1989)

### 1. Μηχανική μονάδα αντλίας θερμότητας

Η τεχνολογία των αντλιών θερμότητας στηρίζεται στη μεταφορά θερμικής ενέργειας από ένα μέσο χαμηλής θερμοκρασίας (πηγή θερμότητας) σε ένα άλλο μέσο υψηλότερης θερμοκρασίας (αποθήκη θερμότητας). Κατά την θέρμανση με αντλίες θερμότητας, η πηγή θερμότητας μπορεί να είναι ο αέρας της ατμόσφαιρας, το νερό του υπεδάφους ή και το ίδιο το υπέδαφος, ενώ η αποθήκη θερμότητας το κτίριο. Κατά την ψύξη, η πηγή και η αποθήκη θερμότητας αντιστρέφονται. Η μεταφορά της θερμότητας από την πηγή στην αποθήκη πραγματοποιείται με τη βοήθεια του ψυκτικού μέσου, το οποίο έχει την ιδιότητα να εξατμίζεται σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (5-10 °C). Το ψυκτικό μέσο, ακολουθώντας μία κυκλική διεργασία ή έναν θερμοδυναμικό κύκλο, απορροφά

θερμότητα όταν εξατμίζεται και αποβάλλει θερμότητα όταν συμπυκνώνεται. (Φραγκογιάννης, 2011)

Η μηχανική μονάδα της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας (ground source heat pump) συναλλάσσει τη θερμική ενέργεια μεταξύ του γεωθερμικού εναλλάκτη και της εσωτερικής εγκατάστασης θέρμανσης/ψύξης του κτιρίου. Αποτελεί μια τυπική αντλία θερμότητας που όμως αντί να χρησιμοποιεί τον αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος για να αποβάλλει (καλοκαίρι) ή να αντλήσει (χειμώνας) θερμότητα, χρησιμοποιεί τη θερμότητα που περικλείεται στο έδαφος ή στα υπόγεια νερά. Σε θερμοκρασίες μικρότερες των 5°C, οι αντλίες θερμότητας νερού-αέρος που χρησιμοποιούν ως πηγή τον ατμοσφαιρικό αέρα, δεν μπορούν να λειτουργήσουν αποδοτικά. Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, η οποίες είναι αντλίες νερού-νερού (split type), λειτουργούν ικανοποιητικά ακόμα και σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος και επιπλέον τα υπόγεια νερά και το έδαφος, υπερτερούν σημαντικά έναντι του αέρα ως πηγές θερμότητας επειδή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους έχουν σταθερή θερμοκρασία και συνεπώς καλύτερο βαθμό απόδοσης. (Τομαράς, 2013) (Μαστοράκη, 2012) (Αραπογιάννη, 2008)

Ο βαθμός απόδοσης μιας αντλίας θερμότητας (Coefficient of Performance) δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$COP = \frac{\text{αποδιδόμενη θερμότητα ή ψύξη}}{\text{καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια}}$$

Οι αντλίες θερμότητας χαρακτηρίζονται από υψηλό συντελεστή απόδοσης (4-6), η επιτευξιμότητα του οποίου εξαρτάται από την απόλυτη θερμοκρασία αλλά και τη θερμοκρασιακή σταθερότητα της πηγής, λαμβάνει δε τη μέγιστη τιμή του στο θερμοκρασιακό φάσμα των 20 °C (πηγή). Οι αερόψυκτες αντλίες θερμότητας, έχουν συντελεστή απόδοσης που κυμαίνεται από 2 έως 4 ενώ οι σύγχρονες υδρόψυκτες/γεωθερμικές αντλίες θερμότητας έχουν συντελεστή απόδοσης που κυμαίνεται μέχρι και 6. Συγκριτικά με έναν καυστήρα ορυκτών καυσίμων, αυτός μπορεί να είναι 78-95% αποδοτικός, ενώ μια τυπική γεωθερμική αντλία θερμότητας είναι 300% -500%. (Παπανικολάου, 2012)

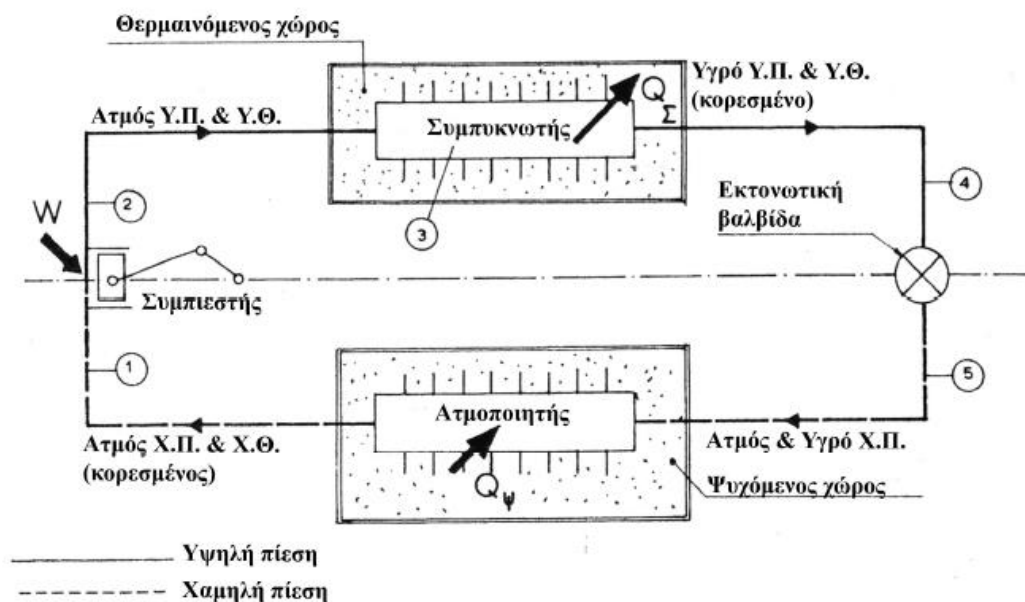
Έτσι, μία αντλία θερμότητας που έχει για παράδειγμα COP = 4, μεταφέρει 4kW θερμικής ισχύος για κάθε 1 kW καταναλισκόμενης ισχύος. Για τη λειτουργία μιας αντλίας θερμότητας απαιτείται κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κατά 20-25% (για τη λειτουργία του συμπιεστή, όπου γίνεται αναφορά στη συνέχεια), ενώ το υπόλοιπο 75 με 80% της απαιτούμενης ενέργειας για θέρμανση και ψύξη, το απορροφούν από το

περιβάλλον/έδαφος. Ο βαθμός απόδοσης μιας αντλίας εξαρτάται από τις θερμοκρασίες περιβάλλοντος και χώρου, ενώ όσο μικρότερη είναι η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας του μέσου από το οποίο αντλείται η θερμότητα και της θερμοκρασίας του μέσου στο οποίο απορρίπτεται η θερμότητα, τόσο υψηλότερος είναι ο βαθμός απόδοσης. (Παπανικολάου, 2012)

Ο συντελεστής απόδοσης μιας αντλίας θερμότητας (COP) προσδιορίζεται από πειραματικές μετρήσεις στο εργοστάσιο κατασκευής για συγκεκριμένες συνθήκες θερμοκρασιών εισόδου ρευστού στον εξατμιστή και συμπυκνωτή και συγκεκριμένες ταχύτητες κυκλοφορίας των ρευστών. Εξαρτάται από πολλούς παράγοντες (Shiba, et al., 2007), οι σημαντικότεροι των οποίων είναι:

- Η διαφορά θερμοκρασίας ( $\Delta T$ ) της πηγής με την αποθήκη θερμότητας. Όσο μικρότερη είναι η  $\Delta T$ , τόσο μεγαλύτερος είναι ο COP.
- Η θερμοκρασιακή σταθερότητα της πηγής θερμότητας και η απόλυτη τιμή της
- Η ταχύτητα κυκλοφορίας του ρευστού στο συμπυκνωτή και στον εξατμιστή
- Η θερμοκρασία περιβάλλοντος στο συμπυκνωτή

Η λειτουργία μιας αντλίας θερμότητας απεικονίζεται στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 12).



Εικόνα 12: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας αντλίας θερμότητας

Αναλυτικότερα, μία αντλία θερμότητας αποτελείται από τα ακόλουθα μέρη:

α) το εργαζόμενο ή ψυκτικό μέσο, δηλαδή τη χημική ουσία που ρέει στην εγκατάσταση. Συχνά αποτελείται από νερό ή νερό με αντιψυκτικό διάλυμα με εύρος ψυκτικής ισχύος 3,5 KW- 35KW. Είναι απαραίτητο να περιγράφεται από καλές θερμοδυναμικές ιδιότητες καθώς επίσης και από κατάλληλες θερμοκρασίες συμπύκνωσης και ατμοποίησης. Ως αντιψυκτικά χρησιμοποιούνται οι γλυκόλες (αιθυλένο- και προπυλένο-γλυκόλη) , το χλωριούχο ασβέστιο , το οξικό κάλιο κ.α. (Παπανικολάου, 2012) (Μαστοράκη, 2012)

β) τον εξατμιστή ή ατμοποιητή (evaporator), έναν εναλλάκτη θερμότητας, ο οποίος απορροφά θερμότητα από τον περιβάλλοντα χώρο/εξωτερικό μέσο (Q<sub>ψ</sub>) και μεταφέρεται η ενέργεια (θερμότητα) στο ψυκτικό υγρό (μέσο), το οποίο ατμοποιείται. Αυτή η αφαίρεση θερμότητας μπορεί να θεωρηθεί ως δύναμη ψύξης ή ως εισαγωγή θερμότητας, ανάλογα με το σκοπό.

γ) Τον συμπιεστή (compressor). Πρόκειται για μια περιστρεφόμενη μηχανή με λεπίδες που συμπιέζουν το αέριο πλέον ψυκτικό μέσο, με στόχο την ανύψωση της πίεσης και θερμοκρασίας του. Για τη λειτουργία του απαιτείται ηλεκτρική ενέργεια.

δ) Τον συμπυκνωτή (condenser), εναλλάκτη θερμότητας που χρησιμοποιείται για την απόδοση της θερμότητας στον κλιματιζόμενο χώρο. Το συμπιεσμένο μέσο που είναι σε μορφή ατμού ρέει στον συμπυκνωτή όπου και συμπυκνώνεται σε υγρό. Η θερμότητα που απελευθερώνεται με αυτή τη διαδικασία λαμβάνεται από ένα άλλο μέσο, συνήθως τον περιβάλλοντα αέρα μέσω της επαφής του ψυκτικού υγρού με το νερό κυκλοφορίας θέρμανσης του κτιρίου. Αυτός ο θερμός αέρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την θέρμανση χώρου, για εργοστασιακή ξήρανση ή την θέρμανση κάποιας άλλης διεργασίας. Στην περίπτωση της λειτουργίας της αντλίας θερμότητας για ψύξη, η θερμότητα αυτή είναι ανεπιθύμητη οπότε απορρίπτεται.

ε) Τη βαλβίδα εκτόνωσης (expansion valve), από την οποία διέρχεται το υγρό μετά τον συμπυκνωτή και με την εκτόνωσή του παρατηρείται πτώση πίεσης.

Το ψυκτικό υγρό μεταφέρεται πάλι στον ατμοποιητή και η διαδικασία επαναλαμβάνεται με σκοπό τη συνεχή θέρμανση του κτιρίου. Στην θερινή λειτουργία, αντιστρέφεται ο κύκλος του ψυκτικού δια της βαλβίδας αντιστροφής, με αποτέλεσμα το έδαφος, το νερό ή ο αέρας να αποτελεί τον αποδέκτη της θερμότητας, ενώ το κτίριο την πηγή ενέργειας (εξατμιστής). (Αθανασόπουλος, 2009) (Παπανικολάου, 2012)

Οι σύγχρονες αντλίες θερμότητας διαθέτουν, πριν από το συμπιεστή, μια βαλβίδα αντιστροφής (τετράοδη βάννα), η οποία εξασφαλίζει τόσο τη λειτουργία θέρμανσης όσο και ψύξης.

## 2. Γεωθερμικός εναλλάκτης

Ο γεωθερμικός εναλλάκτης θερμότητας είναι ένα κύκλωμα σωληνώσεων μέσα στο έδαφος, ο οποίος αξιοποιεί τη θερμοχωρητικότητα του εδάφους. Αποβάλλει ή προσροφά θερμότητα από αυτό και συνδέεται με την μηχανική μονάδα αντλίας θερμότητας για την συναλλαγή θερμότητας. Ανάλογα με τον βρόγχο του γεωθερμικού εναλλάκτη χωρίζονται σε ανοιχτού και κλειστού τύπου.

### Γεωεναλλάκτες ανοιχτού βρόγχου

Το σύστημα ανοιχτού βρόγχου χρησιμοποιεί επιφανειακά ή υπόγεια ύδατα (από λίμνη, πηγάδι, ποτάμι ή θάλασσα), ως πηγή θερμότητας ή ψύξης και μετά τη συναλλαγή θερμότητας μέσω της αντλίας, τα επανεισάγει στην αρχική πηγή σε χαμηλότερη ή ψηλότερη θερμοκρασία αντίστοιχα. Στην περίπτωση υπόγειου υδροφορέα πραγματοποιείται γεώτρηση, η οποία παρέχει το υπόγειο νερό στην αντλία θερμότητας και το ρευστό μετάδοσης θερμότητας είναι το ίδιο το νερό του υπόγειου υδροφορέα.

Τεχνικά, τα συστήματα ανοικτού βρόγχου με πηγή το υπόγειο νερό, αποτελούνται από μια υδρογεώτρηση άντλησης και μια επανεισαγωγής. Η απόσταση των δύο γεωτρήσεων (<10μ.) ορίζεται ώστε να εξασφαλίζεται ταυτόχρονα η μικρότερη θερμοκρασιακή διαταραχή του υδροφόρου ορίζοντα και η αποφυγή φαινομένων υποβιβασμού της στάθμης, στην περιοχή της γεώτρησης άντλησης και εξαρτάται από τον τύπο του πετρώματος, την ποσότητα του νερού άντλησης καθώς επίσης και το βάθος της υπόγειας υδροφορίας. Η γεώτρηση άντλησης αποτελεί πρακτικά μια τυπική υδρογεώτρηση διαμέτρου 76-150 mm, με χαλικόφιλτρα, εσωτερική σωλήνωση και υποβρύχια αντλία, η οποία εξασφαλίζει την άντληση νερού. Η επανεισαγωγή του νερού στην πηγή πραγματοποιείται μέσω κυκλοφορητή στην επιφάνεια. (Κατσαπρακάκης, 2010) (Φραγκογιάννης, 2011)

Βασικές προϋποθέσεις για τη χρήση ανοιχτού συστήματος είναι το κατάλληλο βάθος του υπόγειου υδροφορέα (κατά προτίμηση μικρό), η επαρκής ποσότητα νερού, η θερμοκρασία του νερού να έχει τιμές 8-22 °C, ώστε να εξασφαλίζεται υψηλός συντελεστής απόδοσης της αντλίας θερμότητας και η κατάλληλη σύσταση του υπεδαφικού νερού. Παρά του ότι τα ανοιχτού τύπου συστήματα ήταν τα πρώτα που εμφανίστηκαν στην αγορά της γεωθερμίας και παραμένουν τα απλούστερα, συχνά λόγω καθεστώτος ανεπάρκειας υπόγειου ορίζοντα εξ' αιτίας φαινομένων υπεράντλησης, η εφαρμογή τους πλέον είναι πιο περιορισμένη. Επίσης, σε περιοχές κοντά στην θάλασσα, μεταβάλλεται η στάθμη του υφάλμυρου νερού, ανάλογα με τις γενικότερες αντλήσεις στην περιοχή, με αποτέλεσμα την πιθανή μεταβολή της ποιότητας του υπόγειου νερού και την εμφάνιση



προβλημάτων διάβρωσης. Για περιπτώσεις σκληρού ή υφάλμυρου νερού, χρησιμοποιείται ειδικός εναλλάκτης Τιτανίου. (Ανδρίτσος, 2004) (Κατσαπρακάκης, 2010) (Φραγκογιάννης, 2011) (Τομαράς, 2013)



*Εικόνα 13: Σύστημα ανοιχτού βρόγχου, Πηγή: (Τομαράς,2013)*

#### Γεωεναλλάκτες κλειστού βρόγχου

Το κύκλωμα των σωληνώσεων των συστημάτων κλειστών βρόγχων είναι ένα υπόγειο δίκτυο με στεγανοποιημένους πλαστικούς σωλήνες υψηλής αντοχής και πυκνότητας, συνήθως από πολυαιθυλένιο ή πολυβουτυλένιο, στους οποίους κυκλοφορεί νερό ή μίγμα νερού με αντιψυκτικό περιβαλλοντικά ασφαλές (προτιμητέο αν υπάρχει κίνδυνος συνθηκών παγετού). Το μέσον ανακυκλοφορεί συνεχώς μεταξύ υπεδάφους και αντλίας θερμότητας. Δεν υπάρχει καμία επαφή μεταξύ του σωλήνα κλειστών βρόγχων και του υπόγειου νερού ή του εδάφους. Το σύστημα αυτό έχει το πλεονέκτημα ότι είναι ανεξάρτητο από την υδροφορία και την ποιότητα του νερού.

Ως προς τη γεωμετρία του υπόγειου εναλλάκτη, διακρίνονται τα κλειστά συστήματα διακρίνονται σε οριζόντια, κατακόρυφα. (Κατσαπρακάκης, 2010)

#### Συστήματα Οριζόντιου Βρόγχου

Οι σωληνώσεις ενός οριζοντίου βρόγχου είναι παράλληλες και κοντά στην επιφάνεια, σε βάθος ώστε να πληρούνται οι θερμοκρασιακές προϋποθέσεις. Η θερμοκρασία του εδάφους μένει σχεδόν αμετάβλητη σε βάθος μεγαλύτερο από 5m, ενώ και στα 2m δε μεταβάλλεται σημαντικά και η αποθηκευμένη ενέργεια προέρχεται κυρίως από την

ηλιακή ακτινοβολία και μόνο ένα μικρό ποσοστό (2-3%) από τη θερμότητα της γης. Το δίκτυο των αγωγών (διαμέτρου 19-38mm) τοποθετείται σε βάθος 1-2m ή και βαθύτερα αν το επιτρέπει το κόστος των εκσκαφών. Η εκσκαφή μπορεί να γίνει με τη μορφή ορυγμάτων, συνήθως πλάτους 20-60 cm ή με τη μορφή της ολικής απομάκρυνσης του εδάφους και επανατοποθέτησης αυτού μετά την τοποθέτηση του δικτύου σωληνώσεων. Το κόστος εκσκαφής - τοποθέτησης του εναλλάκτη θερμότητας είναι αισθητά χαμηλότερο στο οριζόντιο σύστημα, όμως απαιτείται περισσότερος διαθέσιμος χώρος για την εγκατάσταση (περίπου 750 m<sup>2</sup> /ton), γεγονός που μπορεί να περιορίσει τη χρήση του. Η απόδοση του γεωεναλλάκτη αυτού κυμαίνεται μεταξύ 20 - 35 W/m<sup>2</sup> ανάλογα με την σύσταση του εδάφους εγκατάστασης. Το δίκτυο μπορεί εκτός από μονής σωλήνωσης, να είναι πολλαπλής ή σπειροειδούς σωλήνωσης (Slinky), όμως λόγω των αναδιπλώσεων, αυξάνονται οι ενεργειακές απώλειες. (Ανδρίτσος, 2004) (Αθανασόπουλος, 2009) (Παπανικολάου, 2012)

Η τοποθέτηση των αγωγών στα οριζόντια συστήματα γίνεται εντός ανοικτής εκσκαφής ή ορυγμάτων, τα οποία πρώτα στρώνονται με μια ζώνη άμμου (για την επίτευξη καλύτερης επαφής των εναλλακτών με το υπεδάφικό περιβάλλον). Αφού επιτευχθεί η τοποθέτηση των αγωγών, εν συνεχεία στρώνεται και συμπυκνώνεται το έδαφος της εκσκαφής. Η ελεύθερη επιφάνεια πάνω από το γεωεναλλάκτη μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί, με τους περιορισμούς ότι δε θα κατασκευαστεί κάποιο κτίριο και δε θα φυτευτούν δέντρα με ισχυρό ριζικό σύστημα. (Φραγκογιάννης, 2011)

Στην εικόνες που ακολουθούν (Εικόνες 14 και 15) απεικονίζεται σύστημα οριζόντιου κυκλώματος.



**Εικόνα 14:** i) Παράλληλη διάταξη οριζόντιων γεωεναλλακτών ii) σπειροειδείς γεωεναλλάκτες, Πηγή: (Φραγκογιάννης, 2011)



**Εικόνα 15:** Σύστημα οριζόντιου γεωεναλλάκτη, Πηγή: (Τομαράς, 2013)

#### Συστήματα Κατακόρυφου Βρόγχου

Μία κατακόρυφη εγκατάσταση κλειστού βρόγχου αποτελείται από ένα ζεύγος σωληνώσεων μικρής διαμέτρου, σχήματος U, από πολυαιθυλένιο ή πολυβουτυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE), που τοποθετείται σε μια ή περισσότερες κατακόρυφες γεωτρήσεις (Εικόνα 17). Το πλήθος των γεωτρήσεων είναι συνάρτηση της ισχύος της εγκατάστασης και της σύστασης του υπεδάφους. Μετά τη διάνοιξη της γεώτρησης και την τοποθέτηση των σωλήνων, ο κενός χώρος πληρείται με κατάλληλα ενέματα- υλικά πλήρωσης (grouting material) τα οποία αποτελούνται από μείγματα μπεντονίτη - άμμου και νερού, ή μείγματα τσιμέντου- άμμου και νερού σε διάφορες αναλογίες. Η ποιότητα της άμμου (ασβεστιτική, χαλαζιακή κτλ.) και οι αναλογίες ανάμειξης καθορίζονται με στόχο την εξασφάλιση της μέγιστης θερμικής αγωγιμότητας του υλικού πλήρωσης, έτσι ώστε να βελτιστοποιείται η μετάδοση θερμότητας μεταξύ αγωγών και υπεδάφους και να επιτυγχάνεται η ελάχιστη υδραυλική αγωγιμότητα, απαραίτητη για την «υδραυλική μόνωση» του γεωεναλλάκτη (Allan & Philipracopoulos, 1999). Τα ενέματα εξασφαλίζουν:

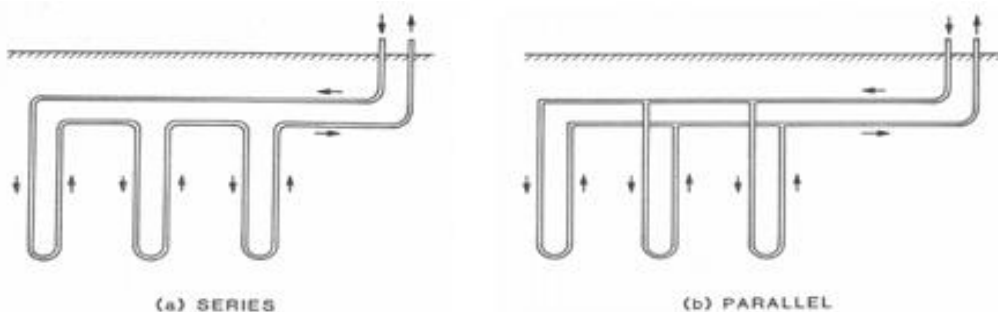
- Την καλύτερη επαφή των γεωεναλλακτών με το υπέδαφος, ώστε να βελτιώνεται η μεταφορά θερμότητας μεταξύ υπεδάφους και κυκλοφορούντος ρευστού στο γεωεναλλάκτη,

- την προστασία των υδροφόρων οριζόντων από ανάμειξη με τα επιφανειακά νερά ή την ανάμειξη μεταξύ υδροφόρων διαφορετικών στρωμάτων,

- τη μείωση της διαφορά πίεσης μεταξύ του νερού στους αγωγούς και τους περιβάλλοντες γεωλογικούς σχηματισμούς, καθώς αναλαμβάνουν τις ασκούμενες πιέσεις. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των αγωγών. (Φραγκογιάννης, 2011)

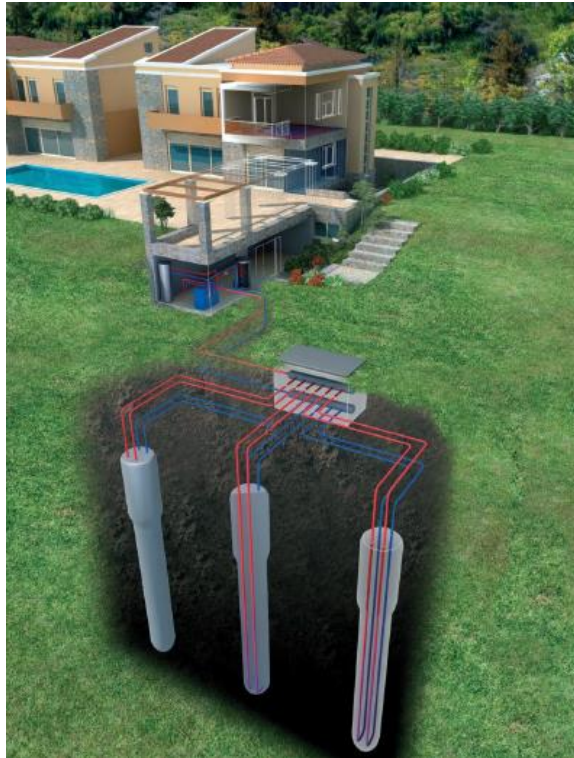
Οι κατακόρυφοι σωλήνες μπορούν να είναι σε διάταξη εν σειρά ή εν παραλλήλω (Εικόνα 16) και ενώνονται στην κεφαλή τους με οριζόντιους, οι οποίοι συνδέονται με την αντλία θερμότητας μεταφέροντας το ρευστό σε αυτούς. Το ζεύγος των σωληνώσεων, σχήματος U, είναι συνδεδεμένο με θερμοκόλληση. Το βάθος των γεωτρήσεων κυμαίνεται από 15 μέχρι 200m και το πλήθος τους εξαρτάται από τις εδαφολογικές συνθήκες, το κόστος διάτρησης και φυσικά από το ψυκτικό και θερμικό φορτίο του κτιρίου. Η οριζόντια απόσταση των γεωτρήσεων μπορεί να είναι μικρή της τάξης των 2-3 m, καθώς η επίδραση της μιας γεώτρησης στην άλλη θεωρείται αμελητέα. (Αραπογιάννη, 2008) (Ανδρίτσος, 2004) (Κατσαπρακάκης, 2010) (Μαστοράκη, 2012).

Οι κατακόρυφοι γεωεναλλάκτες εφαρμόζονται σε εγκαταστάσεις με περιορισμένο περιβάλλοντα χώρο, όπου το νερό βρίσκεται σε μεγάλο βάθος και το έδαφος προσφέρεται για γεώτρηση. Μπορούν να εγκατασταθούν σε περιοχές με πολλά κτίρια, απαιτούν λιγότερες σωληνώσεις και μικρότερη παροχή ενέργειας στην αντλία. Ακόμα, είναι πιο αποδοτικοί ( $40 - 70 \text{ W/m}^2$ ) γιατί η θερμοκρασία του υπεδάφους παρουσιάζει περισσότερη σταθερότητα σε μεγαλύτερα βάθη και η λειτουργία της αντλίας θερμότητας είναι ομαλή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Το αρχικό κόστος κατασκευής είναι μεγαλύτερο σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους και η απόσβεση της εγκατάστασης είναι 6 έως 9 έτη. (Αραπογιάννη, 2008) (Αθανασόπουλος, 2009) (Παπανικολάου, 2012)



**Εικόνα 16:** Διατάξεις κατακόρυφων πολλαπλών γεωθερμικών εναλλακτών, Πηγή: (Αθανασόπουλος, 2009)





*Εικόνα 17: Σύστημα κατακόρυφου κλειστού γεωεναλλάκτη, Πηγή: (Τομαράς, 2013)*

### **3. Σύστημα διανομής θερμότητας στο κτίριο**

Μέσω του συστήματος διανομής, δηλαδή της εσωτερικής εγκατάστασης θέρμανσης/ψύξης, παραλαμβάνεται η θερμότητα από την έξοδο του κύκλου της αντλίας θερμότητας και διανέμεται στα σημεία που απαιτείται μιας κτιριακής εγκατάστασης (θέρμανση εσωτερικών χώρων, ζεστό νερό χρήσης, θέρμανση κολυμβητικής δεξαμενής).

Η θερμική ή ψυκτική ενέργεια που παράγεται από την αντλία θερμότητας (Α/Θ) διανέμεται στους χώρους του κτιρίου μέσω:

- Ενδοδαπέδων σωληνώσεων για θέρμανση και ψύξη δαπέδου ή/και επιτοίχια θέρμανση
- Αφυγρατών (ΚΜΑ) για αφύγρανση και συμπληρωματική ψύξη
- Fan Coil Units (FCUs) για θέρμανση και ψύξη
- Κ.Κ.Μ. (κεντρική μονάδα κλιματισμού) για θέρμανση και ψύξη (Τομαράς, 2013)

#### **1.4.4. Πλεονεκτήματα χρήσης Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας**

Το συγκριτικό πλεονέκτημα των Γ.Α.Θ. έναντι των Αντλιών Θερμότητας αέρα, αλλά και των συμβατικών συστημάτων θέρμανσης κτιρίων (λέβητα πετρελαίου και φυσικού αερίου), αφορά το εξαιρετικά χαμηλό κόστος λειτουργίας τους, το οποίο οφείλεται στον

υψηλό συντελεστή απόδοσης των Γ.Α.Θ. και, ως εκ τούτου, στη μειωμένη κατανάλωση ηλεκτρική ενέργειας, με παράγωγο αποτέλεσμα την ουσιαστική μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>, που αποτελεί και στόχο των σύγχρονων κοινωνιών. (Φραγκογιάννης, 2011)

Οι Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας εκμεταλλεύονται την ενεργειακή αποθήκη ήπιων και ανανεώσιμων μορφών ενέργειας όπως τη θερμότητα του υπεδάφους και τα επιφανειακά ή υπόγεια νερά, συγχρόνως όμως μπορούν να συνδυαστούν και με συμβατικά συστήματα, με λέβητες/καυστήρες αερίου, πετρελαίου. Η χρήση Γ.Α.Θ. συντελεί στη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>, καθώς δεν ρυπαίνει την τοπική ατμόσφαιρα με καυσαέρια, το 70 - 80% της ενέργειας παρέχεται δωρεάν από το υπέδαφος ενώ απαιτείται ηλεκτρικό ρεύμα (κατά 20-25%) για τη λειτουργία της αντλίας (συμπιεστής), το οποίο στην Ελλάδα παράγεται σε μεγαλύτερο ποσοστό από εγχώρια καύσιμα (λιγνίτη και υδροηλεκτρικά) ενώ το πετρέλαιο είναι εισαγόμενο. Τέλος, με την ίδια εγκατάσταση μπορεί να επιτευχθεί θέρμανση το χειμώνα και ψύξη το καλοκαίρι.

Λόγω της αξιοποίησης της σταθερής θερμότητας του υπεδάφους σε βάθος μεγαλύτερο των 15m, η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της πηγής από όπου αντλείται και της πηγής από όπου αποβάλλεται θερμότητα είναι μικρή και έτσι οι ΓΑΘ έχουν πολύ μεγάλους βαθμούς απόδοσης (COP έως 6), συγκριτικά τόσο με τους λέβητες πετρελαίου (COP έως 0.9), όσο και με τις αντλίες θερμότητας (COP=2-4) που χρησιμοποιούν ως πηγή τον εξωτερικό αέρα. Ακόμα, δεν απαιτείται συντήρηση στους γεωεναλλάκτες, ενώ η αντλία θερμότητας χρειάζεται μόνο περιοδικό έλεγχο. Η εγκατάσταση λειτουργεί αθόρυβα και δε χρειάζεται πυροπροστασία.

Στις περιπτώσεις που τα τιμολόγια ρεύματος είναι ευνοϊκά, το κόστος καυσίμου για λέβητες-καυστήρες είναι υψηλό και υπάρχει υψηλός ετήσιος αριθμός ωρών λειτουργίας, η χρήση ΓΑΘ αποτελεί την οικονομικότερη λύση, με μείωση ενεργειακών καταναλώσεων έως και 75%. Είναι όμως σημαντικό να αναφερθεί ότι το κόστος εγκατάστασης είναι υψηλό και απαιτείται ο υπολογισμός του χρόνου απόσβεσης του έργου, για την ακριβή εκτίμηση της ενεργειακής και οικονομικής εξοικονόμησης. (Τομαράς, 2013) (ΚΑΠΕ, 2014)

#### **1.4.5. Διαστασιολόγηση και Εγκατάσταση Συστήματος Γ.Α.Θ.**

Τα κρίσιμα σημεία της διαστασιολόγησης μιας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας είναι ο καθορισμός της θερμικής ισχύος του συστήματος της ΓΑΘ και το απαιτούμενο μήκος του γεωεναλλάκτη (και η διάταξή του στο χώρο). Απ' αυτές τις δυο παραμέτρους καθορίζεται το κόστος της εγκατάστασης και η ενεργειακή της αειφορία. Οι απαραίτητες πληροφορίες για τον ακριβή καθορισμό των παραμέτρων αυτών παρέχονται από:

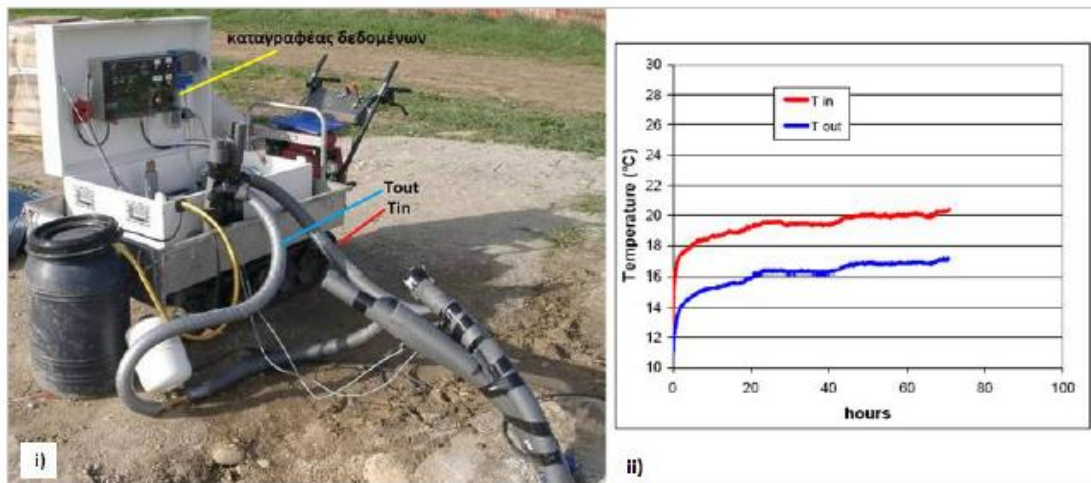
- τον υπολογισμό των προς κάλυψη ενεργειακών απαιτήσεων του κτιρίου (μέγιστα φορτίων ψύξης και θέρμανσης σε ημερήσια, μηνιαία και ετήσια βάση).
- τον προσδιορισμό της κατανομής της θερμοκρασίας στο υπέδαφος και
- την ακριβή γνώση της θερμικής αγωγιμότητας των υπεδάφικων σχηματισμών, των αγωγών και του υλικού πλήρωσης των γεωτρήσεων, που αποτελούν παραμέτρους οι οποίες επιδρούν στη μετάδοση θερμότητας μεταξύ υπεδάφους και γεωεναλλάκτη. (Φραγκογιάννης, 2011)

Για τον ακριβή προσδιορισμό της θερμικής αγωγιμότητας υπεδάφους μπορεί να πραγματοποιηθεί Δομική Θερμικής Απόκρισης στο πεδίο ή αλλιώς TRT (Thermal Response Test), η οποία εφαρμόζεται σε έτοιμο προς λειτουργία γεωεναλλάκτη και περιλαμβάνει όχι μόνο τις ιδιότητες των εδαφών και πετρωμάτων που περιβάλλουν το γεωεναλλάκτη, αλλά και το υλικό πλήρωσης καθώς και το υλικό των σωλήνων (Gehlin, 2002). Στην είσοδο ενός γεωεναλλάκτη τοποθετείται μια αντίσταση η οποία παράγει θερμότητα σταθερής ροής ανά μονάδα μήκους  $q$  και η οποία μεταφέρεται στο κυκλοφορούν ρευστό στην είσοδο του γεωεναλλάκτη, τότε στην έξοδο του γεωεναλλάκτη θα καταγραφεί μια πτώση θερμοκρασίας του ρευστού, η οποία οφείλεται στην απώλεια θερμότητας στο υπέδαφος. Αν καταγράφεται η θερμοκρασία του ρευστού στην είσοδο και την έξοδο του γεωεναλλάκτη (Εικόνα 18ii) για μεγάλο χρονικό διάστημα, τότε μπορεί να υπολογιστεί η μέση θερμική αγωγιμότητα του υπεδάφους ( $k_{ef}$ , W/m.K) από τη σχέση:

$$k_{ef} = \frac{q}{4\pi} \frac{\ln(t_2) - \ln(t_1)}{T(t_2) - T(t_1)}$$

όπου όμως οι  $T(t_2)$  και  $T(t_1)$ , δεν αφορούν μόνο δυο χρονικές τιμές, αλλά όλο το φάσμα των μετρήσεων ανάμεσα στη χρονική στιγμή  $t_1$  και  $t_2$ .

Η Δ.Θ.Α. πραγματοποιείται με κινητή μονάδα η οποία συνδέεται με ένα έτοιμο προς λειτουργία γεωεναλλάκτη και περιλαμβάνει αντλία θερμότητας, ηλεκτρική αντίσταση, όργανα μετρήσεων και καταγραφέα δεδομένων (Εικόνα 18i).



**Εικόνα 18:** i) Σύστημα Δοκιμής Θερμικής Απόκρισης ii) καταγραφή δεδομένων θερμοκρασίας εισόδου και εξόδου σε χρονική διάρκεια 50 ωρών Πηγή: (Sanner et al., 2005), (Φραγκογιάννης, 2011)

Η Δοκιμή Θερμικής Απόκρισης, χρησιμοποιείται συχνά σε έργα μεγάλης κλίμακας, λόγω του υψηλού κόστους, στα οποία η τιμή θερμικής αγωγιμότητας που προσδιορίζεται, αξιοποιείται εν συνεχεία στην επαναδιαστασιολόγηση του συστήματος. Ενέχεται όμως ο κίνδυνος, η μέση τιμή θερμικής αγωγιμότητας που προσδιορίζεται, να μην είναι αντιπροσωπευτική της περιοχής εγκατάστασης του έργου, ιδιαίτερα σε περιοχές με έντονες γεωλογικές μεταβολές ή ακόμα και μεταβολές στην πυκνότητα και την υγρασία των ίδιων γεωλογικών σχηματισμών. Επιπλέον, η Δοκιμή Θερμικής Απόκρισης επηρεάζεται αρκετά από την ύπαρξη υδροφόρου ορίζοντα, ο οποίος λόγω συναγωγής μεταβάλλει την τιμή της θερμοκρασίας εξόδου του νερού και παρουσιάζονται σφάλματα. (Φραγκογιάννης, 2011)

Όσον αφορά τον προσδιορισμό της κατανομής της θερμοκρασίας στο υπέδαφος, η μελέτη του φαινομένου μετάδοσης θερμότητας μεταξύ υπεδάφους και γεωεναλλάκτη διακρίνεται σε δυο βασικά και αλληλένδετα προβλήματα :

Το πρώτο είναι ο προσδιορισμός της θερμοκρασίας εξόδου του ρευστού από το γεωεναλλάκτη, η οποία εκφράζει το ποσό θερμότητας που μεταφέρεται από το υπέδαφος στο ρευστό, λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας.

Το δεύτερο είναι η διερεύνηση του θερμοκρασιακού πεδίου που διαμορφώνεται περίξ του γεωεναλλάκτη. Αντλώντας ή αποθηκεύοντας θερμότητα στο υπέδαφος, μεταβάλλεται η θερμοκρασία του και άρα η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ υπεδάφους-ρευστού, οδηγώντας σε αντίστοιχη μεταβολή της θερμοκρασίας εξόδου του ρευστού. Κατά τη μακρόχρονη λειτουργία ενός συστήματος με κατακόρυφους γεωεναλλάκτες, διαμορφώνεται ένα χρονικά μεταβαλλόμενο θερμοκρασιακό πεδίο, το οποίο επιδρά στη



θερμοκρασία εξόδου του ρευστού και, συνακόλουθα, στο συντελεστή απόδοσης της αντλίας θερμότητας, ενώ κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις, όπως για παράδειγμα η αδιάλειπτη άντληση θερμότητας από μικρό όγκο εδάφους, το πεδίο κινδυνεύει να οδηγηθεί σε σημαντικό υποβιβασμό της θερμοκρασίας του και το σύστημα να αδρανοποιηθεί. (Φραγκογιάννης, 2011)

Για τη θεωρητική μελέτη του θερμοκρασιακού πεδίου πέριξ του γεωεναλλάκτη και την επίδραση στη θερμοκρασία εξόδου του ρευστού, έχει αναπτυχθεί πλήθος μεθοδολογιών, οι οποίες διακρίνονται, ανάλογα με τις εξισώσεις που αξιοποιούν, σε αναλυτικές και αριθμητικές, υβριδικές. Οι αναλυτικές μέθοδοι στηρίζονται στη θεώρηση ότι ο γεωεναλλάκτης μπορεί να προσομοιωθεί με μια γραμμική ή κυλινδρική πηγή θερμότητας σε ημίπειρο μέσο. Οι αριθμητικές μέθοδοι προσομοίωσης και διαστασιολόγησης των γεωεναλλακτών βασίζονται κυρίως στις μεθόδους πεπερασμένων διαφορών, όπου το συνεχές μέσο – υπέδαφος, περιγράφεται από ένα σύνολο σημείων που ονομάζονται κόμβοι. (Φραγκογιάννης, 2011)

Συνοπτικά, τα στάδια που απαιτούνται για την εγκατάσταση της Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας είναι τα εξής:

- Διάνοιξη Γεωτρήσεων
- Τοποθέτηση Σωλήνων
- Πλήρωση με ένεμα-grouting
- Σύνδεση με κυκλοφορητή
- Εξαέρωση- Πρεσάρισμα

### **1.5. Περιγραφή προβλήματος – Σημασία**

Τα κτίρια έχουν ουσιαστική σημασία για τη ζωή του ανθρώπου. Τα χαρακτηριστικά ενός κτιρίου, ο σχεδιασμός, η εμφάνιση, οι τεχνικές προδιαγραφές του και η ποιότητα του εσωτερικού κλίματος επιδρούν στην υγεία, την άνεση, την παραγωγικότητα και την ευημερία του. Παράλληλα όμως, τα παραπάνω είναι καθοριστικά για το ποσό της ενέργειας που καταναλώνεται σε ένα κτίριο και το ποσό ενέργειας που απαιτείται για θέρμανση, ψύξη και αερισμό ώστε να υπάρχει ένα ευχάριστο περιβάλλον εντός του κτιρίου. (Santamouris, et al., 2006) (Economidou, et al., 2011)

Είναι γνωστό ότι τα κτίρια ευθύνονται για ένα μεγάλο μέρος των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, κυρίως του CO<sub>2</sub>, αλλοιώνοντας το κλίμα του πλανήτη. Η κατά τα τελευταία χρόνια δραματική υποβάθμιση του περιβάλλοντος καθώς και χρήση υλικών και

συσκευών μη φιλικών προς το περιβάλλον έχουν συντελέσει στην εμφάνιση σημαντικών, ποιοτικά και ποσοτικά, περιβαλλοντικών και ενεργειακών προβλημάτων που σχετίζονται με τα κτίρια. Τα παραπάνω καθορίζουν το πλαίσιο εξέτασης και ανάλυσης του όλου ενεργειακού και περιβαλλοντικού προβλήματος των κτιρίων. Η ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων δεν θα πρέπει να αποσυνδέεται από τα προβλήματα του περιβάλλοντος και θα πρέπει να μελετάται σαν μια ενότητα μαζί με το συγκεκριμένο εξωτερικό μικροκλίμα στο χώρο του κτιρίου, καθώς και το διαμορφούμενο εσωτερικό περιβάλλον. (Santamouris, et al., 2006) (Economidou, et al., 2011)

Η ταχέως αυξανόμενη χρήση της ενέργειας παγκοσμίως έχει ήδη δημιουργήσει ανησυχίες για τις δυσκολίες ενεργειακού εφοδιασμού, την εξάντληση των ενεργειακών πόρων και των σοβαρών περιβαλλοντικών επιπτώσεων (καταστροφή της στιβάδας του όζοντος, υπερθέρμανση του πλανήτη, κλιματική αλλαγή, κλπ.). Η συνολική συνεισφορά του κτιριακού τομέα στα παραπάνω, μέσω της ενεργειακής κατανάλωσης, τόσο στις κατοικίες όσο και στα εμπορικά κτίρια, έχει αυξηθεί σταθερά σαν γενική τάση - φθάνοντας μεταξύ 20% και 40% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στις ανεπτυγμένες χώρες - και έχει υπερβεί τους άλλους σημαντικούς τομείς: τη βιομηχανία και τις μεταφορές. Η παγκοσμιοποίηση, η βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης στις αναπτυσσόμενες χώρες και η ανάπτυξη των δικτύων επικοινωνίας, προωθούν το life style των αναπτυγμένων χωρών και αυξάνουν τα καταναλωτικά πρότυπα των ενεργειακών αναγκών που οδηγούν στην εξάντληση των ορυκτών καυσίμων και έχουν σοβαρό περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Υπό αυτήν την έννοια, η παρούσα κατάσταση στον ενεργειακό τομέα σε συνδυασμό με το υφιστάμενο κοινωνικο-οικονομικό σύστημα οδηγούν σε ένα μη βιώσιμο μέλλον. Για το λόγο αυτό, η ενεργειακή απόδοση των κτιρίων αποτελεί σήμερα πρωταρχικό στόχο της ενεργειακής πολιτικής σε τοπικό, εθνικό και διεθνές επίπεδο. (Perez-Lombard, et al., 2008)

Σύμφωνα με την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία, υπάρχουν περίπου 4 εκατομμύρια κτίρια στην Ελλάδα, με συνολικό εμβαδόν 552 εκατομμύρια τετραγωνικά μέτρα. Ο οικιακός και τριτογενής τομέας αντιπροσωπεύουν το 77% και 23% του συνόλου, αντίστοιχα (Dascalaki, et al., 2010). Τα κτίρια που έχουν κατασκευαστεί πριν από το 1980 αντιπροσωπεύουν το 74,6 % του κτιριακού αποθέματος στην Ελλάδα και κατατάσσονται στην κατηγορία των κτιρίων χωρίς προστασία θερμικής μόνωσης, με πεπαλαιωμένες εγκαταστάσεις και χαμηλή ενεργειακή απόδοση. Τα κτίρια που κατασκευάστηκαν την περίοδο 1980-2001 είναι μερικώς μονωμένα ενώ μόνο όσα κτίστηκαν από το 2001 και μετά διαθέτουν καλή μόνωση, με μειωμένες θερμογέφυρες και με διπλά τζάμια στα παράθυρα. Η ενεργειακή

κατανάλωση στις κατοικίες αντιστοιχεί στο 25% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης του Ελληνικού κτιριακού αποθέματος και στο 32,7% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στην Ελλάδα. (Davaki, 2011)

Η οικονομική ύφεση, στο πλαίσιο που δεν οδηγεί σε φαινόμενα ενεργειακής ένδειας, μπορεί να αποτελέσει αιτία για αλλαγή συμπεριφοράς προς την κατεύθυνση πιο ορθολογικής χρήσης της ενέργειας, καθώς και στο στρατηγικό σχεδιασμό νέων μέτρων. Η εφαρμογή του νέου Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης των Κτιρίων (KENAK), η καλύτερη μόνωση στα νέα κτίρια κατοικιών καθώς και η προμήθεια ενεργειακά αποδοτικών οικιακών συσκευών, μπορούν να συμβάλλουν καθοριστικά στην επιτευχθείσα βελτίωση. Εξαιτίας της οικονομικής ύφεσης, η πληροφόρηση των οικιακών καταναλωτών σε θέματα εξοικονόμησης ενέργειας, βρήκε πρόσφορο έδαφος και λειτούργησε θετικά συμβάλλοντας στην βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του τομέα. Η κατανάλωση ενέργειας στον τομέα των υπηρεσιών (τριτογενής τομέας) σχεδόν τριπλασιάστηκε από 0,7 Mtoe το 1990 σε 1.91 Mtoe το 2010. Μέχρι το 2008, η τελική κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια του τριτογενή τομέα παρουσίαζαν μια σταθερή αύξηση. Το αντίκτυπο όμως της οικονομικής ύφεσης ήταν άμεσα φανερό, καθώς η τελική κατανάλωση ενέργειας μειώθηκε κατά τη διάρκεια των τελευταίων 2 ετών. (ΚΑΠΕ, 2012)

Όπως έχει προαναφερθεί, οι ορεινές περιοχές έχουν μία ιδιαίτερη ενεργειακή ταυτότητα που χαρακτηρίζεται από αυξημένες ενεργειακές καταναλώσεις για θέρμανση λόγω του ψυχρού κλίματος και από προβλήματα στην ενεργειακή τροφοδοσία λόγω της απομόνωσης και του γεωγραφικού αναγλύφου. Ενδεικτικά, αναφέρεται το παράδειγμα δύο περιοχών με κοντινά γεωγραφικά πλάτη αλλά μεγάλη υψομετρική διαφορά, το Μέτσοβο και τα Ιωάννινα: Η ετήσια καταναλισκόμενη θερμότητα ανά νοικοκυριό στην περιοχή του Μετσόβου προκύπτει ίση με 11573 kWh και η καταναλισκόμενη ενέργεια ανά κάτοικο προκύπτει ίση με 3511 kWh. Τα μεγέθη αυτά είναι ιδιαίτερα αυξημένα σε σχέση με την πόλη των Ιωαννίνων, στην οποία τα αντίστοιχα μεγέθη είναι 6217 kWh και 2222 kWh (Κατσουλάκος & Καλιαμπάκος, 2010). Το κόστος που απαιτείται για την κάλυψη των αναγκών αυτών επιβαρύνει σημαντικά τις ορεινές κοινωνίες - ιδίως σε μία εποχή οικονομικής κρίσης και αύξησης των τιμών του πετρελαίου - φέρνοντάς τες αντιμέτωπες με το πρόβλημα της ενεργειακής φτώχειας και με ιδιαίτερα αρνητικές συνθήκες για το βιοτικό τους επίπεδο. (Καλιαμπάκος, et al., 2009) (Κατσουλάκος & Καλιαμπάκος, 2010)

Οι διεθνείς τάσεις για την αντιμετώπιση του προβλήματος, συγκλίνουν στην αναγκαιότητα επέκτασης χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε τοπικό επίπεδο και της αύξησης της ενεργειακής αποδοτικότητας. Η γεωθερμική ενέργεια αποτελεί μία

ανανεώσιμη, καθαρή και πλήρως αποδεκτή πηγή ενέργειας, ικανή για να καλύψει μέρος των ενεργειακών αναγκών καθώς και να συνεισφέρει στη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. 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. (Κατσαπρακάκης, 2010)

## 2. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

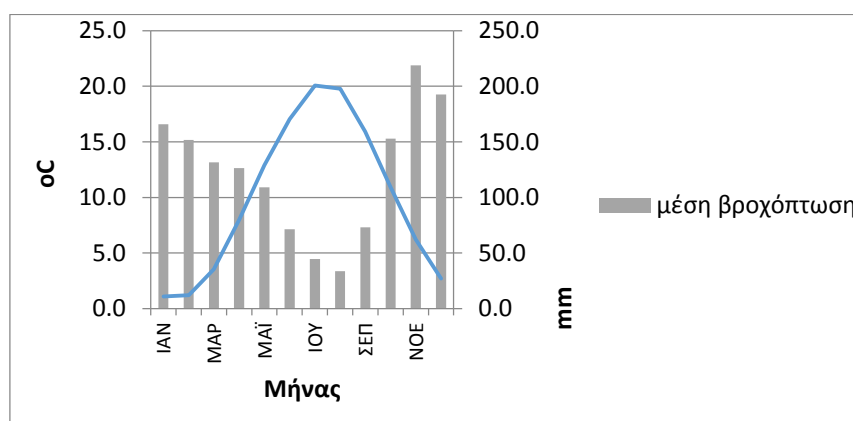
### 2.1. Περιοχή Μελέτης

#### 2.1.1. Το «ενεργειακό προφίλ» του οικισμού του Μετσόβου

Το Μέτσοβο αποτελεί την πρωτεύουσα του Δήμου Μετσόβου. Ο Δήμος Μετσόβου είναι δήμος της Περιφέρειας Ηπείρου, ο οποίος συστάθηκε το 2011, μετά την εφαρμογή του σχεδίου Καλλικράτη (Ν.3852/2010) από τη συνένωση των προ υπαρχόντων δήμων Εγνατίας, Μετσόβου και της κοινότητας Μηλέας. Ο οικισμός είναι κτισμένος σε υψόμετρο που κυμαίνεται από τα 1.000μ έως τα 1.250μ. και έχει χαρακτηριστεί παραδοσιακός. Ο αριθμός των παλαιών κτιρίων στην περιοχή είναι σημαντικός λόγω της συνεχούς κατοίκησης και υπάρχουν ειδικοί κανόνες δόμησης όπως η απαγόρευση εγκατάστασης ηλιακών συστημάτων στα κτίρια. (Κατσουλάκος, 2013)

Σύμφωνα με τα μετεωρολογικά δεδομένα για τον οικισμό του Μετσόβου για 28 έτη (1961-2009), η ελάχιστη μέση μηνιαία θερμοκρασία σημειώθηκε τον Ιανουάριο του 2009 και άγγιξε τους  $-5.9^{\circ}\text{C}$ , ενώ η μέγιστη τον Ιούλιο του 1965 που έφθασε τους  $25.9^{\circ}\text{C}$  (Διάγραμμα 1). Από τα δεδομένα προκύπτει ότι το Μέτσοβο διακρίνεται για τις ιδιαίτερα χαμηλές θερμοκρασίες του. Η μέση ετήσια θερμοκρασία στην περιοχή ανέρχεται σε μόλις  $10^{\circ}\text{C}$ , τιμή ιδιαίτερα χαμηλή για τα ελληνικά δεδομένα. Οι βροχοπτώσεις αποτελούν χαρακτηριστικό της περιοχής, κάτι το οποίο αποδεικνύεται από το ύψος βροχής, το οποίο είναι αρκετά υψηλό, λόγω της ορειογραφικής κατακρήμνισης. Αυτό λειτουργεί ευνοϊκά στην ύπαρξη εκτεταμένων δασικών εκτάσεων, οι οποίες ανέρχονται σε 107.300 στρέμματα, σύμφωνα με στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ (Κατσουλάκος, 2013).

**Διάγραμμα 1:** Μέσο μηνιαίο ύψους βροχής κατά τα έτη 1915-2000 και μέση μηνιαία θερμοκρασία κατά τα έτη 1961-2009, Πηγή: Μετρήσεις Σταθμών ΕΜΥ, ΕΘΙΑΓΕ, Ιδία επεξεργασία

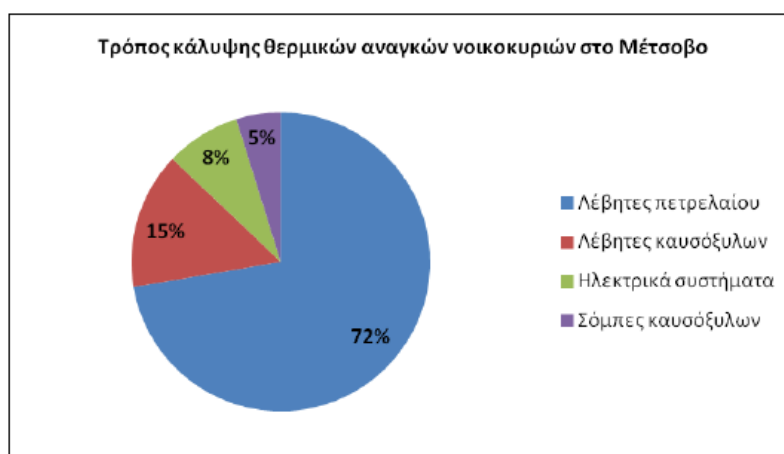


Τα νοικοκυριά στον οικισμό του Μετσόβου ανέρχονται σε 945 με βάση τα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ, ενώ τα ενεργά νοικοκυριά είναι περίπου 750 (που δεν κατοικούνται περιστασιακά και εμφανίζουν κατανάλωση όλο το χρόνο). Με βάση την απογραφή του 2001 της ΕΛΣΤΑΤ, οι κατοικίες που έχουν κατασκευαστεί πριν το 1980 αποτελούν το 62% του συνόλου και στις οποίες δεν έχει εφαρμοστεί ο Κανονισμός Θερμομόνωσης Κτιρίων, γεγονός αρνητικό για την ενεργειακή του απόδοση. Ο μέσος όρος του εμβαδού των κατοικιών είναι 76 m<sup>2</sup>. (Κατσουλάκος, 2013)

**Πίνακας 2:** Αριθμός κατοικιών ανά ηλικιακή κατηγορία και ποσοστό κατοικιών, αναλόγως του βασικού υλικού κατασκευής του φέροντα οργανισμού στον οικισμό του Μετσόβου, Πηγή: Κατσουλάκος, 2013

Ηλικιακές κατηγορίες	Αριθμός κατοικιών	Μπετόν	Ξύλο	Πέτρα	Φέρουσα τοιχοποιία από τούβλα
Πριν το 1960	294	-	1%	98%	1%
1961-1970	106	14%	6%	72%	8%
1971- 1980	67	51%	5%	30%	14%
1981-1995	247	87%	2%	7%	4%
Μετά το 1995	36	83%	3%	10%	4%

Η πλειοψηφία των νοικοκυριών χρησιμοποιεί λέβητες πετρελαίου, τόσο για τη θέρμανση των χώρων όσο και για τη θέρμανση του νερού χρήσης. Σε μικρότερο βαθμό χρησιμοποιούνται λέβητες καυσόξυλων. Πολύ περιορισμένη είναι η χρήση των τοπικών αντλιών θερμότητας για την κάλυψη θερμικών αναγκών. Ουσιαστικά δεν υπάρχει χρήση συστημάτων ψύξης, λόγω των μειωμένων θερμοκρασιών που επικρατούν στην περιοχή (Κατσουλάκος, 2013).



**Εικόνα 19:** Ποσοστά χρήσης ενεργειακών τεχνολογιών για κάλυψη θερμικών αναγκών των νοικοκυριών στο Μέτσοβο, Πηγή: Κατσουλάκος, 2013

Σύμφωνα με το Εθνικό Πληροφοριακό Σύστημα για την Ενέργεια, η κατανάλωση θερμικής ενέργειας στο δήμο Μετσόβου αποτυπώνεται στον ακόλουθο πίνακα:

**Πίνακας 3:** Κατανάλωση θερμικής ενέργειας στο δήμο Μετσόβου, σε ετήσια βάση, Πηγή: Καλιαμπάκος & Κατσουλάκος, 2010

Κατηγορία χρήσης θερμότητας	Καταναλισκόμενη θερμότητα (kWh)
Κατοικίες προ 1970	9.037.086
Κατοικίες 1970-1985	4.691.756
Κατοικίες 1985-1995	1.536.784
Κατοικίες μετά 1996	243.431
<b>Σύνολο</b>	<b>15.509.057</b>
Θερμό νερό	927.016

Η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζει αιχμές τις περιόδους έντονης τουριστικής κίνησης. Λόγω της ουσιαστικά μη – χρήσης κλιματιστικών οι αιχμές της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι ιδιαίτερα έντονες. Η μέγιστη ζήτηση ισχύος στη γραμμή του Μετσόβου δεν ξεπερνά μέχρι στιγμής τα 3,5 MW. Λαμβάνοντας υπ' όψη τον πληθυσμό των περιοχών (δήμο Μετσόβου και Κοινότητα Μηλιάς), η ανά κάτοικο καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανέρχεται (για τα έτη 2003-2009) σε 3,3 MWh, ποσό σημαντικά μικρότερο από τις περίπου 5 MWh, του μέσου όρου της χώρας. (Κατσουλάκος & Καλιαμπάκος, 2010)

Η περιοχή του Μετσόβου καλύπτει τις ανάγκες για ηλεκτρική ενέργεια, μέσω του υδροηλεκτρικού σταθμού του Αώου (ισχύος 2x120MW). Το μικρό υδροηλεκτρικό έργο που λειτουργεί στην περιοχή του Ανθοχωρίου (ισχύος 4,2 MW) συνεισφέρει επίσης ένα μικρό ποσοστό της αναγκαίας ενέργειας. (Κατσουλάκος & Καλιαμπάκος, 2010)

### 2.1.2. Το Μετσόβιο Κέντρο Διεπιστημονικής Έρευνας (ΜΕ.Κ.Δ.Ε)

Το Μετσόβιο Κέντρο Διεπιστημονικής Έρευνας (ΜΕ.Κ.Δ.Ε.) του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου ιδρύθηκε στο Μέτσοβο το 1993 από το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο και η λειτουργία του ξεκίνησε το Δεκέμβριο του 2005, με τα πρώτα επιστημονικά του στελέχη και την προμήθεια του βασικού εξοπλισμού του. Από το 2008 διεξάγεται στις εγκαταστάσεις του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. του Ε.Μ.Π. το Διεπιστημονικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών (Δ.Π.Μ.Σ.) του Ε.Μ.Π. «Περιβάλλον και Ανάπτυξη των Ορεινών Περιοχών». Η

αποστολή του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. του Ε.Μ.Π. περιλαμβάνει τη διεξαγωγή ερευνών, μελετών και σεμιναρίων σχετικών με το ευρύτερο αντικείμενο του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. του Ε.Μ.Π. Συγκεκριμένα έχει ως στόχο τη συμβολή στην ολοκληρωμένη ανάπτυξη και προστασία του ορεινού περιβάλλοντος και των τοπικών ευρωπαϊκών πολιτισμών και τη δημιουργία ενός Ευρωπαϊκού Δικτύου υπό την αιγίδα του Κέντρου με φορείς ανάλογων δραστηριοτήτων. Απώτερος σκοπός είναι η αξιοποίησή του από τους πανεπιστημιακούς, πολιτιστικούς, ερευνητικούς και παραγωγικούς φορείς, ώστε το Μέτσοβο να γίνει Ευρωπαϊκό Κέντρο αποκεντρωμένης διεπιστημονικής, εκπαιδευτικής, ερευνητικής, τεχνολογικής και πολιτισμικής δραστηριότητας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. (ΝΤΥΑ, 2014)

### **Κτιριακές εγκαταστάσεις**

Οι εγκαταστάσεις του Μετσόβιου Κέντρου Διεπιστημονικής Έρευνας (ΜΕ.Κ.Δ.Ε) αποτελούνται από τέσσερις κτιριακές ενότητες: Το κτίριο του Ξενώνα, το κτίριο Εστιατορίου-Κυλικείου, το κτίριο Υποδοχής-Διοίκησης και το κτίριο Σεμιναρίων. Τα κτίρια είναι κτισμένα σε κεκλιμένο έδαφος, εμβαδού 4.218 m<sup>2</sup>, με συνολική επιφάνεια κτιρίων 914 m<sup>2</sup>. Από αυτά, τα τρία κτίρια είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους με εσωτερικούς διαδρόμους ενώ το κτίριο του ξενώνα διατηρεί διακριτική απόσταση από το υπόλοιπο συγκρότημα για λόγους ησυχίας, καθώς στεγάζει τα δωμάτια φιλοξενίας επιστημονικού προσωπικού και φοιτητών (πτέρυγα υπνοδωματίων). Συνεπώς, το συγκρότημα του ΜΕ.Κ.Δ.Ε έχει πολλαπλή χρήση, γεγονός που πρέπει να ληφθεί υπόψη στη διεξαγωγή της παρούσας εργασίας. Χρησιμοποιείται ως ξενώνας ετήσιας λειτουργίας με υπνοδωμάτια, κουζίνα, σιδερωτήριο και χώρους συνάθροισης (σαλόνι, εστιατόριο, κυλικείο), ως κτίριο τριτοβάθμιας εκπαίδευσης με βιβλιοθήκη/ αναγνωστήριο, αίθουσες διδασκαλίας, αίθουσες διεξαγωγής συνεδρίων/ εκδηλώσεων και ως κτίριο με γραφεία της γραμματείας και του επιστημονικού προσωπικού (υποδοχή-διοίκηση).

Αναλυτικότερα, το κτίριο του Ξενώνα αποτελείται από κουζίνα, τρεις βοηθητικούς χώρους σιδερωτηρίου, πλυντηρίων και αποθήκευσης και 16 δίκλινα υπνοδωμάτια με μπάνιο. Στο ισόγειο βρίσκονται η κουζίνα, οι βοηθητικοί χώροι και 4 υπνοδωμάτια, εκ των οποίων ένα διαθέτει τζάκι και μπαλκόνι και ένα πληροί προδιαγραφές για Α.Μ.Ε.Α. Ο πρώτος όροφος αποτελείται από 8 υπνοδωμάτια, εκ των οποίων το ένα διαθέτει μπαλκόνι και ο δεύτερος όροφος περιλαμβάνει 4 υπνοδωμάτια εκ των οποίων το ένα διαθέτει ξεχωριστό δωμάτιο με σαλόνι και τζάκι. Η σύνδεση των ορόφων γίνεται μέσω ξύλινης σκάλας, αλλά υπάρχει και ανελκυστήρας που λειτουργεί σε ειδικές περιπτώσεις. Επιπλέον, στο κτίριο υπάρχει υπόγειος χώρος, ο οποίος λειτουργεί κυρίως σαν χώρος αποθήκευσης.



Το κτίριο του Εστιατορίου αποτελείται από ισόγειο, ημιυπόγειο (καθώς το έδαφος είναι κεκλιμένο) και υπόγειο και η χρήση του θεωρείται ως ξενώνα ετήσιας λειτουργίας, καθώς αποτελεί χώρο συνάθροισης, συμπληρωματικά του ξενώνα. Στο ισόγειο βρίσκεται ένας χώρος εστίασης που αποτελείται από χώρο υποδοχής, εστιατόριο, σαλόνι με τζάκι, κουζίνα και 2 μπάνια (WC), εκ των οποίων το ένα μπορεί να εξυπηρετήσει Α.Μ.Ε.Α. Μέσω ξύλινης σκάλας πραγματοποιείται η σύνδεση με τον ημιυπόγειο χώρο, οποίος περιλαμβάνει κυλικείο, κουζίνα και μπάνιο και συνδέεται με το κτίριο Υποδοχής/ Διοίκησης μέσω διαδρόμου.

Τα κτίρια Υποδοχής/ Διοίκησης και Σεμιναρίων αποτελούνται από τρία επίπεδα και λαμβάνονται ως ένα ενιαίο κτίριο στην παρούσα εργασία, καθώς ενώνονται μέσω εσωτερικού διαδρόμου. Το πρώτο επίπεδο βρίσκεται λίγο χαμηλότερα από το επίπεδο του εδάφους (το ύψος των παραθύρων συναντά το έδαφος από τη δεξιά μεριά της πλαγιάς) και περιλαμβάνει χώρους αποθήκευσης, το λεβητοστάσιο και ένα χώρο φιλοξενίας με υπνοδωμάτιο και μπάνιο. Το δεύτερο επίπεδο (επίπεδο του εδάφους) περιλαμβάνει αρχικά τους χώρους του κτιρίου Υποδοχής/Διοίκησης, δηλαδή χώρο υποδοχής (είσοδος), τα γραφεία της γραμματείας, σαλόνι με τζάκι και ανελκυστήρα. Στην συνέχεια, εσωτερικός διάδρομος ενώνει τα δύο κτίρια και οδηγεί σε τρεις αίθουσες γραφείων επιστημονικού προσωπικού, 2 κοινόχρηστα μπάνια, 2 αίθουσες με ηλεκτρονικό εξοπλισμό ενώ στο τέλος του διαδρόμου υπάρχουν 4 αίθουσες διδασκαλίας-εργαστηρίων. Τέλος το τρίτο επίπεδο αποτελείται από αίθουσα που λειτουργεί ως βιβλιοθήκη/αναγνωστήριο, αίθουσα συμβουλίου, ανελκυστήρα και αίθουσα συνεδρίων/εκδηλώσεων. Η σύνδεση της αίθουσας συνεδρίων με το υπόλοιπο κτίριο πραγματοποιείται μέσω ενός κλειστού, μη θερμαινόμενου χώρου (μικρός διάδρομος).

Τα υλικά κατασκευής των κτιριακών εγκαταστάσεων του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. αποτελούν γνώρισμα της παραδοσιακής οικοδομικής τεχνικής του Μετσόβου, προσαρμοσμένα στο σύγχρονο τρόπο δόμησης. Συγκεκριμένα, ο φέρων οργανισμός του κτιρίου είναι κατασκευασμένος από οπλισμένο σκυρόδεμα αλλά οι εξωτερικοί τοίχοι είναι επενδεδυμένοι με πέτρα (δρομική πλινθοδομή πάχους 0.10 m ή μπατική πλινθοδομή πάχους 0.20 m), δηλαδή η τοιχοποιία αποτελείται από οπτοπλινθοδομή-μόνωση-λιθένδυση. Οι στέγες είναι καλυμμένες με σχιστόπλακες και τα κουφώματα είναι ξύλινα με διπλό υαλοπίνακα. Οι εξωτερικοί τοίχοι, οι οροφές και τα δάπεδα που έρχονται σε επαφή με το έδαφος και τους μη θερμαινόμενους χώρους είναι μονωμένα με μονωτικό υλικό την πολυστερίνη και πάχος μόνωσης έως 10 cm, γεγονός που υποδηλώνει ότι κατά την κατασκευή του κτιρίου δόθηκε αρκετή προσοχή στην εξασφάλιση ενός καλού

επιπέδου θερμομόνωσης. Οι απώλειες θερμότητας από τα δομικά στοιχεία είναι σε ικανοποιητικό επίπεδο, με μοναδικό μελανό σημείο την πρόχειρη σε μερικά σημεία αρμολόγηση, η οποία επιτρέπει την είσοδο υγρασίας προς το εσωτερικό του τοίχου, επηρεάζοντας αρνητικά τη θερμική συμπεριφορά του κτιρίου. Τα κουφώματα έχουν ιδιαίτερως αυξημένες θερμικές απώλειες, λόγω κακής συναρμογής σε αρκετά σημεία και αλλοιώσεων στο αρχικό σχήμα (πετσικάρισμα), με αποτέλεσμα την εισροή εξωτερικού αέρα. (Κατσουλάκος, 2011).





*Εικόνα 20: Το Μετσόβιο Κέντρο Διεπιστημονικής Έρευνας, σε φάσεις κατασκευής και λειτουργίας*

### **Ηλεκτρομηχανολογικές Εγκαταστάσεις Θέρμανσης/Ψύξης/ ΖΝΧ**

Για την κάλυψη των θερμικών αναγκών του συγκροτήματος υπάρχουν 2 λέβητες πετρελαίου. Υπάρχει σύστημα ψύξης για την αίθουσα εκδηλώσεων καθώς και σύστημα αερισμού στους χώρους υποδοχής και στο κτίριο εστιατορίου-κυλικείου. Η θερμότητα για το ζεστό νερό χρήσης (ΖΝΧ) παράγεται από θερμοαντλίες (boilers) διπλής ενέργειας αλλά και από τους λέβητες πετρελαίου, μέσω 2 δεξαμενών 300 lt η κάθε μία. Η διανομή της θερμότητας στα κτίρια γίνεται μέσω σωμάτων νερού (καλοριφέρ) και fan coil units. Συμπληρωματικά, υπάρχουν ηλεκτρικά θερμικά σώματα τοποθετημένα στα υπνοδωμάτια του ξενώνα και σε κάποιους κοινόχρηστους χώρους. Το έτος κατασκευής των λεβήτων είναι το 2003. Στη συνέχεια παρουσιάζεται πίνακας με τα λεπτομερή χαρακτηριστικά τους.

*Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά συστήματος λέβητα πετρελαίου*

<b>Λέβητας Πετρελαίου OE COSTAR, ELINOX</b>	
<b>Θερμοκρασία νερού</b>	70 °C
<b>Βαθμός απόδοσης</b>	89,2%
<b>Ωφέλιμη ονομαστική ισχύς</b>	174,5 KW
<b>Παροχή Καυσίμου</b>	16,9 kg/h
<b>Θερμοκρασία νερού Προσαγωγής</b>	90 °C
<b>Μέγιστη πίεση λειτουργίας</b>	6 bar

Το δίκτυο διανομής αποτελείται από 6 κυκλοφορητές, οι οποίοι συνδέονται με το λέβητα πετρελαίου για τη θέρμανση των χώρων και για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (ZNX). Συγκεκριμένα, οι 4 από αυτούς αφορούν την προσαγωγή θέρμανσης των τεσσάρων κτιρίων, δηλαδή του ξενώνα (K1), του κτιρίου Εστιατόριο – Κυλικείο (K2) του κτιρίου με τις αίθουσες σεμιναρίων (K3) και του κτιρίου υποδοχής-διοίκησης (K4). Οι υπόλοιποι 2 κυκλοφορητές συνδέονται με τα Boiler (K5, K6) για Ζεστό Νερό Χρήσης. Αρνητικό στοιχείο είναι η μη ύπαρξη κυκλώματος αντιστάθμισης, στοιχείο ουσιώδες για μια εγκατάσταση αυτού του μεγέθους. Στη συνέχεια δίνεται πίνακας με τα λεπτομερή χαρακτηριστικά του συστήματος.

*Πίνακας 5: Χαρακτηριστικά συστήματος ηλεκτρικού θερμαντήρα*

<b>Boiler</b>	
<b>Έτος Κατασκευής</b>	2003
<b>Χωρητικότητα</b>	300 lt
<b>Θερμοκρασία νερού</b>	53 °C - 54 °C
<b>Μέγιστη Θερμοκρασία νερού</b>	99 °C
<b>Πίεση</b>	8 bar

Λειτουργούν 4 θερμοστάτες στα κτίρια, για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας των εσωτερικών χώρων, στα εξής σημεία: Στο διάδρομο του ισογείου του κτιρίου του ξενώνα, στο κυλικείο, στην αίθουσα συνεδρίου- εκδηλώσεων και στο διάδρομο που οδηγεί στα εργαστήρια. Επίσης, ο αριθμός, οι θέσεις και ο τύπος των θερμοστατών (αναλογικοί) δεν συντελεί στην καλή, αυτοματοποιημένη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης.

Με βάση τα τιμολόγια αγοράς πετρελαίου και τους λογαριασμούς της ΔΕΗ, για τα έτη 2010-2013, οι μέσες τιμές κατανάλωσης του πετρελαίου για τη θέρμανση και τη χρήση ζεστού νερού του συγκροτήματος, παρουσιάζεται σε μηνιαία (διάγραμμα 2) και σε ετήσια βάση (διάγραμμα 3). Παρατηρείται ότι η ετήσια ποσότητα πετρελαίου που καταναλώνεται είναι κατά μέσο όρο 20.000 lit. Το ετήσιο κόστος για τα έτη 2010-2013 φτάνει τα 25.000 ευρώ (διάγραμμα 4), ακολουθώντας αυξητική τάση μέχρι το 2011, κυρίως λόγω αύξησης της τιμής του πετρελαίου, σύμφωνα με το διάγραμμα 5. Τέλος παρουσιάζονται οι ετήσιες καταναλώσεις ηλεκτρικού ρεύματος, στο διάγραμμα 6. Είναι εμφανές ότι η μείωση της κατανάλωσης του πετρελαίου το έτος 2012-2013, συνοδεύεται από αντίστοιχη αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος, λόγω αυξημένης χρήσης των ηλεκτρικών σωμάτων για θέρμανση του χώρου.

**Διάγραμμα 2:** Κατανάλωση πετρελαίου στο ΜΕ.Κ.Δ.Ε. σε μηνιαία βάση για τα έτη 2010-2013



**Διάγραμμα 3:** Κατανάλωση πετρελαίου στο ΜΕ.Κ.Δ.Ε. σε ετήσια βάση



**Διάγραμμα 4:** Ετήσιο Κόστος Κατανάλωσης πετρελαίου για τα έτη 2009- 2012





**Διάγραμμα 5:** Πληρωτέα τιμή λίτρου πετρελαίου για τα έτη 2009- 2013



**Διάγραμμα 6:** Ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος, έτη 2010-2013



## 2.2. Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίου με χρήση του λογισμικού ΤΕΕ- KENAK

### 2.2.1. Περιγραφή Λογισμικού

Το ειδικό λογισμικό ΤΕΕ-KENAK αναπτύχθηκε από την Ομάδα Εξοικονόμησης Ενέργειας, του Ινστιτούτου Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΙΕΠΒΑ) του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ) στο πλαίσιο του προγράμματος συνεργασίας με το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας (ΤΕΕ), για την ενεργειακή επιθεώρηση και πιστοποίηση κτιρίων (έκδοση του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης – ΠΕΑ), την ενεργειακή μελέτη κτιρίων και την επιθεώρηση λεβήτων/εγκαταστάσεων θέρμανσης και κλιματισμού, σύμφωνα με ευρωπαϊκά πρότυπα (ΕΛΟΤ EN ISO 13790, κ.α.) και με την οδηγία 2002/91/ΕΚ. (ΤΕΕ, 2014)

Μέσω των τελικών μελετών σχεδιασμού τεκμηριώνεται η εφαρμογή ή η αδυναμία εφαρμογής (στο βαθμό που αυτό επιτρέπεται) των ελάχιστων προδιαγραφών (σχεδιασμός κτιρίου, κτιριακού κελύφους και Η/Μ εγκαταστάσεων) για τα νέα και ριζικά ανακαινιζόμενα κτίρια, όπως ορίζονται στο άρθρο 8 του ΚΕΝΑΚ. (ΤΕΕ, 2014)

Το λογισμικό ΤΕΕ-ΚΕΝΑΚ αποτελείται από 5 επιμέρους λογισμικά με κοινή φόρμα εισαγωγής δεδομένων και είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με τον Κανονισμό Ενεργειακής Επιθεώρησης Κτιρίων και τις σχετικές Τεχνικές Οδηγίες του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.). Τα επιμέρους λογισμικά είναι τα εξής:

- Ενεργειακή Μελέτη Κτιρίου
- Ενεργειακή Επιθεώρηση Κτιρίου
- Ενεργειακή Επιθεώρηση Λέβητα
- Ενεργειακή Επιθεώρηση Εγκατάστασης Θέρμανσης
- Ενεργειακή Επιθεώρηση Εγκατάστασης Κλιματισμού

### **2.2.2. Εισαγωγή Δεδομένων**

Τα δεδομένα εισαγωγής του λογισμικού ΤΕΕ- ΚΕΝΑΚ αφορούν τα γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους (θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών στοιχείων, σκιάσεις κ.α.), καθώς και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των απαραίτητων Η/Μ εγκαταστάσεων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης/ ενεργειακής κατάταξης του κτιρίου. Τα δεδομένα και τα αποτελέσματα των υπολογισμών, εκτυπώνονται σε αντίστοιχες αναφορές του λογισμικού. (ΤΕΕ, 2014)

Πριν το στάδιο της εισαγωγής δεδομένων του κτιρίου, προσδιορίζεται η κλιματική ζώνη της περιοχής μελέτης, εισάγοντας την πόλη στην οποία ανήκει (ή την πλησιέστερη σε αυτή αν δεν υπάρχουν κλιματικά δεδομένα για τη συγκεκριμένη). Σε κάθε νομό, οι περιοχές που βρίσκονται σε υψόμετρο άνω των 500 μέτρων, εντάσσονται στην επόμενη ψυχρότερη κλιματική ζώνη από εκείνη στην οποία ανήκουν. (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε., 2010)

Η εισαγωγή δεδομένων πραγματοποιείται αρχικά σε επίπεδο κτιρίου, με στοιχεία που αφορούν:

- Τη χρήση του κτιρίου
- Τη συνολική επιφάνεια και το συνολικό όγκο σε  $m^2$  και  $m^3$  αντίστοιχα
- Τη θερμαινόμενη και ψυχόμενη επιφάνεια σε  $m^2$  (και όγκο αντίστοιχα)
- Τον αριθμό των ορόφων του κτιρίου
- Τον αριθμό θερμικών ζωνών, μη θερμαινόμενων χώρων και ηλιακών χώρων

Στη συνέχεια γίνεται διαχωρισμός σε επίπεδο θερμαινόμενης ζώνης και μη θερμαινόμενων χώρων/ ηλιακών χώρων εφόσον υπάρχουν στο κτίριο μελέτης.

Σε επίπεδο θερμικής ζώνης, εισάγονται γενικά δεδομένα σχετικά με τη χρήση και τη συνολική επιφάνεια της ζώνης, τη μέση κατανάλωση ΖΝΧ και τη διείσδυση αέρα (κουφώματα, καμινάδες, θυρίδες εξαερισμού). Για κάθε θερμική ζώνη πραγματοποιείται αναλυτική καταγραφή των δομικών στοιχείων του κελύφους και των χαρακτηριστικών τους ως εξής:

- Αδιαφανείς Επιφάνειες σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα
- Επιφάνειες σε επαφή με το φυσικό έδαφος
- Διαφανείς Επιφάνειες σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα

Ακόμα, συμπληρώνονται δεδομένα σχετικά με τα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα του κτιρίου για θέρμανση, ψύξη, ΖΝΧ, φωτισμό και εφόσον υπάρχουν στο κτίριο ύγρανση, μηχανικό αερισμό και ηλιακό συλλέκτη. Τα δεδομένα αυτά αφορούν:

- Την παραγωγή
- Το δίκτυο διανομής
- Τις τερματικές μονάδες
- Τις βοηθητικές μονάδες

Οι μη θερμαινόμενοι/ ηλιακοί χώροι, αν υπάρχουν, περιγράφονται όπως και οι θερμικές ζώνες, δηλαδή με τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών των αδιάφανων και διαφανών επιφανειών του κελύφους τους και των επιφανειών που βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος.

### **2.2.3. Μεθοδολογία**

Τα δεδομένα που απαιτούνται για την εκτέλεση του προγράμματος για το κτίριο μελέτης (ΜΕ.Κ.Δ.Ε.) της παρούσας εργασίας, προέκυψαν από τα αρχιτεκτονικά και τοπογραφικά σχέδια του κτιρίου.

Το κτίριο μελέτης βρίσκεται στο Μέτσοβο του νομού Ιωαννίνων. Ως πλησιέστερη πόλη για την ένταξη σε κλιματική ζώνη, εισάγονται αρχικά τα Ιωάννινα, που ανήκουν στην κλιματική ζώνη Γ και είναι η πλησιέστερη γεωγραφικά πόλη στο Μέτσοβο για την οποία το λογισμικό TEE-KENAK δίνει τη δυνατότητα εισαγωγής κλιματικών δεδομένων για την εκτέλεση του προγράμματος. Καθώς το υψόμετρο του Μετσόβου είναι πάνω από 500μ., η περιοχή μελέτης εντάσσεται στην κλιματική ζώνη Δ. Για λόγους πληρότητας, το πρόγραμμα επανεκτελείται, με πόλη εισαγωγής την Καστοριά, η οποία παρουσιάζει μέσες



μηνιαίες θερμοκρασίες πλησιέστερες στις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες του Μετσόβου σε σχέση με την πόλη των Ιωαννίνων, σύμφωνα με την 3<sup>η</sup> Τεχνική Οδηγία του Τ.Ε.Ε για τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής. Η Καστοριά εντάσσεται στην κλιματική ζώνη Δ.

Το κτίριο μελέτης χωρίστηκε σε τέσσερις θερμικές ζώνες, ανάλογα με τη πραγματική εικόνα λειτουργίας του κάθε χώρου, τη χρήση και τα κοινά ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα.

Έτσι, οι ζώνες προς εξέταση για την ενεργειακή τους απόδοση είναι οι εξής:

- Κτίριο Ξενώνα (χρήση ξενώνα ετήσιας λειτουργίας)
- Κτίριο Εστιατορίου/ Κυλικείου (χρήση ξενώνα ετήσιας λειτουργίας)
- Κτίρια Υποδοχής- Διοίκησης/ Σεμιναρίων (χρήση τριτοβάθμιας εκπαίδευσης/ αίθουσες διδασκαλίας)
- Κτίριο Σεμιναρίων: Αίθουσα Συνεδρίων (χρήση χώρου συνεδρίων)

Οι αντίστοιχες θερμαινόμενες επιφάνειες της κάθε ζώνης των κτιρίων είναι:

- Κτίριο Ξενώνα: 610.17 m<sup>2</sup>
- Κτίριο Εστιατορίου: 278,48 m<sup>2</sup>
- Κτίριο Υποδοχής/ διοίκησης και Σεμιναρίων: 776.16 m<sup>2</sup>
- Αίθουσα Συνεδρίων: 275.47 m<sup>2</sup>

Σε επίπεδο ζώνης, η ανηγμένη θερμοχωρητικότητα λαμβάνεται ίση με 370 kJ/m<sup>2</sup>K), για όλα τα κτίρια, καθώς θεωρείται πολύ βαριά κατασκευή, λόγω χρήσης οπλισμένου σκυροδέματος και επένδυσης εξωτερικά με πέτρα.

Για τον υπολογισμό της κατανάλωσης θερμικής ενέργειας για παραγωγή Ζ.Ν.Χ. κάθε ζώνης καθορίστηκε, σύμφωνα με τον πίνακα 2.5. της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010 (σελ. 31), η τυπική ημερήσια κατανάλωση Ζ.Ν.Χ. σε θερμοκρασία 45°C, ανά άτομο/χρήστη του υπό μελέτη κτιρίου ή της υπό μελέτη ζώνης, καθώς επίσης και η ετήσια κατανάλωση.

Το κτίριο του ξενώνα, έχοντας χρήση ξενώνα ετήσιας λειτουργίας, έχει μέση κατανάλωση σε ζεστό νερό χρήσης ετησίως ίση με τον αριθμό των κλινών (17 κλίνες) πολλαπλασιασμένη με τον αντίστοιχο συντελεστή του πίνακα 2.5 (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010, σελ. 31) για τη συγκεκριμένα χρήση, ο οποίος προκύπτει ίσος με 21.90 m<sup>3</sup>/κλίνη/έτος. Έτσι, η συνολική μέση ετήσια κατανάλωση ΖΝΧ του κτιρίου του ξενώνα προκύπτει 372.3 m<sup>3</sup>. Η μέση ετήσια κατανάλωση του κτιρίου Εστιατόριο- Κυλικείο υπολογίστηκε ίση με 3.12 m<sup>3</sup>, καθώς θεωρήθηκε ότι γίνεται χρήση του ΖΝΧ μόνο για πλύσιμο πιάτων, 3 φορές τη βδομάδα, με κατανάλωση 12 lt τη φορά. Για το κτίριο της

Υποδοχής/ Διοίκησης και Σεμιναρίων, με χρήση κτιρίου τριτοβάθμιας εκπαίδευσης, λαμβάνεται μηδενική κατανάλωση σε ΖΝΧ.

Η διείσδυση του αέρα από τα κουφώματα προκύπτει από το γινόμενο του συνολικού εμβαδού των ανοιγμάτων κάθε ζώνης και των τιμών αερισμού (για κούφωμα με ξύλινο πλαίσιο) του πίνακα 3.26 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010 (σελ. 82).

Για κάθε θερμική ζώνη καταγράφηκαν όλα τα στοιχεία του κελύφους του κτιρίου, με τις διαστάσεις τους και με τις επιφάνειες που έρχονται σε επαφή (εξωτερικό περιβάλλον, έδαφος, μη θερμαινόμενος χώρος). Τα χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων που προσδιορίστηκαν είναι τα εξής:

- Τύπος δομικού στοιχείου
- Προσανατολισμός στοιχείου
- Κλίση και εμβαδόν επιφάνειας δομικού στοιχείου
- Συντελεστής θερμοπερατότητας ( $W/(m^2K)$ ) στοιχείου
- Συντελεστής θερμικού κέρδους για τα διαφανή δομικά στοιχεία
- Συντελεστής ανακλαστικότητας και απορροφητικότητας θερμικής ακτινοβολίας για τα αδιαφανή δομικά στοιχεία
- Συντελεστής σκίασης

Ο συνολικός συντελεστής σκίασης των δομικών στοιχείων, ο οποίος εξαρτάται από το είδος των σκιάστρων (οριζόντια, πλευρικά εξωτερικά εμπόδια και σκίαστρα) και την γεωμετρία τους, προσδιορίστηκε σύμφωνα με τη μεθοδολογία και τους πίνακες της αντίστοιχης ΤΟΤΕΕ περί συντελεστών σκίασης (ΤΟΤΕΕ 20701-1/2010, σελ. 70, Β' έκδοση) ως γινόμενο των επιμέρους συντελεστών:

- του συντελεστή σκίασης από εμπόδια του περιβάλλοντος χώρου (γειτνιάζοντα κτίρια κ.τ.λ.)
- του συντελεστή σκίασης από πλευρικά εμπόδια
- του συντελεστή σκίασης από οριζόντιο πρόβολο ή εξωτερικό σκίαστρο κατά περίπτωση

Για λόγους απλοποίησης, για τα κατακόρυφα δομικά αδιαφανή στοιχεία, με συντελεστή θερμοπερατότητας μικρότερο από  $0,6 [W/(m^2K)]$ , ο συνολικός συντελεστής σκίασης θεωρήθηκε ίσος με  $0,9$  (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010, σελ. 70, Β' έκδοση).

Οι θερμογέφυρες λαμβάνονται με προσαύξηση του συντελεστή θερμοπερατότητας του κάθε δομικού στοιχείου κατά  $\Delta U = 0,10 [W/(m^2K)]$ .

Στη συνέχεια έγινε καταγραφή των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης, ΖΝΧ, φωτισμού και μηχανικού αερισμού κάθε θερμικής ζώνης. Για κάθε ένα από τα παραπάνω, εισάχθηκαν δεδομένα σχετικά με τα εξής:

- Σύστημα παραγωγής (λέβητες, τοπικός ηλεκτρικός θερμαντήρας κτλ.), με δεδομένα για τον τύπο, την πηγή ενέργειας, την ισχύ, το βαθμό απόδοσης και την περίοδο λειτουργίας του συστήματος. Ως περίοδος λειτουργίας θέρμανσης θεωρείται το διάστημα Οκτώβρης- Απρίλιος, ενώ η περίοδος λειτουργίας ψύξης θεωρείται το διάστημα Μάιος- Σεπτέμβρης.
- Δίκτυο διανομής (θερμού/ψυχρού μέσου), με δεδομένα σχετικά με τον τύπο, την ισχύ, το χώρο διέλευσης και το βαθμό απόδοσης
- Τερματικές μονάδες (καλοριφέρ/ κλιματιστικά) ή σύστημα αποθήκευσης (δεξαμενή) για ΖΝΧ, με δεδομένα για τον τύπο και το βαθμό απόδοσης
- Βοηθητικές μονάδες (κυκλοφορητές), με δεδομένα για τον τύπο, το πλήθος και την ισχύ

Όσον αφορά στη θέρμανση, η ισχύς του συστήματος του δικτύου διανομής προέκυψε από το γινόμενο 3 παραγόντων: της ισχύος του συστήματος παραγωγής (λέβητας), του βαθμού απόδοσής του και του ποσοστού εμβαδού της θερμικής ζώνης. Ο αντίστοιχος βαθμός απόδοσης προσδιορίστηκε μέσω του υπολογισμού των απωλειών του δικτύου διανομής από τον πίνακα 4.11 (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010, σελ. 105) για διέλευση δικτύου σε εσωτερικούς χώρους ή/και 20% σε εξωτερικούς χώρους, για μόνωση σωλήνων ίση με του κτιρίου αναφοράς και για υψηλές θερμοκρασίες προσαγωγής θερμικού μέσου ( $\geq 60^{\circ}\text{C}$ ). Ο βαθμός απόδοσης των τερματικών μονάδων προκύπτει από τον τύπο [4.7] της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010, σελ. 107, ίσος με 0.93 για τον ξενώνα και 0.95 για τις υπόλοιπες ζώνες. Οι βοηθητικές μονάδες για όλες τις ζώνες είναι κυκλοφορητές, με ισχύ ίση με  $5 \text{ W/m}^2$ , σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010.

Σχετικά με την ψύξη της κάθε ζώνης, η ισχύς του συστήματος λαμβάνεται μηδενική, καθώς δεν πραγματοποιείται λειτουργία για ψύξη, λόγω των ήπιων θερμοκρασιών της θερινής περιόδου στην περιοχή.

Η παραγωγή του ζεστού νερού χρήσης (ΖΝΧ) πραγματοποιείται μέσω του λέβητα και τοπικού ηλεκτρικού θερμαντήρα (boiler). Ο τοπικός ηλεκτρικός θερμαντήρας θεωρείται ότι λειτουργεί εξ' ολοκλήρου (χωρίς τη συνεισφορά του λέβητα) τους μήνες Μάιο-Σεπτέμβρη, για την παραγωγή ΖΝΧ. Ο υπολογισμός του βαθμού απόδοσης του δικτύου διανομής για ψύξη έγινε ομοίως με τη θέρμανση, όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

Μηχανικός αερισμός λειτουργεί μόνο στο κτίριο Υποδοχής/Διοίκησης- Σεμιναρίων. Ο υπολογισμός του απαιτούμενου νωπού αέρα έγινε σύμφωνα με τον πίνακα 2.3. της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010 (σελ. 25) και λαμβάνεται (ανάλογα με τη χρήση του κτιρίου) ίσος με 27.5 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup> για την ζώνη της αίθουσας συνεδρίων και 11 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup> για τη ζώνη του υπόλοιπου κτιρίου Υποδοχής/διοίκησης -Σεμιναρίων.

#### 2.2.4. Αποτελέσματα

Όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση και κατάταξη του Μετσόβιου Κέντρου Διεπιστημονικής Έρευνας (ΜΕ.Κ.Δ.Ε.), το πρόγραμμα ΤΕΕ-KENAK εκτελέστηκε λαμβάνοντας ως αντιπροσωπευτική πόλη, με πλησιέστερα κλιματικά δεδομένα α) τα Ιωάννινα και β) την Καστοριά. Τα αποτελέσματα για τις δύο παραπάνω περιπτώσεις, συνοψίζονται στους πίνακες που ακολουθούν (Πίνακες 6 και 7).

**Πίνακας 6:** Πρωτογενής ενεργειακή κατάταξη κτιριακών ενοτήτων ΜΕΚΔΕ με αντιπροσωπευτική πόλη τα Ιωάννινα, για το υπάρχον κτίριο και το κτίριο αναφοράς (Κ.Α.)

Κτιριακή ενότητα	Κατάταξη	Πρωτογενής Ενεργειακή κατανάλωση (kWh/m <sup>2</sup> * year)	Πρωτογενής Ενεργειακή κατανάλωση Κ.Α. (kWh/m <sup>2</sup> * year)
Ξενώνας	Γ	421.2	370.4
Εστιατόριο	Γ	380.2	354.4
Υποδοχή/Διοίκηση - Σεμινάρια	Γ	230.8	211.6

**Πίνακας 7:** Πρωτογενής ενεργειακή κατάταξη κτιριακών ενοτήτων ΜΕΚΔΕ με αντιπροσωπευτική πόλη την Καστοριά, για το υπάρχον κτίριο και το κτίριο αναφοράς (Κ.Α.)

Κτιριακή ενότητα	Κατάταξη	Πρωτογενής Ενεργειακή κατανάλωση (kWh/m <sup>2</sup> * year)	Πρωτογενής Ενεργειακή κατανάλωση Κ.Α. (kWh/m <sup>2</sup> * year)
Ξενώνας	Γ	434.5	376.2
Εστιατόριο	Γ	397.5	363.7
Υποδοχή/Διοίκηση - Σεμινάρια	Γ	262.7	226.0

Σε πρώτο στάδιο, παρατηρούνται οι αυξημένες ενεργειακές καταναλώσεις σε πρωτογενή ενέργεια τόσο για το υπάρχον κτίριο, όσον και για το κτίριο αναφοράς στην περίπτωση της πόλης της Καστοριάς ως αντιπροσωπευτική πόλη για τα κλιματικά

δεδομένα της περιοχής μελέτης, έναντι των Ιωαννίνων. Συμπεραίνεται ότι κατάλληλη εισαγωγή πλησιέστερης πόλης στην περιοχή μελέτης, όχι μόνο με βάση τις γεωγραφικές συντεταγμένες αλλά και λαμβάνοντας υπόψη το κλιματολογικό προφίλ της περιοχής, παίζει καθοριστικό ρόλο στα τελικά αποτελέσματα των ενεργειακών καταναλώσεων του κτιρίου, με χρήση του λογισμικού TEE-KENAK.

Ακολούθως, σχετικά με την ενεργειακή κατάταξη του συγκροτήματος, και στις δύο περιπτώσεις όλα τα κτίρια του συγκροτήματος εντάσσονται στην κατηγορία Γ, δηλαδή ο λόγος της ενεργειακής κατανάλωσης, ανηγμένης σε πρωτογενή ενέργεια, του υπό μελέτη κτιρίου προς την αντίστοιχη ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου αναφοράς είναι μεταξύ των τιμών 1.00 και 1.41 ως εξής :  $1.00 \text{ K.A.} < \text{E.A.} < 1.41 \text{ K.A.}$  Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ένα κτίριο θεωρείται ενεργειακά αποδεκτό σύμφωνα με τον KENAK, αν είναι ενεργειακής κατηγορίας έως Β.

Τέλος, το κτίριο Διοίκησης/Σεμιναρίων παρατηρείται να έχει τη μικρότερη ενεργειακή κατανάλωση ανά  $\text{m}^2$ , ακολουθεί το εστιατόριο και το κτίριο με τη μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά  $\text{m}^2$  είναι το κτίριο του ξενώνα. Η αυξημένη ενεργειακή κατανάλωση του ξενώνα οφείλεται κατά βάση στο γεγονός ότι το συγκεκριμένο κτίριο δεν διαθέτει ιδιαίτερη επιφάνεια εξωτερικών τοίχων εντός του εδάφους, συγκριτικά με τα άλλα δύο κτίρια.

## **2.3. Εξοικονόμηση ενέργειας με χρήση Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας**

### **2.3.1. Θερμικά φορτία και Ενεργειακές καταναλώσεις ΜΕ.Κ.Δ.Ε.**

Για τον υπολογισμό της ισχύος της Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας, απαιτείται ο υπολογισμός του ετήσιου και μηνιαίου θερμικού φορτίου και της ετήσιας και μηνιαίας ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου σε θέρμανση και ζεστό νερό χρήσης.

Αρχικά πραγματοποιείται εκτίμηση του ετήσιου θερμικού φορτίου του κτιρίου, δηλαδή της θερμικής ισχύος που πρέπει να «προστίθεται» στο χώρο του κτιρίου, ώστε να επιτυγχάνονται οι επιθυμητές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας στο εσωτερικό του (Κατσαπρακάκης, 2010). Λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας του εξωτερικού και του εσωτερικού περιβάλλοντος, ένα κτίριο συναλλάσσει θερμότητα με το εξωτερικό περιβάλλον. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, όταν η εσωτερική θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη της εξωτερικής, ποσά θερμότητας μεταφέρονται από το κτίριο προς το περιβάλλον, τα οποία χαρακτηρίζονται ως θερμικές απώλειες. Αυτή η μεταφορά οφείλεται στην αγωγή μέσω των δομικών στοιχείων του κελύφους του κτιρίου (αδιαφανείς/διαφανείς επιφάνειες και θερμογέφυρες) και στον αερισμό. Ο συντελεστής

Θερμικής αγωγιμότητας είναι χαρακτηριστική, φυσική ιδιότητα των υλικών και εκφράζει την ευκολία ή δυσκολία ροής της θερμότητας διαμέσου αυτών. Εξαρτάται από τη θερμοκρασία, συνδέεται με αυτήν με σχεδόν γραμμικό τρόπο και λαμβάνεται σταθερός καθώς στο σύνθητες θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας των κτιρίων, μεταβάλλεται ελάχιστα.

Το φορτίο μεταφοράς θερμότητας ( $W$ ) ισούται με:

$$Q = U * A * \Delta T$$

όπου  $U$  ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου σε  $W/m^2K$

$A$  η επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας δηλαδή η επιφάνεια του δομικού στοιχείου που έρχεται σε επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον σε  $m^2$

$\Delta T$  η θερμοκρασιακή διαφορά για την επιφάνεια συναλλαγής

Το γινόμενο  $U \cdot A$ , το οποίο συμβολίζεται με  $H$ , ορίζεται ως συντελεστής μεταφοράς θερμότητας του δομικού στοιχείου και εκφράζει πόση θερμότητα μεταφέρεται μέσω του δομικού στοιχείου, που βρίσκεται σε επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον, για διαφορά θερμοκρασίας  $1^\circ C$ . Σε επίπεδο κτιρίου, ως συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας  $H_{tot}$  ορίζεται το άθροισμα των γινομένων των συντελεστών θερμοπερατότητας  $U_i$  και των επιφανειών  $A_i$  όλων των δομικών στοιχείων  $i$ , δηλαδή:

$$H_{tot} = \sum_{i=1}^n U_i * A_i$$

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων λαμβάνεται στους υπολογισμούς αυξημένος κατά 0.1, καθώς λαμβάνεται υπόψη ο υπολογισμός των θερμογεφυρών μεταξύ των δομικών στοιχείων. Ως θερμογέφυρες ονομάζονται οι θέσεις στο κέλυφος ενός κτιρίου στις οποίες εμφανίζεται σε σχέση με τις γειτονικές τους διαφοροποίηση στη θερμική αντίσταση των δομικών στοιχείων είτε λόγω ασυνέχειας της στρώσης θερμομόνωσης είτε λόγω διαφοροποίησης του υλικού κατά μήκος του δομικού στοιχείου είτε λόγω αλλαγής της γεωμετρίας της διατομής. Σ' αυτές τις θέσεις παρατηρείται μεταβολή στη ροή θερμότητας και στην εσωτερική επιφανειακή θερμοκρασία σε σχέση με τις γειτονικές τους με αποτέλεσμα να επιβαρύνεται η θερμική προστασία του κτιρίου. Ο συνυπολογισμός των θερμογεφυρών στην ενεργειακή ανάλυση των κτιρίων συντελεί στην προσέγγιση της πραγματικότητας με πολύ καλύτερη ακρίβεια. (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-2/2010, 2010)

Στο συνολικό θερμικό φορτίο του κτιρίου λαμβάνονται υπόψη και τα φορτία αυτά που προέρχονται από φυσική διείσδυση αέρα του περιβάλλοντος στο χώρο. Οι απώλειες

διείσδυσης ή αλλιώς απώλειες αθέλητου αερισμού οφείλονται στις εισροές αέρα από τις χαραμάδες κουφωμάτων, σχισμών κλπ., σύμφωνα με τον τύπο (W):

$$Q' = Vn * Cp * \rho * \Delta\theta$$

Όπου:

$Vn$  η παροχή αέρα στο κτίριο λόγω φυσικού αερισμού δηλαδή η φυσική διείσδυση του αέρα από τα κουφώματα, σε  $m^3/s$

$Cp$  η ειδική θερμοχωρητικότητα του αέρα, ίση με  $1010 J/kg^{\circ}C$

$\rho$  η πυκνότητα του αέρα, ίση με  $1.225 kg/m^3$

$\Delta\theta$  η θερμοκρασιακή διαφορά εξωτερικού και εσωτερικού περιβάλλοντος

Η επιθυμητή θερμοκρασία εσωτερικού χώρου είναι  $20^{\circ}C$  ( Τ.Ο.Τ.Ε.Ε., 2010). Έτσι, οι παραπάνω θερμοκρασιακές διαφορές λαμβάνονται ίσες με:

- $25^{\circ}C$  για επιφάνειες συναλλαγής θερμότητας με τον εξωτερικό αέρα και για τη διείσδυση αέρα μέσω κουφωμάτων, καθώς η περιοχή ανήκει στην κλιματική ζώνη Δ ( $23^{\circ}C$ ) και λόγω των ιδιαίτερων κλιματικών συνθηκών της περιοχής ( $+2^{\circ}C$ )
- $8^{\circ}C$  για επιφάνειες συναλλαγής θερμότητας με μη θερμαινόμενους χώρους, καθώς οι μη θερμαινόμενοι χώροι λαμβάνονται με θερμοκρασία  $12^{\circ}C$
- $5^{\circ}C$  για επιφάνειες συναλλαγής θερμότητας με το φυσικό έδαφος, καθώς θεωρείται πως η θερμοκρασία του φυσικού εδάφους είναι  $15^{\circ}C$

Για όλους του χώρους του κτιρίου μελέτης υπολογίστηκε η ετήσια συνολική θερμική ισχύς λόγω μεταφοράς θερμότητας μέσω του κτιριακού κελύφους ως άθροισμα των ετήσιων θερμικών ισχύων μεταφοράς:

α) μέσω των επιφανειών που έρχονται σε επαφή με των εξωτερικό περιβάλλον (εξωτερικοί τοίχοι, οροφές και ανοίγματα)

β) μέσω των επιφανειών που έρχονται σε επαφή με μη θερμαινόμενους χώρους

γ) μέσω των επιφανειών που έρχονται σε επαφή με το φυσικό έδαφος

δ) μέσω της διείσδυσης αέρα από τα κουφώματα

Η τελική θερμική ισχύς κάθε κτιρίου προκύπτει από την προσαύξηση της συνολικής θερμικής ισχύς κατά 20% (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε., 2010) και επιπλέον προσαύξηση στη νέα τιμή κατά 30% λόγω απωλειών εκκίνησης λέβητα. Η ισχύς που απαιτείται για το Ζεστό νερό χρήσης λαμβάνεται ίση με το 10% της συνολικής ισχύος (καθαρές απώλειες, χωρίς τις προσαυξήσεις) (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε., 2010)

Το θερμικό φορτίο με βάση το οποίο γίνεται η διαστασιολόγηση της Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας είναι το άθροισμα της τελικής θερμικής ισχύος κάθε κτιρίου και της θερμικής ισχύος για Ζεστό νερό χρήσης. Τα αποτελέσματα της ετήσιας θερμικής ισχύος σύμφωνα με την παραπάνω μεθοδολογία παρουσιάζονται στον πίνακα 8.

Όσον αφορά τα μηνιαία θερμικά φορτία αιχμής του κτιρίου, αυτά υπολογίστηκαν με βάση τις ελάχιστες, μέγιστες και μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες της περιοχής του Μετσόβου για το χρονικό διάστημα 1961-2009. Στο διάγραμμα 7 απεικονίζονται οι μηνιαίες βαθμομέρες θέρμανσης (Κατσουλάκος, 2013), οι οποίες αναλύονται στη συνέχεια, και οι ελάχιστες, μέγιστες μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες για την περιοχή του Μετσόβου. Συγκεκριμένα, για την κάλυψη όλου του εύρους των θερμικών αναγκών του κτιρίου, υπολογίστηκε η μέγιστη, ελάχιστη και μέση μηνιαία ισχύς θερμικού φορτίου, λαμβάνοντας ως διαφορά θερμοκρασίας προς το εξωτερικό περιβάλλον αυτή που αντιστοιχεί στις μέγιστες, ελάχιστες και μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες αντίστοιχα, σύμφωνα με το διάγραμμα και σύμφωνα με τη μεθοδολογία που παρουσιάστηκε παραπάνω για τον υπολογισμό της θερμικής ισχύος λόγω μεταφοράς. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο διάγραμμα που ακολουθεί (διάγραμμα 8).

**Διάγραμμα 7:** Μηνιαίες βαθμομέρες θέρμανσης και ελάχιστες, μέγιστες μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες για την περιοχή του Μετσόβου

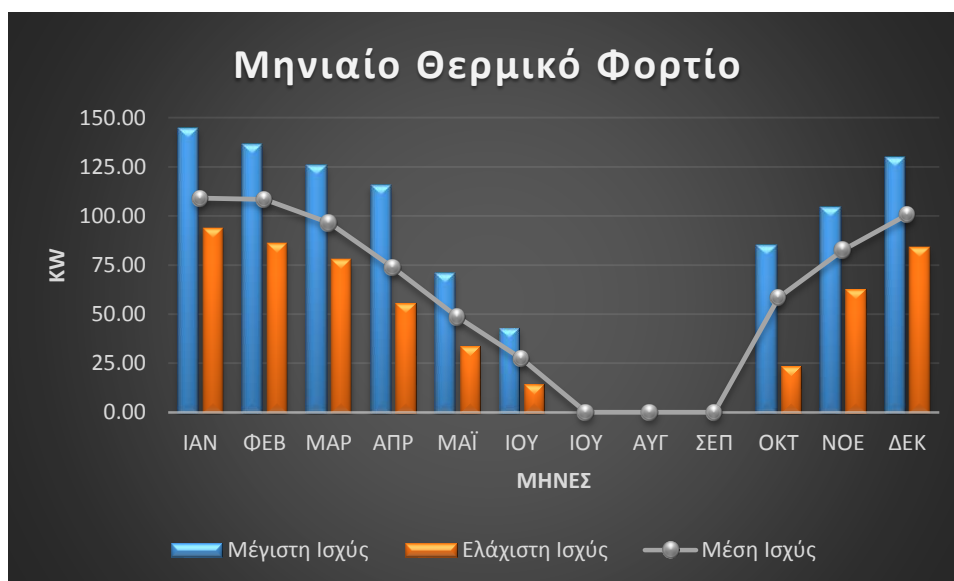




Πίνακας 8: Ετήσια Θερμική Ισχύς ΜΕ.Κ.Δ.Ε.

Κτιριακή ενότητα	Επιφάνεια συναλλαγής	Συν/της Μεταφοράς Θερμότητας	Θερμοκρασιακή διαφορά ΔΤ (°C)	Θερμική ισχύς μεταφοράς (W)
<b>Ξενώνας</b>	Εξωτερικό Περιβάλλον	632.49	25	15812.3
	Μ.Θ.Χ.	306.63	8	2453.04
	Φυσικό έδαφος	24.29	5	121.45
	Λόγω αερισμού	891.92 m <sup>3</sup> /h	25	7663.43
	<b>Τελική θερμική ισχύς: 26.05 kW</b>			
<b>Εστιατόριο</b>	Εξωτερικό Περιβάλλον	335.15	25	8378.7
	Μ.Θ.Χ.	58.34	8	466.73
	Φυσικό έδαφος	19.38	5	96.9
	Λόγω αερισμού	541.04 m <sup>3</sup> /h	25	4648.63
	<b>Τελική θερμική ισχύς: 13.59 kW</b>			
<b>Υποδοχή/διοίκηση - Σεμινάρια</b>	Εξωτερικό Περιβάλλον	1088.26	25	27206.5
	Μ.Θ.Χ.	565.27	8	4522.16
	Φυσικό έδαφος	33.92	5	169.6
	Λόγω αερισμού	2133.43 m <sup>3</sup> /h	25	18330.46
	<b>Τελική θερμική ισχύς: 50.23 kW</b>			
<b>Συνολική θερμική Ισχύς: 89.87 kW</b>				
<b>Προσαύξηση 20%: 107.85 kW</b>				
<b>Προσαύξηση 30%: 140.21 kW</b>				
<b>Ισχύς Ζ.Ν.Χ.: 8.99 kW</b>				
<b>ΤΕΛΙΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΟΣ: 149.2 kW</b>				

**Διάγραμμα 8:** Μηνιαία Θερμικά Φορτία ΜΕ.Κ.Δ.Ε.



Στη συνέχεια, έγινε υπολογισμός της μηνιαίας ενεργειακής ζήτησης μέσω της μεθόδου των βαθμομερών θέρμανσης για την περιοχή του Μετσόβου, όπως αυτή παρουσιάζεται στη διδακτορική διατριβή του Ν. Κατσουλάκου (Κατσουλάκος, 2013).

Η μέθοδος των βαθμομερών είναι από τις πλέον αξιόπιστες, επαρκώς τεκμηριωμένες και απλές στο χειρισμό τους μεθοδολογίες ενεργειακής ανάλυσης σταθερής κατάστασης. Είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική για τη μελέτη θερμικών φορτίων και μπορεί να συμβάλει στη διερεύνηση των μεταβολών της ενεργειακής κατανάλωσης συναρτήσει του υψομέτρου και συνεπώς πλέον εφαρμόσιμη για την προσέγγιση των διαφοροποιήσεων των ενεργειακών αναγκών στις ορεινές περιοχές. (Κατσουλάκος, 2013)

Ως βαθμομέρα ορίζεται το τεχνικό μέγεθος που εκφράζει την αθροιστική θερμοκρασία του περιβάλλοντος, δηλαδή το μέτρο της ποσότητας και της διάρκειας, που η εξωτερική θερμοκρασία γίνεται μικρότερη ή μεγαλύτερη από ένα καθορισμένο θερμοκρασιακό όριο, γνωστό ως θερμοκρασία βάσης (Matzarakis & Balafoutis, 2004). Στην περίπτωση που η θερμοκρασία βάσης είναι μεγαλύτερη από την εξωτερική θερμοκρασία, υπάρχει ανάγκη θέρμανσης του κτιρίου και ορίζονται οι βαθμομέρες θέρμανσης. Αντίστοιχα, απαιτείται ψύξη του κτιρίου όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία βάσης και οι βαθμομέρες χαρακτηρίζονται ως βαθμομέρες ψύξης.

Ο υπολογισμός των βαθμομερών θέρμανσης για την περιοχή του Μετσόβου, πραγματοποιείται μέσω της μεθοδολογίας που αναπτύσσει ο Ν. Κατσουλάκος στη διδακτορική του διατριβή (Κατσουλάκος, 2013) και λαμβάνεται συναρτήσει του

υψομέτρου και του γεωγραφικού πλάτους με θερμοκρασία βάσης 16°C, η οποία προτείνεται ως βέλτιστη για τα κλιματικά δεδομένα του ελληνικού χώρου σε σχέση με την πραγματική κατάσταση.

Η θερμοκρασία βάσης είναι ιδιαίτερα κρίσιμη παράμετρος για τον καθορισμό των βαθμομερών, δεν ταυτίζεται με την επιθυμητή θερμοκρασία στο εσωτερικό του κτιρίου, η οποία εξαρτάται από την κατηγορία της χρήσης του, αλλά για την περίπτωση της θέρμανσης ισούται με τη θερμοκρασία βάσης μειωμένη κατά το πηλίκο του μέσου ενεργειακού κέρδους  $Q_g$  (W) (εσωτερικό και ηλιακό) προς το συντελεστή μεταφοράς θερμότητας του κτιρίου  $H$  (W/°C).

Η μαθηματική έκφραση των παραπάνω για τον υπολογισμό των βαθμομερών θέρμανσης στο Μέτσοβο, δίνεται μέσω του τύπου (Κατσουλάκος, 2013):

$$HDD (16) = 146,154 * lat + 1,464 * h - 4785,600$$

και προκύπτει ίση με 2605/ έτος.

Ο μαθηματικός τύπος που δίνει την ζήτηση θερμότητας σε ένα κτίριο και χρησιμοποιείται και για την περίπτωση του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. είναι:

$$Qh = H_{tot} * HDD * \frac{24}{1000} [kWh]$$

όπου:

$H_{tot}$ : ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας του κτιρίου (W/ °C), συμπεριλαμβανομένου του αερισμού

HDD: οι βαθμομέρες θέρμανσης (°C\*days) ίσες με 2605/έτος για την περίπτωση του Μετσόβου

Η απαιτούμενη ενεργειακή κατανάλωση για την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης μέσω συστημάτων παραγωγής θερμότητας με συντελεστή απόδοσης  $\eta_h$  είναι:

$$Eh = \frac{H_{tot}}{\eta_h} * HDD * \frac{24}{1000} [kWh]$$

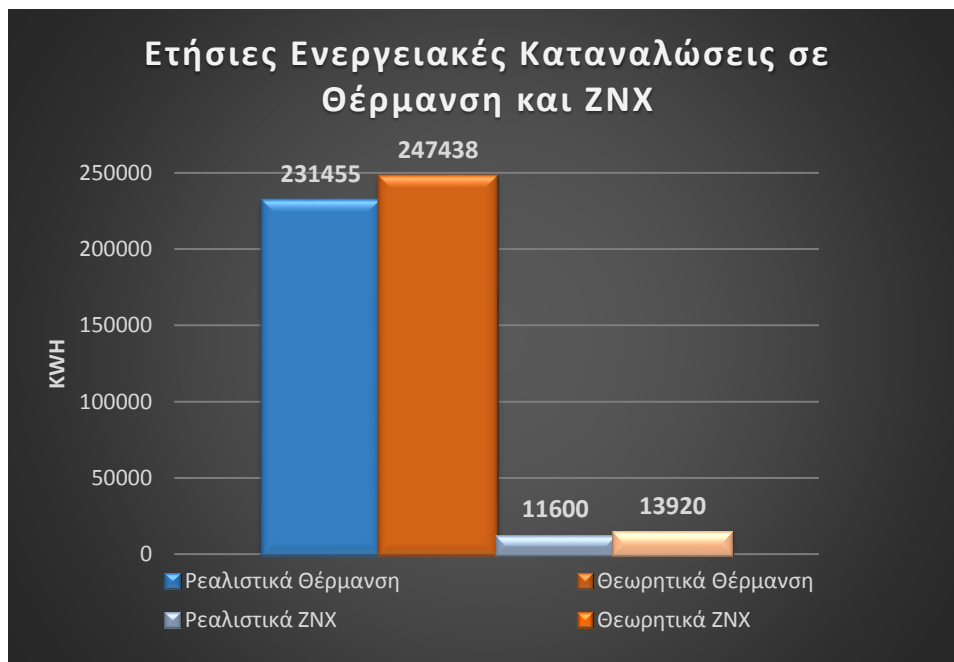
όπου ο συντελεστής απόδοσης  $\eta_h$  προκύπτει ίσος με 0.865 και υπολογίζεται από το βαθμό απόδοσης του συστήματος παραγωγής (λέβητας με  $\eta = 0.915$ ) επί του βαθμού απόδοσης του συστήματος διανομής ( $\eta = 0.945$ ).

Με βάση τις μηνιαίες βαθμομέρες θέρμανσης της περιοχής (Κατσουλάκος, 2013), όπως απεικονίζονται στο διάγραμμα 7, υπολογίστηκαν οι μηνιαίες απαιτήσεις της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου.

Η μηνιαία ενεργειακή κατανάλωση υπολογίστηκε λαμβάνοντας δύο προσεγγίσεις: α) θεωρώντας συνεχόμενη ετήσια λειτουργία του κτιρίου με βάση τη μέθοδο των βαθμομερών και σύμφωνα με τα κλιματολογικά δεδομένα του Μετσόβου και β) θεωρώντας μια πιο ρεαλιστική προσέγγιση, λαμβάνοντας υπόψη τις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας του κτιρίου, σύμφωνα με τις οποίες η λειτουργία του διακόπτεται τους μήνες Αύγουστο και Σεπτέμβριο (μηδενικές απαιτήσεις σε Ζεστό νερό χρήσης) και επίσης τους μήνες Ιούνιο-Σεπτέμβριο δεν απαιτείται θέρμανση του κτιρίου. Η σύγκριση των δύο προσεγγίσεων παρουσιάζεται στο διάγραμμα 9, όπου απεικονίζονται οι ενεργειακές καταναλώσεις για θέρμανση και ζεστό νερό χρήσης σε ετήσια βάση.

Οι μηνιαίες ενεργειακές καταναλώσεις σε θέρμανση σύμφωνα με τη μέθοδο των βαθμομερών και σε ζεστό νερό χρήσης σύμφωνα με το λογισμικό TEE-KENAK, για τις δύο ανωτέρω προσεγγίσεις, απεικονίζονται στα διαγράμματα 10 και 11.

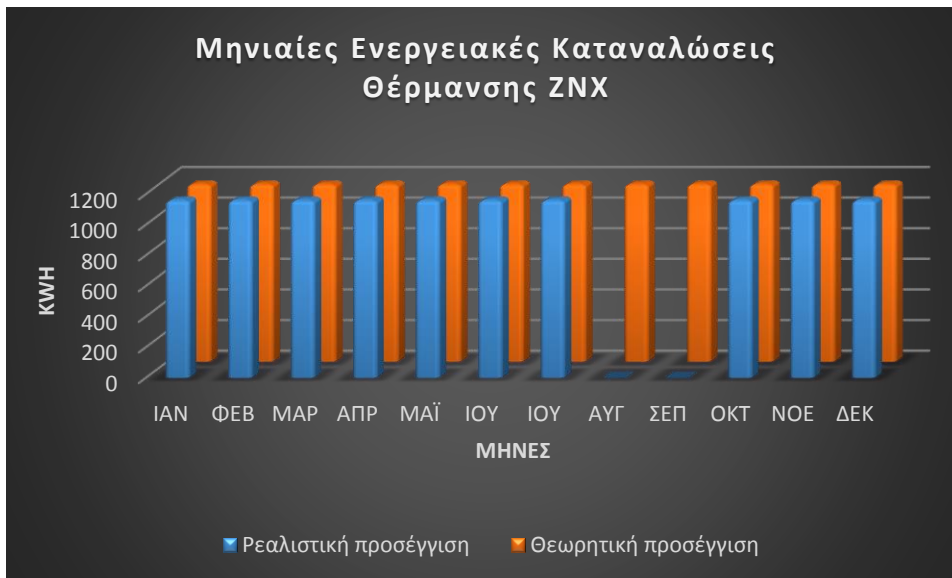
**Διάγραμμα 9:** Ετήσιες Ενεργειακές Καταναλώσεις σε Θέρμανση και ΖΝΧ για τις δύο προσεγγίσεις



**Διάγραμμα 10:** Μηνιαίες Ενεργειακές Καταναλώσεις Θέρμανσης με βάση τη μέθοδο των βαθμομερών θέρμανσης



**Διάγραμμα 11:** Μηνιαίες Ενεργειακές Καταναλώσεις ΖΝΧ με βάση τη μέθοδο των βαθμομερών θέρμανσης



### **2.3.2. Διαστασιολόγηση και διάταξη Γεωθερμικής Αντλίας**

#### **Θερμότητας και Γεωεναλλακτών**

Οι διαρκείς μεταβολές τις θερμοκρασίας του κυκλοφορούντος ρευστού στους γεωεναλλάκτες, οδηγεί σε αντίστοιχες μεταβολές του COP της Γ.Α.Θ. και ως εκ' τούτου της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Η ορθή ενεργειακή αξιολόγηση του συστήματος και συνεπώς η διαστασιολόγησή του, πρέπει να γίνεται στη βάση αυτών των μεταβολών, ώστε με ακρίβεια να προβλέπονται οι καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, στη συνολική ετήσια δαπάνη ενέργειας πρέπει να ενσωματώνεται και ο κυκλοφορητής των γεωεναλλακτών, η λειτουργία του οποίου, οδηγεί σε επιπλέον δαπάνη ενέργειας. (Φραγκογιάννης, 2011)

Η θερμοκρασία του κυκλοφορούντος ρευστού στους γεωεναλλάκτες, εξαρτάται από το μήκος τους, την θερμική αγωγιμότητα του υπεδάφους, αλλά και την ισχύ της Γ.Α.Θ. η οποία, για την εξυπηρέτηση των αναγκών του κτιρίου, υποβάλει το υπέδαφος σε διαρκείς φορτίσεις/εκφόρτισεις αντίστοιχης ισχύος. Η πρακτική της υποδιαστασιολόγησης του γεωεναλλάκτη (για την μείωση του κόστους κατασκευής) και της υπερδιαστασιολόγησης της Γ.Α.Θ, η οποία εφαρμόζεται συχνά από τον τεχνικό κόσμο, οδηγεί σε σύστημα το οποίο δεν είναι αποδοτικό, ενώ μπορεί αδρανοποιείται κατά τις περιόδους που το κτίριο απαιτεί τα μέγιστα φορτία, καθώς το κυκλοφορούν ρευστό στους γεωεναλλάκτες είτε ψύχεται κατά τη θέρμανση, είτε υπερθερμαίνεται κατά την ψύξη. Η ορθή διαστασιολόγηση των γεωεναλλακτών, βασίζεται στην ακριβή εκτίμηση των θερμοφυσικών ιδιοτήτων του υπεδάφους με ιδιαίτερη έμφαση στον προσδιορισμό της θερμικής αγωγιμότητας των υπεδαφικών σχηματισμών. (Φραγκογιάννης, 2011)

Για την κάλυψη των θερμικών αναγκών του συγκροτήματος μέσω Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας, επιλέγεται κατακόρυφος γεωεναλλάκτης, κλειστού βρόγχου, σχήματος U, λόγω περιορισμένου διαθέσιμου χώρου εγκατάστασης και υψηλών θερμικών φορτίων σχεδιασμού.

Η διαστασιολόγηση των γεωεναλλακτών και ο απαιτούμενος αριθμός γεωτρήσεων για την κάλυψη των απαιτούμενων θερμικών φορτίων του συγκροτήματος, πραγματοποιήθηκε με χρήση του λογισμικού Earth Energy Designer (E.E.D.), Version 3.16.

Το λογισμικό Earth Energy Designer (E.E.D) αποτελεί ένα πρόγραμμα για το σχεδιασμό Εναλλακτών Θερμότητας και γεωτρήσεων, το οποίο είναι εύκολο στη χρήση, έχει γρήγορους χρόνους υπολογισμών και εγγενείς βάσεις δεδομένων, τα οποία το καθιστούν ένα χρήσιμο εργαλείο στο καθημερινό αντικείμενο του μηχανικού για το σχεδιασμό αντλιών θερμότητας εδαφικής πηγής (gshp) και διανοιχθεισών οπών θερμικής

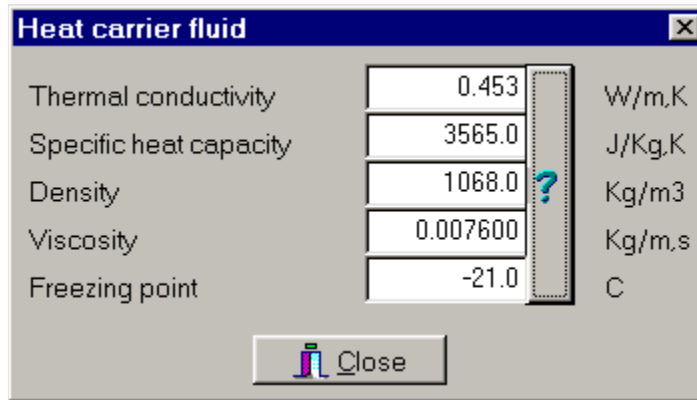
αποθήκευσης. Σε μεγάλα και σύνθετα έργα, το πρόγραμμα E.E.D. επιτρέπει τον προσδιορισμό του απαιτούμενου βάθους και της διάταξης των γεωτρήσεων κατά προσέγγιση, πριν από τη διεξαγωγή λεπτομερών αναλύσεων. (Hellstrom & Burkhard, 2000)

Τα δεδομένα εισαγωγής του προγράμματος (Input Data) αφορούν τις εξής γενικές ενότητες, με περαιτέρω υποκατηγορίες για την κάθε ενότητα:

- Εδαφικές παράμετροι (Ground properties), όπως θερμική αγωγιμότητα, θερμοπερατότητα εδάφους, επιφανειακή θερμοκρασία εδάφους και γεωθερμική ροή θερμότητας
- Δεδομένα για τις οπές και τον Εναλλάκτη θερμότητας και μέθοδος υπολογισμού Θερμικής αντίστασης οπών (Bore hole and heat exchanger και Bore hole thermal resistance), δηλαδή βάθος, διάμετρος γεωτρήσεων και απόσταση μεταξύ τους, τύπος σωλήνων, θερμική αγωγιμότητα και αντίσταση σωλήνων και υλικού πλήρωσης κτλ.
- Ιδιότητες του ρευστού μεταφοράς θερμότητας εντός του γεωεναλλάκτη (Heat carrier fluid), όπως θερμική αγωγιμότητα και χωρητικότητα, ταχύτητα ροής, θερμοκρασία ψύξης ρευστού κτλ.
- Φορτίο αιχμής σε μηνιαία βάση, ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση, ψύξη και ΖΝΧ και εποχιακό συντελεστή απόδοσης Γ.Α.Θ. (Base Load and Peak load)
- Επιθυμητή διάρκεια της προσομοίωσης (Simulation period)

Property	Value	Unit
Thermal conductivity	3.500000	W/m.K
Volumetric heat capacity	2.160000	MJ/m <sup>3</sup> .K
Ground surface temperature	8.000000	°C
Geothermal heat flux	0.060000	W/m <sup>2</sup>

**Εικόνα 21:** Παράδειγμα δεδομένων εισαγωγής εδαφικών παραμέτρων, Πηγή: (Hellstrom & Burkhard, 2000)



**Εικόνα 22:** Παράδειγμα δεδομένων εισαγωγής ρευστού γεωεναλλάκτη, Πηγή: (Hellstrom & Burkhard, 2000)

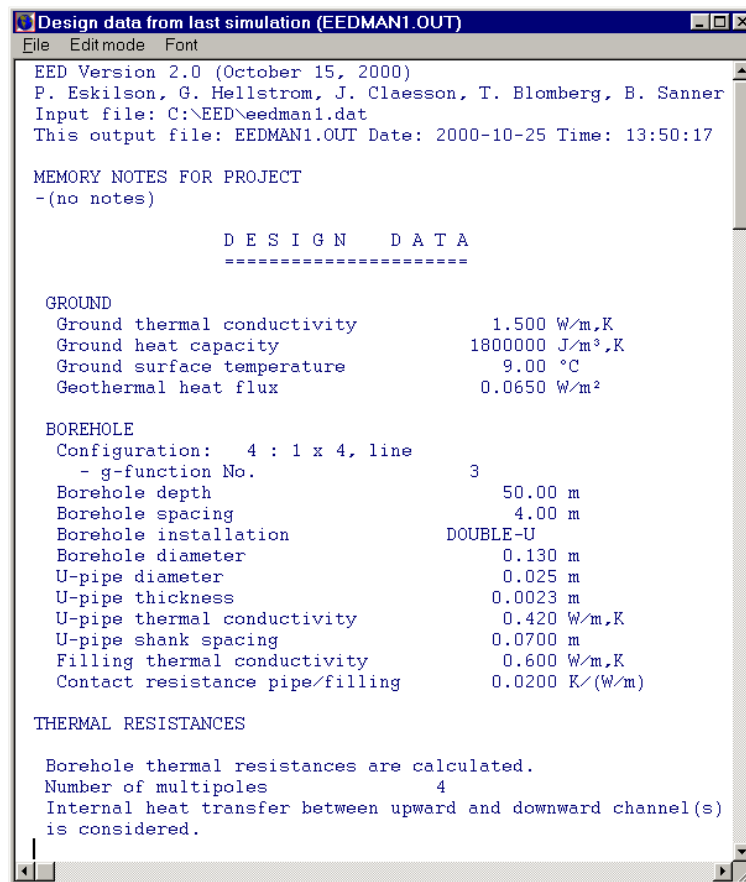
	Peak heat		Peak cool	
	Power [kW]	Duration [h]	Power [kW]	Duration [h]
January	17.000	24.000	0.000	0.000
February	17.000	24.000	0.000	0.000
March	17.000	12.000	0.000	0.000
April	17.000	6.000	0.000	0.000
May	0.000	0.000	0.000	0.000
June	0.000	0.000	6.000	8.000
July	0.000	0.000	6.000	10.000
August	0.000	0.000	6.000	8.000
September	0.000	0.000	0.000	0.000
October	17.000	6.000	0.000	0.000
November	17.000	12.000	0.000	0.000
December	17.000	24.000	0.000	0.000

**Εικόνα 23:** Παράδειγμα δεδομένων εισαγωγής φορτίων αιχμής, Πηγή: (Hellstrom & Burkhard, 2000)

Έχοντας προσδιορίσει τους απαιτούμενους περιορισμούς για την ελάχιστη και μέγιστη αποδεκτή θερμοκρασία εισόδου και εξόδου του ρευστού του γεωεναλλάκτη στο έδαφος, για την ομαλή λειτουργία του συστήματος στο χρόνο σχεδιασμού του έργου (25 έτη), η εξαγωγή των αποτελεσμάτων (output of the results) παρουσιάζεται σε ξεχωριστό παράθυρο, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 24 και εξάγονται τα γραφήματα που αποτυπώνουν τις ελάχιστες και μέγιστες ετήσιες θερμοκρασίες του ρευστού του γεωεναλλάκτη εντός του εδάφους, παράμετρος η οποία καθορίζει την απόδοση του συστήματος. Με βάση το τελευταίο και αναλόγως των περιορισμών που έχουν τεθεί και είναι επιθυμητοί περί θερμοκρασίας του ρευστού, ο σχεδιασμός κρίνεται αποδεκτός ή μη.



Στην περίπτωση μη αποδεκτού σχεδιασμού επαναπροσδιορίζονται εναλλακτικές βελτιωτικές λύσεις.



```
Design data from last simulation (EEDMAN1.OUT)
File Edit mode Font
EED Version 2.0 (October 15, 2000)
P. Eskilson, G. Hellstrom, J. Claesson, T. Blomberg, B. Sanner
Input file: C:\EED\eedman1.dat
This output file: EEDMAN1.OUT Date: 2000-10-25 Time: 13:50:17

MEMORY NOTES FOR PROJECT
-(no notes)

          D E S I G N   D A T A
          =====

GROUND
Ground thermal conductivity      1.500 W/m,K
Ground heat capacity             1800000 J/m³,K
Ground surface temperature       9.00 °C
Geothermal heat flux            0.0650 W/m²

BOREHOLE
Configuration: 4 : 1 x 4, line
- g-function No.                3
Borehole depth                   50.00 m
Borehole spacing                 4.00 m
Borehole installation            DOUBLE-U
Borehole diameter                0.130 m
U-pipe diameter                  0.025 m
U-pipe thickness                 0.0023 m
U-pipe thermal conductivity      0.420 W/m,K
U-pipe shank spacing             0.0700 m
Filling thermal conductivity     0.600 W/m,K
Contact resistance pipe/filling  0.0200 K/(W/m)

THERMAL RESISTANCES

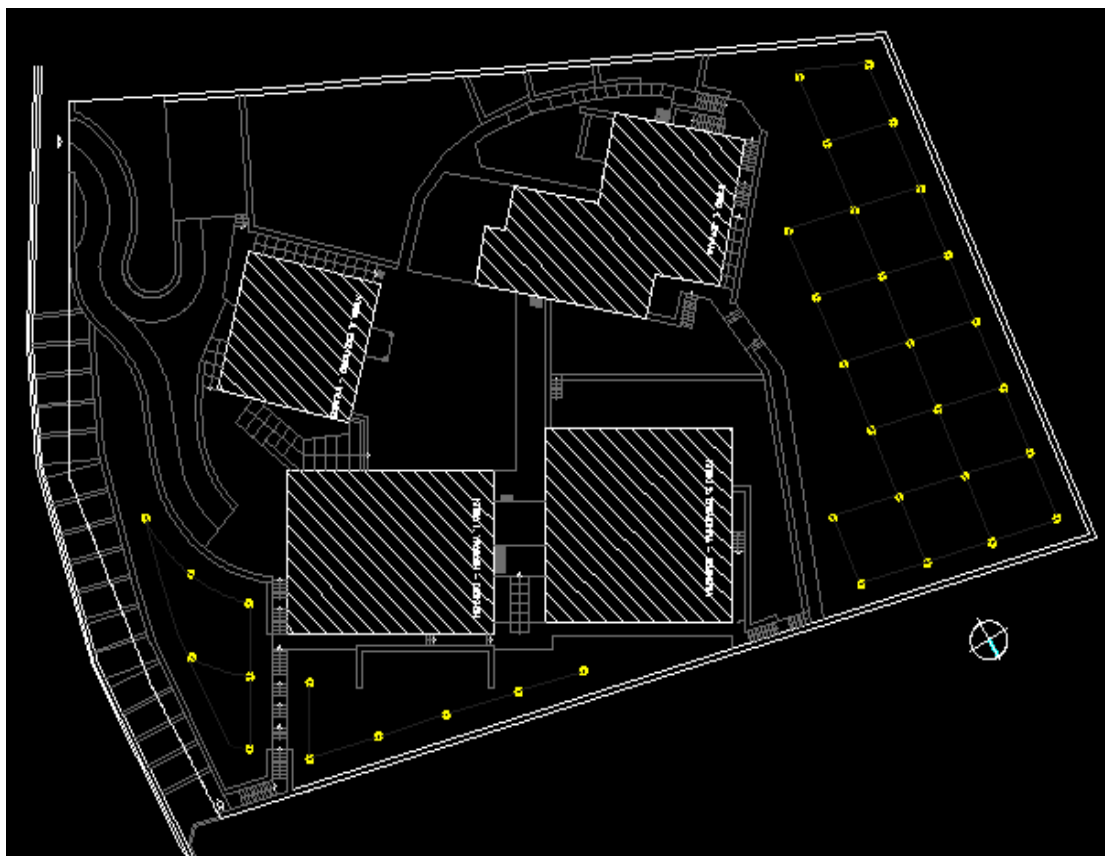
Borehole thermal resistances are calculated.
Number of multipoles             4
Internal heat transfer between upward and downward channel(s)
is considered.
```

**Εικόνα 24:** Πίνακας Εξαγωγής Αποτελεσμάτων, Πηγή: (Hellstrom & Burkhard, 2000)

Στην περίπτωση του Μετσόβιου Κέντρου Διεπιστημονικής Έρευνας (ΜΕ.Κ.Δ.Ε.) προσδιορίστηκαν τα δεδομένα εισαγωγής όπως ακριβώς διατυπώθηκαν παραπάνω, τα οποία παρουσιάζονται αναλυτικά στο παράρτημα που επισυνάπτεται. Τυπικά αναφέρεται ότι η θερμική αγωγιμότητα του εδάφους λήφθηκε  $2 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ , οι σωλήνες των γεωεναλλακτών επιλέχθηκαν να είναι από υλικό πολυαιθυλενίου PE DR 11, διαμέτρου  $\Phi 32$ , πάχους 3mm, μονού U και η διάμετρος της γεώτρησης ορίστηκε 130 mm, για την καλύτερη επαφή μεταξύ σωλήνων και εδάφους. Το υλικό πλήρωσης αποτελείται από ένεμα μπετονίτη, άμμου και νερού με καθορισμένες θερμοδυναμικές ιδιότητες. Μετά από τις απαιτούμενες δοκιμές και παρεμβάσεις βελτιστοποίησης του συστήματος, τα τελικά αποτελέσματα που οδηγούν σε αποδεκτές ελάχιστες και μέγιστες θερμοκρασίες ρευστού στο γεωεναλλάκτη ( $-4^\circ\text{C}$  έως  $25^\circ\text{C}$ ) καθ' όλο το χρόνο ζωής του έργου (25 έτη), είναι τα εξής: Το πλήθος των απαιτούμενων γεωτρήσεων είναι 36, 150 m βάθους η κάθε μία και συνολικό μήκος αυτών 5400m για την κάλυψη των απαιτούμενων ενεργειακών αναγκών του κτιρίου. Η απόσταση μεταξύ των γεωτρήσεων ορίζεται στα 6m, για την

αποφυγή θερμικής επιρροής του εδάφους από τις γειτονικές γεωτρήσεις. Ο βαθμός απόδοσης του συστήματος για θέρμανση με αυτά τα δεδομένα προκύπτει ίσος με 3.5. Είναι σημαντικό να αναφερθεί σε αυτό το σημείο ότι η κλασική θεώρηση που επικρατεί στην αγορά της γεωθερμίας σύμφωνα με την οποία, η τυπική τιμή της ισχύος που μπορεί να αποσπαστεί από κάθε γεώτρηση είναι 5-6 kW, και με βάση αυτό θεμελιώνεται ο σχεδιασμός του συστήματος του γεωεναλλάκτη, θα οδηγούσε στη συγκεκριμένη περίπτωση σε μη αποδεκτό σύστημα (25-30 γεωτρήσεις έναντι 36 που απαιτούνται).

Οι γεωτρήσεις θα τοποθετηθούν στο οικόπεδο του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. και η διάταξή τους, σύμφωνα με την εικόνα 25, θα έχει ως εξής: 24 γεωτρήσεις θα τοποθετηθούν στην Β.Δ. πλευρά του κτιρίου, σε έκταση 200 m<sup>2</sup>, και οι υπόλοιπες 12 γεωτρήσεις θα τοποθετηθούν στις ελεύθερες επιφάνειες Β.Α. και Ν.Α. του συγκροτήματος, επιφάνειας 140 m<sup>2</sup> έκαστη, με διάνοιξη 6 γεωτρήσεων στην καθεμία.



**Εικόνα 25:** Διάταξη γεωτρήσεων στον περιβάλλοντα χώρο του ΜΕ.Κ.Δ.Ε.

### 2.3.3. Οικονομοτεχνική Αξιολόγηση Επέμβασης

Για τον προσδιορισμό του οικονομικού οφέλους στα κόστη λειτουργίας του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. μέσω της τοποθέτησης Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας, παρατίθεται αρχικά το λειτουργικό κόστος του συγκροτήματος με το παρόν σύστημα θέρμανσης/ ψύξης και ζεστού νερού χρήσης δηλαδή με τον λέβητα πετρελαίου. Για λόγους πληρότητας, η εύρεση του κόστους λειτουργίας του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. πραγματοποιείται με δύο τρόπους: α) με τη χρήση του λογισμικού TEE-KENAK και β) με τη μέθοδο των βαθμοημερών θέρμανσης.

#### Λειτουργικά κόστη με χρήση του Λογισμικού TEE-KENAK

Για τους υπολογισμούς της ενεργειακής απόδοσης και της ενεργειακής κατάταξης των κτιρίων μέσω του λογισμικού TEE-KENAK, εφαρμόζεται η μέθοδος ημι-σταθερής κατάστασης μηνιαίου βήματος του Ευρωπαϊκού Προτύπου ΕΛΟΤ EN ISO 13790, και των υπολοίπων σχετικών προτύπων (TEE, 2014). Τα μοντέλα ενεργειακής ανάλυσης κτιρίων που χρησιμοποιούν τη μέθοδο ημι-σταθερής κατάστασης, συνυπολογίζουν εν μέρει μεταβατικά φαινόμενα (επιπτώσεις διακοπτόμενης λειτουργίας συστημάτων θέρμανσης, λειτουργία κτιριακού κελύφους ως αποθήκη θερμότητας) στη βάση απλοποιητικών παραδοχών.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εκτέλεση του προγράμματος για τον προσδιορισμό της ενεργειακής αποδοτικότητας του κτιρίου, έδωσαν τις ενεργειακές καταναλώσεις για θέρμανση που παρουσιάζονται στους πίνακες 9 και 10, με μόνη παράμετρο διαφοροποίησης την πόλη εισαγωγής (Ιωάννινα και Καστοριά). Λαμβάνοντας τη θερμογόνο δύναμη του πετρελαίου 10.06 kWh/lit (τιμή από τα διυλιστήρια Ασπροπύργου) και το κόστος του λίτρου πετρελαίου ίσο με 1.31€ , προκύπτουν τα τελικά κόστη για θέρμανση του συγκροτήματος με τη χρήση λέβητα πετρελαίου (πίνακας 9 και 10).

Όσον αφορά στο ζεστό νερό χρήσης, θεωρήθηκε ότι κατανάλωση καλύπτεται εξ' ολοκλήρου από τον ηλεκτρικό θερμαντήρα (boiler) του μήνες Μάιο έως Σεπτέμβριο, ενώ του υπόλοιπους μήνες κατά 50% μέσω boiler και κατά 50% μέσω λέβητα πετρελαίου. Το συνολικό κόστος του ηλεκτρικού ρεύματος λήφθηκε ίσο με 0.16 €/kWh.

**Πίνακας 9:** Ετήσιο Κόστος για θέρμανση μέσω λέβητα πετρελαίου με χρήση TEE-KENAK με πόλη εισαγωγής τα Ιωάννινα

ΚΤΙΡΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ	Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m <sup>2</sup> )	Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh)	ΚΟΣΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΜΕ ΛΕΒΗΤΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ (€)
ΞΕΝΩΝΑΣ	50.30	29061.83	3784.39
ΕΣΤΙΑΤΟΡΙΟ	63.70	17739.18	2309.97
ΔΙΟΙΚΗΣΗ/ΣΕΜΙΝΑΡΙΑ	75.80	79715.07	10380.39
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ (€)</b>			16474.75
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΖΝΧ (€)</b>			2086.01
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΖΝΧ (€)</b>			18560.76

**Πίνακας 10:** Ετήσιο Κόστος για θέρμανση μέσω λέβητα πετρελαίου με χρήση TEE-KENAK με πόλη εισαγωγής την Καστοριά

ΚΤΙΡΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ	Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m <sup>2</sup> )	Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh)	ΚΟΣΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΜΕ ΛΕΒΗΤΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ (€)
ΞΕΝΩΝΑΣ	66.4	38363.93	4995.7
ΕΣΤΙΑΤΟΡΙΟ	83.9	23364.47	3042.49
ΔΙΟΙΚΗΣΗ/ΣΕΜΙΝΑΡΙΑ	105.6	111054.24	14461.34
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ (€)</b>			22499.53
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΖΝΧ (€)</b>			2086.01
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΖΝΧ (€)</b>			24585.54

#### Λειτουργικά κόστη με τη μέθοδο των Βαθμομερών Θέρμανσης

Με χρήση της μεθοδολογίας των βαθμομερών θέρμανσης για την περιοχή του Μετσόβου, προκύπτουν τα τελικά αποτελέσματα για τη συνολική ενεργειακή κατανάλωση και για το συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος για την περίπτωση του ΜΕ.Κ.Δ.Ε και παρουσιάζονται στον πίνακα 11, λαμβάνοντας υπόψη τις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας του κτιρίου, το οποίο τους μήνες Αύγουστο και Σεπτέμβρη δε λειτουργεί.

**Πίνακας 11:** Ετήσιο Κόστος για θέρμανση μέσω λέβητα πετρελαίου με χρήση μεθόδου βαθμομερών θέρμανσης

Σ(Υ*Α)	HDD *24/1000	η συστήματος (λέβητας* διανομή)	Q ΕΝ. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ
<b>ΞΕΝΩΝΑΣ</b>			
<b>939.03</b>	62.52	0.865	67896.21
<b>ΕΣΤΙΑΤΟΡΙΟ</b>			
<b>521.1</b>	62.52	0.865	37677.94
<b>ΔΙΟΙΚΗΣΗ/ΣΕΜΙΝΑΡΙΑ</b>			
<b>1821.48</b>	62.52	0.865	131701.42
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ</b>			237275.57
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΖΝΧ</b>			12244.56
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΟΣ</b>			249520.14
<b>ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΑΠΟ ΛΕΒΗΤΑ (ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΚΑΙ ΖΝΧ)</b>			242016.89
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΠΟ ΛΕΒΗΤΑ(€)</b>			31515.12
<b>ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ BOILER</b>			7503.25
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΠΟ BOILER (€)</b>			1200.52
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ</b>			30897.7
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΖΝΧ</b>			1817.93
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΖΝΧ (€)</b>			32715.64

#### **Οικονομικά στοιχεία κατανάλωσης με χρήση Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας**

Η συνολική ετήσια ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση και ζεστό νερό χρήσης του συγκροτήματος, όπως αυτή υπολογίστηκε ανωτέρω, ανέρχεται σε 249520.14 kWh. Λαμβάνοντας τη θερμογόνο δύναμη του πετρελαίου 10,06 kWh/ λίτρο, το συντελεστή απόδοσης του λέβητα 0.915, το συντελεστή απόδοσης του συστήματος διανομής 0.945, και το κόστος πετρελαίου 1,31 €/ λίτρο και το κόστος ηλεκτρικού ρεύματος 0.16 €, προκύπτει, με το υπάρχον σύστημα θέρμανσης, ετήσιο κόστος 32715.64 €.

Για τον ακριβή προσδιορισμό των οικονομικών στοιχείων ενεργειακής κατανάλωσης της Γ.ΑΘ. λήφθηκαν υπόψη τα τρία παρακάτω σενάρια λειτουργίας. Για όλα τα σενάρια έχουν ληφθεί οι εξής σταθερές τιμές: Βαθμός απόδοσης Αντλίας Θερμότητας 3,5, Θερμογόνος δύναμη πετρελαίου: 10,06 kWh/lit, κόστος λίτρου πετρελαίου: 1,31 € και κόστος ηλεκτρικού ρεύματος: 0,16 €/kWh.

**Σενάριο 1<sup>ο</sup>: Κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του συγκροτήματος εξολοκλήρου μέσω λειτουργίας Γ.Α.Θ.**

Στο 1<sup>ο</sup> Σενάριο, θεωρείται ότι οι ενεργειακές ανάγκες του συγκροτήματος θα καλύπτονται εξ ολοκλήρου από τη γεωθερμική αντλία θερμότητας, με συντελεστή απόδοσης 3,5, ενώ η συνεισφορά του υπάρχοντος συστήματος με λέβητα πετρελαίου, είναι μηδενική.

Η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία της αντλίας θερμότητας προέκυψε ίση με 71291.38 kWh και το ετήσιο κόστος λειτουργίας αυτής, λαμβάνοντας τιμή ηλεκτρικού ρεύματος 0,16 €/kWh (συμπεριλαμβανομένων των ρυθμιζόμενων χρεώσεων), ανέρχεται σε 11406.62 €. Συνεπώς προκύπτει ετήσιο όφελος σε σχέση με το υπάρχον σύστημα 21309 € και εξοικονόμηση ενέργειας 65,2 %.

**Σενάριο 2<sup>ο</sup>: Κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του συγκροτήματος μέσω λειτουργίας Γ.Α.Θ. κατά 90% και με χρήση λέβητα πετρελαίου κατά 10%.**

Στο 2<sup>ο</sup> Σενάριο, οι ενεργειακές ανάγκες του συγκροτήματος καλύπτονται από τη λειτουργία της γεωθερμικής αντλίας σε ποσοστό 90% και η συνεισφορά του υπάρχοντος συστήματος με λέβητα πετρελαίου, είναι κατά 10%.

Η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία της αντλίας θερμότητας σε αυτή την περίπτωση, προκύπτει 64162,24 kWh και το ετήσιο κόστος λειτουργίας αυτής, με τιμή ηλεκτρικού ρεύματος 0,16 €/kWh, είναι 10265,96 €. Ο λέβητας πετρελαίου απαιτεί κόστος 3.249,2 € για τη λειτουργία του, με ποσοστό κάλυψης ενεργειακών αναγκών 10%, δηλαδή 24.952 kWh. Το συνολικό ετήσιο κόστος για κάλυψη των ενεργειακών αναγκών από την εφαρμογή του 2<sup>ου</sup> σεναρίου είναι 13515,17 € και η ετήσια εξοικονόμηση συγκριτικά με τη χρήση λέβητα πετρελαίου, υπολογίστηκε σε 58,7% ,με ετήσιο όφελος 19200,4 €.

**Σενάριο 3<sup>ο</sup>: Κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του συγκροτήματος μέσω λειτουργίας Γ.Α.Θ. κατά 80% και με χρήση λέβητα πετρελαίου κατά 20%.**

Τέλος, το 3<sup>ο</sup> Σενάριο απαρτίζεται από ποσοστό λειτουργίας της γεωθερμικής αντλίας κατά 80% και ο λέβητας πετρελαίου λειτουργεί για κάλυψη των αναγκών κατά 20%.

Η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία της αντλίας θερμότητας είναι 57033.11 kWh και το ετήσιο κόστος λειτουργίας αυτής είναι 9125,3 €. Αντίστοιχα, ο λέβητας απαιτεί στην περίπτωση του 3<sup>ου</sup> σεναρίου, ενεργειακή κάλυψη 49904 kWh και το κόστος των 6498,43 €, δηλαδή συνολικά 15623.73€. Η ετήσια εξοικονόμηση σε σχέση με την παρούσα κατάσταση προκύπτει 52,25% και το ετήσιο όφελος 17.091,9 €.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των τριών παραπάνω σεναρίων:

**Πίνακας 12:** Ετήσια εξοικονόμηση για τα τρία σενάρια λειτουργίας

Ετήσιο κόστος	Ετήσιο όφελος	Ετήσια εξοικονόμηση %
<b>Σενάριο 1: 100% λειτουργία ΓΑΘ</b>		
11406,62 €	21309 €	65,2%
<b>Σενάριο 2: 90% λειτουργία ΓΑΘ και 10% λειτουργία λέβητα πετρελαίου</b>		
13515,2 €	19200,4 €	58,7%
<b>Σενάριο 2: 80% λειτουργία ΓΑΘ και 20% λειτουργία λέβητα πετρελαίου</b>		
15623,73 €	17092 €	52,25%

Η αντικατάσταση του υπάρχοντος συστήματος θέρμανσης με γεωθερμική αντλία θερμότητας επιδρά ευνοϊκά στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) στην ατμόσφαιρα. Οι εκπομπές του CO<sub>2</sub> για το υπάρχον σύστημα θέρμανσης και για τα τρία σενάρια λειτουργίας μέσω χρήσης Γ.Α.Θ., παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα (πίνακας 13). Οι εκπομπές μέσω συστήματος λέβητα πετρελαίου είναι 0.264 kg CO<sub>2</sub>/kwh (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε., 2010), ενώ οι εκπομπές για τη λειτουργία της Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας, μέσω χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας είναι 0,777 kg CO<sub>2</sub>/kwh. (WWF, 2009)

**Πίνακας 13:** Εκπομπές Διοξειδίου του Άνθρακα από τα εξεταζόμενα συστήματα θέρμανσης

Εκπομπές CO <sub>2</sub> (kg)	
<b>Υπάρχον σύστημα</b>	69722.32
<b>Σενάριο 1</b>	55393.11
<b>Σενάριο 2</b>	56441.38
<b>Σενάριο 3</b>	57489.37

Η μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα μέσω της χρήσης γεωθερμικής αντλίας θερμότητας είναι εμφανής και κυμαίνεται από 18 έως 21%.

### **Οικονομική εκτίμηση γεωθερμικής εγκατάστασης**

Το σύνολο των εργασιών που απαιτούνται για την εγκατάσταση της Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας και συνυπολογίζονται στην κοστολόγηση του έργου, αφορούν τα εξής:

- Γεωτρήσεις
- Δίκτυο
- Μηχανοστάσιο
- Χωματουργικές εργασίες

Όσον αφορά στις γεωτρήσεις, η διάνοιξη αυτών λαμβάνει τιμή 39,7 €/m. Η τοποθέτηση των σωλήνων και η πλήρωση με θερμοαγωγίμο υλικό (grouting) κοστίζει 16€/m. Το συνολικό μήκος γεωτρήσεων και σωλήνων που απαιτούνται είναι 5400m, όπως υπολογίστηκε παραπάνω.

Το κόστος του δικτύου που συνδέει τις γεωτρήσεις με το μηχανοστάσιο περιλαμβάνει το κόστος των σωληνώσεων, τη συνδεσμολογία τύπου «reverse-return», την όδευση προς την αντλία θερμότητας και τις υδραυλικές εργασίες. Ο συλλέκτης που επιλέγεται να τοποθετηθεί είναι τύπου PP-R, πολυπροπυλενίου και στο κόστος αυτού συμπεριλαμβάνονται τα υλικά ( βάνες, βαλβίδες) και η ανθρώπινη εργασία.

Το κόστος μηχανοστασίου περιλαμβάνει το κόστος των 3 κυκλοφορητών (εδάφους, αντλίας- δοχείου αδρανείας και συστήματος διανομής), τα κόστη των δοχείων αδρανείας και διαστολής, τα κόστη ηλεκτρικού πίνακα, βανών και μονώσεων και τέλος τη μηχανική μονάδα αντλίας θερμότητας ισχύος 150 KW, με δύο συμπιεστές.

Οι χωματουργικές εργασίες περιλαμβάνουν όλες τις απαραίτητες εκσκαφές και διαμορφώσεις πριν και μετά την εγκατάσταση, για την κατάλληλη διαμόρφωση του εδαφικού χώρου.

Τέλος, στην εκτιμώμενη κοστολόγηση έχει συμπεριληφθεί η μεταφορά του γεωτρώπανου με το σύνολο του γεωτρητικού εξοπλισμού από την αποθήκη του αναδόχου της εκτέλεσης του έργου μέχρι το εργοτάξιο καθώς και την αντίστροφη κίνηση για την αποκόμιση μετά το τέλος της εργασίας .

Η εκτιμώμενη κοστολόγηση του προτεινόμενου έργου και εκτιμώμενο κόστος προετοιμασίας του έργου, παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν:



**Πίνακας 14:** Εκτιμώμενη κοστολόγηση εγκατάστασης Γ.Α.Θ.

Είδος εργασίας	Συνολικό κόστος (€)
Εισκόμιση και αποκόμιση γεωτρητικού συγκροτήματος	1.800
Διάνοιξη Γεωτρήσεων	214.380
Τοποθέτηση Σωλήνων και Πλήρωση Υλικού	86.400
Δίκτυο και Συνδεσμολογία	10.000
Συλλέκτης	3.000
Μηχανοστάσιο	52.000
Χωματοургικές εργασίες	5.000
<b>Συνολικό Κόστος Έργου</b>	<b>372.580</b>

**Πίνακας 15:** Εκτιμώμενο κόστος προετοιμασίας έργου

Εκτιμώμενο Κόστος Προετοιμασίας Έργου (€)	
Ενεργειακή επιθεώρηση- Μελέτη	5.000
Αποτύπωση Εγκαταστάσεων	800
Μελέτη Εγκατάστασης Γ.Α.Θ.	2.800
Σύνταξη Τευχών Δημοπράτησης	600
Προετοιμασία Φακέλου ΕΣΠΑ	2.200
Μετακινήσεις- Χρονοδιαγράμματα	4.800
<b>Τελικό Κόστος Προετοιμασίας Έργου</b>	<b>16.200 €</b>

### Οικονομική Αξιολόγηση της επένδυσης

Η χρηματοοικονομική ανάλυση στοχεύει στην αξιολόγηση επενδυτικών σχεδίων και στον υπολογισμό των ταμειακών ροών που θα προκύψουν από την υλοποίηση αυτών, ώστε να δοθεί μία περιγραφή των αναμενόμενων αποτελεσμάτων (εσόδων και εξόδων) της επένδυσης. Η ταμειακή ροή αναφέρεται σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο λειτουργίας, συνήθως ετήσια, και ορίζεται από τη διαφορά της ταμειακής εισροής και της ταμειακής εκροής. Επομένως, για ένα επενδυτικό σχέδιο καταστρώνεται ο πίνακας των ετήσιων ταμειακών ροών για την οικονομική διάρκεια ζωής της επένδυσης. Δεδομένου όμως ότι οι χρηματικές ροές πραγματοποιούνται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές είναι

απαραίτητο πριν πραγματοποιηθεί το άθροισμα των ταμειακών ροών να γίνει η αναγωγή τους στην συγκεκριμένη χρονική στιγμή της αξιολόγησης, ήτοι να υπολογιστεί η παρούσα αξία κάθε ταμειακής ροής. (Καλιαμπάκος & Δαμίγος, 2008)

Βασικά κριτήρια αξιολόγησης επενδυτικών σχεδίων που χρησιμοποιούνται για τον σκοπό αυτό είναι:

- το κριτήριο της Καθαρής Παρούσας Αξίας (Net Present Value – NPV)
- το κριτήριο της Εσωτερικής Απόδοσης επί του Κεφαλαίου (Internal Rate of Return – IRR)

Η Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) ορίζεται ως η διαφορά της παρούσας αξίας των ετήσιων εισοδημάτων μείον την παρούσα αξία των ετήσιων εξόδων, συμπεριλαμβανομένων των επενδύσεων. Στην πράξη κι εφόσον έχει καταστρωθεί ο πίνακας των ταμειακών ροών, η ΚΠΑ υπολογίζεται ως η διαφορά των χρηματικών εισροών (καθαρών ταμειακών ροών μετά φόρων) μείον το κόστος των επενδύσεων, όπως, δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$ΚΠΑ = \sum_{\tau=1}^v \frac{ΚΤΡ}{(1 + \varepsilon)^\tau} - E_0$$

όπου:

- ΚΠΑ = η Καθαρά Παρούσα Αξία του σχεδίου
- ΚΤΡ = η Καθαρή Ταμειακή Ροή το έτος τ
- E<sub>0</sub> = η αρχική επένδυση το χρόνο τ=0
- v = η διάρκεια ζωής του επενδυτικού σχεδίου
- ε = το επιτόκιο προεξόφλησης

Όταν το επιτόκιο προεξόφλησης για μια συγκεκριμένη χρηματοροή αυξάνει, η ΚΠΑ αξία της χρηματοροής μειώνεται. Ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (EBA) του κεφαλαίου μπορεί να οριστεί ως το επιτόκιο προεξόφλησης που μηδενίζει τη χρηματοροή, δηλ. εκείνο το επιτόκιο που εξισώνει την αρχική επένδυση με την αξία όλων των μελλοντικών ταμειακών ροών. Η διαφορά μεταξύ του επιτοκίου που δίνεται από τον EBA και του επιτοκίου της προεξόφλησης έγκειται στο γεγονός ότι το πρώτο προσδιορίζεται από τα χαρακτηριστικά του πίνακα των ταμειακών ροών (για το λόγο αυτό καλείται και εσωτερική απόδοση) ενώ το επιτόκιο προεξόφλησης καθορίζεται εξωγενώς από τον επενδυτικό φορέα. (Καλιαμπάκος & Δαμίγος, 2008)

Ο τύπος που δίνει τον EBA είναι ο ακόλουθος:

$$ΚΠΑ = 0 = \sum_{\tau=1}^{\nu} \frac{ΚΤΡ}{(1 + ΕΒΑ)^{\tau}} - Εο$$

όπου:

- ΚΤΡ = η Καθαρή Ταμειακή Ροή το έτος τ
- Εο = η αρχική επένδυση το χρόνο τ=0
- ν = η διάρκεια ζωής του επενδυτικού σχεδίου
- ΕΒΑ = το επιτόκιο προεξόφλησης που καθιστά την ΚΠΑ = 0

Όταν εξετάζεται ένα εναλλακτικό σχέδιο ανεξάρτητα από εναλλακτικές επιλογές, τότε οι όροι αποδοχής ή απόρριψής του σε σχέση με τα δύο αυτά κριτήρια διαμορφώνονται ως εξής:

1. Για την Καθαρά Παρούσα Αξία

- ΚΠΑ > 0, η επένδυση θεωρείται συμφέρουσα
- ΚΠΑ = 0, το οικονομικό αποτέλεσμα της επένδυσης είναι οριακό
- ΚΠΑ < 0, η επένδυση απορρίπτεται

2. Για τον Εσωτερικό Βαθμό Απόδοσης του κεφαλαίου:

- ΕΒΑ > από το ελάχιστο αποδεκτό επιτόκιο προεξόφλησης, η επένδυση θεωρείται συμφέρουσα
- ΕΒΑ = με το ελάχιστο αποδεκτό επιτόκιο προεξόφλησης, η επένδυση θεωρείται οριακή, εφαρμόζεται όταν δεν υπάρχει καλύτερη εναλλακτική λύση
- ΕΒΑ < από το ελάχιστο αποδεκτό επιτόκιο προεξόφλησης, η επένδυση απορρίπτεται.

Ανεξαρτήτως χρησιμοποιούμενου κριτηρίου, όταν πραγματοποιείται σύγκριση μεταξύ δύο ή περισσότερων εναλλακτικών επενδυτικών σχεδίων προκρίνεται το σχέδιο που εμφανίζει την καλύτερη απόδοση, δηλαδή την υψηλότερη ΚΠΑ ή τον υψηλότερο ΕΒΑ. Οι δύο μέθοδοι χρησιμοποιούνται ευρύτατα και μάλιστα σε συνδυασμό, καθώς κάθε μία από τις δύο μεθόδους εμφανίζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. (Καλιαμπάκος & Δαμίγος, 2008)

Στην περίπτωση μελέτης της παρούσας εργασίας, η Καθαρή Παρούσα Αξία και ο Εσωτερικός Βαθμούς Απόδοσης του Έργου παρουσιάζονται στον πίνακα ταμιακών ροών που ακολουθεί (Πίνακας 16), σύμφωνα με τα τρία σενάρια λειτουργίας που προαναφέρθηκαν. Ο παρακάτω πίνακας δε συμπεριλαμβάνει το αρχικό κεφάλαιο, δηλαδή το αρχικό κόστος της εγκατάστασης, το οποίο ανέρχεται στο ποσό των 370.000 €, καθώς σε αυτή την περίπτωση η επένδυση θεωρείται μη βιώσιμη. Συνεπώς

συμπεραίνεται πως ένα τέτοιο έργο απαιτεί επιδότηση, το ύψος της οποίας προσδιορίζεται στη συνέχεια, μέσω της ανάλυσης «νεκρού σημείο» του κεφαλαίου.

**Πίνακας 16:** Πίνακας Ταμιακών ροών επένδυσης

<b>Πίνακας Ταμιακών ροών</b>	
<b>Διάστημα Σχεδιασμού έργου</b>	25 έτη
<b>Κόστος Προετοιμασίας έργου</b>	16200 €
<b>Επιτόκιο προεξόφλησης</b>	6%
<b>Σενάριο 1</b>	
<b>Ετήσιο όφελος</b>	21309 €
<b>Ετήσιο κόστος</b>	600 €
<b>Ετήσια ταμειακή ροή</b>	20709 €
<b>ΚΠΑ</b>	248530 €
<b>IRR</b>	127,83 %
<b>Σενάριο 2</b>	
<b>Ετήσιο όφελος</b>	19200,43 €
<b>Ετήσιο κόστος</b>	600 €
<b>Ετήσια ταμειακή ροή</b>	18600,4 €
<b>ΚΠΑ</b>	221576 €
<b>IRR</b>	114,82%
<b>Σενάριο 3</b>	
<b>Ετήσιο όφελος</b>	17091,88 €
<b>Ετήσιο κόστος</b>	600 €
<b>Ετήσια ταμειακή ροή</b>	16492 €
<b>ΚΠΑ</b>	194622 €
<b>IRR</b>	101,80%

Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας ως προς την απόδοση της επένδυσης είναι το «νεκρό σημείο» (break-even point) της μεταβλητής του «κεφαλαίου», δηλαδή το ποσό που μπορεί να επενδυθεί ώστε να έχουμε οριακή βιωσιμότητα της επένδυσης και για το οποίο η Καθαρή παρούσα αξία μηδενίζεται. Λαμβάνοντας υπόψη τα έξοδα προετοιμασίας του έργου (εργασία φακέλου), το ποσό που μπορεί να επενδυθεί ως αρχικό κεφάλαιο για την υλοποίηση του έργου είναι για τα τρία σενάρια 248530 €, 221576 €, 194622 € αντίστοιχα. Το τελευταίο μεταφράζεται ως το ότι απαιτείται επιδότηση περίπου 30% του συνολικού κόστους του έργου προκειμένου η επένδυση να είναι οριακά βιώσιμη.

Τέλος, ενδιαφέρον παρουσιάζει η επιρροή της παρουσίας ψυκτικών φορτίων, παράλληλα με τις ανάγκες για θέρμανση και ΖΝΧ, τόσο στην απόδοση του συστήματος της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας, όσο και στο λειτουργικό κόστος του συστήματος.

Η παρουσία ψυκτικών φορτίων λειτουργεί ελαφρυντικά ως προς τη μείωση της θερμοκρασίας του εδάφους από τον κύκλο θέρμανσης, καθώς μέσω της λειτουργίας του γεωεναλλάκτη για ψύξη, το έδαφος λειτουργεί σαν αποδέκτης θερμότητας και έτσι «φορτίζεται θερμικά» προκειμένου να ακολουθήσει περίοδος θέρμανσης με υψηλότερη αρχική θερμοκρασία εδάφους και μεγαλύτερη απόδοση του συστήματος.

Στη συνέχεια παρατίθενται οι ενεργειακές καταναλώσεις του συγκροτήματος για ψύξη, με βάση το λογισμικό TEE-KENAK και με αντιπροσωπευτική πόλη την Καστοριά (Πίνακας 17).

**Πίνακας 17:** Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση για Ψύξη

Κτιριακή Ενότητα	Ενέργεια (kWh/m <sup>2</sup> )	Εμβαδόν Επιφάνειας (m <sup>2</sup> )	Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh)
Ξενώνας	18,8	577,77	10862
Εστιατόριο	17,8	278,48	4957
Σεμινάρια	3,6	1051,65	3786
<b>Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση για Ψύξη</b>			<b>19605 kWh</b>

Η τυπική τιμή της απόδοσης (EER) του υπάρχον συστήματος για ψύξη (Φαν κόιλς) είναι 2,5. Συνεπώς απαιτείται κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας 7842 kWh , δηλαδή κόστος 1255 € ετησίως για την κάλυψη των ψυκτικών αναγκών του συγκροτήματος. Η συνολική δαπάνη για τη λειτουργία του υπάρχοντος συστήματος ως έχει, συμπεριλαμβανομένων και των ψυκτικών αναγκών του κτιρίου, ανέρχεται σε 33970,64 €.

Στην περίπτωση της χρήσης γεωθερμικής αντλίας θερμότητας για την κάλυψη των αναγκών σε θέρμανση, ψύξη και ZNX, ο συντελεστής απόδοσης του συστήματος θα ανέλθει σε COP=4, για τους λόγους που προαναφέρθηκαν. Οι συνολικές καταναλώσεις σε αυτή την περίπτωση παρουσιάζονται στον πίνακα 18.

**Πίνακας 18:** Ενεργειακές καταναλώσεις, συμπεριλαμβανομένων ψυκτικών φορτίων

Λειτουργία	Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh)	Κόστος λειτουργίας (€)
Ψύξη	4901	784
Θέρμανση και ZNX	62380	9980
<b>Σύνολο</b>	<b>67281</b>	<b>10764</b>

Για την περίπτωση αυτή, παρουσιάζεται στη συνέχεια η εξοικονόμηση ενέργειας με τη χρήση της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας καθώς και η οικονομική αξιολόγηση της επένδυσης, στον πίνακα 19.

**Πίνακας 19:** Οικονομική Αξιολόγηση για την περίπτωση ψυκτικών φορτίων

<b>Ετήσια Κοστολόγηση- Αξιολόγηση</b>	
<b>Κόστος λειτουργίας</b>	10764€
<b>Εξοικονόμηση</b>	68,3%
<b>Ετήσιο όφελος</b>	23207 €
<b>Ετήσιο κόστος</b>	600 €
<b>Ετήσια ταμειακή ροή</b>	22607 €
<b>ΚΠΑ</b>	272793,3 €
<b>IRR</b>	139,55 %

Η παρουσία ψυκτικών φορτίων δρα σημαντικά στην ενεργειακή εξοικονόμηση με χρήση γεωθερμικής αντλίας θερμότητας, καθώς οδηγεί σε αύξηση του συντελεστή απόδοσης του συστήματος λόγω της «θερμικής επαναφόρτισης» του εδάφους που επιτυγχάνεται κατά τη λειτουργία ψύξης των χώρων. Η ενεργειακή εξοικονόμηση σε αυτή την περίπτωση υπολογίζεται μεγαλύτερη (68,3%) από τις περιπτώσεις λειτουργίας για κάλυψη μόνο θερμικών φορτίων και ΖΝΧ των τριών σεναρίων που αναφέρθηκαν παραπάνω, ομοίως και η Καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης και ο Εσωτερικός βαθμός απόδοσης, με αποτέλεσμα αυτό να καθιστά την επένδυση πιο συμφέρουσα.

Σε ρεαλιστικές συνθήκες, οι ανάγκες για ψύξη του κτιρίου είναι ελάχιστες έως μηδενικές. Το ίδιο όμως αποτέλεσμα με την παρουσία των φορτίων ψύξης μπορεί να επιτύχει η τοποθέτηση ηλιακών συλλεκτών, οι οποίοι θα συνδέονται απευθείας με τους γεωεναλλάκτες, για την θέρμανση του εδάφους.

### 3. ΣΥΝΟΨΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διπλωματική εργασία στοχεύει στη μελέτη της ενεργειακής συμπεριφοράς κτιρίων, με περίπτωση μελέτης το Μετσόβιο Κέντρο Διεπιστημονικής Έρευνας (ΜΕ.Κ.Δ.Ε.) του Ε.Μ.Π. που στεγάζεται στο Μέτσοβο και τις δυνατότητες βελτίωσή της με χρήση συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας.

Τις τελευταίες δεκαετίες, ο τομέας της ενέργειας αποκτά ολοένα και μεγαλύτερη σημασία σε παγκόσμιο επίπεδο καθώς είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με θέματα, όπως η διαφαινόμενη κλιματική αλλαγή και η διαχείριση φυσικών πόρων. Αναγνωρίζονται, διεθνώς, οι προοπτικές σημαντικής μείωσης της καταναλισκόμενης ενέργειας στα κτίρια, τα οποία είναι υπεύθυνα για το 40% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Οι μέθοδοι εξοικονόμησης ενέργειας μπορούν να οδηγήσουν αντίστοιχα σε εξοικονόμηση κεφαλαίου, οπότε και σε οικονομικό όφελος, χωρίς να μειωθεί ή να αλλοιωθεί η παρεχόμενη ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος.

Μεταξύ των διαφόρων μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας, ξεχωρίζει η αξιοποίηση της αβαθούς γεωθερμικής ενέργειας, η οποία αποτελεί το αντικείμενο της παρούσας εργασίας και υπερτερεί έναντι των υπόλοιπων Α.Π.Ε., λόγω των αδιατάρακτων και σταθερών θερμοκρασιακών συνθηκών που μπορεί να προσφέρει.

Η παρούσα εργασία εμβαθύνει στην ενεργειακή αποδοτικότητα κτιρίου, στο σχετικό νομικό πλαίσιο, στα γεωθερμικά συστήματα και στην αξιοποίηση της αβαθούς γεωθερμίας ως μέσο εξοικονόμησης ενέργειας. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, απαρτίζεται από τα εξής κύρια στάδια:

1. Προσδιορισμός ενεργειακής αποδοτικότητας συγκροτήματος ΜΕ.Κ.Δ.Ε. και υπολογισμός μηνιαίων και ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων και θερμικών φορτίων
2. Προσέγγιση εξοικονόμησης ενέργειας του συγκροτήματος μέσω εγκατάστασης συστήματος αβαθούς γεωθερμίας, με κατακόρυφο γεωεναλλάκτη κλειστού κυκλώματος και οικονομοτεχνική ανάλυση επέμβασης

Όσον αφορά το πρώτο στάδιο, η ενεργειακή αποδοτικότητα του συγκροτήματος προσδιορίστηκε με χρήση του λογισμικού πακέτου TEE-KENAK. Συμπερασματικά, για τη λειτουργία, τις ενεργειακές καταναλώσεις και τα αντίστοιχα κόστη του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. διατυπώνονται τα εξής:

- Τα οφέλη που προκύπτουν από την ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων και την εξοικονόμηση ενέργειας σε ορεινές περιοχές, όπως είναι το ΜΕ.Κ.Δ.Ε., τόσο σε οικονομικό

όσο και σε περιβαλλοντικό επίπεδο, είναι ιδιαίτερος σημαντικά, αν λάβουμε υπόψη πως σχεδόν το 70% της κατανάλωσης κτιρίων αντιστοιχεί στην κάλυψη των θερμικών αναγκών των εσωτερικών χώρων (space heating), καθώς και ότι οι ορεινές περιοχές χαρακτηρίζονται από πολύ υψηλά θερμικά φορτία, λόγω του ψυχρού κλίματος που επικρατεί στα υψηλά υψόμετρα.

- Κατά τα δεδομένα εισαγωγής στο λογισμικό TEE-KENAK, προκειμένου να προσδιοριστεί η κατά το δυνατόν ακριβέστερη εκτίμηση των ενεργειακών απαιτήσεων – καταναλώσεων του κτιρίου, έγινε αντιληπτή η σημασία των κλιματικών δεδομένων και η επίδραση αυτών στα τελικά αποτελέσματα. Το πρόγραμμα εκτελέστηκε αρχικά με πόλη εισαγωγής τα Ιωάννινα, με μέσο υψόμετρο τα 470 m, ως η πλησιέστερη γεωγραφικά πόλη στην πόλη μελέτης, το Μέτσοβο, το οποίο έχει μέσο υψόμετρο 1160 m. Οι ενεργειακές καταναλώσεις προκύπτουν σημαντικά μειωμένες, τόσο σε σχέση με αυτές που προκύπτουν αν εισάγουμε σαν πλησιέστερη πόλη την πόλη της Καστοριάς, η οποία έχει μέσο υψόμετρο στα 620 m και μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες που πλησιάζουν περισσότερο στις αντίστοιχες του Μετσόβου συγκριτικά με τα Ιωάννινα, όσο και με τις πραγματικές ενεργειακές καταναλώσεις που προκύπτουν από τα αντίστοιχα τιμολόγια του κτιρίου. Συνεπώς, γίνεται σαφής η ιδιαίτερη βαρύτητα των κλιματικών δεδομένων και του υψομέτρου, ως παράγοντα καθορισμού των ενεργειακών απαιτήσεων του κτιριακού τομέα.

- Για λόγους πληρότητας, προσδιορίστηκε η μηνιαία ενεργειακή ζήτηση μέσω της μεθόδου των βαθμομερών θέρμανσης για την περιοχή του Μετσόβου, όπως αυτή παρουσιάζεται στη διδακτορική διατριβή του Ν. Κατσουλάκου (Κατσουλάκος, 2013) και αποτελεί μεθοδολογία ενεργειακής ανάλυσης σταθερής κατάστασης. Στην προκειμένη περίπτωση, οι βαθμομέρες υπολογίζονται συναρτήσει του υψομέτρου και του γεωγραφικού πλάτους με θερμοκρασία βάσης τους 16°C. Παρατηρείται ότι οι τιμές που προκύπτουν μέσω της μεθόδου των βαθμομερών ανταποκρίνονται καλύτερα στις πραγματικές ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου, συγκριτικά με τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από την εκτέλεση του λογισμικού TEE-KENAK, το οποίο βασίζεται σε μεθοδολογία ημισταθερής κατάστασης μηνιαίου βήματος.

- Τέλος, είναι άξιο προσοχής ότι το κτίριο μελέτης, το ΜΕ.Κ.Δ.Ε., παρουσιάζει σχετικά ικανοποιητική ενεργειακή συμπεριφορά, πριν από οποιαδήποτε επέμβαση ενεργειακής αναβάθμισης, παρουσιάζοντας ενεργειακή κατάταξη κατηγορίας «Γ». Σημαντικό ρόλο σε αυτό παίζουν τα χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του, τα οποία είναι επενδεδυμένα εξωτερικά με πέτρα και παρουσιάζουν υψηλή θερμοχωρητικότητα καθώς



και το ότι έχει τοποθετηθεί θερμομόνωση σημαντικού πάχους, συμβάλλοντας στην μείωση του συντελεστή θερμοπερατότητας. Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι ο συνδυασμός των τοπικών δομικών υλικών (πέτρα) με σύγχρονα μονωτικά υλικά, μπορεί να θωρακίσει ενεργειακά τον κτιριακό τομέα, στις ορεινές περιοχές, διατηρώντας ταυτόχρονα την παραδοσιακή αρχιτεκτονική φυσιογνωμία και να συμβάλλει στην αξιοποίηση των τοπικών πόρων.

Σχετικά με το δεύτερο στάδιο διεξαγωγής της μελέτης στην παρούσα εργασία, η προοπτική της αξιοποίησης της αβαθούς γεωθερμίας ως μέτρο ενεργειακής εξοικονόμησης, οδηγεί στα παρακάτω συμπεράσματα:

- Ο σωστός σχεδιασμός και η κατάλληλη διάταξη του γεωθερμικού συστήματος και ιδιαίτερα των γεωεναλλακτών είναι καθοριστικά για την αποδοτικότητα του συστήματος. Η πρωταρχική παράμετρος για το παραπάνω είναι η μέγιστη επιτρεπτή διαφορά θερμοκρασίας του ρευστού στο γεωεναλλάκτη μεταξύ της εισόδου και εξόδου από αυτόν (θερμοκρασία προσαγωγής και επιστροφής ρευστού), η οποία ορίζεται κατά το σχεδιασμό. Στην παρούσα εργασία, έγινε εισαγωγή προσομοίωσης μοντέλου στο λογισμικό Earth Energy Designer, με 25 γεωτρήσεις, βάθους 100m έκαστη, σχεδιασμός ο οποίος οδηγεί σε ελάχιστη θερμοκρασία ρευστού κάτω των  $-4^{\circ}\text{C}$  και καθιστά το σύστημα μη λειτουργικό και μη αποδεκτό. Το σύστημα επανεξετάστηκε με διάνοιξη 36 γεωτρήσεων, με μεταξύ τους απόσταση τα 6 m και τοποθέτηση αντίστοιχων γεωεναλλακτών, αριθμός που αντιπροσωπεύει το μέγιστο πλήθος γεωτρήσεων που μπορούν να διανοιχθούν στην υπάρχουσα διαθέσιμη εδαφική επιφάνεια, και οδηγεί σε αποδεκτό θερμοκρασιακά σύστημα, με συντελεστή απόδοσης του συστήματος Γ.Α.Θ. ίσο με 3,5. Αξίζει να αναφερθεί σε αυτό το σημείο ότι η κλασική θεώρηση που επικρατεί στην αγορά της γεωθερμίας σύμφωνα με την οποία, για το σχεδιασμό του συστήματος του γεωεναλλάκτη λαμβάνεται ως τυπική τιμή ισχύος που μπορεί να αποσπαστεί από κάθε γεώτρηση 5-6 kW, θα οδηγούσε στη συγκεκριμένη περίπτωση σε μη αποδεκτό σύστημα.

- Ο βαθμός απόδοσης του συστήματος, με βάση την διάταξη που προαναφέρθηκε, προκύπτει ίσος με 3,5. Αυτός ο, σχετικά μικρός για τα δεδομένα των συστημάτων Γ.Α.Θ., βαθμός απόδοσης, οφείλεται στην απουσία θερμικής επαναφόρτισης του εδάφους, που θα υπήρχε στην περίπτωση λειτουργίας συστήματος ψύξης στο κτίριο, με μέγεθος φορτίων αντίστοιχο των απαιτούμενων θερμικών φορτίων. Στην περίπτωση συνυπολογισμού των ψυκτικών φορτίων του κτιρίου με βάση το λογισμικό TEE-KENAK, ο βαθμός απόδοσης του συστήματος ανέρχεται στο 4 και επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας. Εναλλακτική προσέγγιση αποτελεί η τοποθέτηση ηλιακών

συλλεκτών, με σκοπό την επαναφόρτιση του εδάφους, την άνοδο της θερμοκρασίας του και συνεπώς την αύξηση της θερμοκρασίας προσαγωγής του ρευστού και αποδοτικότητας του συστήματος σε τιμές μεταξύ 4 έως 6, για ένα βάθος χρόνου 25 ετών. Σε αυτή την περίπτωση, οι ηλιακοί συλλέκτες θα «μεταφέρουν» ηλιακή ακτινοβολία σε σύστημα σωλήνων διπλού «U» εντός της γεώτρησης (ένα για τη θέρμανση του εδάφους και ένα για την μεταφορά της θερμότητας του ρευστού στην μηχανική μονάδα της αντλίας θερμότητας).

- Για την οικονομοτεχνική ανάλυση της επέμβασης, δημιουργήθηκαν τρία διαφορετικά σενάρια λειτουργίας της Γ.Α.Θ. και συνεπώς προέκυψε διαφορετικό αρχικό κόστος εγκατάστασης και διαφορετικές τιμές στην οικονομική αξιολόγηση της επένδυσης. Τα τρία σενάρια που διατυπώθηκαν είναι τα εξής: Κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του συγκροτήματος α) εξολοκλήρου μέσω λειτουργίας Γ.Α.Θ., β) μέσω λειτουργίας Γ.Α.Θ. κατά 90% και με χρήση λέβητα πετρελαίου κατά 10% και γ) μέσω λειτουργίας Γ.Α.Θ. κατά 80% και με χρήση λέβητα πετρελαίου κατά 20%. Το συνολικό κόστος του έργου ανέρχεται σε 370000 €, ενώ το κόστος εργασίας φακέλου σε 16200 €. Εφαρμόζοντας τα κριτήρια Καθαρής Παρούσας Αξίας και Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης για την οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης, προκύπτει ότι ένα έργο τέτοιου μεγέθους, δεν είναι βιώσιμο χωρίς επιδότηση. Συγκεκριμένα, η επιδότηση που απαιτείται ώστε η επένδυση της εγκατάστασης Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας στο ΜΕ.Κ.Δ.Ε. να είναι οριακά βιώσιμη, ανέρχεται στο 30% του αρχικού κόστους του έργου.

- Παρά του ότι το Μέτσοβο χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα ψυχρές κλιματικές συνθήκες και συνεπώς από αυξημένη ζήτηση θερμικής ενέργειας, το ΜΕΚΔΕ παρουσιάζει γενικά καλή ενεργειακή συμπεριφορά, κυρίως, λόγω των καλών χαρακτηριστικών των τοίχων και των οροφών. Οι απώλειές του οφείλονται, κατά κύριο λόγο, στην ποιότητα των κουφωμάτων. Στις περιπτώσεις που η ενεργειακή κατανάλωση ενός κτιρίου είναι κοντά στα αποδεκτά επίπεδα, οι επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας παρουσιάζουν πιο μικρή οικονομική απόδοση. Ένα ακριβό σύστημα εξοικονόμησης ενέργειας, όπως είναι η γεωθερμία, θα έχει πολύ καλύτερα αποτελέσματα σε κτίρια χαμηλότερης ενεργειακής κλάσης.

- Η υλοποίηση ενός τέτοιου έργου σε μία ευαίσθητη ορεινή περιοχή που έρχεται αντιμέτωπη με το ζήτημα της ενεργειακής φτώχειας και η οποία δεν είναι εξοικειωμένη με σύγχρονες τεχνολογικές εφαρμογές αντίστοιχης εμβέλειας, όπως η γεωθερμική αντλία θερμότητας, για την κάλυψη των θερμικών αναγκών της, μπορεί να αποτελέσει ένα επιδεικτικό εγχείρημα για την περιοχή, να συμβάλλει στην περιβαλλοντική προστασία και

δείξει έμπρακτα το δρόμο για νέες ευκαιρίες ανάπτυξης. Ακόμα, το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, μέσω της εγκατάστασης κατάλληλων συστημάτων ελέγχου και μετρήσεων κατά τη διάρκεια υλοποίησης και λειτουργίας του έργου, μπορεί να δημιουργήσει ένα ζωντανό εργαστήριο για τα ενεργειακά ζητήματα των ορεινών περιοχών δημιουργώντας νέα επιστημονική γνώση στην υλοποίηση αντίστοιχων τεχνικών εφαρμογών εξοικονόμησης ενέργειας.

#### 4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Allan, M. & Philippacopoulos, A. J., 1999. *Properties and performance of cement based grouts for geothermal heat pump applications*. Washington: Office of geothermal technologies U.S Department of Energy.
- Barbier, E., 2002. *Geothermal energy technology and current status: an overview*, Italy: Institute of Geosciences and Earth Resources.
- Cyprus Energy Agency, 2010. *Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας. Εφαρμογές στον οικιακό τομέα*. Κύπρος: [www.cea.org.cy](http://www.cea.org.cy).
- Dascalaki, E. και συν., 2010. Data collection and analysis of the building stock and its energy performance—An example for Hellenic buildings. *Energy and Buildings*, Τόμος 42, p. 1231–1237.
- Davaki, M., 2011. *ANALYSIS OF ENERGY USE IN TYPICAL GREEK RESIDENTIAL BUILDINGS AND PROPOSED RETROFIT STRATEGIES*. Georgia: Georgia Institute of Technology.
- Dickson, M. & Fanelli, M., 2004. *International Geothermal Association*. [Ηλεκτρονικό] Available at: <http://www.geothermal-energy.org/> [Πρόσβαση 2014].
- Economidou, M. και συν., 2011. *Europe's buildings under the microscope, Executive Summary*. s.l.:BPIE.
- Erbs, D., Klein, S. & Beckman, W., 1983. *Estimation of Degree- Days and Ambient Temperature Bin Data from Monthly- Average Temperatures*. 25 επιμ. s.l.:ASHRAE Journal.
- Euromontana, 2010. *Energy in Mountain Areas. Strategy Proposal. Position Paper of Euromontana*. s.l.:s.n.
- European Commission, 2013. *EU Energy in Figures, Statistical Pocketbook*. Luxembourg: [http://ec.europa.eu/energy/publications/doc/2013\\_pocketbook.pdf](http://ec.europa.eu/energy/publications/doc/2013_pocketbook.pdf).
- Eurostat, 2013. *Energy, transport and environment indicators, Pocketbook*. [Ηλεκτρονικό] Available at: [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY\\_OFFPUB/KS-DK-13-001/EN/KS-DK-13-001-EN.PDF](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-DK-13-001/EN/KS-DK-13-001-EN.PDF) [Πρόσβαση 2014].
- Gehlin, S., 2002. *Thermal Response Test, Method Development and Evaluation. Phd Thesis*. Lulea University of Technology: s.n.
- Hellstrom, G. & Burkhard, S., 2000. *Earth Energy Designer, User Manual. Borehole heat exchangers*. s.l.:s.n.
- Kavanaugh, S. & Rafferty, K., 1997. Design of Geothermal Systems for Commercial and Institutional Buildings. Στο: *Ground-Source Heat Pumps*. Atlanta: ASHRAE, p. Chap. 3.

- Lubimova, E., 1968. Thermal history of the Earth. In: *The Earth's Crust and Upper Mantle. Amer. Geophys. Un., Geophys. Mon. Ser*, Τόμος 13, p. pp.63—77.
- Matzarakis, A. & Balafoutis, C., 2004. Heating degree days over Greece as an index of energy consumption. *International Journal of Climatology*, Τόμος 24, pp. 1817-1828.
- Nicholson, K., 1993. *Geothermal Fluids. Springer Verlag, Berlin*, Τόμος XVIII, p. 264.
- NTUA, 2014. *Μετσόβιο Κέντρο Διεπιστημονικής Έρευνας*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <http://www.ntua.gr/MIRC/> [Πρόσβαση Ιανουάριος 2014].
- Parish, R., 2002. *Mountain Environments.. Essex: Pearson Education Limited*.
- Perez-Lombard, L., Ortiz, J. & Pout, C., 2008. A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, Τόμος 40, p. 394–398.
- RETSscreen, 2005. GROUND-SOURCE HEAT PUMP PROJECT ANALYSIS. Στο: *CLEAN ENERGY PROJECT ANALYSIS:RETSscreen® ENGINEERING & CASES TEXTBOOK*. Canada: Minister of Natural Resources Canada 2001 - 2005.
- Sanner, B., 2001. *Shallow geothermal energy*. GHC Bulletin, 19-25: s.n.
- Santamouris, M. και συν., 2006. *ON THE RELATION BETWEEN THE ENERGY AND SOCIAL CHARACTERISTICS OF THE RESIDENTIAL SECTOR*, ATHENS: PREA Workshop, Κείμενο: Ενέργεια και Κτίριο:  
[http://www.buildings.gr/greek/aiforos/exikonomisi/m\\_santamouris.htm](http://www.buildings.gr/greek/aiforos/exikonomisi/m_santamouris.htm).
- Shiba, Y., Ryozo, O. & Kentaro, S., 2007. *Development of high performance water-to-water heat pump for ground-source application*. s.l.:ASHRAE Transactions.
- White, D., 1973. Characteristics of geothermal resources. Στο: P. a. O. C. Kruger, επιμ. *Geothermal Energy*. Stanford: Stanford University Press, pp. 69-94.
- WWF, 2009. *Το κλίμα είναι στο χέρι μας, Η κατάσταση στην Ελλάδα*, Αθήνα:  
[http://politics.wwf.gr/images/stories/political/press/situation\\_greece.pdf](http://politics.wwf.gr/images/stories/political/press/situation_greece.pdf).
- Αθανασόπουλος, Κ., 2009. « Προσομείωση Λειτουργίας Γεωθερμικών Εναλλακτών και Θερμαντιών με Ανάπτυξη Αντίστοιχου Λογισμικού». Ε.Μ.Π. επιμ. Αθήνα: Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών- Τομέας Θερμότητας.
- Ανδρίτσος, Ν., 2004. *Γεωθερμική Ενέργεια και Εφαρμογές*. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας: Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας.
- Ανδρίτσος, Ν., Αρβανίτης, Α., Κολιός, Ν. & Κουτσινός, Σ., n.d. *ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΙΑΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ*. Θεσσαλονίκη: s.n.

- Αραπογιάννη, Α., 2008. *ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΛΑΥΡΙΟΥ*. Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Ρευστών επιμ. Αθήνα: Ε.Μ.Π.
- Γαγλία, Α., 2008. *ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ –ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΕΩΝ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ*. ΑΘΗΝΑ: ΟΕΕ, ΙΕΠΒΑ, ΕΑΑ.
- Γιαννακοπούλου, Σ., 2012. *Αποτίμηση της παραδοσιακής αρχιτεκτονικής των ορεινών περιοχών με μεθόδους περιβαλλοντικής οικονομίας*. ΕΜΠ επιμ. Αθήνα: Διδακτορική Διατριβή. Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών.
- Θεοδώρου, Α., 2012. *Ανάπτυξη μεθοδολογίας για την εκτίμηση του δυναμικού εξοικονόμησης ενέργειας στις ορεινές περιοχές. Η περίπτωση του Μετσόβου*. Μεταπτυχιακή εργασία Δ.Π.Μ.Σ. "Περιβάλλον και Ανάπτυξη των Ορεινών Περιοχών" επιμ. Αθήνα: ΕΜΠ.
- Καλιαμπάκος, Δ., Γιαννακοπούλου, Σ. & Κατσουλάκος, Ν., 2009. *Περιβάλλον και Κοινωνία των Ορεινών Περιοχών. Εισαγωγή. Σημειώσεις μαθήματος*. Ε.Μ.Π. επιμ. σ.λ.:Δ.Π.Μ.Σ. Περιβάλλον και Ανάπτυξη των Ορεινών Περιοχών.
- Καλιαμπάκος, Δ. & Δαμίγος, Δ., 2008. *Σημειώσεις Μαθήματος Οικονομικά του Περιβάλλοντος και των Υδατικών Πόρων, Χρηματοοικονομική και κοινωνικοοικονομική αξιολόγηση επενδύσεων*. Αθήνα: Ε.Μ.Π.
- ΚΑΠΕ, 2009. *Το Ελληνικό ενεργειακό σύστημα*. Αθήνα: Υπουργείο Ανάπτυξης.
- ΚΑΠΕ, 2012. *Energy Efficiency Policies and Measures in Greece ,ODYSSEE- MURE 2010, Monitoring of EU and national energy efficiency targets*. Athens: [http://www.odyssee-indicators.org/publications/PDF/greece\\_nr.pdf](http://www.odyssee-indicators.org/publications/PDF/greece_nr.pdf).
- ΚΑΠΕ, 2014. *Εξοικονόμηση Ενέργειας στα κτίρια - Αντλίες Θερμότητας*. [Ηλεκτρονικό] Available at: [http://www.cres.gr/energy\\_saving/Ktiria/ee\\_antlies\\_thermotitas.htm](http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/ee_antlies_thermotitas.htm)[Πρόσβαση 2014].
- Καραγκούνη, Μ., 2012. *Βιώσιμη ενεργειακή πολιτική σε ορεινές περιοχές*. Ε.Μ.Π. επιμ. Αθήνα: Μεταπτυχιακή Εργασία του Δ.Π.Μ.Σ. "Περιβάλλον και Ανάπτυξη".
- Κατσαπρακάκης, Δ., 2010. *Γεωθερμία, Σημειώσεις Μαθήματος Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*. ΤΕΙ Κρήτης επιμ. Κρήτη: Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας, Τμήμα Μηχανολογίας.
- Κατσουλάκος, Ν., 2011. *Αναβάθμιση της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων στις ορεινές περιοχές: Η περίπτωση του ΜΕΚΔΕ*. Στο: Κ. Δ., επιμ. *Η συμβολή του Εθνικού*

- Μετσόβιου Πολυτεχνείου στην ολοκληρωμένη ανάπτυξη των Δήμου Μετσόβου.  
Μέτσοβο: Ε.Μ.Π.
- Κατσουλάκος, Ν., 2013. *Βέλτιστη Χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις ορεινές περιοχές. Η περίπτωση του Μετσόβου*. ΕΜΠ επιμ. Αθήνα: Διδακτορική Διατριβή.
- Κατσουλάκος, Ν. & Καλιαμπάκος, Δ., 2010. *Ανανεώσιμες πηγές και Ορεινές περιοχές. Η Ολοκληρωμένη Ανάπτυξη των Ωρεινών Περιοχών*. Μέτσοβο, 6ο Διεπιστημονικό – Διαπανεπιστημιακό Συνέδριο του ΜΕΚΔΕ και του ΜΕΚΔΕ του ΕΜΠ.
- Μαστοράκη, Σ., 2012. *Τεχνικο-οικονομική ανάλυση και πειθαλλοντική αποτίμηση εφαρμογής Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας:Θερμικά Ηλιακά Συστήματα -Αβαθείς Γεωθερμία*. Ε.Μ.Π. επιμ. Αθήνα: Διεπιστημονικό- Διατμηματικό πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών"Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών πόρων".
- Ματζαράκης, Α. & Μπαλαφούτης, Χ., 2002. *Γεωγραφική κατανομή βαθμομερών θέρμανσης στον Ελληνικό χώρο για Ενεργειακή χρήση. 6ο Πανελλήνιο Συνέδριο Μετεωρολογίας, Κλιματολογίας και Φυσικής της Ατμόσφαιρας (σ.σ. 156-163)*. Ιωάννινα, Β.Δ. Κατσούλης.
- Νόμος 2244/1994, 1994. «Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις». σ.λ.:ΦΕΚ Α' 168.
- Νόμος 3175, 2003. «Αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού, τηλεθέρμανση και άλλες διατάξεις». σ.λ.:ΦΕΚ Α' 207.
- Νόμος 3468, 2006. «Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας υψηλής απόδοσης και λοιπές διατάξεις». σ.λ.:ΦΕΚ Α' 129.
- Νόμος 3661, 2008. «Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων». σ.λ.:ΦΕΚ 89.
- Νόμος 3851, 2010. «Επιτάχυνση της ανάπτυξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής». σ.λ.:ΦΕΚ Α' 85.
- Νόμος 3855, 2010. «Μέτρα για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά την τελική χρήση, ενεργειακές υπηρεσίες και άλλες διατάξεις». σ.λ.:ΦΕΚ Α' 95.
- Οδηγία 2002/91/ΕΚ, 16ης Δεκεμβρίου 2002. *Ενεργειακή απόδοση των κτιρίων*. σ.λ.: Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου.
- Οδηγία 2006/32/ΕΚ, 5 Απριλίου 2006. *Για την ενεργειακή απόδοση κατά την τελική χρήση και τις ενεργειακές υπηρεσίες και για την κατάργηση της οδηγίας 93/76/ΕΟΚ του Συμβουλίου*. σ.λ.:Του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου.

- Παπανικολάου, Κ., 2012. *Ανάπτυξη Υπολογιστικού Μοντέλου για υπολογισμό θερμικών και ψυκτικών φορτίων κτιρίου*. Τομέας Θερμότητας, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών επιμ. Αθήνα: Ε.Μ.Π.
- Πολύζου, Ο., 2007. «*ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ-ΒΙΩΣΙΜΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΤΟΠΙΚΕΣ ΚΟΙΝΩΝΙΕΣ*». Διδακτορική Διατριβή- Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών επιμ. Αθήνα: Ε.Μ.Π.
- Προεδρικό Διάταγμα, 1.6/4.7.1979. *Περί εγκρίσεως κανονισμού δια την θερμομόνωση των κτιρίων*. σ.λ.:ΦΕΚ 362 Δ'.
- Στέγγου-Σαγιά, Α., 2013. *ΘΕΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΟΦΕΛΗ*. Αθήνα: Ε.Μ.Π.
- Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-2/2010, 2010. *ΘΕΡΜΟΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΤΩΝ ΚΤΗΡΙΩΝ*. Athens: Τ.Ε.Ε.
- Τ.Ο.Τ.Ε.Ε., 2010. *ΤΕΧΝΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ 20701-1/2010, ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΕΘΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΤΗΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΚΔΟΣΗ ΤΟΥ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ*. Β' έκδοση επιμ. Αθήνα: ΤΕΕ.
- ΤΕΕ, 2014. *Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος*. [Ηλεκτρονικό] Available at: [http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC\\_WORK/GR\\_ENERGEIAS/kenak/tee\\_kenak](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC_WORK/GR_ENERGEIAS/kenak/tee_kenak)
- Τομαράς, Κ., 2013. «*ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΣΕ ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΗ ΒΥΤΙΝΑ-ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ & ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ*». σ.λ.:ERGON EQUIPMENT ΑΕΤΕ.
- ΦΕΚ 407, 2010. *Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων*. σ.λ.:Αριθμ. Δ6/Β/οικ. 5825.
- Φραγκογιάννης, Γ., 2011. «*Αναλυτικός Σχεδιασμός και Παραμετρική ανάλυση-συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας με κατακόρυφους γεωεναλλάκτες. Πειραματική διερεύνηση του θερμικού δυναμικού του υπεδάφους*». Ε.Μ.Π. επιμ. ΑΘΗΝΑ: ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ, ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ- ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ.
- Φυτίκας, Μ. & Ανδρίτσος, Ν., 2004. *Γεωθερμία*. Αθήνα: Τζιόλα.



## 5. ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

<b>Διάγραμμα 1:</b> Μέσο μηνιαίο ύψους βροχής κατά τα έτη 1915-2000 και μέση μηνιαία θερμοκρασία κατά τα έτη 1961-2009, Πηγή: Μετρήσεις Σταθμών ΕΜΥ, ΕΘΙΑΓΕ, Ιδία επεξεργασία .....	50
<b>Διάγραμμα 2:</b> Κατανάλωση πετρελαίου στο ΜΕ.Κ.Δ.Ε. σε μηνιαία βάση για τα έτη 2010-2013.....	58
<b>Διάγραμμα 3:</b> Κατανάλωση πετρελαίου στο ΜΕ.Κ.Δ.Ε. σε ετήσια βάση.....	58
<b>Διάγραμμα 4:</b> Ετήσιο Κόστος Κατανάλωσης πετρελαίου για τα έτη 2009- 2012.....	58
<b>Διάγραμμα 5:</b> Πληρωτέα τιμή λίτρου πετρελαίου για τα έτη 2009- 2013 .....	59
<b>Διάγραμμα 6:</b> Ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος, έτη 2010-2013 .....	59
<b>Διάγραμμα 7:</b> Μηνιαίες βαθμοήμερες θέρμανσης και ελάχιστες, μέγιστες μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες για την περιοχή του Μετσόβου.....	69
<b>Διάγραμμα 8:</b> Μηνιαία Θερμικά Φορτία ΜΕ.Κ.Δ.Ε.....	71
<b>Διάγραμμα 9:</b> Ετήσιες Ενεργειακές Καταναλώσεις σε Θέρμανση και ΖΝΧ για τις δύο προσεγγίσεις .....	73
<b>Διάγραμμα 10:</b> Μηνιαίες Ενεργειακές Καταναλώσεις Θέρμανσης με βάση τη μέθοδο των βαθμοημερών θέρμανσης .....	74
<b>Διάγραμμα 11:</b> Μηνιαίες Ενεργειακές Καταναλώσεις ΖΝΧ με βάση τη μέθοδο των βαθμοημερών θέρμανσης .....	74

## 6. ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

<b>Πίνακας 1:</b> Κατηγορίες ενεργειακής απόδοσης κτιρίων, Πηγή: ΚΕΝΑΚ.....	25
<b>Πίνακας 2:</b> Αριθμός κατοικιών ανά ηλικιακή κατηγορία και ποσοστό κατοικιών, αναλόγως του βασικού υλικού κατασκευής του φέροντα οργανισμού στον οικισμό του Μετσόβου, Πηγή: Κατσουλάκος, 2013 .....	51
<b>Πίνακας 3:</b> Κατανάλωση θερμικής ενέργειας στο δήμο Μετσόβου, σε ετήσια βάση, Πηγή: Καλιαμπάκος & Κατσουλάκος, 2010 .....	52
<b>Πίνακας 4:</b> Χαρακτηριστικά συστήματος λέβητα πετρελαίου .....	56
<b>Πίνακας 5:</b> Χαρακτηριστικά συστήματος ηλεκτρικού θερμαντήρα .....	57
<b>Πίνακας 6:</b> Ενεργειακή κατάταξη κτιριακών ενοτήτων ΜΕΚΔΕ με αντιπροσωπευτική πόλη τα Ιωάννινα, για το υπάρχον κτίριο και το κτίριο αναφοράς (Κ.Α.) .....	65
<b>Πίνακας 7:</b> Ενεργειακή κατάταξη κτιριακών ενοτήτων ΜΕΚΔΕ με αντιπροσωπευτική πόλη την Καστοριά, για το υπάρχον κτίριο και το κτίριο αναφοράς (Κ.Α.) .....	65
<b>Πίνακας 8:</b> Ετήσια Θερμική Ισχύς ΜΕ.Κ.Δ.Ε. ....	70
<b>Πίνακας 9:</b> Ετήσιο Κόστος για θέρμανση μέσω λέβητα πετρελαίου με χρήση ΤΕΕ-ΚΕΝΑΚ με πόλη εισαγωγής τα Ιωάννινα .....	81
<b>Πίνακας 10:</b> Ετήσιο Κόστος για θέρμανση μέσω λέβητα πετρελαίου με χρήση ΤΕΕ-ΚΕΝΑΚ με πόλη εισαγωγής την Καστοριά.....	81
<b>Πίνακας 11:</b> Ετήσιο Κόστος για θέρμανση μέσω λέβητα πετρελαίου με χρήση μεθόδου βαθμομερών θέρμανσης .....	82
<b>Πίνακας 12:</b> Ετήσια εξοικονόμηση για τα τρία σενάρια λειτουργίας.....	84
<b>Πίνακας 13:</b> Εκπομπές Διοξειδίου του Άνθρακα από τα εξεταζόμενα συστήματα .....	84
<b>Πίνακας 14:</b> Εκτιμώμενη κοστολόγηση εγκατάστασης Γ.Α.Θ. ....	86
<b>Πίνακας 15:</b> Εκτιμώμενο κόστος προετοιμασίας έργου .....	86
<b>Πίνακας 16:</b> Πίνακας Ταμιακών ροών επένδυσης .....	89
<b>Πίνακας 17:</b> Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση για Ψύξη .....	90
<b>Πίνακας 18:</b> Ενεργειακές καταναλώσεις , συμπεριλαμβανομένων ψυκτικών φορτίων ..	90
<b>Πίνακας 19:</b> Οικονομική Αξιολόγηση για την περίπτωση ψυκτικών φορτίων .....	91

## 7. ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

<b>Εικόνα 1:</b> Ενεργειακή κατανάλωση στην Ευρώπη (EU-28) ανά τομέα, 2001- 2011 (Mtoe), Πηγή: (Eurostat, 2013) .....	8
<b>Εικόνα 2:</b> Ενεργειακή κατανάλωση στον οικιακό τομέα στην Ευρώπη (EU-28) ανά καύσιμο, 2001-2011 (Mtoe), Πηγή: (Eurostat, 2013) .....	9
<b>Εικόνα 3:</b> Συνολική τελική κατανάλωση ανά τομέα στην Ελλάδα, 1990 και 2010, Πηγή: (ΚΑΠΕ, 2012).....	10
<b>Εικόνα 4:</b> Ενεργειακή κατανάλωση στη Ελλάδα στον οικιακό τομέα ανά καύσιμο (1990-2010), Πηγή: (ΚΑΠΕ, 2012) .....	11
<b>Εικόνα 5:</b> Ενεργειακή κατανάλωση στη Ελλάδα στον οικιακό τομέα ανά τελική χρήση (1990-2010), Πηγή: (ΚΑΠΕ, 2012) .....	12
<b>Εικόνα 6:</b> Ενεργειακή κατανάλωση στη Ελλάδα στον τριτογενή τομέα ανά καύσιμο (1990-2010), Πηγή: (ΚΑΠΕ, 2012).....	13
<b>Εικόνα 7:</b> α) Κατανάλωση Ενέργειας ανά νοικοκυριό, β) σε νοικοκυριό για θέρμανση χώρου, γ) σε κτίρια τριτογενή τομέα ανά εργαζόμενο, Πηγή: (ΚΑΠΕ, 2012) .....	14
<b>Εικόνα 8:</b> Κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση χώρου ανά νοικοκυριό, Πηγή: (ΚΑΠΕ, 2012).....	14
<b>Εικόνα 9:</b> Σχηματική Απεικόνιση κλιματικών ζωνών ελληνικής επικράτειας, Πηγή: ΚΕΝΑΚ .....	22
<b>Εικόνα 10:</b> Βαθμομημέρες θέρμανσης στην Κέρκυρα, τα Ιωάννινα, το Μέτσοβο και τα Τρίκαλα, Πηγή: (Κατσουλάκος & Καλιαμπάκος, 2010), (Θεοδώρου, 2012).....	28
<b>Εικόνα 11:</b> Διάγραμμα λειτουργίας συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας για ψύξη και θέρμανση, Πηγή: (Chiasson, 1989) .....	33
<b>Εικόνα 12:</b> Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας αντλίας θερμότητας.....	35
<b>Εικόνα 13:</b> Σύστημα ανοιχτού βρόγχου, Πηγή: (Τομαράς,2013) .....	38
<b>Εικόνα 14:</b> i) Παράλληλη διάταξη οριζόντιων γεωεναλλακτών ii) σπειροειδείς γεωεναλλάκτες, Πηγή: (Φραγκογιάννης, 2011).....	39
<b>Εικόνα 15:</b> Σύστημα οριζόντιου γεωεναλλάκτη, Πηγή: (Τομαράς, 2013) .....	40
<b>Εικόνα 16:</b> Διατάξεις κατακόρυφων πολλαπλών γεωθερμικών εναλλακτών, Πηγή: (Αθανασόπουλος, 2009).....	41
<b>Εικόνα 17:</b> Σύστημα κατακόρυφου κλειστού γεωεναλλάκτη, Πηγή: (Τομαράς, 2013) ...	42
<b>Εικόνα 18:</b> i) Σύστημα Δοκιμής Θερμικής Απόκρισης ii) καταγραφή δεδομένων θερμοκρασίας εισόδου και εξόδου σε χρονική διάρκεια 50 ωρών Πηγή: (Sanner et al., 2005), (Φραγκογιάννης, 2011).....	45

<b>Εικόνα 19:</b> Ποσοστά χρήσης ενεργειακών τεχνολογιών για κάλυψη θερμικών αναγκών των νοικοκυριών στο Μέτσοβο, Πηγή: Κατσουλάκος, 2013 .....	51
<b>Εικόνα 20:</b> Το Μετσόβιο Κέντρο Διεπιστημονικής Έρευνας, σε φάσεις κατασκευής και λειτουργίας.....	56
<b>Εικόνα 21:</b> Παράδειγμα δεδομένων εισαγωγής εδαφικών παραμέτρων, Πηγή: (Hellstrom & Burkhard, 2000) .....	76
<b>Εικόνα 22:</b> Παράδειγμα δεδομένων εισαγωγής ρευστού γεωεναλλάκτη, Πηγή: (Hellstrom & Burkhard, 2000) .....	77
<b>Εικόνα 23:</b> Παράδειγμα δεδομένων εισαγωγής φορτίων αιχμής, Πηγή: (Hellstrom & Burkhard, 2000).....	77
<b>Εικόνα 24:</b> Πίνακας Εξαγωγής Αποτελεσμάτων, Πηγή: (Hellstrom & Burkhard, 2000) ....	78
<b>Εικόνα 25:</b> Διάταξη γεωτρήσεων στον περιβάλλοντα χώρο του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. ....	79

## 8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

### ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι. Διαστασιολόγηση Κατακόρυφου Γεωεναλλάκτη- Λογισμικό

#### Earth Energy Designer

MEMORY NOTES FOR PROJECT

[]

#### QUICK FACTS

Cost	-
Number of boreholes	36
Borehole depth	150.00 m
Total borehole length	5400.00 m

#### DESIGN DATA

=====

#### GROUND

Ground thermal conductivity	2.000 w/(m·K)
Ground heat capacity	2.160 MJ/(m <sup>3</sup> ·K)
Ground surface temperature	10.00 °C
Geothermal heat flux	0.0800 w/m <sup>2</sup>

#### BOREHOLE

Configuration:	423 ("36 : 6 x 6 rectangle")
Borehole depth	150.00 m
Borehole spacing	6.00 m
Borehole installation	Single-U
Borehole diameter	130.00 mm
U-pipe diameter	32.000 mm
U-pipe thickness	3.000 mm
U-pipe thermal conductivity	0.420 w/(m·K)
U-pipe shank spacing	98.000 mm
Filling thermal conductivity	1.500 w/(m·K)
Contact resistance pipe/filling	0.0000 (m·K)/w

#### THERMAL RESISTANCES

Borehole thermal resistances are calculated.  
Number of multipoles 10  
Internal heat transfer between upward and downward channel(s) is considered.

#### HEAT CARRIER FLUID

Thermal conductivity	0.4800 w/(m·K)
Specific heat capacity	3795.000 J/(kg·K)
Density	1052.000 kg/m <sup>3</sup>
Viscosity	0.005200 kg/(m·s)
Freezing point	-14.0 °C
Flow rate per borehole	0.274 l/s

#### BASE LOAD

Seasonal performance factor (DHW)	3.20
Seasonal performance factor (heating)	3.50
Seasonal performance factor (cooling)	6.00

#### Monthly energy values [Mwh]

Month	Heat load	Cool load	Ground load
JAN	43.32	0.00	30.914
FEB	38.95	0.00	27.790
MAR	36.92	0.00	26.340
APR	24.19	0.00	17.248
MAY	12.11	0.00	8.619
JUN	4.66	0.60	2.597
JUL	1.16	0.60	0.097
AUG	1.16	0.00	0.798
SEP	1.16	0.00	0.798
OCT	18.10	0.00	12.898
NOV	28.33	0.00	20.205
DEC	38.83	0.00	27.705
Total	248.89	1.20	176.008

PEAK LOAD

Month	Monthly peak powers [kw]	Peak heat	Duration	Peak cool	Duration [h]
JAN	144.80		8.0	0.00	0.0
FEB	136.61		6.0	0.00	0.0
MAR	125.86		6.0	0.00	0.0
APR	115.62		6.0	0.00	0.0
MAY	70.57		6.0	0.00	0.0
JUN	42.93		3.0	0.00	0.0
JUL	0.00		0.0	0.00	0.0
AUG	0.00		0.0	0.00	0.0
SEP	0.00		0.0	0.00	0.0
OCT	84.91		6.0	0.00	0.0
NOV	104.36		6.0	0.00	0.0
DEC	129.96		8.0	0.00	0.0
Number of simulation years				25	
First month of operation				JAN	

C A L C U L A T E D   V A L U E S

Total borehole length 5400.00 m

THERMAL RESISTANCES

Borehole therm. res. internal	0.5319 (m·K)/w
Reynolds number	2715
Thermal resistance fluid/pipe	0.0150 (m·K)/w
Thermal resistance pipe material	0.0787 (m·K)/w
Contact resistance pipe/filling	0.0000 (m·K)/w
Borehole therm. res. fluid/ground	0.0963 (m·K)/w
Effective borehole thermal res.	0.1081 (m·K)/w

SPECIFIC HEAT EXTRACTION RATE [w/m]

Month	Base load	Peak heat	Peak cool
JAN	7.84	19.15	-0.00
FEB	7.05	18.07	-0.00
MAR	6.68	16.65	-0.00
APR	4.38	15.29	-0.00
MAY	2.19	9.33	-0.00
JUN	0.66	5.68	-0.00
JUL	0.02	0.00	-0.00
AUG	0.20	0.00	-0.00
SEP	0.20	0.00	-0.00
OCT	3.27	11.23	-0.00
NOV	5.13	13.80	-0.00
DEC	7.03	17.19	-0.00

BASE LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month) [°C]

Year	1	2	5	10	25
JAN	9.87	8.58	6.41	4.44	1.75
FEB	9.86	8.63	6.53	4.58	1.90
MAR	9.77	8.58	6.52	4.60	1.93
APR	10.44	9.32	7.31	5.40	2.75
MAY	11.23	10.13	8.15	6.27	3.63
JUN	11.82	10.76	8.80	6.93	4.31
JUL	12.07	11.10	9.14	7.29	4.68
AUG	12.03	11.11	9.17	7.34	4.75
SEP	12.07	11.14	9.26	7.44	4.86
OCT	10.89	9.94	8.11	6.30	3.73
NOV	10.08	9.09	7.31	5.51	2.96
DEC	9.16	8.18	6.43	4.66	2.12

BASE LOAD: YEAR 25

Minimum mean fluid temperature 1.75 °C at end of JAN  
 Maximum mean fluid temperature 4.86 °C at end of SEP

PEAK HEAT LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month) [°C]

Year	1	2	5	10	25
JAN	7.45	6.16	3.99	2.03	-0.67
FEB	7.63	6.40	4.30	2.35	-0.33
MAR	7.75	6.56	4.51	2.58	-0.08
APR	8.23	7.11	5.10	3.20	0.55
MAY	9.78	8.68	6.71	4.82	2.19
JUN	10.95	9.88	7.92	6.05	3.43
JUL	12.07	11.10	9.14	7.29	4.68
AUG	12.03	11.11	9.17	7.34	4.75
SEP	12.07	11.14	9.26	7.44	4.86
OCT	9.28	8.33	6.50	4.69	2.12
NOV	8.33	7.34	5.55	3.76	1.20
DEC	6.99	6.01	4.26	2.49	-0.05

PEAK HEAT LOAD: YEAR 25

Minimum mean fluid temperature -0.67 °C at end of JAN  
 Maximum mean fluid temperature 4.86 °C at end of SEP

PEAK COOL LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month) [°C]

Year	1	2	5	10	25
JAN	9.87	8.58	6.41	4.44	1.75
FEB	9.86	8.63	6.53	4.58	1.90
MAR	9.77	8.58	6.52	4.60	1.93
APR	10.44	9.32	7.31	5.40	2.75
MAY	11.23	10.13	8.15	6.27	3.63
JUN	11.82	10.76	8.80	6.93	4.31
JUL	12.07	11.10	9.14	7.29	4.68
AUG	12.03	11.11	9.17	7.34	4.75
SEP	12.07	11.14	9.26	7.44	4.86
OCT	10.89	9.94	8.11	6.30	3.73
NOV	10.08	9.09	7.31	5.51	2.96
DEC	9.16	8.18	6.43	4.66	2.12

PEAK COOL LOAD: YEAR 25

Minimum mean fluid temperature 1.75 °C at end of JAN  
 Maximum mean fluid temperature 4.86 °C at end of SEP