



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**  
**ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Αναπτυξιακό σχέδιο της Λέρου σε πράσινο νησί με χρήση σύγχρονων μονάδων ενέργειας.**



**Όνομ/μο σπουδάστριας: Τσουρουνάκη Στυλιανή-Μαρία**

**A.M. : 5726**

**Επιβλέπων καθηγητής: κ. Κατσαπρακάκης Δημήτριος**

**ΗΡΑΚΛΕΙΟ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2017**

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του τμήματος για τις γνώσεις που μου προσέφεραν απλόχερα ώστε να έχω τις απαραίτητες βάσεις που χρειάζονται για την αγορά εργασίας.

Κατά κύριο λόγο θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή της πτυχιακής μου εργασίας κ. Κατσαπρακάκη Δημήτριο, Επίκουρο καθηγητή του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τ.Ε.Ι. Κρήτης για την εμπιστοσύνη του προς το πρόσωπο μου για τη δυνατότητα που μου έδωσε να εκπονήσω αυτή την πτυχιακή εργασία που ανταποκρίνεται στα ερευνητικά μου ενδιαφέροντα, αλλά και για την υποστήριξη που μου παρείχε.

Τέλος , θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένεια μου για την ηθική υποστήριξη που μου παρείχαν όλα τα χρόνια της φοίτησης μου στο ίδρυμα.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εποχή που ζούμε είναι αδιαμφισβήτητο ότι η τεχνολογία προχωράει με ταχύτατους ρυθμούς για την κάλυψη των ανθρώπινων αναγκών είτε σε βιοτικό επίπεδο είτε όχι.

Λόγω ότι τις τελευταίες δεκαετίες έχουν παραμελήσει την φύση και το περιβάλλον, πλέον η Ευρωπαϊκή Ένωση αλλά και η Ελλάδα τα τελευταία χρόνια προσπαθούν να μειώσουν αυτή την περιβαλλοντική καταστροφή με την επιβολή χρήσης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Η Ελλάδα ως χώρα λόγω της γεωγραφικής της θέσης (υψηλή ηλιοφάνεια, νησιωτική Ελλάδα) έχει το προνόμιο να χρησιμοποιήσει σχεδόν όλες τις μορφές ενέργειας και τον συνδυασμό μεταξύ τους.

Πιο συγκεκριμένα , στην παρούσα μελέτη αναφερόμαστε σε ένα σύμπλεγμα νησιών στο νότιο-ανατολικό Αιγαίο και ειδικότερα στο νησί της Λέρου, όπου λαμβάνει μέρος η μελέτη, το οποίο δεν είναι άμεσα διασυνδεδεμένο με την ηπειρωτική Ελλάδα αλλά τροφοδοτείται με ηλεκτρική ενέργεια μέσω υποθαλάσσιων καλωδίων από τα νησιά Κάλυμνο και Κω στα οποία υπάρχουν δύο θερμοηλεκτρικά εργοστάσια, ένα στο καθένα.

Το έργο που προτάσσεται περιλαμβάνει χρήση γεωθερμικού συστήματος σ' έναν οικισμό της Λέρου , της Αγίας Μαρίνας, για θέρμανση και ψύξη των κατοικιών. Την εγκατάσταση σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών αυτοκινήτων για την μείωση εκπομπής ρύπων και τέλος την εγκατάσταση αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού εργοστασίου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η μελέτη περιλαμβάνει την χωροθέτηση , την διαστασιολόγηση αλλά και την οικονομοτεχνική μελέτη.

## SUMMARY

Nowadays is undeniable that technology is moving too fast to meet human needs in standards of living or not.

Given that in recent decades have neglected the nature and the environment, both the European Union and the Greece in recent years trying to reduce this environmental disaster by imposing the use of Renewable Energy Sources. Greece as a country, because of its geographical position (high sunshine, insular Greece) has the privilege to use almost all forms of energy and the combination of them.

More specifically, in this research we mention to a group of islands in south-eastern Aegean and particularly the island of Leros, where takes place the research , which is not directly interconnected with mainland Greece but is supplied with electricity via submarine cables from islands Kalymnos and Kos which have two thermoelectric plants, one to each.

The work that preceded includes use geothermal system in a residential area of Leros, Agia Marina, for heating and cooling of homes. The installation of charging stations for electric cars emission reduction and finally the installation of reversible hydroelectric power plant to produce electricity.

The research includes the location, the design and the financial research.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....σελ. 2</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....σελ. 3</b>
<b>SUMMARY.....σελ.4</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΜΕΛΕΤΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ</b>
<b>1.1 Γενικά περί γεωθερμίας.....σελ. 7</b>
<b>1.2 Η φύση των γεωθερμικών πόρων .....σελ. 8</b>
<b>1.3 Αβαθής γεωθερμία.....σελ. 9</b>
<b>1.4 Τα γεωθερμικά πεδία της Ελλάδας.....σελ.12</b>
<b>1.5 Η γεωθερμική αντλία θερμότητας.....σελ.13</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΣΤΗ ΛΕΡΟ</b>
<b>2.1 Γενικά.....σελ.14</b>
<b>2.2 Εφαρμογή της γεωθερμίας σε συνοικισμό της Λέρου.....σελ.15</b>
<b>2.3 Διαστασιολόγηση συστήματος γεωθερμικής εναλλαγής.....σελ.17</b>
<b>2.4 Μελέτη σκοπιμότητας της επένδυσης.....σελ.31</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....σελ. 35</b>
<b>ΠΙΝΑΚΕΣ – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....σελ.36</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΤΑΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΤΙΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ</b>
<b>3.1 Περίληψη.....σελ.40</b>
<b>3.2 Εισαγωγή.....σελ.40</b>
<b>3.3 Ιστορικό.....σελ.42</b>
<b>3.4 Τα διαφορετικά είδη αυτοκινήτων.....σελ.43</b>
<b>3.5 Περιγραφή.....σελ.44</b>
<b>3.6 Μπαταρίες η καρδιά του Ε.Υ.....σελ.46</b>
<b>3.7 Υπολογισμοί – Ανάγκες σε ενέργεια – Συγκρίσεων.....σελ.47</b>

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

3.8 Το νομοθετικό πλαίσιο.....	σελ.48
3.9 Η ευφυής χρήση του ηλεκτρικού οχήματος.....	σελ.50
3.10 Το μέλλον του ηλεκτρικού οχήματος.....	σελ.50
3.11 Οι σταθμοί φόρτισης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων.....	σελ.51
3.12 Η περίπτωση της Λέρου.....	σελ.54
3.13.Εγκατάσταση σταθμών φόρτισης στη Λέρο.....	σελ.55
3.14 Συμπεράσματα.....	σελ.55
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΕΣ – ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....</b>	<b>σελ.58</b>
<b>ΠΙΝΑΚΕΣ – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....</b>	<b>σελ.59</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΝΑΣΤΡΕΨΙΜΟΥ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ</b>	
4.1 Εισαγωγή και σκοπός της εγκατάστασης.....	σελ.62
4.2 Βασικοί παράμετροι – Δεδομένα υπολογισμού.....	σελ.62
4.3. Περιεκτική περιγραφή της διαδικασίας υπολογισμού – διαστασιολόγησης.....	σελ.65
4.4 Υπολογισμός διαμέτρου, απωλειών ροής και υψών υδατόπτωσης.....	σελ.66
4.5 Υπολογισμός πάχους αγωγού.....	σελ.67
4.6 Οικονομικά στοιχεία.....	σελ.72

## ΜΕΛΕΤΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

### 1.1 Γενικά Περί Γεωθερμίας

Ο όρος «γεωθερμική ενέργεια» χρησιμοποιείται σήμερα για να δηλώσει εκείνο το τμήμα της γήινης θερμότητας που μπορεί να ανακτηθεί και να αξιοποιηθεί από τον άνθρωπο.

Η θέρμανση και η ψύξη των κτηρίων καθώς και η παραγωγή ζεστού νερού χρήσης απαιτούν θερμική και ψυκτική ενέργεια η οποία ανέρχεται περίπου στο 40% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στη χώρα μας. Ανάλογες είναι οι καταναλώσεις και στα υπόλοιπα κράτη του κόσμου. Βέβαια ανάλογα με τη γεωγραφική τους θέση αλλάζουν οι αναλογίες ψύξης /θέρμανσης.

Σήμερα, για τους σκοπούς αυτούς καταναλώνονται συμβατικά καύσιμα ή ακόμη χειρότερα ηλεκτρική ενέργεια η οποία είναι ακριβή γιατί παράγεται με χαμηλή αποδοτικότητα πάλι από συμβατικά καύσιμα. Η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να διαδραματίζει ένα δευτερεύοντα ρόλο στο παγκόσμιο ενεργειακό ισοζύγιο, όμως ως εγχώρια πηγή ενέργειας είναι δυνατό να παίξει πρωταγωνιστικό ρόλο σε τοπικό επίπεδο, ιδιαίτερα στη περίπτωση των νησιών που τα συμβατικά καύσιμα που χρησιμοποιούνται είναι ιδιαίτερα ακριβά.

Η Ελλάδα, μαζί με την Ιταλία και την Πορτογαλία, είναι οι μόνες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης στις οποίες υπάρχουν πεδία υψηλής ενθαλπίας (με θερμοκρασία ρευστών μεγαλύτερη των 150°C) και από τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν τα γεωθερμικά ρευστά για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το γεωθερμικό δυναμικό υψηλής ενθαλπίας θα μπορούσε να εξασφαλίσει μερικές εκατοντάδες MW και μάλιστα σε ευαίσθητους νησιωτικούς χώρους, όπου η παραγωγή και διάθεση ηλεκτρικού ρεύματος μπορεί να επιτευχθεί με αρκετά χαμηλότερο κόστος ανά KWh.

Παράλληλα όμως, η Ελλάδα έχει και πολλά πεδία μέσης και χαμηλής ενθαλπίας τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τις ανάγκες κλιματισμού των κτηρίων [1] .

Το διάγραμμα του Lindal (πίνακας -1) δείχνει τις πιθανές εφαρμογές των γεωθερμικών ρευστών σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία τους αλλά βέβαια σε καμία περίπτωση δε περιορίζει το είδος των δυνατών χρήσεων που αναφέρει ή το εύρος των θερμοκρασιών που χρειάζονται.

Μέχρι σήμερα η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας έχει περιοριστεί σε περιοχές όπου οι γεωλογικές συνθήκες επιτρέπουν σε ένα μέσο (νερό σε υγρή ή αέρια φάση) να «μεταφέρει» τη θερμότητα από τις βαθιές θερμές ζώνες στην επιφάνεια ή κοντά σε αυτήν.

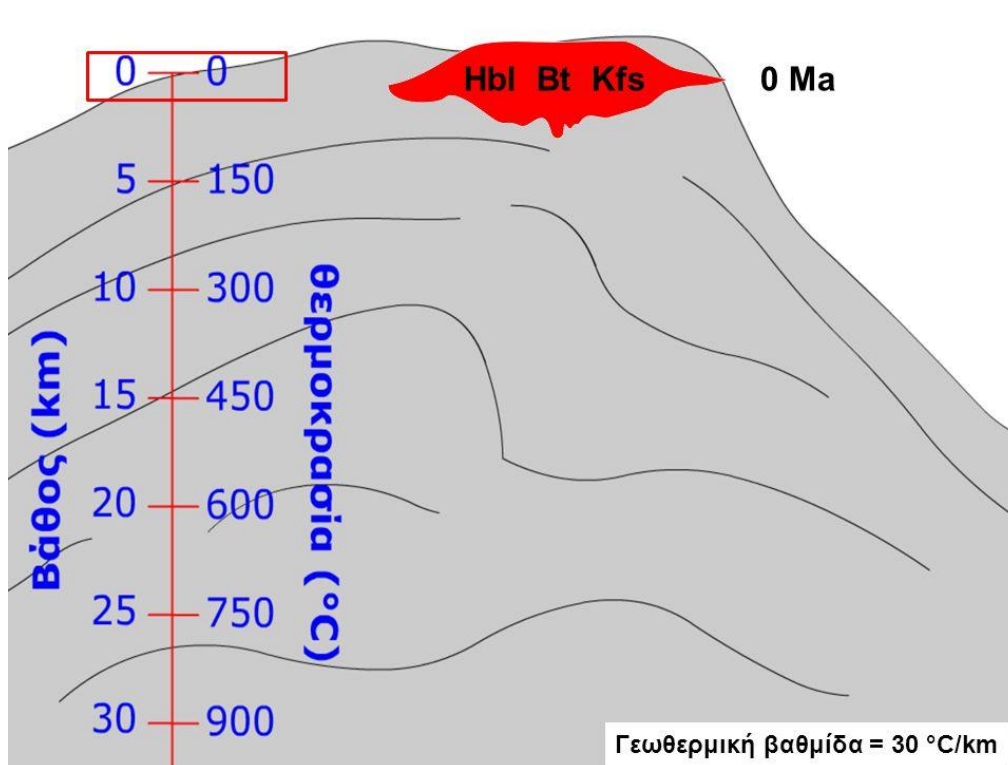
Η θερμοκρασία του κάθε υγρού μέσου αυξάνεται με το βάθος, και τα ηφαιστεια, οι θερμοπίδακες (geysers), οι θερμές πηγές κλπ, αποτελούν κατά μία έννοια την ορατή εκδήλωση της θερμότητας του εσωτερικού της γης.

Διάφορες θεωρίες έχουν διατυπωθεί σχετικά με τους μηχανισμούς παραγωγής της γεωθερμικής ενέργειας. Η θερμική ισορροπία και εξέλιξη της κατανοήθηκαν καλύτερα τον 20ο 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 (U238, U235), του θορίου (Th232) και του καλίου (K40), τα οποία βρίσκονται στο εσωτερικό της γης [2].

## 1.2 Η φύση των γεωθερμικών πόρων

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 10.000 m, η μέση γεωθερμική βαθμίδα κυμαίνεται περίπου στους **2,5-3°C/100 m**. 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, στα 3000 m 90-105°C, κ.ο.κ. για μερικά ακόμα χιλιάδες μέτρα.



Εικόνα 1.2. – Γεωθερμική Βαθμίδα

Σε μερικές «γεωθερμικές» καλούμενες περιοχές, η τιμή της γεωθερμικής βαθμίδας μπορεί να είναι και δεκαπλάσια της μέσης γήινης. Περιοχές με γεωθερμική βαθμίδα μεγαλύτερη από τη μέση τιμή, παρουσιάζουν ιδιαίτερο γεωθερμικό ενδιαφέρον και καλούνται «γεωθερμικές» [3]

Ένα γεωθερμικό σύστημα αποτελείται από τρία στοιχεία:

α) την **εστία θερμότητας**, η οποία μπορεί να έχει είτε πολύ υψηλή θερμοκρασία όταν τροφοδοτείται από μαγματική διείδυση ή να έχει κανονική θερμοκρασία που προέρχεται 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.

Το πλέον συνηθισμένο κριτήριο για την ταξινόμηση των γεωθερμικών συστημάτων 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. [3]

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 .

### **1.3. Αβαθής Γεωθερμία**

Αβαθής γεωθερμική ενέργεια είναι η αποθηκευμένη ενέργεια του φλοιού της γης, σε μορφή θερμότητας, έως ένα βάθος 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 ορίζοντα ως πηγής θερμότητας κατά τη διάρκεια της θέρμανσης και ως αποθήκης θερμότητας κατά τη διάρκεια της ψύξης ενός κτιρίου. Έχει διαπιστωθεί ότι οι ατμοσφαιρικές συνθήκες επηρεάζουν τη θερμοκρασία κάτω από την επιφάνεια της γης για μικρό σχετικά βάθος, μέχρι 15 m. Μετά από το βάθος αυτό, 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>)

(β) την ηλιακή ακτινοβολία (σχεδόν το 50% απ' τη συνολική ποσότητα που φθάνει στη Γη) .

Μια πλήρης εγκατάσταση αβαθούς γεωθερμίας αποτελείται εν γένει από τα παρακάτω τμήματα:

### **1. Τα συστήματα εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας που ονομάζονται Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας (ΓΑΘ).**

Ο 2<sup>ος</sup> νόμος της Θερμοδυναμικής αναφέρει ότι η θερμότητα μεταφέρεται πάντοτε από ένα θερμό σώμα προς ένα πιο κρύο. Η αντλία θερμότητας πρέπει επομένως να καταναλώσει μηχανικό έργο για να κάνει τη θερμότητα να μεταφερθεί από ένα κρύο σώμα σε ένα πιο ζεστό. Αυτό ακριβώς συμβαίνει και σε ένα ενεργειακό σύστημα γεωθερμίας και αυτό ακριβώς περιγράφεται από την εξίσωση  $H = G + E$ , όπου  $H$  είναι η ενέργεια που αποδίδει το σύστημα,  $G$  είναι η ενέργεια από το έδαφος και  $E$  είναι η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία της αντλίας θερμότητας. Η απόδοση της αντλίας ή ο συντελεστής απόδοσης (COP), όπως συχνότερα αναφέρεται υπολογίζεται από τη σχέση  $COP = H / E$ . Στα εξελιγμένα συστήματα ο συντελεστής COP είναι μεγαλύτερος από 4.

**2. Ο γεωθερμικός εναλλάκτης**, που είναι ένα κλειστό σύστημα σωληνώσεων από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας, με διάρκεια ζωής άνω των 50 ετών, που διαρρέεται από νερό και τοποθετείται μέσα στο έδαφος (μιλάμε τότε για σύστημα κλειστού βρόγχου) ή εναλλακτικά από ένα σύστημα ανοιχτού βρόγχου με απ' ευθείας γεωτρήσεις στον υπάρχοντα υδροφόρο ορίζοντα.

**3. Η εσωτερική εγκατάσταση θέρμανσης / ψύξης του κτιρίου**, που δεν διαφέρει σε τίποτε από τις εγκαταστάσεις που συναντώνται και στη χρήση άλλων μορφών συμβατικής ενέργειας. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ενδοδαπέδιο ή ενδοτοιχείο σύστημα θέρμανσης και δροσισμού ή σύστημα fan coils για θέρμανση και ψύξη. Ακόμη και σώματα θερμαντικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν (αλλά θα είναι πολύ μεγάλα σε μέγεθος).

### **4. Ο αυτοματισμός της εγκατάστασης**

Τα είδη συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας:

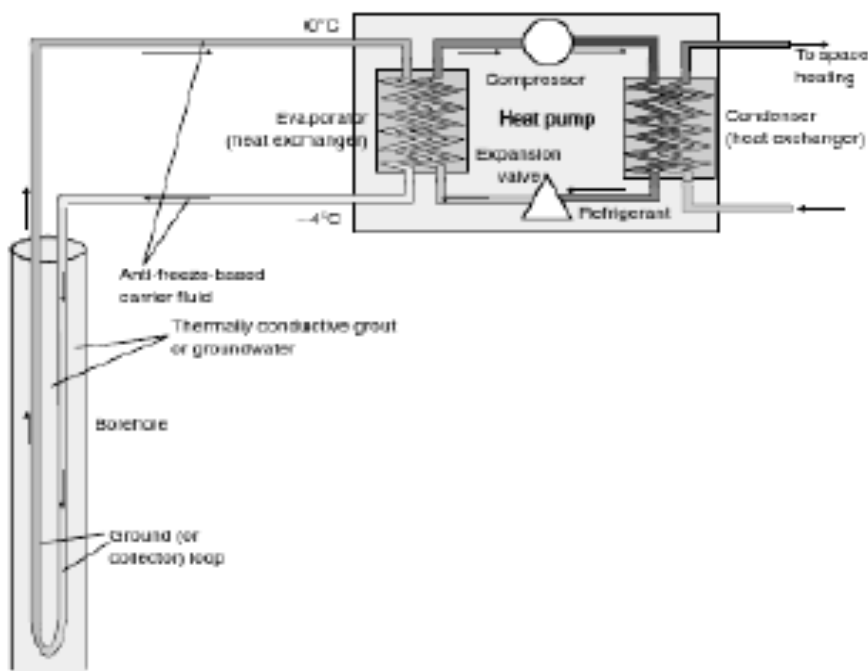
Υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες συστημάτων:

- ✓ Συστήματα κλειστού βρόγχου (closed loop systems)
- ✓ Συστήματα ανοιχτού βρόγχου (open loop systems)

**Τα συστήματα κλειστού βρόγχου** διακρίνονται σε συστήματα οριζόντια, ή κατακόρυφα. Τα οριζόντια συστήματα χρησιμοποιούν γεωθερμικό εναλλάκτη, που είναι τοποθετημένος παράλληλα προς την επιφάνεια του εδάφους σε βάθος συνήθως 1.2-1.8 μ σε μια ή περισσότερες στρώσεις σωλήνων. Απαιτείται επιφάνεια 1.5-2 μ<sup>2</sup> ανά μ<sup>2</sup> θερμαινόμενης επιφάνειας δηλαδή για μια μονοκατοικία 150 μ<sup>2</sup>

θερμαινόμενης επιφάνειας απαιτούνται περίπου 220-300  $\mu^2$  σκάμματος. Το βάθος εκσκαφής είναι περίπου 1.20-1.40  $\mu$ .

Κατάλληλα είναι όλα τα εδάφη που μπορούν να σκαφτούν με εκσκαφέα-μπουλντόζα. Τα συστήματα αυτά δίνουν συνήθως 20-30W/ $\mu^2$ .



Εικόνα 1.3 - Σύστημα Κλειστού Βρόγχου

Στα κατακόρυφα συστήματα (βλέπε σχήμα) ο γεωθερμικός εναλλάκτης είναι τοποθετημένος κάθετα στην επιφάνεια του εδάφους, μέσα σε τρύπες ανοιγμένες από γεωτρήπανο, και σε βάθη που κυμαίνονται συνήθως από 50-150  $\mu$ .

Οι συγκεκριμένες κατασκευές δίνουν 60-80 W/μέτρο βάθους γεώτρησης δηλ. για ένα σπίτι 150  $\mu^2$  απαιτούνται περίπου 120-160 μέτρα γεώτρησης. Αυτά μπορούν να μοιραστούν και σε περισσότερες μικρότερες γεωτρήσεις. Μέγιστο βάθος γεώτρησης είναι συνήθως τα 120 $\mu$ . και είναι σύστημα κατάλληλο για όλα τα εδάφη.

**Τα συστήματα ανοικτού βρόγχου** είναι τα συστήματα τύπου φρέατος και τα επιφανειακά

Τα συστήματα τύπου φρέατος χρησιμοποιούν νερό υπεδάφους σαν απ' ευθείας πηγή ενέργειας, όταν το διαθέσιμο νερό είναι καλής ποιότητας, επαρκούς ποσότητας και σε βολικό βάθος άντλησης, καθ' όλο το χρόνο. Χαντάκια, μικρές λίμνες ή ρυάκια χρησιμοποιούνται πολλές φορές για την απόρριψη του νερού.

Τα επιφανειακά συστήματα αντλούν νερό για το πρωτεύον κύκλωμά τους από μια επιφανειακή πηγή π.χ. λίμνη ή ποτάμι και το απορρίπτουν και πάλι στην ίδια πηγή. Συγκριτικά μπορούμε να πούμε ότι τα κατακόρυφα συστήματα πλεονεκτούν των οριζοντίων, γιατί δεσμεύουν μικρότερες ποσότητες επιφάνειας γης για την εγκατάστασή τους και είναι πιο «σταθερά», διότι δεν επηρεάζονται σχεδόν καθόλου από τις εποχικές μεταβολές, λόγω μεγαλύτερου βάθους εγκατάστασης.

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. Ακόμη, δεν απαιτείται συντήρηση στους γεωεναλλάκτες, ενώ η αντλία θερμότητας χρειάζεται μόνο περιοδικό έλεγχο. Η εγκατάσταση λειτουργεί αθόρυβα και δε χρειάζεται πυροπροστασία.

#### **1.4 Τα γεωθερμικά πεδία της Ελλάδας**

Τα γεωθερμικά πεδία εντοπίζονται με γεωφυσική έρευνα και επιβεβαιώνονται με γεώτρηση. Υπάρχουν τρεις κατηγορίες θερμικών πεδίων:

- Τα πεδία υψηλής θερμοκρασίας, από 150 βαθμούς Κελσίου και πάνω,
- Τα μέσης θερμοκρασίας, από 80 έως 150 βαθμούς Κελσίου, και
- Τα χαμηλής θερμοκρασίας, από 25 έως και 80 βαθμούς Κελσίου.

Τα υψηλής θερμοκρασίας, είναι κατάλληλα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και για θέρμανση και ψύξη και εντοπίζονται σε βάθος 1-2 χιλιομέτρων. Υπάρχουν στα νησιά της Μήλου, Σαντορίνης και Νισύρου. Επίσης, έχουν εντοπιστεί σε Λέσβο, Χίο και Σαμοθράκη (σε βάθος 2-3 χιλιομέτρων), καθώς και στις Περιφέρειες Κεντρικής και Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης. Τα πεδία μέτριας (μερικές φορές και υψηλότερης των 100 °C) και χαμηλής θερμοκρασίας εντοπίζονται στις πεδιάδες της Μακεδονίας και Θράκης, στα Λουτρά Σαμοθράκης, στη Λέσβο, Χίο, Σέρρες, Φθιώτιδα και Χαλκιδική [1].

Παρά τον αξιόλογο γεωθερμικό πλούτο όμως η ανάπτυξη της γεωθερμίας στην Ελλάδα δεν κρίνεται ικανοποιητική συγκρινόμενη με την εξέλιξη άλλων εναλλακτικών μορφών ενέργειας ή με τις εξελίξεις στη γεωθερμία σε γειτονικές χώρες.

## 1.5 Η γεωθερμική αντλία θερμότητας

Ένα σύστημα γεωθερμικής αντλίας θερμότητας (ΓΑΘ) αποτελείται από [4] :

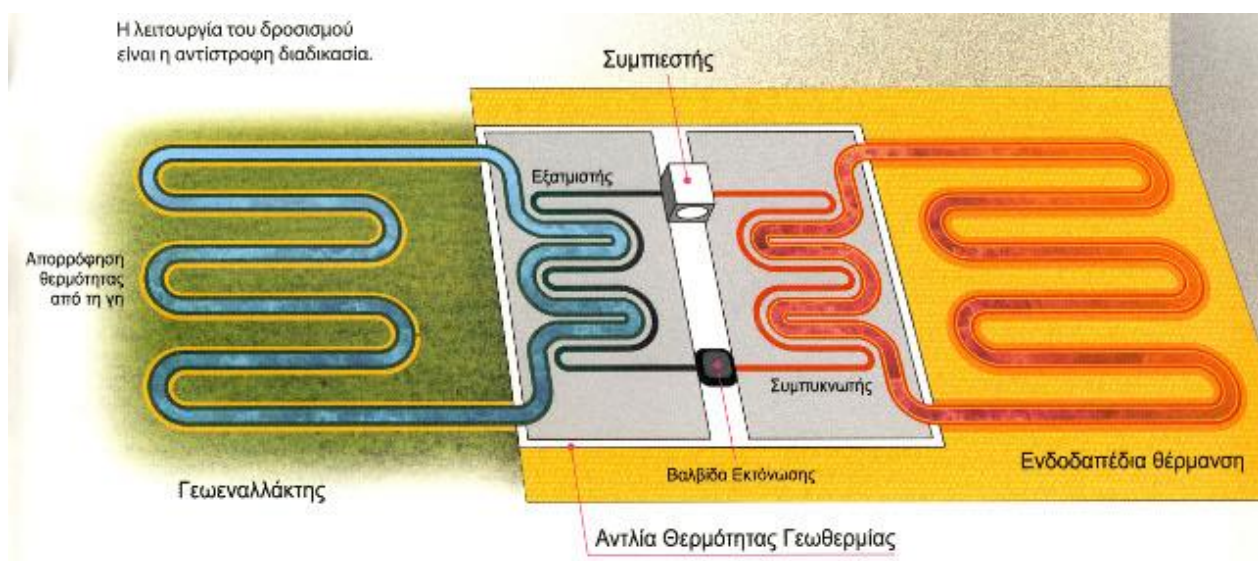
1. τη μηχανική μονάδα της αντλίας θερμότητας
2. το γεωθερμικό εναλλάκτη (γεωεναλλάκτη) θερμότητας που απορροφά/αποβάλλει ενέργεια στο έδαφος
3. το σύστημα κυκλοφορίας νερού (δίκτυο διανομής) που μεταφέρει θερμότητα στο κτίριο

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 από το περιβάλλον 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)

Από μικρά σχετικά βάθη (1-3 km ) η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται με 3 τρόπους

- Απευθείας χρήση ατμοποιημένου ρευστού (κύκλος απευθείας χρήσης ατμού) – Κύκλος εκτόνωσης διαφασικού ρευστού (γεωθερμικά ρευστά υψηλής ενθαλπίας)
- Μέσω δυαδικού κύκλου [Rankine (Organic Rankine Cycle) ή Kalina] με ρευστό χαμηλού σημείου ζέσης, για γεωθερμικά ρευστά θερμοκρασίας 85-175 °C και
- Θερμά ξηρά πετρώματα (Hot Dry Rocks) σε συνδυασμό με O.R.C. ή Kalina

Η σε μεγαλύτερη λεπτομέρεια περιγραφή των μεθόδων αυτών υπερβαίνει τα όρια της εργασίας αυτής. [3]



Εικόνα 1.5. – Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας

## 2. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΣΤΗ ΛΕΡΟ

### 2.1 Γενικά

Η μελέτη για την κάλυψη των αναγκών μιας περιοχής (κτήριο, οικισμός, περιοχή) με τη γεωθερμία περιλαμβάνει σα πρώτο βήμα την επιλογή του τύπου του γεωθερμικού εναλλάκτη, αν θα είναι δηλαδή οριζόντιος ή κάθετος τον υπολογισμό του απαιτούμενου βάθους των γεωτρήσεων που θα χρειασθούν (κάθετος εναλλάκτης) ή το μήκος των σωληνώσεων που θα απαιτηθούν (οριζόντιος εναλλάκτης). Στη συνέχεια υπολογίζονται η διάμετρος και το υλικό για τις σωληνώσεις και η ισχύς της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας.

Ο κάθετος γεωθερμικός εναλλάκτης έχει δύο σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τον οριζόντιο. Σε μεγάλα βάθη η θερμοκρασία του εδάφους παραμένει σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και είναι ίση με το μέσο όρο των χειμερινών και θερινών μέσων θερμοκρασιών της ατμόσφαιρας. Στον οριζόντιο γεωεναλλάκτη υπάρχουν μικρές μεταβολές της θερμοκρασίας ανάλογα με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος

Οι οριζόντιοι εναλλάκτες απαιτούν σημαντικά περισσότερη περιοχή (περίπου  $232,25 \text{ m}^2/\text{RT}$ ) από τους κατακόρυφους που απαιτούν μόνο περίπου  $25 \pm 2,5 \text{ m}^2/\text{RT}$ .

Αντίθετα όμως οι οριζόντιοι εναλλάκτες είναι πιο εύκολοι στην εγκατάστασή τους και πιο φθηνοί δεδομένου ότι οι χωματουργικές εργασίες κοστίζουν ακριβά.

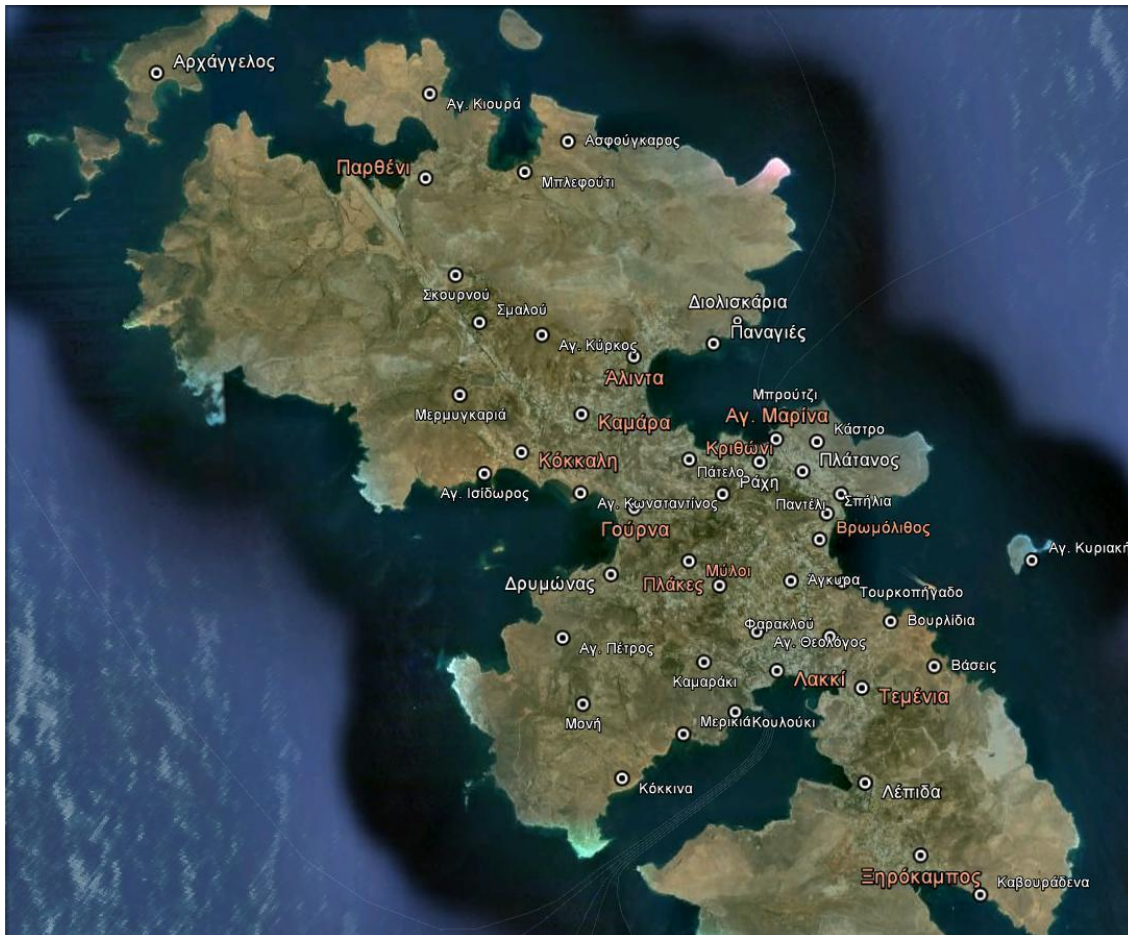
Το δεύτερο βήμα είναι ο υπολογισμός του απαιτούμενου βάθους των γεωτρήσεων που θα χρειασθούν (κάθετος εναλλάκτης) ή το μήκος των σωληνώσεων που θα απαιτηθούν (οριζόντιος εναλλάκτης).

Στη συνέχεια υπολογίζονται η διάμετρος και το υλικό για τις σωληνώσεις και η ισχύς της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας.

## 2.2 Εφαρμογή της γεωθερμίας σε συνοικισμό της Λέρου.

Πρόκειται για το συνοικισμό της Αγ. Μαρίας στον οποίο υπάρχουν 593 οικίες με μέση ωφέλιμη επιφάνεια 75 m<sup>2</sup>.

Από τις οικίες αυτές το 50 % είναι πετρόκτιστες, επομένως θεωρούμε ότι έχουν πολύ καλή μόνωση. Το υπόλοιπο 50 % θεωρούμε ότι μοιράζεται στις οικίες μέτριας μόνωσης και οικίες με κακή μόνωση.



Εικόνα 2.2.1- Το νησί της Λέρου

Υπολογίζουμε τις θερμικές απώλειες με τρεις διαφορετικούς τρόπους και λαμβάνουμε το σταθμισμένο μέσο όρο.

1. Υπολογίζοντας τις θερμικές απώλειες για όλες τις οικίες το ίδιο βάσει προγράμματος με θερμοκρασιακές διαφορές 10° C 6 μήνες το καλοκαίρι (35 ° C / 25 ° C) και 12 ° C 6 μήνες το χειμώνα (19 ° C / 7 ° C ) βρίσκουμε  $Q_{th} = 13.476 \text{ kcal / h}$  ή 15,67 kwh και για 8 ώρες / ημέρα 125,36 kwh / ημέρα .Συνολικά το χρόνο θα υπάρχει επομένως ανάγκη για μια κατανάλωση ανά οικία 18.804 kwh και συνολικά για τον οικισμό 11,15 GWh / έτος

2. Μέσω εκτιμήσεων από τον χρήσιμο όγκο της οικίας και το μέσο σταθμισμένο συντελεστή μονωτικής ικανότητας (απώλειες 20 kcal / m<sup>3</sup> για πολύ καλή μόνωση και 45 για κακή μόνωση)



έχουμε  $Q_{th} (75 \text{ m}^2 \times 3 \text{ m} \times 32,5 \text{ kcal} / \text{m}^3 \cdot \text{h}) \times 1,3 = 9.506,2 \text{ kcal} / \text{h}$  ή, με την ίδια λογική όπως παραπάνω  $7,87 \text{ GWh} / \text{έτος}$

3. με τη χρήση των πινάκων του KENAK βρίσκουμε ως τιμή των θερμικών απωλειών  $7.783,5 \text{ kcal} / \text{h} / \text{οικία}$  και επομένως σε ετήσια βάση  $6,44 \text{ GWh} / \text{έτος}$ .

Για τους υπολογισμούς μας στη συνέχεια λαμβάνουμε **8,49 GWh/ έτος ως κατανάλωση από θερμικά φορτία** και με ανάλογους υπολογισμούς υπολογίζουμε την ετήσια κατανάλωση για φορτία ψύξης **6,38 GWh/ έτος**.

Για τη συνέχεια των υπολογισμών μας όμως ξεκινάμε από τις απαιτήσεις και τη σχεδίαση για μία μόνο οικία η οποία όμως έχει “φορτωθεί” τα σταθμισμένα χαρακτηριστικά του οικισμού (βλέπε τη παράγραφο “συντελεστής μερικού φορτίου”).



Εικόνα 2.2.2. - Αγία Μαρίνα Λέρου



### 2.3 Διαστασιολόγηση συστήματος γεωθερμικής εναλλαγής

Για τον υπολογισμό του απαιτούμενου βάθους εφαρμόζεται η μεθοδολογία που προτείνεται από την ASHRAE.

Ξεκινάμε υπολογίζοντας τις ανάγκες ανά οικία και στο τέλος τα αποτελέσματα συγκεντρώνονται και υπολογίζονται για το σύνολο των 593 οικιών της Λέρου. Είναι προφανές ότι στη περίπτωση αυτή δεν είναι δυνατόν να συζητάμε για οριζόντιους γεωεναλλάκτες λόγω χώρου.

Σύμφωνα με τη μεθοδολογία (ASHRAE) πρέπει πρώτα να υπολογιστεί η μέση ετήσια ροή θερμότητας,  $Q_a$  στο έδαφος:

$$Q_a = \frac{C_{fc} \times Q_{lc} \times EFL_{hoursc} + C_{fh} \times Q_{lh} \times EFL_{hoursh}}{T_a}$$

όπου

$Q_{lh}$ : Θερμικό φορτίο, είναι το σύνολο των θερμικών ροών (ισχύων) που εισέρχονται σε ένα χώρο ή και δημιουργούνται σε αυτών για δεδομένη χρονική στιγμή (στη περίπτωση μας ένας χρόνος). Είναι ο ρυθμός ροής ή παραγωγής θερμότητας. Για τον οικισμό στη Λέρο έχουμε  $Q_{lh} = 8,49$  GW.

$Q_{lc}$ : Ψυκτικό φορτίο, είναι η θερμική ισχύ που αφαιρείται από ένα χώρο για δεδομένη χρονική στιγμή (στη περίπτωση μας ένας χρόνος) προκειμένου ο αέρας του χώρου αυτού να διατηρείται σε σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας. Για τον οικισμό στη Λέρο  $Q_{lc} = 6,38$  GW.

$EFL_{hoursc}$  και  $EFL_{hoursh}$ : Οι ισοδύναμες ώρες πλήρους φορτίου μπορούν να περιγραφούν ως το ποσό των ωρών που θα λειτουργούσε με πλήρες φορτίο ένα σύστημα σχεδιασμένο για το μέγιστο φορτίο θέρμανσης / ψύξης κατά τη διάρκεια ενός έτους.

Υπολογίζονται ως εξής:

$$EFL_{hoursh} = \frac{E_h}{Q_{lh}} \quad EFL_{hoursc} = \frac{E_c}{Q_{lc}}$$

$E_c$  και  $E_h$  οι ετήσιες καταναλώσεις για ψύξη και θέρμανση

$T_a$ : το ετήσιο χρονικό διάστημα σε ώρες (8.760h).

$C_{fc}$  και  $C_{fh}$ : διορθωτικοί συντελεστές που σχετίζονται με τους συντελεστές COP και EER αντίστοιχα της αντλίας θερμότητας.

Οι COP όροι (συντελεστής απόδοσης) και EER (βαθμός ενεργειακής απόδοσης) περιγράφουν την αποτελεσματικότητα των αντλιών θερμότητας στη θέρμανση και την ψύξη αντίστοιχα. Δείχνουν

την αναλογία της θέρμανσης ή ψύξης που παρέχονται από μία μονάδα σε σχέση με το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για να την παράγουν.

**Πίνακας 1- Μεθοδολογία (ASHRAE)**

Παράμετροι της Qa για τον Οικισμό της Λέρου	
<b>Q<sub>lh</sub></b>	8,49 GW
<b>Q<sub>lc</sub></b>	6,38 GW
<b>T<sub>a</sub></b>	8.760h

**Πίνακας 2 – Τιμές Βάσης με την Μέθοδο ASHRAE**

EER	C <sub>fc</sub>	COP	C <sub>fh</sub>
11.0	1.31	3.0	0.75
13.0	1.26	3.5	0.77
15.0	1.23	4.0	0.80
17.0	1.20	4.5	0.82

Όσο υψηλότεροι είναι οι COP και EER, τόσο πιο ενεργειακά αποδοτικός είναι ο εξοπλισμός). Οι τιμές βάση της μεθόδου ASHRAE δίνονται από τον πίνακα 2.

Μπορούμε να πούμε ότι η αποδοτικότητα της αντλία θερμότητας φτάνει το 350% για θέρμανση και 126% ψύξη αυτό σημαίνει ότι για κάθε μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιεί η αντλία θερμότητας παράγονται τρεις ή περισσότερες μονάδες θερμότητας καθώς και πάνω από μία μονάδα ψύξης που χρησιμοποιούνται στο κτίριο.

Για τη περίπτωση της Λέρου, τα αποτελέσματα των υπολογισμών μας παρουσιάζονται στου ακόλουθους πίνακες. Έτσι προκειμένου για το βήμα ένα της μεθόδου, δηλαδή τον υπολογισμό της μέση ετήσια ροή θερμότητας, Q<sub>a</sub> στο έδαφος, τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 3. Από τον πίνακα των μετρήσεων που δόθηκε σε excel υπολογίσαμε τα Q<sub>lh</sub> και Q<sub>lc</sub>. Το μέγιστο αυτών των μετρήσεων μας έδωσε

(1 kw = 3411,8 btu/h). Επίσης, όπως φαίνεται και στον πίνακα, υπολογίζουμε τις ισοδύναμες ώρες ψύξης - θέρμανσης αφού πρώτα υπολογίσουμε την απαιτούμενη ετήσια ισχύ (η οποία είναι το άθροισμα των τιμών του πίνακα excel).

**Πίνακας 3 – Υπολογισμός Μέσης Ετήσιας Ροής Θερμότητας για τον οικισμό της Λέρου**

<b>Qlh</b>	112,21 kw	382.838 btu/h	31,9 RT
<b>Qlc</b>	58,46 kw	199.453,8 btu/h	16,62 RT
<b>Απαιτούμενη ετήσια ισχύς θέρμανσης</b>	17179,2 kwh		
<b>Απαιτούμενη ετήσια ισχύς ψύξης</b>	12902,4 kwh		
<b>Θέρμανση (EFLhoursh)</b>	17179,2/ 112,21=153,1h		
<b>Ψύξη (EFLhoursc)</b>	12902,4 /58,46 =220,71h		
<b>Cfc (για EER(ψύξη) =13,0)</b>	1.26		
<b>Cfh (COP (Θέρμανση)=3,5)</b>	0.77		
<b>Qa</b>	<b>- 1179,84 btu/h</b>		
<b>Cv</b>	4,18 kj/kg*K		
<b>Απόλυτη Τιμή της Διαφοράς Θερμοκρασίας  t<sub>wi</sub>-t<sub>wo</sub> </b>	4 °C		
<b>m</b>	6,71 kg / s		

Με βάση τις παραπάνω μετρήσεις, η μέση ετήσια ροή θερμότητας Qa υπολογίστηκε:

$$Q_a = \frac{1,26 \times (-199.453,8) \times 220,71 + 0,77 \times 382.838 \times 153,1}{8760} = -1179,84 \text{ btu/h}$$

Το δεύτερο βήμα για τον υπολογισμό μιας γεωθερμικής εγκατάστασης είναι ο υπολογισμός των βασικών γεωμετρικών χαρακτηριστικών της ξεκινώντας από το προσδιορισμό της αναγκαίας παροχής υγρού που διακινείται στο σύστημα.

Για τον υπολογισμό της παροχής επιλέγουμε το μέγιστο φορτίο θέρμανσης ή ψύξης αντίστοιχα.

Η θερμική ισχύς που μεταφέρεται είναι  $Q_{lh} = m \times C_v \times (t_{wo} - t_{wi})$ ,

όπου m η παροχή μάζας νερού μέσα στη σωλήνωση

$C_v$  η ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού,  $C_v = 4,18 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$

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

$t_{wo}$  η θερμοκρασία εξόδου του νερού στο γεωθερμικό εναλλάκτη

**Η απόλυτη τιμή της διαφοράς θερμοκρασίας  $|t_{wi}-t_{wo}|$  επιλέγεται από την αντλία θερμότητας του συστήματος και ισούται με  $4 \text{ }^\circ\text{C}$  .**

Επομένως  $m = Q_{lh} / C_v \times (t_{wo} - t_{wi}) = 112,21 \text{ kw} / 4,18 \text{ kJ /kg}\cdot\text{ }^\circ\text{C} \times 4 \text{ }^\circ\text{C} = (112,21 \text{ kJ/s}) / 16,72 \text{ kJ/kg}\cdot\text{ }^\circ\text{C} = 6,71 \text{ kg / s}$  και επειδή  $\rho_{\text{νερού}} = 1000 \text{ kg / m}^3$  υπολογίζεται η παροχή όγκου νερού  $V = 0,0067 \text{ m}^3 / \text{s}$

Η ταχύτητα ροής  $u$  σχετίζεται με τα χαρακτηριστικά της σωλήνωσης (διατομή  $A$ , διάμετρος  $d$ ) σύμφωνα με το τύπο  $V = u \times A \Rightarrow V = u \times \pi \times d^2 / 4$ . Από την ανωτέρω σχέση επιλέγεται η διάμετρος της σωλήνωσης ώστε η ταχύτητα ροής να μην υπερβαίνει το  $1-1,5 \text{ m/sec}$ .

Η συνολική παροχή όγκου θα διαμοιραστεί στις γεωτρήσεις που θα διανοιχτούν και στους βρόγχους που θα εγκατασταθούν σε κάθε γεώτρηση. διανοιχτούν και στους βρόγχους που θα εγκατασταθούν σε κάθε γεώτρηση. Ο αριθμός των γεωτρήσεων, με βάση την ακολουθούμενη μεθοδολογία, προκύπτει ίσος με το φορτίο RT(ψυκτικοί τόνοι).

Ο ψυκτικός τόνος ορίζεται ως η θερμότητα που απορροφάται από την τήξη  $1 \text{ short ton}$  ( $0.907 \text{ t}$ ) καθαρού πάγου στους  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $32 \text{ }^\circ\text{F}$ ) εντός  $24$  ωρών. Είναι ισοδύναμο με την κατανάλωση ενός τόνου πάγου ανά ημέρα και προέρχεται ιστορικά κατά τη μετάβαση από τον αποθηκευμένο φυσικό πάγο σε μηχανική ψύξη  $1 \text{ RT} = 3,517 \text{ kw}$  και  $1 \text{ RT} = 12.000,503 \text{ Btu/hr}$ .

Αναλυτικά για τον προσδιορισμό του αριθμού των γεωτρήσεων χρησιμοποιούμε, κάθε φορά στρογγυλοποιώντας προς τα πάνω, το μεγαλύτερο από τους δύο αριθμούς θερμικού ή ψυκτικού φορτίου ύστερα από σύγκριση. **Όσοι είναι οι ψυκτικοί τόνοι τόσοι είναι ο αριθμός των αναγκαίων να γίνουν γεωτρήσεων.**

Οπότε ύστερα από σύγκριση θερμικού - ψυκτικού φορτίου προέκυψε:

$$Q_{lh} = 112,21 \text{ kw} = 112,21 / 3,517 = 31,9 \text{ RT}$$

$$Q_{lc} = 58,46 \text{ kw} = 58,46 / 3,517 = 16,6 \text{ RT}$$

Άρα ο αριθμός των γεωτρήσεων είναι  $32$ , δηλαδή μια εγκατάσταση που θα είναι όπως φαίνεται παρακάτω στην εικόνα 2.3:



**Εικόνα 2.3.1 - Εγκατάσταση**

Παροχή όγκου ανά γεώτρηση =  $0,0067 \text{ m}^3 / \text{s} / 32 = 0,000209 \text{ m}^3 / \text{s}$

Παροχή μάζας ανά γεώτρηση =  $6,71 \text{ kg/s} / 32 = 0,2097 \text{ kg/s}$

Αν επιλέξουμε να έχουμε 1 βρόγχο σε κάθε γεώτρηση τότε η συνολική παροχή θα μοιραστεί σε 2 γεωθερμικούς εναλλάκτες ( προσαγωγή του ρευστού και επιστροφή του ) οπότε παροχή μάζας βρόγχου = παροχή μάζας ανά γεώτρηση/2 =  $0,2097 \text{ kg/s} / 2 = 0,1048 \text{ kg/s}$ .

Από το παρακάτω πίνακα 4, επιλέγουμε το τύπο της σωλήνωσης που θα χρησιμοποιήσουμε. Για να αποφύγουμε τη τυρβώδη και να έχουμε στρωτή ροή επιλέγουμε σωλήνωση τέτοια ώστε η ταχύτητα ροής να είναι μικρότερη από 1-1,5 m/s.

**Πίνακας 4 – Διάμετρος Σωλήνωσης**

Τύπος	Υλικό	Εξωτερική Διάμετρος(mm)	Πάχος Τοιχώματος(mm)	Θερμική Αγωγιμότητα (w/m*k)	Θερμική Αντίσταση (k*m/w)
PE DN 28 PN8	Πολυαιθυλένιο	25	2	0.42	0.066
PE DN 32 PN8	Πολυαιθυλένιο	32	2	0.42	0.051
PE DN 40 PN8	Πολυαιθυλένιο	40	3.2	0.42	0.046
PE DN 50 PN8	Πολυαιθυλένιο	50	2.9	0.42	0.047
PE DN 20 PN12	Πολυαιθυλένιο	20	2	0.42	0.085
PE DN 25 PN12	Πολυαιθυλένιο	25	2.3	0.42	0.077
PE DN 32 PN12	Πολυαιθυλένιο	32	3	0.42	0.079
PE DN 40 PN12	Πολυαιθυλένιο	40	3.7	0.42	0.078
PE DN 50 PN12	Πολυαιθυλένιο	50	4.6	0.42	0.077
SDR -11 3/4	Πολυαιθυλένιο	26.7	2.5	0.42	0.079
SDR -11 1	Πολυαιθυλένιο	33.4	3	0.42	0.075
SDR -11 1 1/4	Πολυαιθυλένιο	42.2	3.9	0.42	0.077
SDR -11 1 1/2	Πολυαιθυλένιο	48.3	4.4	0.42	0.076
SDR -11 2	Πολυαιθυλένιο	60.3	5.5	0.42	0.076
SDR -13 1	Πολυαιθυλένιο	28.6	2.2	0.42	0.121
SDR -13 1 1/4	Πολυαιθυλένιο	34.9	2.6	0.42	0.117
SDR -13 1 1/2	Πολυαιθυλένιο	41.3	3.1	0.42	0.118
SDR -13 2	Πολυαιθυλένιο	54	4	0.42	0.116

Αν επιλέξουμε σωλήνωση PE DN32 PN12, η εσωτερική διάμετρος θα είναι  $d_i = 32 - 3 \times 2 = 26\text{mm}$ .

Η ταχύτητα ροής στο 1 βρόγχο είναι:  $u = 4 \times V / \pi \times d^2 = 4 \times 0,209 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} / 3,14159 \times (0,026 \text{ m})^2 = 0,3936 \text{ m/s}$  και στο 2ο βρόγχο όπου έχουμε το μισό νερό  $0,209 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} / 2 = 0,1045 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$   $u_2 = 0,1968 \text{ m/s}$ . Η θερμοκρασία του εδάφους δεν παραμένει σταθερή. Για οριζόντιους βρόγχους, όπου ο σωλήνας είναι κοντά στην επιφάνεια, η επίγεια θερμοκρασία αλλάζει εποχιακά. Σε όλες όμως τις περιπτώσεις ο γεωθερμικός εναλλάκτης επηρεάζει την θερμοκρασία εδάφους ως εξής:

- Μακροπρόθεσμη επίδραση. Αυτή είναι η αλλαγή στην επίγεια θερμοκρασία κατά τη διάρκεια πολλών ετών. Για παράδειγμα η θερμοκρασία μπορεί να αυξηθεί κατά 6F σε 10 έτη λόγω της θερμότητας που προστίθεται από τον εναλλάκτη.
- Ετήσια επίδραση. Κατά τη διάρκεια ενός έτους, το φορτίο θερμότητας σε ένα τομέα γεώτρησης θα αλλάξει και αυτό θα έχει επιπτώσεις στην επίγεια θερμοκρασία σε μηνιαία βάση.
- Βραχυπρόθεσμη Επίδραση. Το πραγματικό ωριαίο φορτίο έχει επίσης επιπτώσεις στη δυνατότητα του τομέα των γεωτρήσεων να διαλύσει την θερμότητα. Έτσι, η επίγεια θερμοκρασία θα αλλάξει με το ωριαίο φορτίο.

Επομένως οι τρεις χρονικές επιδράσεις πρέπει να υπολογιστούν, ώστε να ληφθούν υπόψη οι μακροπρόθεσμες αλλαγές θερμότητας στο χώμα μπορούν να προκύψουν κατά τη διάρκεια ζωής του συστήματος και να βρεθεί έτσι επακριβώς το απαραίτητο μήκος σωλήνων. Έτσι εισάγονται οι τιμές αντίσταση  $R_{ga}$  (ετήσια),  $R_{gm}$  (μηνιαία),  $R_{gd}$  (καθημερινή), που είναι υπολογισμένες με βάση τρεις διαφορετικούς παλμούς:

1. Ένα δεκαετή παλμό των 3650 ημερών.
2. Ένα μηνιαίο παλμό των 30 ημερών.
3. Ένα 6ωρο παλμό του 25% της ημέρας

Ο υπολογισμός του απαιτούμενου βάθους  $L_c$  φορτίου θα γίνει ξεκινώντας από τον υπολογισμό του ψυκτικού φορτίου. Έχουμε το τύπο

$$L_c = \frac{Q_a \times R_{ga} + (C_{fc} \times Q_{lc}) \times (R_b + PLF_{mx} R_{gm} + R_{gd} \times F_{sc})}{t_g - (t_{wo} + t_{wi})/2 - t_p}$$

και τον αντίστοιχο για  $L_h$

όπου

**$R_{ga}$  ,  $R_{gm}$  ,  $R_{gd}$**  οι ισοδύναμες θερμικές αντιστάσεις εδάφους για ετήσιο, μηνιαίο, ημερήσιο παλμό αντίστοιχα (σε  $h \cdot ft \cdot F \cdot o / Btu$ )

**$PLF_m$** : ο μηνιαίος συντελεστής του μερικού φορτίου

**$F_{sc}$** : ο συντελεστής θερμικών απωλειών του κυκλώματος των σωληνώσεων

**$t_g$** : η θερμοκρασία του εδάφους (σε ο F)

**$t_{wi}$**  : η θερμοκρασία εισόδου του υγρού στη γεωθερμική αντλία (σε ο F)

**$t_{wo}$**  : η θερμοκρασία εξόδου του υγρού στη γεωθερμική αντλία (σε ο F)

**tp:** διορθωτικός συντελεστής για τη θερμοκρασία εδάφους λόγω της παρεμβολής παρακείμενων σωληνώσεων (σε ο F)

Οι ισοδύναμες θερμικές αντιστάσεις του εδάφους  $R_{ga}$ ,  $R_{gm}$ ,  $R_{gd}$  δίνονται από τις σχέσεις:

$$R_{ga} = G_f - G_1 / K_g, \quad R_{gm} = G_1 - G_2 / K_g, \quad R_{gd} = G_2 / K_g,$$

με

- $K_g$  η Θερμική αγωγιμότητα του εδάφους σε (Btu/(hr\*ft\*o F))
- $G_1, G_2, G_3$ : συντελεστές που δίνονται από την σχέση  $G_i = 0,0769 \cdot \ln(Fo_i) + 0,0901$ , με  $Fo_i$  και  $i=1,2,f$  οι αδιάστατοι αριθμοί Fourier. Ο αδιάστατος αριθμός Fourier που σχετίζεται με τις θερμικές ιδιότητες του εδάφους δίνεται από τη σχέση  $Fo = 4 \times \alpha_g \times \tau / d^2$
- $\alpha_g$ : η θερμική διαχυτότητα του εδάφους σε  $ft^2 / \eta\mu\epsilon\rho\alpha$
- $\tau$ : η χρονική κλίμακα (χρονικός παλμός) επίδρασης της θερμοκρασίας του εδάφους από το γεωθερμικό εναλλάκτη σε ημέρες.
- $d$ : η εσωτερική διάμετρος της σωλήνωσης του εναλλάκτη σε ft.



**Πίνακας 5 – Υπολογισμός απαιτούμενου βάθους Lc φορτίου**

Θερμική Αγωγιμότητα Kg		1,5 (h*ft* F o) / btu	
Θερμική Διαχυτότητα a <sub>g</sub>	1,4 ( ft2 /ημέρα)		
Εσωτερική διάμετρος σωλήνωσης d	0,026m=0,085ft		
Τιμές των τριών παλμών & οι χρονικές σταθερές(2 <sup>η</sup> στήλη)	τ <sub>1</sub> =3650, τ <sub>2</sub> =3680, τ <sub>f</sub> =3680,25	τ <sub>f</sub> - τ <sub>1</sub> =30,25 τ <sub>f</sub> - τ <sub>2</sub> = 0,25 τ <sub>f</sub> =3680,25	
Αδιάστατοι Αριθμοί Fourier	F <sub>o1</sub> = 4 x 1,4 x 30,25 / 0,085 <sup>2</sup> = 23.446,27	F <sub>o2</sub> = 4 x 1,4 x 0,25 / 0,085 <sup>2</sup> = 193,77	F <sub>of</sub> = 4 x 1,4 x 3680,25 / 0,085 <sup>2</sup> = 2,852.512,11
Συντελεστές G	G1 = 0.8639	G2 = 0.4951	Gf =1.2331
Θερμικές Αντιστάσεις	R <sub>ga</sub> = 0,2461h *ft * °F / Btu	R <sub>gm</sub> = 0,2451h *ft * °F / Btu	R <sub>gd</sub> = 0,3301h *ft * °F / Btu
PLFm	Θέρμανση = 0,47	Ψύξη = 0,31	
Fsc	1.03		
Rb	0,12h*ft* °F /Btu		
Ισοδύναμες ώρες	Θέρμανσης = 153,1	Ψύξης =220,7	
Lc	515,3m		
Lh	762.2m		
Απαιτούμενο βάθος (32 γεωτρήσεις= 64 βρόγχοι)	763m	11,92 m/γεώτρηση	

Το νότιο τμήμα της Νήσου Λέρου, εμφανίζει ανάγλυφο εδάφους, του οποίου η λιθολογική δομή αποτελείται σχεδόν αποκλειστικά από ανθρακικούς σχηματισμούς, έντονα τεκτονισμένους. Το κυριότερο συστατικό του είναι ο ασβεστόλιθος με κάποιες πυριτικές προσμίξεις .

Οι συντελεστές G έχουν υπολογιστεί από τη σχέση:  $G_i = 0,0769 \cdot \ln(F_{oi}) + 0,0901$ .

Τελικά υπολογίζονται οι θερμικές αντιστάσεις από τις σχέσεις ορισμού

Στη συνέχεια υπολογίζεται ο συντελεστής μερικού φορτίου. Ο συντελεστής μερικού φορτίου εκφράζει το ποσοστό λειτουργίας της εγκατάστασης ως προς ισχύ και χρόνο, σε σχέση με τη διαρκή λειτουργία της σε ονομαστικό φορτίο.

Με μια αυθαίρετη παραδοχή δεχόμεθα ότι από όλα τα σπίτια του οικισμού το 20% είναι επαγγελματικοί χώροι (γραφεία ,μαγαζιά ) και επομένως είναι ανοικτά μόνο ημέρα και 5 ημέρες την εβδομάδα. Επιπλέον, σε όλους τους χώρους θεωρούμε ότι η μονάδα θα λειτουργεί το 50% του χρόνου, δηλαδή για τη θέρμανση ,το μέγιστο 12 ώρες ανά ημέρα για τις οικίες και 8 ώρες για τους επαγγελματικούς χώρους και τους άλλους δμήνες το 33% του χρόνου για τη ψύξη. Ο μέσος συντελεστής φορτίου PLFm είναι επομένως  $0,8 \times 0,5 + 0,2 \times 0,5 \times 5/7 = 0,47$  για τη θέρμανση και για τη ψύξη 0,31.

Η θερμική αντίσταση σωλήνωσης και της γεώτρησης είναι συνάρτηση αφενός του υλικού και του πάχους της σωλήνωσης και αφετέρου του υλικού πλήρωσης της γεώτρησης. Εκφράζει την αντίσταση στη μεταφορά θερμότητας από το ρευστό εντός του εναλλάκτη προς τα έδαφος, διαμέσου της σωλήνωσης και της γεώτρησης.

Το επόμενο βήμα είναι ο προσδιορισμός του συντελεστή θερμικών απωλειών Fsc. Ο συντελεστής θερμικών απωλειών του κυκλώματος των σωληνώσεων Fsc εκφράζει τη θερμότητα που χάνεται μεταξύ των παρακείμενων σωληνώσεων στην ίδια γεώτρηση. Υπολογίζεται από το παρακάτω πίνακα 6.

**Πίνακας 6 – Συντελεστής Θερμικών Απωλειών**

Αριθμός Βρόγχων / γεώτρηση	1	2	3
Παροχή Σωλήνωσης (gpm)			
2	1,06	1,03	1,02
3	1,04	1,02	1,01

Επιλέγουμε συντελεστή απωλειών. Για σύστημα με 2 βρόγχους επιλέγουμε συντελεστή απωλειών Fsc=1,03. Σύμφωνα με όσα έχουν αναφερθεί στην αρχή, έχει διαπιστωθεί ότι οι ατμοσφαιρικές συνθήκες επηρεάζουν τη θερμοκρασία εδάφους σε μικρό σχετικά βάθος, συνήθως μέχρι τα 5m, ενώ έχουν μηδενική επίδραση κάτω τα 30m. Η δε μεταβολή της θερμοκρασίας στα 2m βάθους από την επιφάνεια τους εδάφους δεν μεταβάλλεται περισσότερο από  $\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  κατά την διάρκεια του έτους. Έτσι από τη διεθνή βιβλιογραφία δίνεται για το υπέδαφος της Αθήνας μέση ετήσια θερμοκρασία ίση με  $T_g = 67 \text{ }^\circ\text{F} = 19,4 \text{ }^\circ\text{C}$ . Την ίδια θερμοκρασία χρησιμοποιούμε και για τους υπολογισμούς μας στη περίπτωση της Λέρου.

Οι θερμοκρασίες εισόδου  $t_{wi}$  και εξόδου  $t_{wo}$  του υγρού στο γεωθερμικό εναλλάκτη εξαρτώνται από τη ρύθμιση της αντλίας θερμότητας και από τη θερμοκρασία του εδάφους. Δεχόμαστε ότι η αντλία θερμότητας ρυθμίζεται ώστε  $[t_{wi}-t_{wo}] = 4 \text{ }^\circ\text{C}$

Η Θερμοκρασία  $T_{wi}$  κατά τη διαδικασία της ψύξης μπορεί να πάρει τιμές από 80 - 95 ο F. Η Θερμοκρασία  $T_{wi}$  κατά τη διαδικασία της θέρμανσης μπορεί να πάρει τιμές από 35 έως 60 ο F. Αυτά ρυθμίζονται επίσης

από την αντλία θερμότητας και είναι παράμετρος επιλογής. Η θερμοκρασία  $T_{wo}$  υπολογίζεται αντίστοιχα από τη ρυθμισμένη θερμοκρασιακή διαφορά [twi-two].

Η θερμοκρασία  $T_{wo}$  κατά τη ψύξη δεν μπορεί να είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία του εδάφους. Γιατί θέλουμε να έχουμε απώλειες θερμότητας του νερού προς το περιβάλλον (έδαφος) ώστε να φτάνει κρύο στην αντλία θερμότητας.

Η θερμοκρασία  $T_{wo}$  κατά τη θέρμανση δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία εδάφους. Γιατί δεν θέλουμε να έχουμε απώλειες θερμότητας του νερού προς το περιβάλλον έδαφος ώστε το νερό να φτάνει ζεστό στη αντλία θερμότητας. [5]

Βάσει της πρακτικής και με βάση τους πίνακες του παραρτήματος 2:

1. Επιλέγεται θερμική αντίσταση σωλήνωσης  $0,09 \text{ h} \cdot \text{ft} \cdot \text{o F} / \text{Btu}$ .
2. Επιλέγεται διορθωτικός συντελεστής θερμοκρασίας  $0,03 \text{ Btu}/(\text{h} \cdot \text{ft} \cdot \text{o F})$ .
3. Η διάμετρος της σωλήνας γεώτρησης επιλέγεται 5in για εγκατάσταση 2 βρόγχων σωληνώσεων.
4. Επιλέγεται θερμική αγωγιμότητα υλικού πλήρωσης γεώτρησης  $1,0 \text{ Btu}/\text{h} \cdot \text{ft} \cdot \text{o F}$ .

Έχοντας προηγουμένως υπολογίσει τις ισοδύναμες ώρες θέρμανσης και ψύξης σε 153,1 και 220,7 ώρες αντίστοιχα βλέπουμε ότι δεν χρειάζεται να υπολογίσουμε συντελεστή διόρθωσης. Ο συντελεστής αυτός αντιπροσωπεύει τη μακροπρόθεσμη αλλαγή θερμοκρασίας του εδάφους λόγω της υπερβολικής απόρριψης ή εξαγωγής θερμότητας μετά από πολλά χρόνια λειτουργίας των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας.

Έχοντας όλα τα μεγέθη υπολογίζουμε τα βάθη γεώτρησης για ψύξη και θέρμανση και από τα βάθη που θα υπολογισθούν θα κρατήσουμε το μεγαλύτερο.

$$L_c = [- 1179,84 \text{ btu}/\text{h} \times 0,2461 \text{ h} \cdot \text{ft} \cdot \text{o F} / \text{Btu} - (199.453,8 \text{ btu}/\text{h} \times 1,26) \times (0,12 \text{ h} \cdot \text{ft} \cdot \text{o F} / \text{Btu} + 0,31 \times 0,2451 \text{ h} \cdot \text{ft} \cdot \text{o F} / \text{Btu} + 0,3301 \text{ h} \cdot \text{ft} \cdot \text{o F} / \text{Btu} \times 1,03)] / [67 \text{ oF} - (80-72,8)/2 - 0] = -1690,7 \text{ ft}$$

η  **$L_c = 515,3$  μέτρα.**

Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζουμε και

$$L_h = [- 1179,84 \text{ btu}/\text{h} \times 0,2461 \text{ h} \cdot \text{ft} \cdot \text{o F} / \text{Btu} - (382.838 \text{ btu}/\text{h} \times 0,77) \times ((0,12 \text{ h} \cdot \text{ft} \cdot \text{o F} / \text{Btu} + 0,31 \times 0,2451 \text{ h} \cdot \text{ft} \cdot \text{o F} / \text{Btu} + 0,3301 \text{ h} \cdot \text{ft} \cdot \text{o F} / \text{Btu} \times 1,03)] / [67 - (60-52,5)/2 - 0] = 2523,3 \text{ ft}$$

ή  **$L_h = 762,2$  μέτρα.**

Επομένως το απαιτούμενο βάθος κάθε γεώτρησης (32 γεωτρήσεις= 64 βρόγχοι) θα είναι  $763 \text{ μέτρα} / 64 = 11,92$  μέτρα.

Το επόμενο στάδιο είναι να υπολογιστούν οι απώλειες πίεσης μέσα στο γεωθερμικό εναλλάκτη θερμότητας καθώς και στο συνολικό κύκλωμα των σωληνώσεων **με σκοπό την επιλογή του κατάλληλου κυκλοφορητή**. Οι συνολικές απώλειες είναι το άθροισμα των παρακάτω απωλειών:

- ✓ Γραμμικές απώλειες γεωθερμικών εναλλακτών.
- ✓ Απώλειες ενδιάμεσου δικτύου (μέχρι την αντλία θερμότητας).
- ✓ Τοπικές απώλειες πίεσης δικτύου γεωτρήσεων με τυπική τιμή ίση με 0,05bar.
- ✓ Τοπικές απώλειες πίεσης ΓΑΘ με τυπική τιμή ίση με 0,25-0,3 bar.
- ✓ Τοπικές απώλειες πίεσης άλλων εξαρτημάτων με τιμή 0,2 bar

Οι σωληνώσεις είναι κατασκευασμένες από ενισχυμένης πυκνότητας πολυαιθυλένιο, υλικό που συνηθίζεται στις γεωθερμικές εφαρμογές λόγω των σημαντικών ιδιοτήτων του στη μεταφορά θερμότητας. Από το παρακάτω πίνακα βρίσκουμε ότι οι απώλειες πίεσης ανά 100 μέτρα σωλήνωσης, όσον αφορά το τμήμα του κάθετου γεωεναλλάκτη θερμότητας για παροχή ρευστού: 0,209 lt/sec και  $d_{in}=26\text{mm}$  θα είναι  $\Delta P/100\text{m}=0,1\text{bar}$  (σημείο Σ1).

### Πίνακας 7 – Υπολογισμός Απώλειας Πίεσης

Επειδή οι σωληνώσεις στις 32 γεωτρήσεις είναι παράλληλες, η πτώση πίεσης υπολογίζεται για το σύνολο των γεωτρήσεων.

### Πίνακας 7 – Απώλεια Πίεσης

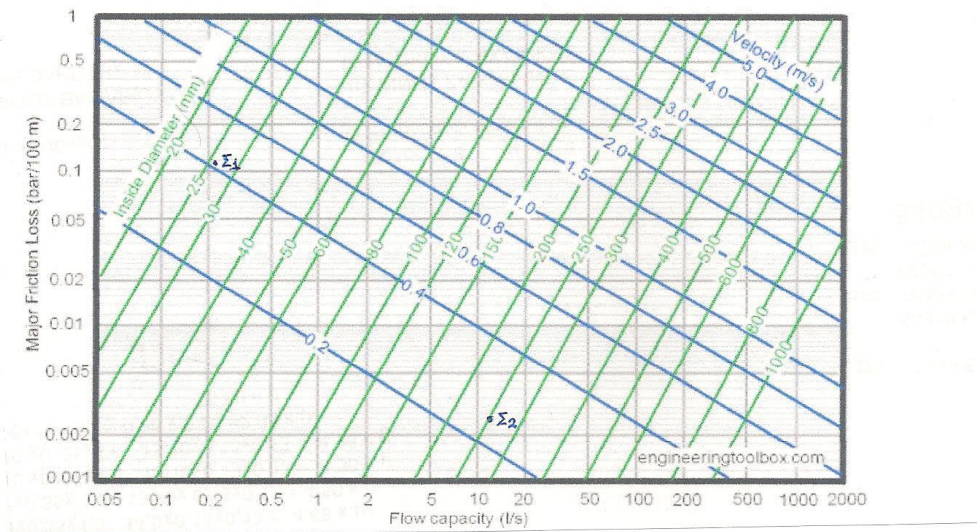
<b>Μήκος</b>	763/2=381,5 m.
<b>Οι γραμμικές Απώλειες Πτώσης Πίεσης</b>	0,1*381,5/100=0,380 bar
<b>Παροχή του Συστήματος</b>	Q=13,4 lt/sec
<b>Εσωτερική Διάμετρος Σωλήνα</b>	250mm
<b>Πτώση Πίεσης</b>	$\Delta P/100=0,0025\text{bar}$

Το υδραυλικό δίκτυο από την έξοδο της γεώτρησης ως την είσοδο της αντλίας θερμότητας ονομάζεται ενδιάμεσο δίκτυο. Οι απώλειες του δικτύου αυτού θα υπολογιστούν με την τιμή που θα προκύψει από το παρακάτω διάγραμμα, πολλαπλασιασμένη με το συνολικό μήκος του δικτύου αυτού.

Οπότε η παροχή του συστήματος αυτού ισούται με τη συνολική παροχή του δικτύου  $Q=13,4\text{ lt/sec}$ , ενώ η εσωτερική διάμετρος των σωληνώσεων επιλέγεται να είναι 250mm (σημείο Σ2). Οπότε η πτώση πίεσης από το διάγραμμα προκύπτει  $\Delta P/100=0,0025\text{bar}$ . Έστω το ενδιάμεσο δίκτυο έως την πιο απομακρυσμένη γεώτρηση από την αντλία θερμότητας έχει μήκος 200m. Στη περίπτωση αυτή οι απώλειες πτώσης πίεσης στο ενδιάμεσο δίκτυο προκύπτουν ίσες με 0,005 bar.

# Υπολογισμός δικτύου

## Πτώση πίεσης στον εναλλάκτη



Εικόνα 2.3.2 – Πτώση της Πίεσης Εναλλάκτη.

Το άθροισμα όλων των ανωτέρω απωλειών πίεσης δίνει τη συνολική πίεση στο συνολικό υδραυλικό δίκτυο:  $0,005+0,3+0,2+0,38+0,005=0,89 \text{ bar}= 9,075 \text{ mm H}_2\text{O}$  (διότι  $1 \text{ bar}=10,197162 \text{ mm H}_2\text{O}$ ).

Με τη συνολική πτώση πίεσης και τη συνολική παροχή επιλέγεται ο κυκλοφορητής του υδραυλικού δικτύου. Ο κυκλοφορητής είναι μια αντλία που χρησιμοποιείται για την υπερνίκηση των αντιστάσεων του δικτύου και όχι για την άντληση και την ανύψωση του νερού. Ο κυκλοφορητής είναι ενσωματωμένος στην αντλία θερμότητας.

### Υπολογισμός του δοχείου διαστολής

Σε κάθε υδραυλικό σύστημα είναι απαραίτητη η ύπαρξη δοχείου διαστολής που χρησιμοποιείται σε κλειστά συστήματα θέρμανσης με σκοπό να απορροφά την αύξηση πίεσης του νερού και έτσι να διατηρεί την πίεση του δικτύου σε αποδεκτά όρια. Είναι ένα κλειστό κυλινδρικό δοχείο το οποίο χωρίζεται σε 2 μέρη με μία μεμβράνη.

Το ένα μέρος φέρει σπείρωμα για σύνδεση στο κύκλωμα της θέρμανση και το άλλο βαλβίδα αέρος για τη ρύθμιση και τον έλεγχο της πίεσης του αεροθαλάμου εντός του οποίου υπάρχει αέριο άζωτο. Η ρύθμιση της πίεσης του αεροθαλάμου είναι από τον κατασκευαστή στα 1,5bar.

Το νερό θερμαινόμενο διαστέλλεται και πιέζει την μεμβράνη η οποία πιέζει με τη σειρά της το συμπιεσμένο αέριο. Έτσι μειώνεται ο χώρος του αέριου και αυξάνεται ο χώρος του νερού. Έτσι το νερό όταν κρυώσει και συσταλθεί θα αναγκάσει το αέριο με την πίεση που έχει αποκτήσει να σπρώξει το νερό πίσω στη κεντρική θέρμανση επομένως η σχέση όγκων νερού-αέρα επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση για να επαναληφθεί.

Η διατήρηση της πίεσης είναι απαραίτητη για:

- Να αναπληρώνονται οι απώλειες του νερού του δικτύου που οφείλονται σε τυχόν μικροδιαρροές.
- Να παραλαμβάνεται η θερμική διαστολή του νερού λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας του.
- Να μην δημιουργούνται υποπίεσεις οι οποίες γίνονται αιτία ατμοποιήσεων στο δίκτυο
- Να αποτρέπεται η σπηλαίωση στην αναρρόφηση των κυκλοφορητών.

Ο όγκος του δοχείου διαστολής δίδεται από τη σχέση  $V_t = V_s \times [(V_2/V_1) - 1 / 1 - (P_1/P_2)]$

όπου

$V_t$ : ο όγκος του δοχείου διαστολής σε  $m^3$

$V_s$ : ο όγκος του νερού στην εγκατάσταση σε  $m^3$

$t_1$ : η χαμηλότερη θερμοκρασία του δικτύου ( $0\text{ }^\circ\text{C}$ )

$t_2$ : η υψηλότερη θερμοκρασία του δικτύου ( $50\text{ }^\circ\text{C}$ )

$p_1$ : η υψηλότερη πίεση του δικτύου σε kPa

$p_2$ : η χαμηλότερη πίεση του δικτύου σε kPa

$V_1$ : ο ειδικός όγκος νερού στη χαμηλότερη θερμοκρασία σε  $m^3 / kg$

$V_2$ : ο ειδικός όγκος νερού στη υψηλότερη θερμοκρασία σε  $m^3 / kg$

Ο όγκος του νερού στην εγκατάσταση είναι το άθροισμα 2 μεγεθών, του όγκου νερού στις σωληνώσεις του γεωθερμικού εναλλάκτη και του όγκου στις σωληνώσεις του οριζόντιου συστήματος.

**Πίνακας 8 – Υπολογισμός του Δοχείου Διαστολής**

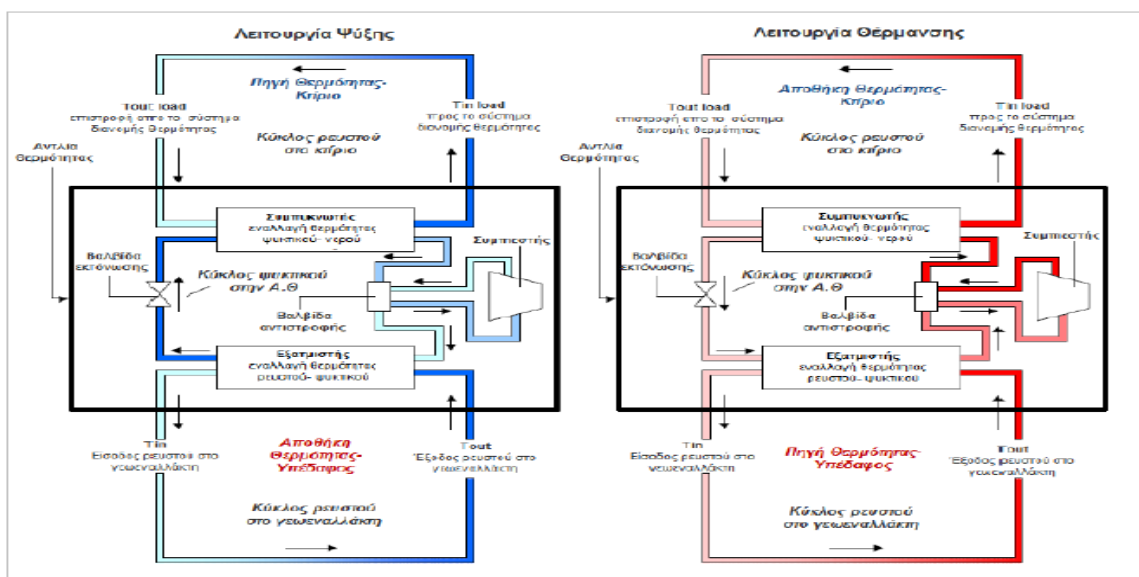
Μεταβλητές	Υπολογισμοί	Τελική Τιμή
$V_{γ.εν}$	$4 \times Lh / 2 \times \pi \times d^2 = 4 \times 763/2 \times 3,14 \times 0,026^2$	0,810 m <sup>3</sup>
$V_{ενδ}$	$L_{ενδ} \times \pi \times d^2 = 200 \times 3,14 \times 0,026^2$	0,424 m <sup>3</sup>
Ο Συνολικός Όγκος νερού στο δίκτυο		<b>1,243 m<sup>3</sup></b>
Ο Ειδικός Όγκος νερού (1 atm και 0 °C) = V1		0,0010002 m <sup>3</sup> / kg
Ο Ειδικός Όγκος νερού (1 atm και 50 °C) = V2		0,0010121 m <sup>3</sup> / kg
Χαμηλότερη πίεση στο δίκτυο = P1	0,7+0,2=0,9bar	90kPa
Υψηλότερη πίεση στο δίκτυο = P2	P2= P1+1,3bar=2,2bar	220kPa
$V_t$	$1,234 \times (0,0010121/0,0010002)-1 / (1-90/220)$	<b>0,0246 m<sup>3</sup></b>

Ως χαμηλότερη πίεση λαμβάνεται η απαραίτητη στατική πίεση του δικτύου προσαυξημένη κατά 0,7bar ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος να παρουσιαστεί υποπίεση, ατμοποίηση ή σπηλαιώση. Η ελάχιστη στατική πίεση για υδραυλικά δίκτυα θέρμανσης λαμβάνεται 0,2bar. Συνεπώς η χαμηλότερη πίεση στο δίκτυο λαμβάνεται,  $P1=0,7+0,2=0,9bar=90kPa$ .

Ως υψηλότερη πίεση λαμβάνεται το άνω επιτρεπτό όριο πίεσης πριν το άνοιγμα της βαλβίδας ασφαλείας. Αυτή σύμφωνα με τις προδιαγραφές πρέπει να είναι:  $P2= P1+1,3bar=2,2bar=220kPa$ .

Μετά τον καθορισμό των απαιτούμενων μεγεθών υπολογίζεται ο όγκος του δοχείου διαστολής

$V_t = 1,234 \times (0,0010121/0,0010002)-1 / (1-90/220)$  και  **$V_t = 0,0246 m^3$** .



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

**Εικόνα 2.3.3 – Διάγραμμα Λειτουργίας συστήματος αβαθούς γεωθερμίας**

Έχοντας υπολογίσει τις απαιτήσεις για μία οικία ψάχνουμε να βρούμε τρόπο για να δημιουργήσουμε την πιο αποδοτική σύνδεση για όλο τον οικισμό.

Εφόσον με την εγκατάσταση 3MW καλύπτονται οι ανάγκες 30 σπιτιών η συνολική εγκατεστημένη ισχύς θα πρέπει να είναι 53 MW ή 17 σταθμοί διασυνδεδεμένων γεωθερμικών εναλλακτών (geothermal district heating ) των 3 MW έκαστος. Καθένας από τους σταθμούς αυτούς θα καταλαμβάνει επιφάνεια 32 γεωτρήσεις /οικία x30οικίες /σταθμό x 5 μέτρα / γεώτρηση =24,000 m<sup>2</sup> ή 24 στρέμματα ,δηλαδή οι 17 σταθμοί συνολικά 400 περίπου στρέμματα.

#### **2.4. Μελέτη σκοπιμότητας της επένδυσης**

Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του συγκεκριμένου γεωθερμικού συστήματος η μόνη μορφή ενέργειας που καταναλώνεται, είναι η ηλεκτρική ενέργεια. Αυτή αντικαθιστά κάθε άλλη μορφή συμβατικού καυσίμου (πετρέλαιο θέρμανσης, ντήζελ ,φυσικό αέριο κλπ.).

Για τον υπολογισμό του ενεργειακού οφέλους για την επιλεγμένη οικία, πραγματοποιείται ανάλυση κόστους λειτουργίας και συντήρησης μεταξύ της εγκατάστασης συγκεκριμένου γεωθερμικού συστήματος και αντίστοιχου συμβατικού συστήματος.

Σ' αυτό το σημείο σημειώνεται ότι στη περίπτωση της Λέρου τα φθηνότερα συμβατικά συστήματα που επιλέγονται, για τη σύγκριση με το γεωθερμικό σύστημα όσον αφορά τη θέρμανση, είναι εκείνα με τη χρήση πετρελαίου, και τα συμβατικά συστήματα που επιλέγονται για τη σύγκριση με το γεωθερμικό σύστημα όσον αφορά την ψύξη, είναι τα κλιματιστικά (air condition) που λειτουργούν με ηλεκτρική ενέργεια.

Όπως προαναφέρθηκε στην ενότητα 2.3

- οι ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις για το συγκεκριμένο γεωθερμικό σύστημα είναι για την περίοδο της θέρμανσης 17179 kWh και για την περίοδο της ψύξης 12902 kWh.
- το μέσο κόστος του πετρελαίου θέρμανσης ανέρχεται σε 1,1 €/lt (μέση τιμή πώλησης, 2014)
- η μέση θερμογόνο δύναμη του πετρελαίου θέρμανσης είναι 10,06 kWh /lt,
- συνεπώς το μέσο κόστος πετρελαίου υπολογίζεται περίπου σε 0,1 €/kWh.
- το κόστος του ηλεκτρικού ρεύματος για οικιακή χρήση σύμφωνα με την τιμολόγηση της ΔΕΗ (Νοέμβριος 2014) ανέρχεται σε 0,16 €/kWh.



## Πίνακας 9 – Υπολογισμός Κόστους / Οφέλους από τη χρήση γεωθερμίας

Μεταβλητές	Υπολογισμοί	Τελική Τιμή
Απόδοση του Λέβητα		0,91
Απόδοση Κλιματιστικού		2,1
Ετήσιο Κόστος Συντήρησης		3%
Κόστος Λειτουργίας/Συντήρησης (ενός συμβατικού συστήματος)	$1,03 * [ (17179 \text{ kWh}/0,91) * 1,1 \text{ €/lt} / 10,06 \text{ kWh /lt} + (12902 \text{ kWh} /2,1)* 0,16 \text{ €/kWh}$	3139 €
Κόστος Λειτουργίας/Συντήρησης (γεωθερμικού συστήματος)	$1,03* (17179 \text{ kWh} /3,5 +12902 \text{ kWh} /1,26) * 0,16 \text{ €/kWh}$	2496 €
Συνολικό Ετήσιο Όφελος		<b>643 €</b>

Όπως φαίνεται και στον παραπάνω πίνακα, το κόστος λειτουργίας και συντήρησης ενός συμβατικού συστήματος, για την παροχή θέρμανσης με χρήση πετρελαίου, ψύξης με χρήση κλιματιστικών (air condition), υπολογίζεται στα 3139 €, ενώ το κόστος λειτουργίας και συντήρησης, για το γεωθερμικό σύστημα με χρήση γεωθερμικής αντλίας θερμότητας 60 kW και κατακόρυφο γεωεναλλάκτη θερμότητας, που παρέχει θέρμανση ψύξη και ζεστό νερό οικιακής χρήσης, υπολογίζεται στα 2496€.

Όπως παρατηρείται από τη σύγκριση του συμβατικού συστήματος με το γεωθερμικό σύστημα σε ισομεγέθεις συνθήκες σύγκρισης, το συνολικό ετήσιο όφελος για το γεωθερμικό σύστημα ανέρχεται σε 643 €, δηλαδή ετήσια εξοικονόμηση της τάξεως 20,5 %.

Η οικονομική ανάλυση του γεωθερμικού συστήματος για την εξαγωγή του συνολικού κόστους εγκατάστασης, για την συγκεκριμένη εφαρμογή, ακολουθεί τα εξής στάδια την καταγραφή των απαιτούμενων συσκευών, υλικών και εργασιών, την εκτίμηση του κόστους αγοράς των υλικών, συσκευών και του κόστους εργασίας.

Βάσει στοιχείων του Κ.Α.Π.Ε. το συνολικό κόστος εγκατάστασης φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 10 – Συνολικό Κόστος Εγκατάστασης**

<b>Κόστος</b>	<b>Ποσό</b>
<b>επίβλεψης &amp; λοιπών εργασιών εγκατάστασης</b>	20 χιλ. €
<b>γεωτρήσεων και υλικών βάθους</b>	40 χιλ.€
<b>γεωεναλλάκτη</b>	60 χιλ €
<b>Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας 60 kWth</b>	60 χιλ €
<b>Συσκευές και εξαρτήματα (δοχείο διαστολής, θερμαντήρας, κυκλοφορητής κ.λπ.)</b>	40 χιλ. €
<b>Εσωτερικό σύστημα</b>	85 χιλ. €
<b>Συνολικό κόστος εγκατάστασης</b>	305 χιλ. €

Το συνολικό κόστος εγκατάστασης για το συμβατικό σύστημα υπολογίζεται σε 175 χιλ. €, το συνολικό ετήσιο όφελος, για τη λειτουργία και τη συντήρηση του γεωθερμικού συστήματος, υπολογίζεται κατά 643 € φθηνότερο από του συμβατικού συστήματος που δείχνει ότι η επένδυση σε γεωθερμικό κλιματισμό κτηρίων δεν είναι οικονομικά τεκμηριωμένη.

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας από γεωθερμικά ρευστά στην Ελλάδα Μ. Φυτίκας, Γ. Χατζηγιάννης, Ν. Κολιός ,ημερίδα ΑΠΕ , 2007.
- [2] **Meeting on experts on training in Geothermal Energy** ,United Nations scientific organization, N.Lubimova ,1968.
- [3] **What is geothermal energy?** Mary H. Dickson and Mario Fanelli *Istituto di Geoscienze e Georisorse , Pisa, Italy .*
- [4] **CLEAN ENERGY PROJECT ANALYSIS: RETSCREEN® ENGINEERING & CASES TEXTBOOK.**
- [4] Διαστασιολόγηση γεωθερμικού εναλλάκτη ,Δ. Κατσαπρακάκης, Ηράκλειο 2010.
- [5] Τεχνικοοικονομική μελέτη σκοπιμότητας για κλιματισμό σχολείου με αβαθή γεωθερμία, Τσατσάκης Ι , Ηράκλειο Κρήτης , 2014.
- [6] Γεωθερμία , Αβραμίδου Ν. ,ΤΕΙ Θεσ/νικης, 2011.
- [7] **Feasibility Study of Geothermal Utilization of Remoteness Areas** Emma Baz González, Iceland 2011.
- [8] Γεωθερμία σε οικία στη Βυτίνα , ΕΡΓΟΝ 2012.

## ΠΙΝΑΚΕΣ – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Πίνακας 4: Επιλογής υλικού πλήρωσης						
Τύπος πετρώματος	Συχνότητα εμφάνισης Γης (%)	Θερμική αγωγιμότητα Κ-100%	Θερμική αγωγιμότητα Κ-80%	Ειδική θερμότητα Cp (Btu/hft <sup>2</sup> °F)	Ποκνότητα ρ (lb/ft <sup>3</sup> )	Θερμική διαχυτότητα α (ft <sup>2</sup> /day)
<b>Πυρηνική πετρώματα</b>						
Γρανίτης (10% γαλαζίας)	10,4	1,1-3,0	1,3-4,9 1,5-2,1	0,21	165	0,9-4,3 1,0-1,4
Γρανίτης (25% γαλαζίας)						
Αμφιβολίτης	42,8	1,1-2,7	1,5-2,2	0,12	175-195	1,1-4,7
Ανδেসίτης		0,8-2,8	0,9-1,6		160	
Βασάλτης		1,2-1,4			0,17-0,21	
Gabbro (cen. Plains)		0,9-1,6		0,18	185	0,65-1,15 0,85-1,5
Gabbro (Rocky Mtns)		1,2-2,1				
Διορίτης		11,2	1,2-1,9	1,2-4,7	0,22	180
Γρανοδιορίτης	1,2-2,0			0,21	170	0,8-4,3

Πίνακας 5: Επιλογή υλικού πλήρωσης (συνέχεια)						
Τύπος πετρώματος	Συχνότητα εμφάνισης Γης (%)	Θερμική αγωγιμότητα Κ-100%	Θερμική αγωγιμότητα Κ-80%	Ειδική θερμότητα Cp (Btu/hft <sup>2</sup> °F)	Ποκνότητα ρ (lb/ft <sup>3</sup> )	Θερμική διαχυτότητα α (ft <sup>2</sup> /day)
<b>Μεταμορφωγή πετρώματα</b>						
Γνευσίτης	21,4	1,0-3,3	1,3-2,0	0,22	160-175	0,9-1,2
Μάρματο	0,9	1,2-3,2	1,2-1,9	0,22	170	0,8-1,2
Χαλαζίτης		3,0-4,0		0,2	160	2,2-3,0
Σχιστόλιθος (shist)	5,1	1,2-2,6	1,4-2,2		170-200	
Σχιστόλιθος (slate)		0,6-4,5		0,22	170-475	0,6-0,9

Πίνακας 6: Επιλογή υλικού πλήρωσης (συνέχεια)

Τύπος πετρώματος	Συχνότητα εμφάνισης Γης (%)	Θερμική αγωγιμότητα α Κ-100%	Θερμική αγωγιμότητα Κ-80%	Ειδική θερμότητα α Cp (Btu/hft <sup>2</sup> °F)	Πυκνότητα ρ (lb/ft <sup>3</sup> )	Θερμική διαχυτότητα α (ft <sup>2</sup> /day)
<b>Ιζηματογενή πετρώματα</b>						
<b>Claystone</b>		1,1-4,7				
<b>Δολομίτης</b>		0,9-3,6	1,6-3,6	0,21	170-475	1,1-2,3
<b>Ασβεστόλιθος</b>		0,8-3,6	1,4-2,2	0,22	150-475	1,0-4,4
<b>Rock Salt</b>		3,7		0,2	130-435	

<b>Χαλαζιακή άμμος</b>	1,7	1,2-2,0		0,24	160-470	0,7-4,2
<b>Siltstone</b>		0,8-1,4				
<b>Wet shale (25% χαλαζίας)</b>	4,2	0,6-2,3	1,0-4,8	0,21	130-165	0,9-1,2
<b>Wet shale (0% χαλαζίας)</b>			0,6-0,9			0,5-0,6
<b>Dry shale (25% χαλαζίας)</b>			0,8-4,4			0,7-1,0
<b>Dry shale (25% χαλαζίας)</b>			0,5-0,8			0,45-0,55

<b>Πίνακας 7: θερμική αντίσταση σωλήνωσης σε <math>h \cdot ft \cdot ^\circ F / Btu</math></b>					
Διάμετρος σωλήνωσης τύπου U	SDR	Παροχή νερού άνω των 2 gpm	Παροχή μίγματος 20% γλυκόλης 3 gpm	Παροχή μίγματος 20% γλυκόλης 5 gpm	Παροχή μίγματος 20% γλυκόλης 10 gpm
3/4 in	SDR 11	0,09	0,12	-	-
	SDR 9	0,11	0,15	-	-
	SDR 40	0,10	0,14	-	-
1 in	SDR 11	0,09	0,14	0,10	-
	SDR 9	0,11	0,15	0,12	-
	SDR 40	0,10	0,16	0,11	-
1-1/4 in	SDR 11	0,09	0,15	0,12	0,09
	SDR 9	0,11	0,17	0,15	0,11
	SDR 40	0,09	0,15	0,12	0,09
1-1/2 in	SDR 11	0,09	0,16	0,15	0,09
	SDR 9	0,11	0,18	0,17	0,11
	SDR 40	0,08	0,14	0,14	0,08

Πίνακας 8: Διόρθωση θερμικής αντίστασης							
Αγωγιμότητα εδάφους ( $Btu/(h \cdot ft \cdot ^\circ F)$ )	0,9		1,3			1,7	
Αγωγιμότητα υλικού πλήρωσης ( $Btu/(h \cdot ft \cdot ^\circ F)$ )	0,5	2	0,5	1	2	0,5	1
Διάμετρος γεώτρησης 4 in							
3/4 in σολήνωση τύπου U	0,11	-0,05	0,14	0,03	-0,02	0,17	0,05
1 in σολήνωση τύπου U	0,07	-0,03	0,09	0,02	-0,02	0,13	0,04
Διάμετρος γεώτρησης 5 in							
3/4 in σολήνωση τύπου U	0,14	-0,06	0,18	0,04	-0,04	0,21	0,06
1 in σολήνωση τύπου U	0,11	-0,04	0,14	0,03	-0,02	0,16	0,05
1-1/4in σολήνωση τύπου U	0,06	-0,03	0,09	0,02	-0,02	0,12	0,04
Διάμετρος γεώτρησης 6 in							
3/4 in σολήνωση τύπου U	0,18	-0,07	0,21	0,04	-0,05	0,24	0,07
1 in σολήνωση τύπου U	0,14	-0,06	0,17	0,03	-0,04	0,21	0,06
1-1/4in σολήνωση τύπου U	0,09	-0,04	0,12	0,03	-0,02	0,15	0,05
Διάμετρος γεώτρησης 5in	0,07	-0,03	0,09	0,02	-0,02	0,11	0,04

## ΣΤΑΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΤΙΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ

### 3.1. Περίληψη

Η παρούσα εργασία αποτελεί μία πτυχιακή εργασία αποτελεί με Θέμα: «Αναπτυξιακό σχέδιο της Λέρου σε πράσινο νησί με χρήση ανανεώσιμων μορφών ενέργειας». Πιλοτικά εξετάζονται οι προοπτικές που υπάρχουν για την εγκατάσταση ενός σταθμού επαναφόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στη Λέρο και η εργασία ολοκληρώνεται με τα συμπεράσματα από την γενικότερη βιβλιογραφική έρευνα που έγινε.

### 3.2. Εισαγωγή

Στις μέρες μας ο περιορισμός της εξάρτησης, ή ακόμη και η απεξάρτηση από τις συμβατικές ενεργειακές πηγές αποτελεί επιτακτική ανάγκη. Το υψηλό κόστος των τελευταίων, η περιορισμένη τους ποσότητα, αλλά και οι δυσμενείς συνέπειες της χρήσης τους για το περιβάλλον, υπογραμμίζουν και ενισχύουν όλο και περισσότερο την ανάγκη αυτή.

Έτσι όλο και περισσότερο, δρομολογείται και εφαρμόζεται αν και όχι με γρήγορους ρυθμούς στις περισσότερες περιπτώσεις, η εγκατάλειψη των συμβατικών μορφών ενέργειας στις διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες, ατομικές και επιχειρηματικές. Μία από τις βασικές δραστηριότητες του σύγχρονου ατόμου άμεσα συνδεδεμένη με την κατανάλωση ενέργειας είναι οι μεταφορές. Όπως είναι γνωστό οι μεταφορές στηρίζουν ένα μεγάλο μέρος της παγκόσμιας οικονομίας και σίγουρα αποτελούν ένα αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας του σύγχρονου ανθρώπου. Στις μεταφορές λοιπόν καταναλώνονται καθημερινά μεγάλες ποσότητες ενέργειας, και δαπανούνται εκατοντάδες εκατομμύρια χρημάτων, προκειμένου να μεταφερθούν προϊόντα και άνθρωποι σε διάφορα σημεία της γης. Η καθημερινότητα του «Δυτικού» ανθρώπου μοιάζει απόλυτα συνδεδεμένη με τη χρήση οποιουδήποτε μέσου του εξασφαλίζει την μετακίνηση του, με ασφάλεια και ταχύτητα. Το αυτοκίνητο είναι βέβαια ένα από αυτά, και σίγουρα το επικρατέστερο, όσον αφορά στη συχνότητα με την οποία χρησιμοποιείται αλλά και στο γεγονός ότι χρησιμοποιείται σε πολύ μεγαλύτερα ποσοστά, σχεδόν καθολική χρήση, απ' ό,τι τα υπόλοιπα οχήματα.

Τα ηλεκτρικά οχήματα, είναι μία ιδέα – εφαρμογή η οποία τώρα δειλά δειλά κάνει την εμφάνιση της. Πρόκειται για ένα εγχείρημα που ακόμη βρίσκεται σε δοκιμαστικό στάδιο προκειμένου να περάσει στην φάση της μαζικής χρήσης. Το ηλεκτρικό αυτοκίνητο είναι μία πρόκληση από πολλές απόψεις καθώς προσφέρει τη δυνατότητα αποδοτικής διαχείρισης της ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα ηλεκτρικά οχήματα λειτουργούν εν συντομία κάπως έτσι: φορτίζονται πρωτίστως σε περιόδους όπου υπάρχει χαμηλή ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ τη νύχτα) ή εξοπλίζονται με

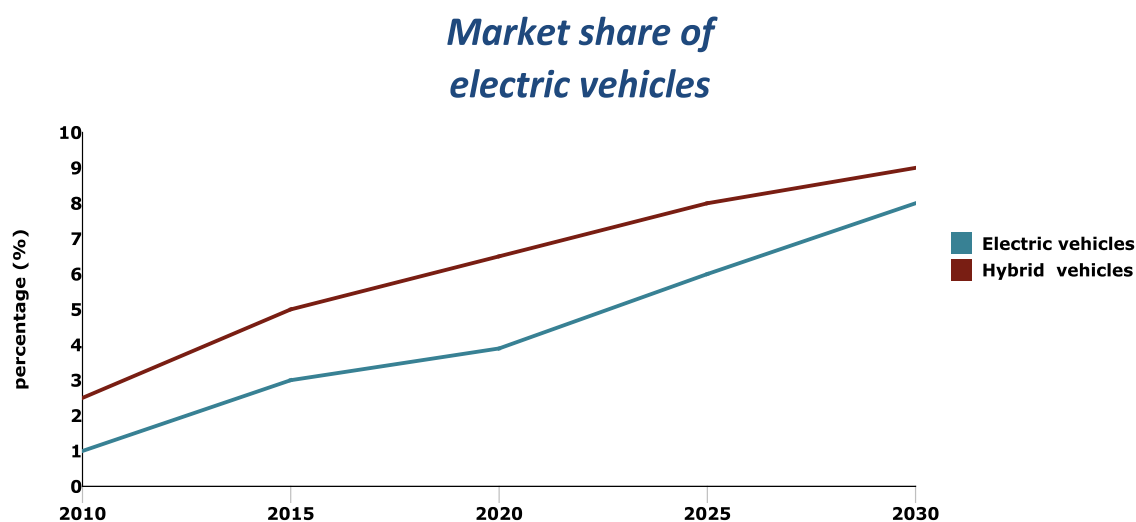


τεχνολογία διακοπής της φόρτισης στη διάρκεια περιόδων αιχμής της ζήτησης ενώ είναι προ των πυλών η δυνατότητα να χρησιμοποιούνται ως αποθήκες για συλλογή ηλεκτρικής ενέργειας.

Ωστόσο το υψηλό ακόμη κόστος κατασκευής, ο περιορισμένος χρόνος ζωής της μπαταρίας, η περιορισμένη διανύμενη απόσταση, καθώς και η κατασκευή σταθμών φόρτισης κι άλλων υποδομών που απαιτούνται, αποτελούν ακόμη σημαντικούς περιορισμούς που θα πρέπει να αντιμετωπισθούν ώστε να επιτευχθεί η επικράτηση των ηλεκτρικών οχημάτων.

Στη συνέχεια εξετάζονται οι επιλογές που υπάρχουν για τους τρόπους φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων, οι προοπτικές για την εγκατάσταση τους και διερευνάται η διασφάλιση της βιωσιμότητας μιας παρόμοιας εγκατάστασης.

Τα ηλεκτρικά οχήματα είναι μία καινοτομία που δεν υπήρχε μέχρι σήμερα αλλά μπήκε στη ζωή μας από το 2010 και μετά. Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται μια αναμενόμενη εξέλιξη της απόκτησης μεριδίου της αγοράς από το ηλεκτρικό αυτοκίνητο ή το υβριδικό όχημα με το οποίο είμαστε ήδη πιο εξοικειωμένοι.



Φαίνεται λοιπόν ότι μετά το 2030 ηλεκτρικά αυτοκίνητα της μιας ή της άλλης τεχνολογίας θα αντιπροσωπεύουν ένα ποσοστό τουλάχιστον 20% του στόλου αυτοκινήτων παγκοσμίως [1], ενώ άλλες πηγές ανεβάζουν το ποσοστό αυτό μέχρι το 35% [Σχήμα 1].

Η εισαγωγή ηλεκτρικών οχημάτων αναμένεται να γίνει σε τρία στάδια:

- Επαγγελματική χρήση μόνο από δήμους, εταιρείες και οργανώσεις
- Χρήση από ιδιώτες, σαν δεύτερα αυτοκίνητα, με βραδινή επαναφόρτιση στο σπίτι
- Μαζική εισαγωγή ηλεκτρικών οχημάτων για αστική χρήση με υποδομές για επαναφόρτιση σε δημόσιους χώρους.

Η μαζική κυκλοφορία των ηλεκτρικών οχημάτων θα φέρει στο προσκήνιο νέες προκλήσεις που θα πρέπει να αντιμετωπισθούν.

Μία από αυτές είναι και η κατασκευή, η τεχνολογία σύνδεσης με το δίκτυο αλλά και η γεωγραφική κατανομή των σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων[2].

Ο τύπος όμως του σταθμού φόρτισης και η τεχνολογία που χρησιμοποιείται εξαρτάται από τον τρόπο χρήσης των οχημάτων, τη τεχνολογία των μπαταριών τους και τον διαθέσιμο χρόνο για τη φόρτιση τους.

### 3.3. Ιστορικό

Όταν λέμε ότι το ηλεκτρικό αυτοκίνητο μπήκε στη ζωή μας μετά το 2010 δεν κυριολεκτούμε ακριβώς. Τα ηλεκτροκίνητα οχήματα έχουν μια μακρόχρονη ιστορία που ξεκινάει περίπου 180 χρόνια πιο πίσω και συγκεκριμένα το 1837 όπου ο Thomas Danenport κατασκεύασε το πρώτο κινητήρα για ένα E.V. χωρίς όμως να υπάρχει η δυνατότητα επαναφόρτισης του κινητήρα.

Το 1859 ο Γάλλος φυσικός G.Plante ανακαλύπτει τις μπαταρίες μολύβδου –οξέως που έχουν τη δυνατότητα επαναφόρτισης. Με τον τρόπο αυτό έπαψε να είναι απαραίτητη η συνεχής αντικατάσταση των μπαταριών μετά την αποφόρτιση τους.

1890: ο W.Morrison από την Iowa κατασκευάζει το πρώτο ηλεκτρικό αυτοκίνητο στις Η.Π.Α. Το όχημα αυτό μπορεί να αναπτύξει ταχύτητα 22 km / h για 13 ώρες.

Το 1900 τα ηλεκτρικά όχημα βρίσκονται στην άνθιση τους. Από τα 4192 αυτοκίνητα που κατασκευάστηκαν στην Α μερική σχεδόν το 1/3 είναι ηλεκτρικά λόγω κυρίως της υπεροχής τους σε συγκεκριμένους τομείς ( έλλειψη θορύβου, δονήσεων και μυρωδιάς).

Το 1908 ο Henry Ford εισάγει το πρώτο βενζινοκίνητο όχημα μαζικής παραγωγής και χαμηλού επομένως κόστους και αρχίζει η κάμψη για το ηλεκτροκίνητο όχημα και για πάνω από 70 χρόνια η καθολική επικράτηση των οχημάτων που κινούνται με υγρά καύσιμα.

Σ' αυτό συνετέλεσαν διάφορες αιτίες με σπουδαιότερες τις ακόλουθες :

- το οδικό δίκτυο που κατασκευάσθηκε δημιούργησε την δυνατότητα κάλυψης μεγάλων αποστάσεων και επομένως αύξηση της ανάγκης για οχήματα μεγάλης αυτονομίας,
- η ανακάλυψη και εκμετάλλευση μεγάλων αποθεμάτων πετρελαίου στην Αμερική και τη Μ.Ανατολή κατέστησε χαμηλό το κόστος των υγρών καυσίμων,
- η ανακάλυψη του ηλεκτρικού εκκινητή (starter) που αντικατέστησε τη μανιβέλλα έδωσε τη δυνατότητα στα βενζινοκίνητα οχήματα για εύκολη εκκίνηση.

1920 : η παραγωγή των ηλεκτρικών οχημάτων θεωρείται ασύμφορη και σταματάει..

Η επαναφορά των E.V γίνεται γύρω στο 1970 μαζί με τις πρώτες ανησυχίες για την επερχόμενη πετρελαϊκή κρίση.

Το 1976 το Αμερικάνικο Κογκρέσο νομοθετεί για τη προώθηση της έρευνας σχετικά με τη βελτίωση των μπαταριών και των κινητήρων για τα ηλεκτρικά οχήματα.

Το 1996 η GM παρουσιάζει στην αγορά το πρώτο αμιγώς ηλεκτροκίνητο όχημα EV1 που σχεδιάστηκε σε γραμμές μαζικής παραγωγής εξ' αρχής ως αποκλειστικά ηλεκτροκίνητο. Το 2003 όμως αναγκάζεται παρά την επιτυχία που υπήρχε, να αποσύρει όλα τα οχήματα που είχαν πωληθεί λόγω της πίεσης των πετρελαϊκών εταιρειών.

Στην Ιαπωνία όμως η Τογιοτά συνεχίζει κυκλοφορώντας, το 1997 το υβριδικό μοντέλο Prius που γνωρίζει μεγάλη εμπορική επιτυχία σε παγκόσμια κλίμακα.

Το 2004 μετά το πρωτόκολλο του Κυότο αναζωπυρώνεται το ενδιαφέρον για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Μια μικρή εταιρεία κατασκευής αυτοκινήτων στις ΗΠΑ με την ονομασία Tesla Motors παρουσιάζει το πρωτοποριακό Tesla Roadster δίνοντας το έναυσμα σε όλες τις μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες να ασχοληθούν και να εξελίξουν τα ηλεκτρικά οχήματα. Το Roadster διαθέτει τριφασικό κινητήρα που τροφοδοτούνταν από ένα σύστημα αποθήκευσης που αποτελούνταν από 6831 κυψέλες ιόντων λιθίου. Ο αερόψυκτος ηλεκτροκινητήρας απέδιδε 250 άλογα, η τελική ταχύτητα του ήταν 210 km/h και πραγματοποιούσε το πέρασμα 0-100 σε 4". Ο χρόνος πλήρους φόρτισης ήταν 6-7 ώρες σε οικιακό δίκτυο και το κόστος ταξιδιού ανέρχονταν σε 0,008-0,012 ευρώ ανά χιλιόμετρο.

Το 2010 το κόστος των κοινών μπαταριών ιόντων-Λιθίου πέφτει κάτω από τα \$ 650 / kwh στα \$ 430 / kwh και όλες οι μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες ξεκινάνε να προσθέτουν στη γκάμα προϊόντων τους ένα ή περισσότερα ηλεκτρικά οχήματα. Ολοένα και περισσότεροι οικονομικοί πόροι επενδύονται στην ανάπτυξη της τεχνολογίας των ηλεκτρικών οχημάτων που δεν θα αργήσει να αποτελεί ισότιμη επιλογή στην αγορά αυτοκινήτων.

### **3.4. Τα διαφορετικά είδη ηλεκτρικών αυτοκινήτων**

Ξεκινώντας, ας δούμε τι σημαίνουν οι διαφορετικές ονομασίες ηλεκτρικών οχημάτων που είναι σήμερα σε κυκλοφορία .[3]

**Το υβριδικό όχημα (Hybrid vehicle [H.V] ) :** πρόκειται για ένα όχημα το οποίο μπορεί να χρησιμοποιήσει βενζίνη και ντίζελ αλλά και ηλεκτρική ενέργεια για να λειτουργήσει η μηχανή του. Συνήθως, η μηχανή εσωτερικής καύσεως χρησιμοποιείται είτε για να φορτισθεί η μπαταρία είτε όταν ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι εκτός λειτουργίας.

**Το επαναφορτιζόμενο υβριδικό όχημα (Plug-In Electric Vehicle [PHEV] ) :** είναι το όχημα που κινείται καταναλώνοντας την ενέργεια μιας μπαταρίας δυναμικότητας 4 kwh τουλάχιστον η οποία μπορεί να επαναφορτισθεί από μια εξωτερική λήψη.

**Το ηλεκτρικό αυτοκίνητο (Battery Electric vehicle [BEV] ) :** είναι κάθε όχημα που χρησιμοποιεί έναν ή περισσότερους ηλεκτροκινητήρες για τη κίνηση του. Τα BEV χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ενέργεια που αποθηκεύεται σε μια μπαταρία για να τροφοδοτήσει έναν ηλεκτρικό κινητήρα που δίνει κίνηση και στρίβουν οι τροχοί. Όταν εξαντληθεί η μπαταρία επαναφορτίζεται χρησιμοποιώντας ηλεκτρικό ρεύμα του δικτύου, είτε από μια πρίζα ή μια ειδική μονάδα φόρτισης. Από τη στιγμή που δεν λειτουργούν με βενζίνη ή ντίζελ και τροφοδοτούνται εξ ολοκλήρου με ηλεκτρική ενέργεια, τα BEV θεωρούνται ολοκληρωτικά ηλεκτρικά οχήματα. Η οδήγηση ενός EV δεν παράγει ρύπανση από τις εξατμίσεις, δεν υπάρχει καν εξατμίση καυσαερίων. Ωστόσο, η ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιούν μπορεί να παράγει άλλες μορφές ρύπανσης στην πηγή

παραγωγής της ή στην εξόρυξη των ορυκτών καυσίμων. Η ποσότητα της ρύπανσης που παράγεται εξαρτάται από το πώς αυτή η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται. Όπως σε όλα τα EV μειώνονται πολύ οι ενεργειακές απώλειες καθόσον όταν σταματάνε σβήνει ο κινητήρας ενώ όταν το όχημα φρενάρει επαναφορτίζεται η μπαταρία.

Στη συνέχεια της εργασίας μας και για λόγους συντομίας θα χρησιμοποιούμε πολλές φορές τον όρο E.V για κάθε τύπο ηλεκτρικού οχήματος που θα αναφερόμαστε, και θα προσδιορίζουμε τον ακριβή τύπο μόνο όταν είναι ανάγκη για να υπάρχει διαφοροποίηση..

**Το όχημα κυψελών καυσίμου ( fuel cell electric vehicle [FCEV]) :** τα οχήματα κυψελών καυσίμου χρησιμοποιούν αέριο υδρογόνο που τροφοδοτεί έναν ηλεκτρικό κινητήρα. Σε αντίθεση με τα συμβατικά οχήματα που κινούνται με βενζίνη ή ντίζελ, τα οχήματα κυψελών καυσίμου συνδυάζουν το υδρογόνο και το οξυγόνο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία τρέχει ένα κινητήρα. Επειδή το FCEV τροφοδοτείται εξ ολοκλήρου με ηλεκτρική ενέργεια, θεωρείται ηλεκτρικό όχημα, αλλά σε αντίθεση με τα άλλα E.V, το εύρος και οι διαδικασίες του ανεφοδιασμού τους είναι συγκρίσιμα με εκείνα των συμβατικών αυτοκινήτων. Τα FCEV αποθηκεύουν ενέργεια με τη μορφή υδρογόνου η οποία τροφοδοτεί μια κυψέλη καυσίμου μαζί με ατμοσφαιρικό οξυγόνο παράγοντας ηλεκτρισμό με τη διαδικασία της ηλεκτρόλυσης και έχοντας ως παραπροϊόντα θερμότητα και νερό. Ωστόσο, η απαιτούμενη υποδομή για τη διανομή του υδρογόνου, η αποθήκευση του πάνω στο όχημα και οι απώλειες μετατροπής αποτελούν σημαντικά προβλήματα για τα οποία δεν έχει ακόμη βρεθεί αξιόπιστη λύση.

Ορισμένοι κατασκευαστές έχουν επίσης εισαγάγει δυνατότητα αναβάθμισης, με εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων νέας τεχνολογίας στην οροφή του κάθε οχήματος ούτως ώστε να προστίθεται επιπρόσθετη αυτονομία μέχρι και 20 χιλιομέτρων την ημέρα.

### 3.5.Περιγραφή

Το σύστημα κίνησης ενός σύγχρονου ηλεκτρικού οχήματος (E.V.) αποτελείται από τον κινητήρα, το μετατροπέα ισχύος, τη πηγή ενέργειας (μπαταρία) και το σύστημα μετάδοσης της κίνησης. Η μπαταρία θα περιγραφεί στην επόμενη ενότητα λόγω της ιδιαίτερης σημασίας που έχει.

Ο ηλεκτροκινητήρας μπορεί να είναι κινητήρας συνεχούς ή κινητήρας εναλλασσομένου ρεύματος. Αρχικά, τα οχήματα είχαν κινητήρες συνεχούς λόγω αδυναμίας μετατροπής του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο. Σήμερα, τα ηλεκτρονικά ισχύος επιτρέπουν τέτοια μετατροπή αλλά εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται συχνά οι κινητήρες συνεχούς λόγω της εύκολης ρύθμισης της ταχύτητας και της σταθερής ροπής και ισχύος για μια μεγάλη περιοχή ταχυτήτων. Μειονεκτούν όμως απέναντι στους κινητήρες εναλλασσομένου ρεύματος σε πολλά σημεία όπως: έχουν μεγάλο βάρος και όγκο, χρειάζονται τακτική συντήρηση, έχουν μικρή απόδοση, και χρειάζονται καλύτερη ψύξη λόγω του συλλέκτη. Ο σύγχρονος κινητήρας λειτουργεί πάντα κοντά στη μέγιστη ροπή και

ισχύ, παρουσιάζει τη μεγαλύτερη απόδοση από όλους τους κινητήρες και με την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών ισχύος κατασκευάστηκαν ηλεκτρονικοί ρυθμιστές ταχύτητας που ακύρωσαν τη βασική αδυναμία του που ήταν η δυνατότητα του να κινείται μόνο με τη σύγχρονη ταχύτητα. Ο ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας έχει απλή κατασκευή, το χαμηλότερο κόστος, χρειάζεται ελάχιστη συντήρηση, έχει το μικρότερο βάρος και όγκο δε χρειάζεται ειδικό σχεδιασμό για αυτοκίνηση, είναι πιο αξιόπιστος από όλους τους κινητήρες και μπορεί να λειτουργήσει σαν γεννήτρια για ηλεκτρική πέδηση και επαναφόρτιση της μπαταρίας. Τα χαρακτηριστικά αυτά οδηγούν στο συμπέρασμα ότι για ένα όχημα πόλης με καλές επιδόσεις και μικρό όγκο υπερτερεί ο ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας. [4]

Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης στα συμβατικά αυτοκίνητα υπάρχει γιατί ο κινητήρας παράγει μόνο την αναγκαία κάθε φορά ροπή και ισχύ σε ένα περιορισμένο εύρος των στροφών του κινητήρα. Για την επιτάχυνση του οχήματος, προβλέπονται πολλαπλές ταχύτητες για να πετύχουμε διάφορες σχέσεις μετάδοσης, και να διατηρήσουμε τον κινητήρα στη ζώνη μέγιστης ισχύος του. Κρατώντας τον κινητήρα διαρκώς στη ζώνη μέγιστης ισχύος του του δίνουμε και την αναγκαία αξιοπιστία και διάρκεια. Ένας κινητήρας, με τη πρώτη ταχύτητα, μπορεί εύκολα να επιταχύνει ένα αυτοκίνητο στη ταχύτητα των 40 χλμ/ώρα, αλλά θα διαλυθεί αν γίνει προσπάθεια για να επιταχύνει σε ταχύτητες αυτοκινητοδρόμου. Ομοίως, η ίδια μηχανή δύσκολα θα είναι σε θέση να επιταχύνει από στάση φθάνοντας στην 6η ταχύτητα.

Αντίθετα, οι ηλεκτροκινητήρες (MG) παράγουν το 100% της ροπής τους σε πολύ χαμηλές ταχύτητες οι DC κινητήρες κοντά στην εκκίνηση (μηδέν στροφές ανά λεπτό), και οι AC περίπου στις 1.000 σ.α.λ., κατά κανόνα. Όταν οι στροφές αυξάνονται η ροπή πέφτει με ένα γραμμικό ρυθμό, την ίδια στιγμή που η δύναμη αυξάνεται. Σε αξιολόγηση του 2004 για το Toyota Prius (PDF), για παράδειγμα, ο κινητήρας παράγει μέχρι 300 N • m ροπής περίπου στις 1.500 rpm, αλλά πέφτει περίπου στα 50 N • m στις 6.000 rpm. Στην optimum περιοχή, που φθάνει το 93% απόδοση, η MG βγάζει μόνο 100 N • m στις 2.250 σ.α.λ., περιοχή ιδανική για ταξίδια. Σε κάθε περίπτωση, ένα σύστημα πολλαπλών ταχυτήτων μετάδοσης για το ηλεκτρικό όχημα είναι περιττή, διότι ακόμη και 100 N • m είναι αρκετά υψηλή ροπή σε ταχύτητα πλεύσης.

Φυσικά, αυτό δεν σημαίνει ότι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα δεν θα μπορούσαν να έχουν μετάδοση κίνησης, δεν είναι απαραίτητο. Κατ'αρχάς, διότι τα χαρακτηριστικά ροπής / ισχύος / rpm του ηλεκτροκινητήρα, είναι ιδανικά για ταξίδια. Η ροπή είναι απαραίτητη για την επιτάχυνση του οχήματος κυρίως μετά το ξεκίνημα. Η ισχύς, είναι απαραίτητη για τη κυρίως διαδρομή και το μεγαλύτερο μέρος της αναπτύσσεται σε υψηλές στροφές. Δεύτερον, το σύστημα μετάδοσης πολλαπλών ταχυτήτων θα προσθέσει βάρος, πολυπλοκότητα, επιπλέον τριβή και αναποτελεσματικότητα σε ένα κατά τα άλλα απλό σύστημα.[5]

### **3.6.Μπαταρίες η καρδιά του E.V.**

Τα ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας , ή BEVs, χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ενέργεια που αποθηκεύεται σε μια μπαταρία για να τροφοδοτήσουν έναν ηλεκτρικό κινητήρα και να μεταδώσουν τη κίνηση στους τροχούς. Όταν εξαντληθεί η μπαταρία , επαναφορτίζεται χρησιμοποιώντας το ηλεκτρικό ρεύμα του δικτύου, είτε από μια πρίζα ή ένα ειδικό σταθμό φόρτισης.[6]

#### ***Τα χαρακτηριστικά των μπαταριών***

Υπάρχουν πέντε κριτήρια για να επιλέξουμε τη κατάλληλη μπαταρία:

#### Κριτήριο 1°

**Η στιγμιαία ισχύς που μπορούν να αποδώσουν** ή επίσης η ισχύς που μπορούν να απορροφήσουν π.χ. σε ένα φρενάρισμα . Η ισχύς αυτή προσδιορίζει την απαραίτητη διάρκεια επαναφόρτισης τους . Η μέτρηση γίνεται με αναφορά στη μέγιστη δυνατότητα φόρτισης (C ) που έχουν . Για παράδειγμα , μια μπαταρία που δέχεται ρεύμα έντασης 0,33 φορές της C και παραμένει ενεργή επαναφορτίζεται σε 3 ώρες . Οι τιμές αυτές αναφέρονται σε μπαταρίες λιθίου . Μια παρόμοια μπαταρία μπορεί να δεχθεί ρεύμα αιχμής πολύ ισχυρότερο από αυτό ,δηλαδή ρεύμα εντάσεως 1 C ακόμη και 1,5 C χωρίς πολλές απώλειες απόδοσης .

#### Κριτήριο 2°

**Η ποσότητα ενέργειας που είναι αποθηκευμένη ανά μονάδα βάρους** ( η ειδική ενέργεια ) , μετριέται σε βάτ-ώρες / κιλό (Wh/kg). Για παράδειγμα ,για τις μπαταρίες μολύβδου 30 Wh/kg ενώ για τις μπαταρίες Li είναι 160 με 170 Wh/kg .

#### Κριτήριο 3°

**Η τιμή αγοράς των μπαταριών** σε \$/Wh , είναι 0.3 \$/Wh για τις μπαταρίες μολύβδου ,1\$/Wh για τις μπαταρίες Ni-Cd και 0,5 \$/Wh για τις μπαταρίες Li- ιόντος . Ενδεικτικά ,υπολογίζοντας τη τιμή ντήζελ στο 1,2 € / lt και τη τιμή της kWh 0.1 € / kWh ,έχουμε ένα κόστος 2,5 € για μια πλήρη φόρτιση 25 kWh . Μια μπαταρία που επιτρέπει στο όχημα να διατρέξει 200 χλμ και επαναφορτίζεται 500 φορές επιτρέπει στο όχημα να καλύψει συνολικά 100,000 χλμ απόσταση που σε ένα συμβατικό αυτοκίνητο θα απαιτούσε τη κατανάλωση 7,500 λίτρων ντήζελ και θα είχε κόστος 9,000 € . Μια μπαταρία 25 kWh με 0,5 \$/Wh έχει κόστος περίπου 12,500 \$ (10,420 €) . Επομένως ,η επένδυση σε ηλεκτρικό αυτοκίνητο με τα σημερινά δεδομένα , ακόμη και αν το υψηλότερο κόστος αγοράς του αποσβένεται από τα κίνητρα που δίνονται , δεν τεκμηριώνεται από το υψηλό κόστος αγοράς της μπαταρίας .

#### Κριτήριο 4°

**Ο μέγιστος δυνατός αριθμός των κύκλων φόρτισης-αποφόρτισης των μπαταριών.** Ο αριθμός αυτός είναι 1000 κύκλοι για τις μπαταρίες μολύβδου ,ενώ προς το παρόν για τις μπαταρίες Li- ιόντος ο μέγιστος αριθμός είναι περίπου 700 κύκλοι .

#### Κριτήριο 5°

Προβλήματα ασφάλειας και αξιοπιστίας.[7]

### **3.7.Υπολογισμοί - Ανάγκες σε ενέργεια - Συγκρίσεις**

Η ηλεκτρική κατανάλωση ενός οχήματος οφείλεται στις αεροδυναμικές αντιστάσεις , στις απώλειες τριβής κατά τη κίνηση του οχήματος και ενδεχομένως στο κλιματισμό . Ενδεικτικά , για ένα μικρό αυτοκίνητο πόλης που κινείται με ταχύτητα 100 χλμ /ώρα ( 27 m/s ) , 7 kW οφείλονται στην αντίσταση του αέρα , 3,5-5 kW για τις απώλειες τριβής και 1-2 kW για το κλιματισμό. Ας δούμε πως προκύπτουν οι τιμές αυτές

Η αεροδυναμική αντίσταση υπολογίζεται από τον τύπο

$$F = \frac{1}{2} * k * \rho_{\mu} * S * v$$

όπου F σε newton , k συντελεστής αεροδυναμικής ,σήμερα στη περιοχή 0,32 έως 0,36 (0,5 για ένα όχημα 4X4) ,  $\rho_{\mu} = 1,2 \text{ kg/m}^3$  , S = 1,8 m<sup>2</sup> γι αυτοκίνητο πόλης (3 m<sup>2</sup> για όχημα 4X4) Για μια ταχύτητα 100 χλμ /ώρα η απαιτούμενη ισχύς του οχήματος είναι P = F x v = 7,2 kw. Για τις απώλειες λόγω τριβών που προκαλούνται από μια δύναμη Fr = β x m x g , όπου

το βάρος του οχήματος (15,000 N περίπου) και β ένας συντελεστής τριβών (β=0,12 για όχημα με καλά φουσκωμένα λάστιχα ) και επομένως Fr = 180 N και η ισχύς που καταναλώνεται είναι 4,9 kw. Αξίζει να σημειωθεί ότι η απαραίτητη ισχύς για να ανταπεξέλθει το όχημα στις απώλειες τριβής εξαρτάται γραμμικά από τη ταχύτητα ενώ για να υπερνικήσει τις αεροδυναμικές τριβές η αντίστοιχη ισχύς που καταναλώνεται αυξάνει με τη τρίτη δύναμη της ταχύτητας του οχήματος. Ενώ όμως η ενεργειακή κατανάλωση είναι 10 kW στα 100 χλμ/ώρα η κατανάλωση σε μικρές ταχύτητες δε μειώνεται ανάλογα ,δεν είναι δηλαδή 3 kW περίπου στα 30 χλμ/ώρα . Ο λόγος είναι ότι αυτές οι ταχύτητες είναι συνήθως ταχύτητες πόλης όπου τα συχνά φρεναρίσματα και οι επιταχύνσεις λόγω των κυκλοφοριακών ρυθμίσεων αυξάνουν σημαντικά τη κατανάλωση.

Για να μπορέσουμε να συγκρίνουμε τη κατανάλωση σε ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο χρειάζεται να έχουμε στο μυαλό μας τι κατανάλωση έχει σήμερα ένα συμβατικό όχημα .

Το βάρος ενός αυτοκινήτου πόλης είναι περίπου 850 κιλά και η μηχανή του ζυγίζει 100 κιλά , ενώ ένα γεμάτο ρεζερβουάρ βενζίνης ζυγίζει 40 κιλά .

Ένα λίτρο βενζίνη αποδίδει 9-10 kWh ,αλλά αυτό δεν σημαίνει ότι με 1 λίτρο βενζίνη μπορούμε να διανύσουμε απόσταση 100 χιλιομέτρων με ταχύτητα οχήματος 100 χλμ /ώρα , διότι η μέγιστη απόδοση μηχανής είναι 23% για μηχανές βενζίνης και λίγο καλύτερη 28% για τις μηχανές ντήζελ.

Αλλά και αυτές οι αποδόσεις σπάνια συναντιούνται, γιατί χρειάζεται καλή ρύθμιση της μηχανής, αυξάνεται η κατανάλωση με τις επιταχύνσεις, οι μηχανές ξεκινάνε και είναι κρύες και επομένως αρρυθμιστές. Στη πραγματικότητα επομένως η απόδοση δε ξεπερνάει το 10-12%. Επιπλέον σε ταχύτητες μικρότερες από 60 χλμ /ώρα δεν μειώνεται η κατανάλωση διότι αποδίδεται ενέργεια για να "δουλεύει" ο κινητήρας. Για τους λόγους αυτούς οι συνήθεις καταναλώσεις για τα καινούργια συμβατικά αυτοκίνητα είναι 5-6 l/100 χλμ και 7-8 l/100 χλμ μέσα στη πόλη. Ο κλιματισμός προσθέτει ένα 25-30% επιπλέον μέσα στη πόλη και 15-20% σε οδικό δίκτυο.

Αντίθετα, για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα υπάρχει μόνο η απόδοση του συστήματος γεννήτριας-ηλεκτροκινητήρα και η απόδοση κατά την επαναφόρτιση της μπαταρίας (μεταξύ 0,85 και 0,92) αλλά όμως πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι υπάρχουν οι απώλειες στο κύκλωμα παραγωγής και μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας. Για την Ελλάδα έχει δοθεί ως μέσο σταθμισμένο μέγεθος απωλειών ο συντελεστής παραγωγής 2,27 οπότε μαζί με τις απώλειες επαναφόρτισης της μπαταρίας έχουμε ένα συντελεστή 2,58 ή μια απόδοση 38,8% πολύ καλλίτερη από εκείνη ενός πολύ καλού συμβατικού κινητήρα που δεν ξεπερνάει το 18%.

### **3.8. Το νομοθετικό πλαίσιο**

Όλο και περισσότεροι κατασκευαστές λανσάρουν μοντέλα είτε με αποκλειστική ηλεκτροκίνηση, είτε υβριδικά με σχετικά μεγάλη ηλεκτρική αυτονομία. Η αναμενόμενη αύξηση της κυκλοφορίας ηλεκτρικών οχημάτων, ιδιωτικών και επαγγελματικών, επιβάλλει από τα πράγματα τη δημιουργία προδιαγραφών στην κατασκευή και λειτουργία των υποδομών φόρτισης, όσο και τη ρύθμιση των θεμάτων που αφορούν την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας.

Σήμερα, στην Ελλάδα η έλλειψη υποδομών φόρτισης σε δημόσιους χώρους συνεχίζει να αποτελεί αντικίνητρο για την κυκλοφορία των ηλεκτροκίνητων οχημάτων. Στους στόχους που έχει θέσει η Επιτροπή για την ανάπτυξη υποδομών για ηλεκτρικά αυτοκίνητα, προβλέπεται ότι στην Ελλάδα θα πρέπει να λειτουργούν μέχρι το τέλος του 2020 13.000 σημεία φόρτισης. Είναι ζήτημα αν σήμερα υπάρχουν 40.





Να σημειωθεί επίσης ότι ενώ στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες η αγορά ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου πριμοδοτείται σε ποσοστό μέχρι και 15% στην Ελλάδα αντίθετα επιβαρύνεται με φόρο πολυτελείας !!

Ένα πρώτο βήμα όμως έγινε με τη κατάθεση μιας κοινής υπουργικής απόφασης (Κ.Υ.Α. αριθ. 71287/6443/31.12.2014) η οποία εγκρίθηκε και δημοσιεύθηκε στο Φ.Ε.Κ Β' 50/15-01-2015.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχουν τα θέματα της πώλησης (προμήθειας) ηλεκτρικής ενέργειας για την φόρτιση των οχημάτων, καθώς άπτονται υφιστάμενων ρυθμίσεων στην εμπορία-προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας προς τελικούς καταναλωτές. Τα βασικά σημεία της απόφασης αυτής είναι

- Ο ορισμός του τι θεωρείται ηλεκτροκίνητο όχημα
- Οι τεχνικές προδιαγραφές συσκευών φόρτισης συσσωρευτών
- Οι οδηγίες για την εγκατάσταση των συσκευών φόρτισης
- Οι ρυθμίσεις για την πώληση (προμήθεια) ηλεκτρικής ενέργειας για τη φόρτιση συσσωρευτών

Συγκεκριμένα η ΡΑΕ προτείνει τρία εναλλακτικά σενάρια.

Στο πρώτο, δικαίωμα πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας για τροφοδοσία οχημάτων θα έχουν οι κάτοχοι άδειας προμήθειας, οι οποίοι θα συμβάλλονται (joint venture) με ιδιοκτήτες υποδομών τροφοδοσίας (πρατήρια, δημόσια γκαράζ κ.λπ.).

Το δεύτερο σενάριο προβλέπει τη χορήγηση άδειας προμήθειας στους ιδιοκτήτες των σταθμών φόρτισης, ενώ,

Σύμφωνα με το τρίτο σενάριο, οι ιδιοκτήτες των σταθμών φόρτισης, προμηθεύονται οι ίδιοι το ηλεκτρικό από τους κατόχους άδειας προμήθειας και το μεταπωλούν στους πελάτες τους. Το σενάριο αυτό είναι και το επικρατέστερο μετά τη ρύθμιση που έχει προηγηθεί τον Αύγουστο 2014. Η ρύθμιση αυτή **απαλλάσσει** τους λεγόμενους "φορείς εκμετάλλευσης υποδομών φόρτισης" από την έκδοση **άδειας προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας** και τους κατατάσσει στην κατηγορία των **τελικών**

**καταναλωτών** με δικαίωμα μεταπώλησης του ρεύματος ως υπηρεσία φόρτισης. Σύμφωνα με τη Κ.Υ.Α. σήμερα οι κατηγορίες ηλεκτροκίνητων οχημάτων είναι οι εξής:

- Ηλεκτροκίνητα Οχήματα με Συσσωρευτές (Battery Electric Vehicles – BEV).
- Ηλεκτροκίνητα Οχήματα με Συσσωρευτές και Μονάδα Επέκτασης της Αυτονομίας (Extended Range Electric Vehicles – EREV).
- Επαναφορτιζόμενα από το Δίκτυο Υβριδικά Ηλεκτροκίνητα Οχήματα (Plug-in Hybrid Electric Vehicles – PHEV).

### **3.9.Η ευφυής χρήση του ηλεκτρικού οχήματος**

Με τον όρο V2G (vehicle to grid) αναφερόμαστε στη διαδικασία μεταφοράς ενέργειας όταν τα ηλεκτρικά οχήματα είναι σταθμευμένα. Σήμερα τα E.V. διαθέτουν ηλεκτρονικά ισχύος που μετατρέπουν την εναλλασσόμενη τάση του δικτύου σε συνεχή για τη φόρτιση της μπαταρίας του οχήματος αλλά μπορούν να λειτουργήσουν και αντίστροφα μετατρέποντας τη συνεχή τάση από το όχημα στην εναλλασσόμενη τάση και στη συχνότητα του δικτύου. Επομένως είναι εφικτό σήμερα τα E.V. να παρέχουν ενέργεια στο δίκτυο όταν αυτό είναι επιβαρυνόμενο σε περιόδους μη χρήσης τους και να φορτίζονται σε ώρες μη αιχμής. Με τον τρόπο αυτό, δημιουργώντας ένα στόλο οχημάτων θα μπορούσε να συγκεντρώσει ένα σημαντικό ποσό εφεδρικής ισχύος για τις αιχμές που θα παρουσιάζονται και ακόμη πιο προχωρημένα να αποθηκεύεται ενέργεια που θα προέρχεται από Α.Π.Ε και να υποκαθιστά ενέργεια από ρυπογόνες πηγές.[8]

### **3.10.Το μέλλον του ηλεκτρικού οχήματος**

Το μεγάλο πλεονέκτημα του ηλεκτρικού αυτοκίνητου είναι η μείωση της εξάρτησης από τα συμβατικά καύσιμα, η μείωση της ρύπανσης που προκαλούν τα συμβατικά αυτοκίνητα και η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακος όταν χρησιμοποιείται ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τις ΑΠΕ.

Το μέλλον του ηλεκτρικού αυτοκίνητου είναι στενά συνδεδεμένο με την εξέλιξη των επιδόσεων των μπαταριών και ιδιαίτερα εκείνων τύπου Li- ιόντος.

Ο εξοπλισμός για τη κίνηση ενός ηλεκ. αυτοκίνητου είναι πολύ πιο ελαφρύς από τον αντίστοιχο ενός συμβατικού ο οποίος έχει βάρος περίπου 200 κιλά. Η μπαταρία μαζί με τον ηλεκτρονικό σταθεροποιητή ζυγίζουν λιγότερο από 70 κιλά. Για τη διαχείριση των πολλών start/stops μέσα στη πόλη η εγκατάσταση ενός υπερ-συσσωρευτή που μπορεί να αποθηκεύσει έως 100 kJoules προσθέτει ακόμη 20 κιλά.

Με τις μπαταρίες Li σήμερα η αυτονομία κίνησης με μια ταχύτητα 100-120 χλμ /ώρα υπερβαίνει τα 180 χιλιόμετρα.

Όπως είπαμε πιο πάνω, τα ηλεκτρικά οχήματα είναι ως επί το πλείστον " το δεύτερο αυτοκίνητο", αφιερωμένο στην οδήγηση στην πόλη, αλλά οι νέες μπαταρίες που πρόκειται να κυκλοφορήσουν

μπορεί και να ανατρέψουν τη θεώρηση αυτή. και θα μπορούσαν να επεκτείνουν την περιοχή χρήσης τους. [9] Στη περίπτωση αυτή η ανάπτυξη ενός ηλεκτρικού πάρκου θα γίνει ακόμη πιο γρήγορα ιδιαίτερα αν και οι τιμές του πετρελαίου θα παραμείνουν σε υψηλά επίπεδα.

Τι σημαίνει η ισότιμη κυκλοφορία των ηλεκτρικών οχημάτων για την οικονομία της Ελλάδας φαίνεται από το ακόλουθο παράδειγμα.

Στην Ελλάδα κυκλοφορούν σήμερα 4,5 εκατ. οχήματα (στην απογραφή του 2011 ο αριθμός ήταν 5,130 εκατ οχήματα). Κάθε όχημα διανύει καθημερινά κατά μέσο όρο 40 χλμ. και ας δεχθούμε μια μέση κατανάλωση υγρού καυσίμου (μικρή σημασία έχει ποιο είναι το καύσιμο) 7 λίτρα/ 100 χλμ. (ειδ. βάρος πετρελαίου κίνησης  $\rho = 0,835 \text{ kg / lt}$ ). Θα έχουμε επομένως μια ετήσια κατανάλωση 3,85 εκατ. τόνων καυσίμων.

Αν είχαμε ηλεκτροκίνηση στο 50% του συνολικού αριθμού οχημάτων, με 10 kWh/100 km και με τις ίδιες καθημερινές χιλιομετρικές διαδρομές θα είχαμε κατανάλωση

ετήσια κατανάλωση ( $\Phi$ ) = 4,5 εκατ.  $\times 0,5 \times 40 \text{ χλμ} / \eta\mu \times 365 \eta\mu / \acute{\epsilon}\tau\omicron\varsigma \times 10 \text{ kWh} / 100 \text{ χλμ} = 3,285$  εκατ kWh

Αν  $1 \text{ kWh} \eta\lambda = 2,58 \text{ kWh θερμ}$

$\Phi = 8,475$  εκατ. kWh θερμ =  $8,475 \times 10^6 \times 872 \text{ kcal} / \text{kWh} / 10,250 \text{ kcal} / \text{kg} = 721$  χιλ τόνους. Θα υπήρχε επομένως ανάγκη για λιγότερες εισαγωγές υγρών καυσίμων κατά  $3,85 \times 0,5 - 0,721 = 1,2$  εκατ. τόνους. Στο όφελος αυτό πρέπει να συνυπολογισθεί και το περιβαλλοντικό όφελος από μικρότερες εκπομπές ρύπων.

### 3.11. Οι σταθμοί φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων

Η αγορά των ηλεκτρικών οχημάτων σήμερα βρίσκεται σε κινητικότητα με πολλές παραδοσιακές εταιρείες παραγωγής οχημάτων να σκέπτονται να συμμετάσχουν στο κομμάτι αυτό της αγοράς. Το είδος όμως του ηλεκτρικού οχήματος που θα προτιμήσουν οι αγοραστές εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις δυνατότητες που θα υπάρχουν για την επαναφόρτιση του. Σήμερα οι περισσότεροι χρήστες ηλεκτρικών οχημάτων επαναφορτίζουν τα οχήματα που διαθέτουν στο σπίτι τους. Γενικότερα όμως για να αυξηθεί η αποδοχή των ηλεκτρικών οχημάτων στην αγορά θα πρέπει να υπάρχουν εγκατεστημένες οι κατάλληλες υποδομές για την υποστήριξη τους και τη τροφοδότηση τους. [10]

Ο προβληματισμός που υπάρχει είναι στην οικονομική θεώρηση της δημιουργίας μιας υποδομής, όχι σε θεωρητικό επίπεδο αλλά σε καθαρά πρακτικό, αν δηλαδή πρόκειται ποτέ να είναι μια οικονομικά συμφέρουσα επένδυση. Για να υπάρχει μια πλήρης εικόνα θα πρέπει να προσδιορισθούν όλοι οι παράγοντες και τα στοιχεία κόστους που επηρεάζουν την αποδοτικότητα της επένδυσης καθώς και η ευαισθησία που έχουν, δηλαδή οι προϋποθέσεις που μεταβάλουν την αποδοτικότητα της εγκατάστασης. Η μεγάλη δυσκολία που υπάρχει είναι ότι επειδή η χρήση ηλεκτρικών οχημάτων

είναι μια πολύ νέα δραστηριότητα δεν υπάρχει αξιόπιστη επαναλαμβανόμενη πληροφόρηση και σχετικές αναφορές . Πρέπει λοιπόν κάποιος να βασιστεί μόνο σε πληροφορίες από ήδη υπάρχουσες εφαρμογές και εμπλεκόμενες εταιρείες με ότι αυτό συνεπάγεται για την αξιοπιστία που θα έχουν . Μια ακόμη δυσκολία έγκειται στο προσδιορισμό των παραμέτρων που επηρεάζουν το οικονομικό ενδιαφέρον .Οι παράμετροι αυτές είναι ο βαθμός χρησιμοποίησης ,η αποδοχή της πληρωμένης υπηρεσίας ,και ο optimum χρόνος διάρκειας της φόρτισης . Εδώ χρειάζεται να αναφέρουμε ότι υπάρχουν τριών τύπων εγκαταστάσεις φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων που χαρακτηρίζονται ως Level I, Level II, Level III .

### **Level I εγκατάσταση φόρτισης :**



Η φόρτιση γίνεται στο σπίτι του ιδιοκτήτη και η διάρκεια μιας πλήρους φόρτισης είναι 22-24 ώρες, κάτι που αντιστοιχεί σε 5-6 χλμ ανά ώρα φόρτισης . Αλλά, επειδή η μέση ημερήσια διαδρομή είναι 40 χλμ δε χρειάζεται εν γένει πλήρης επαναφόρτιση της μπαταρίας καθημερινά και επομένως μπορεί κανείς να επαναφορτίζει το όχημα του κάθε νύκτα μόνο και να κυκλοφορεί την ημέρα . Σε περίπτωση μεγαλύτερων διαδρομών χρειάζεται να υπάρχει μια άλλη εναλλακτική πρόταση. Μία Level I δυνατότητα

μπορεί να είναι ευνοϊκή για οχήματα υβριδικά τύπου PHEV όπου υπάρχει η δυνατότητα της δεύτερης δυνατότητας κίνησης . Το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας μιας φόρτισης τύπου I είναι της τάξης των € 250 ,και αποσβένεται γρήγορα και μόνο από τη χρήση του νυκτερινού ρεύματος.

### **Level II εγκατάσταση φόρτισης :**



Η εγκατάσταση τροφοδοτεί με ρεύμα τάσης 240 V το όχημα μέσω ενός ειδικού καλωδίου ασφαλείας . Η φόρτιση γίνεται με γρήγορους ρυθμούς μέχρι 19,5 kilowatts (kW),ή 100 χλμ ανά ώρα φόρτισης ,κάτι που δεν ισχύει όμως ακόμη στη πράξη όπου δε μπορούν να ξεπεράσουν τα 6,6 kW ή 40 χλμ ανά ώρα φόρτισης λόγω των ηλεκτρονικών του οχήματος που μετατρέπουν τα οικιακά ηλεκτρικά φορτία σε φορτία για τη μπαταρία.

Οι εγκαταστάσεις φόρτισης τύπου II είναι κατάλληλες για δημόσιους χώρους όπου συγκεντρώνεται κόσμος που παραμένει 2-4 ώρες (π.χ. γήπεδα ,μουσεία ,θέατρα ,πολυκαταστήματα,κ.α.) και μπορεί στο διάστημα αυτό να επαναφορτίσει το όχημα του .

Το κόστος αγοράς και εγκατάστασης ενός σταθμού φόρτισης Level II ανέρχεται σε € 1800-2000.

### Level III DC εγκατάσταση φόρτισης :



είναι η πιο γρήγορη εγκατάσταση φόρτισης οχημάτων σήμερα και μπορεί να δώσει μέχρι 50-55 χλμ για 10λεπτη φόρτιση του οχήματος. Πρόκειται όμως για υπερβολικά ακριβές εγκαταστάσεις με κόστος που ξεπερνάει τις € 90,000, ενώ οι απαιτήσεις είναι για εγκαταστάσεις μέσης τάσης, κάτι που αποκλείει τις οικιακές εγκαταστάσεις. Η εμφάνισή τους σε επιλεγμένα σημεία του οδικού δικτύου μπορεί να σηματοδοτήσει την αρχή της εποχής των ηλεκτρικών οχημάτων. Μόνο όμως τα οχήματα που έχουν έναν ακροδέκτη κατάλληλο για επαναφόρτιση (ακροδέκτης τύπου Combined Charging System – CCS)

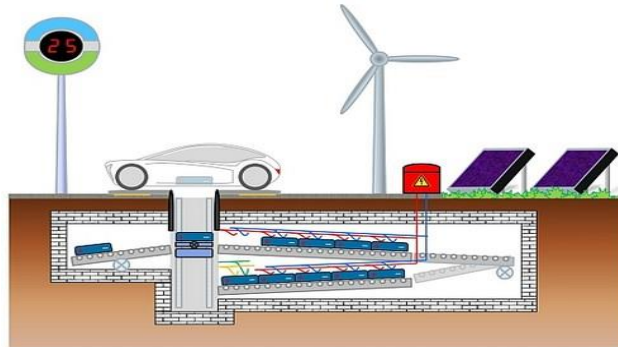
μπορούν να χρησιμοποιήσουν μια εγκατάσταση επαναφόρτισης αυτού του τύπου ενώ δεν μπορούν τα υβριδικά οχήματα (τύπου Chevrolet Volt ή Toyota Prius PHV). Για το λόγο αυτό συχνά οι εγκαταστάσεις τύπου III συνοδεύονται και από μια εγκατάσταση τύπου II 240 V.

Στο σχήμα 4 φαίνονται οι επιλογές που δημιουργούνται για τις δυνατότητες επαναφόρτισης που υπάρχουν ανάλογα με τις συνθήκες και τις ανάγκες των χρηστών ηλεκτρικών οχημάτων. Πολλές εταιρείες διεθνώς έχουν αρχίσει την εγκατάσταση σταθμών φόρτισης βασισμένες κυρίως στο σύστημα αντικατάστασης των μπαταριών κάτι που για να μπορέσει να λειτουργήσει αποτελεσματικά χρειάζεται να ενοποιηθούν οι μπαταρίες των μοντέλων που κυκλοφορούν κάτι που δεν είναι εύκολο να γίνει.

### 3.12. Η περίπτωση της Λέρου

Λόγω της μεγάλης ηλιοφάνειας που υπάρχει στη περιοχή του Νότιου Αιγαίου ,αλλά και της υψηλής μέσης ετήσιας ταχύτητας του ανέμου που είναι 6-8 m/s η ηλιακή και η αιολική ενέργεια είναι οι δύο επικρατέστερες και οικονομικά πιο συμφέρουσες τεχνικές για τη παραγωγή της απαραίτητης ηλεκτρικής ενέργειας που θα χρησιμοποιηθεί στο σταθμό φόρτισης ηλεκτρικών αυτοκινήτων .

Οι ετήσιοι χάρτες ηλιακής ενέργειας [σχήμα 2] δίνουν για τη νοτιανατολική περιοχή της Ελλάδας την υψηλότερη ετήσια τιμή ηλιακής ακτινοβολίας ίση με 5,1 kWh/m<sup>2</sup>/ ημ ή 1,860kWh/m<sup>2</sup>/ έτος. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα στο μέλλον χρειάζεται να είναι γρήγορα τόσο από τη πλευρά της τελικής ταχύτητας όσο και από πλευράς χρόνου επαναφόρτισης τους . Με τη σημερινή τεχνολογία χρειάζονται περίπου 2 ώρες για μια συνηθισμένη επαναφόρτιση της μπαταρίας από ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο . Αν και έχει βελτιωθεί ο χρόνος σε σχέση με το πρόσφατο παρελθόν είναι ακόμη πάρα πολύ μεγάλος σε σχέση με ένα συμβατικό αυτοκίνητο. Ο χρόνος μπορεί να μειωθεί αισθητά αν αντί για σταθμό επαναφόρτισης έχουμε ένα σταθμό αντικατάστασης της αποφορτισμένης μπαταρίας με μία άλλη πλήρως φορτισμένη.



Η Λέρος είναι από τα νησιά του Αιγαίου που δεν έχουν έντονη τουριστική ανάπτυξη. Αυτό σημαίνει ότι τους καλοκαιρινούς μήνες υπάρχει μια κινητικότητα λόγω των διακοπών αλλά δεν υπάρχει η συρροή τουριστών που υπάρχει σε άλλα νησιά. Διατηρούμε επομένως τον αριθμό των αυτοκινήτων στα 4,500 οχήματα και 150 φορτηγά και μεταβάλουμε την απόσταση των μέσων ημερησίων διαδρομών. Ξεκινώντας από τη γενικά αποδεκτή μέση ημερήσια απόσταση των 40 χλμ ,θεωρούμε ότι αυτή αυξάνει για Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο σε 50 χλμ (25% αύξηση ) και μειώνεται σε 30 χλμ (25% μείωση) για Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο. Επομένως το μέγιστο φορτίο θα είναι το καλοκαίρι για τα αυτοκίνητα

$$4,500 \times 50 \text{ χλμ} / \text{όχημα} \times 10 \text{ kwh} / 100 \text{ χλμ} = 22500 \text{ kwh} / \text{ημέρα}$$

$$\text{Και για τα φορτηγά που κυκλοφορούν πέρα δόθε σε όλο το νησί } 150 \times 100 \text{ χλμ} \times 10 \text{ kwh} / 100 \text{ χλμ} = 1500 \text{ kwh} / \text{ημέρα}$$

Συνολικά επομένως, αν όλα τα οχήματα γίνουν ηλεκτρικά ανάγκες για 24000 kwh ημερησίως .



Με προοπτική αύξησης 10% κάθε 10ετία και με μέσο κύκλο ζωής για τις εγκαταστάσεις δύο δεκαετίες ο μέγιστος αριθμός που θα είχε νόημα να εξυπηρετήσει ένας σταθμός ηλεκτροπαραγωγής σήμερα είναι το 20% της ανωτέρω ζήτησης δηλαδή 4800 kwh ημερησίως.

Στη πραγματικότητα βέβαια και αυτή η ζήτηση είναι υπερβολική. Ο λόγος είναι ότι η Λέρος είναι ένα νησί που το μέγιστο μήκος του οδικού δικτύου είναι μικρότερο από τα 50 χλμ (έχει μήκος ακτογραμμής 73 χλμ). Αυτό σημαίνει διαδρομές που επιτρέπουν στο όχημα να επαναφορτίζεται με οικιακό φθινό ρεύμα, τη νύχτα που δεν υπάρχει η μεγάλη ζήτηση, διαμορφώνοντας μια ομαλότερη κατανομή φορτίου.

### 3.13.Εγκατάσταση σταθμών φόρτισης στη Λέρο

Όπως ανέφερα και παραπάνω, τα περισσότερα ηλεκτρικά αυτοκίνητα πλέον φορτίζονται με την χρήση οικιακού ρεύματος. Συνεπώς είναι προτιμότερο να εγκατασταθούν σταθμοί φόρτισης σε δημόσια σημεία, όπως χώροι στάθμευσης, για την καλύτερη εξυπηρέτηση των τουριστών το καλοκαίρι αλλά και για μικρότερο κόστος εγκατάστασης, σε όλο το μήκος του νησιού στα πιο κεντρικά σημεία (Λακκί, Αγία Μαρίνα, Άλινδα, Παντέλι). Ο κάθε χώρος στάθμευσης έχει χωρητικότητα περίπου 50 αυτοκινήτων. Άρα θα τοποθετηθούν κατά το μήκος του εκάστοτε χώρου, 10 στην μία πλευρά και 10 στην άλλη με διπλή υποδοχή φόρτισης. Άπ' τους παραπάνω τύπους εγκατάστασης φόρτισης ηλεκτρικών αυτοκινήτων προτιμότερος είναι ο διπλής φόρτισης Level II για λόγους οικονομικούς και χώρου που απαιτεί.

Το συνολικό κόστος και για τους 4 χώρους στάθμευσης αναφέρεται στον παρακάτω πίνακα:

Περιοχή	Σταθμοί φόρτισης	Κόστος σε €
Αγία Μαρίνα	20	40.000
Λακκί	20	40.000
Άλινδα	20	40.000
Παντέλι	20	40.000
Σύνολο	80	160.000

### 3.14.Συμπεράσματα

Το ηλεκτρικό όχημα είναι η τεχνολογική εξέλιξη στην αγορά των οχημάτων που αμβλύνει τις επιπτώσεις, κυρίως τις περιβαλλοντικές, που δημιουργήσε η ραγδαία εξέλιξη της χρήσης των συμβατικών οχημάτων. Οι αναπτυξιακές τάσεις των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, καθορίζονται, από τη μια πλευρά από τις προσδοκίες που έχουν οι πολιτικοί και οι οικολόγοι σχετικά με τα αυτοκίνητα του μέλλοντος, και από την άλλη μεριά από τις νέες τεχνολογίες που εμφανίζονται. Στις ήδη ανεπτυγμένες τεχνολογικά χώρες έχουν διατεθεί μεγάλα ποσά και δημιουργούνται συνεχώς νέες τεχνολογικές εφαρμογές για να υπερπηδηθούν οι δυσκολίες που συναντά η

γενικευμένη αποδοχή των ηλεκτρικών οχημάτων για τη κίνηση μας στο άμεσο μέλλον. Τα βήματα προόδου στο τομέα των κινητήρων όσο και των μπαταριών είναι εντυπωσιακά. Όσον αφορά το υψηλό κόστος κατασκευής και λειτουργίας του ηλεκτρικού οχήματος, η λύση του βρίσκεται στη ζήτηση, καθώς το κόστος του είναι αντιστρόφως ανάλογο του αριθμού παραγωγής και κυκλοφορίας του. Ως τότε όμως οι επιδοτήσεις που λογικά το κράτος θα προσφέρει θα δώσουν τη λύση στο πρόβλημα της διείσδυσής του ηλεκτρικού οχήματος στην αγορά. Το πρόβλημα της αυτονομίας λύνεται με τη δημιουργία και τοποθέτηση σταθμών φόρτισης στα κυρίως οδικά δίκτυα και σε επιλεγμένα σημεία. Τα ηλεκτρικά οχήματα συμπεριφέρονται σαν μπαταρίες που εκφορτίζονται κατά τη διάρκεια των μετακινήσεων, ανάλογα με ανάγκες και την οδηγική συμπεριφορά του χρήστη, και φορτίζονται από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια της στάθμευσης τους, ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη και την τιμολογιακή πολιτική που επιθυμεί να ακολουθήσει.

Η ηλεκτροκίνηση είναι περιβαλλοντικά πιο φιλική από την χρήση συμβατικών οχημάτων, ωστόσο αυτό δεν αποτελεί πανάκεια, καθώς εξαρτάται από το ενεργειακό μείγμα του συστήματος από το οποίο απορροφά ενέργεια το ηλεκτρικό αυτοκίνητο. Δυστυχώς, το ενεργειακό μείγμα του ηλεκτρικού συστήματος της Ελλάδας είναι τέτοιο που τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα θα έχουν τελικά χειρότερο ενεργειακό αποτύπωμα από τα συμβατικά. Στην Ελλάδα λοιπόν μπορούμε να επωφεληθούμε τη μείωση των εκπομπών από την ηλεκτροκίνηση μόνο αν η ηλεκτρική ενέργεια που θα φορτίζει τις μπαταρίες των ηλεκτροκίνητων οχημάτων προέρχεται από ΑΠΕ.

Στη περίπτωση αυτή, πρέπει να τονιστεί ότι το ηλεκτρικό όχημα με συσσωρευτή, ως μονάδα διεσπαρμένης αποθήκευσης ενταγμένη σε ένα «ευφύες» δίκτυο, μπορεί αφενός να λειτουργήσει ως συνδετικός κρίκος μεταξύ ΑΠΕ και δικτύου και αφετέρου μπορεί να συμβάλλει κατά τρόπο αξιόπιστο στη μείωση της αιχμής ζήτησης και στη μείωση εκπομπών ΑΤΘ, ενισχύοντας παράλληλα και την αξιοπιστία του δικτύου. Η παραπάνω πρακτική μπορεί να βρει κάλλιστα εφαρμογή στα ελληνικά νησιά και κυρίως στα μη διασυνδεδεμένα, με εντυπωσιακά αποτελέσματα στη μείωση των εκπομπών, στην αξιοπιστία του δικτύου, αλλά και στην «τσέπη» του πολίτη. Το πότε θα είναι οικονομικά συμφέρουσα είναι μια άλλη ιστορία που πρέπει να εξετασθεί κατά περίπτωση. Το παράδειγμα της Λέρου αποτυπώνει μόνο μέρος από τους προβληματισμούς του σχεδίου.

Η Πολιτεία είναι αυτή που τώρα θα πρέπει να βοηθήσει προκειμένου να διευκολύνει τη διείσδυση πράσινων αυτοκινήτων θεσπίζοντας πρόσθετα μέτρα, όπως εφαρμογή προγράμματος απόσυρσης με συνδυασμό επιδοτούμενης αγοράς υβριδικού ή ηλεκτρικού αυτοκινήτου, οργάνωση δημόσιου δικτύου φόρτισης ηλεκτρικών αυτοκινήτων, μετατροπή δημόσιων και δημοτικών οχημάτων σε υβριδικά ή αγορά νέων ηλεκτρικών οχημάτων, καθώς επίσης ειδική τιμολογιακή πολιτική και ελαφρύνσεις για τους κατόχους ηλεκτρικών οχημάτων. [10]



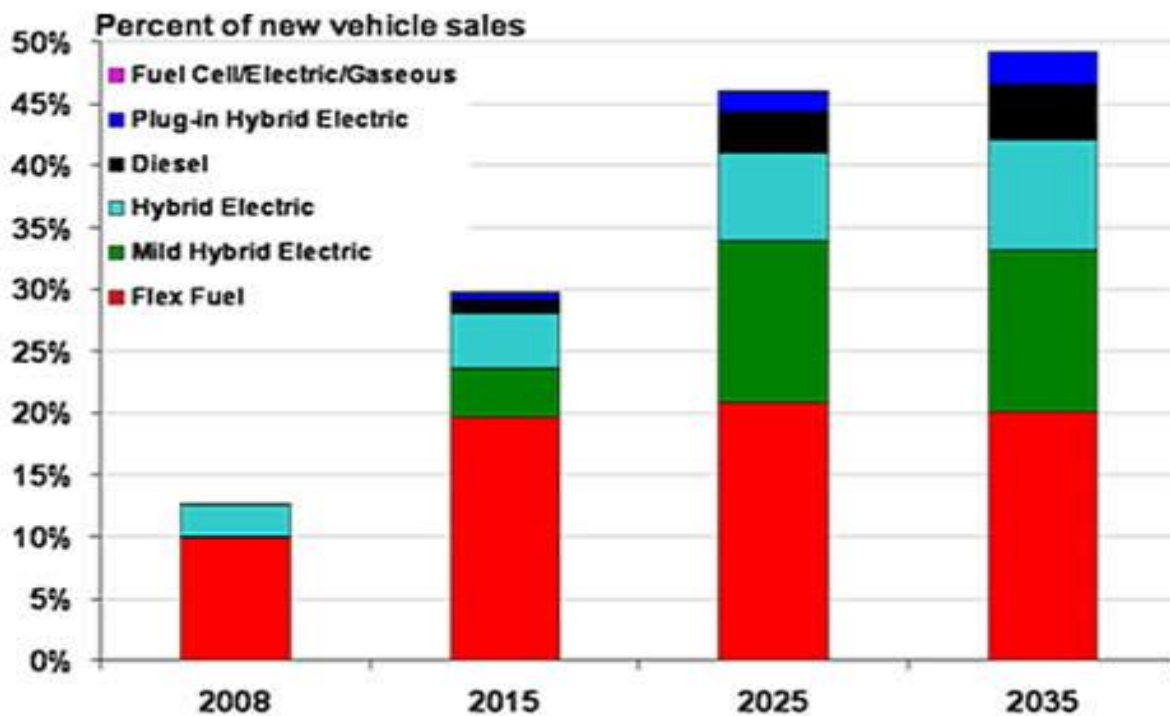
Επίσης, θα πρέπει να καλλιεργηθούν συνθήκες ευαισθητοποίησης των πολιτών σε θέματα εξοικονόμησης ενέργειας και προστασίας του περιβάλλοντος και επομένως αναδιάταξης των προτεραιοτήτων τους στον πίνακα των κριτηρίων με τα οποία αποφασίζουν τις αγορές νέων αυτοκινήτων ή τις αποσύρσεις των παλαιών.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΑΝΑΦΟΡΕΣ**

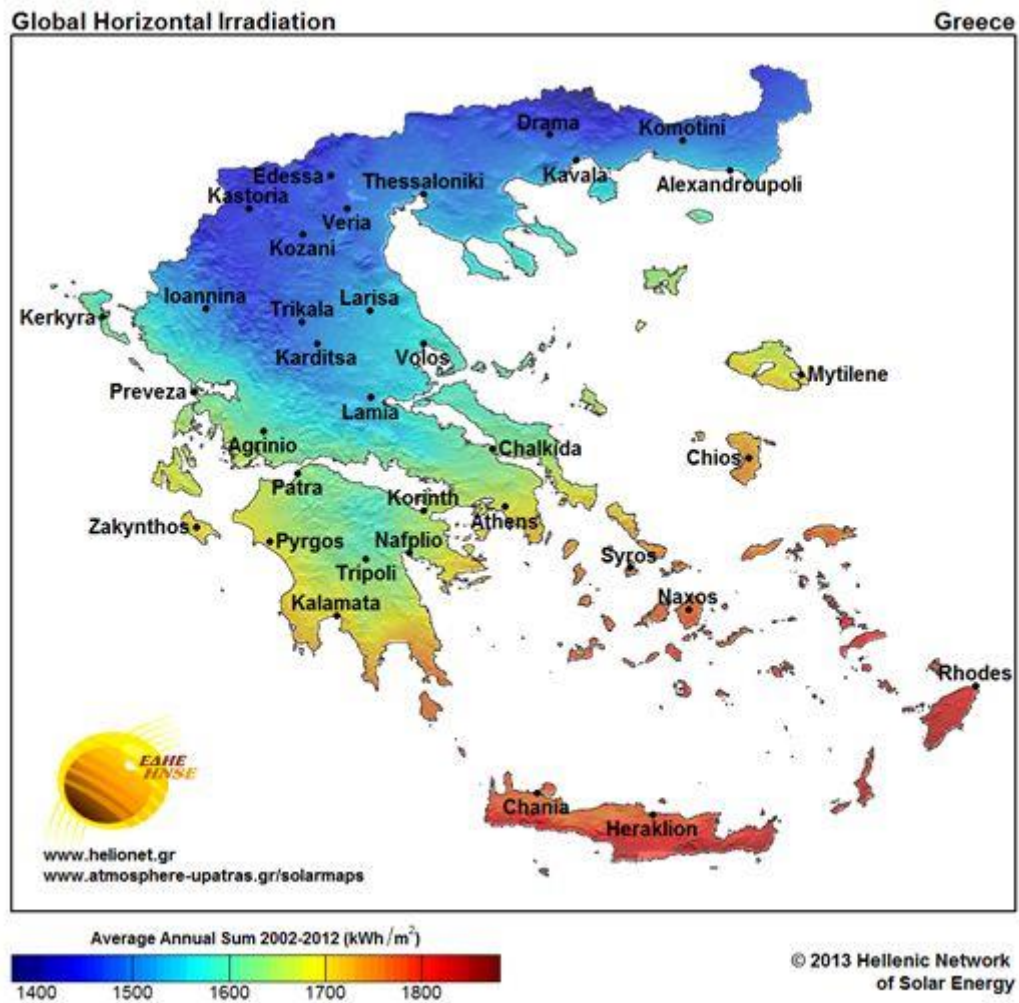
- [1] **U.S. Energy Information Administration** ,Independent Statistics &Analysis,2015
- [2] **Electric Vehicle, Design and Development"**, Society of Automotive Engineers, Inc., SP-862 1992
- [3] **Electric Powertrains**, MIT Electric Vehicle Team, April 2008
- [4] **Σύγχρονη τεχνολογία-ηλεκτρικό αυτοκίνητο** , electrologia weekly 2012
- [5] **Systematic Optimisation of Gearboxes for Hybrid and Electric Vehicles in Terms of Efficiency, NVH and Durability** Dr. Artur Grunwald GKN Driveline
- [6] **How does battery works** ,Union of concerned scientists, April 2012
- [7] **Διάταξη φόρτισης συσσωρευτών ηλεκτροκίνητου οχήματος** ,Παναγόπουλος Κ, Πάτρα 2013
- [8] **V2G: Τα ηλεκτρικά οχήματα στην αγορά ενέργειας**, Βελιτσικάκης Κ-ΤσάφοςΔ, ΑΠΘ 2010
- [9] **Ηλεκτρικά αυτοκίνητα** , ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΓΡΑΦΕΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ , Γιώργος Εμμανουηλίδης , Ιούλιος 2011
- [10] **Το Ευρωπαϊκό έργο e Mobility Works «Προώθηση των ηλεκτρικών οχημάτων σε Δήμους και επιχειρήσεις»** Γρηγόρης Ζωίδης Τμήμα Περιβάλλοντος και Μεταφορών ΚΑΠΕ Ημερίδα: «Προώθηση των ηλεκτρικών οχημάτων σε Δήμους & επιχειρήσεις» 13/11/2014

## ΠΙΝΑΚΕΣ – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

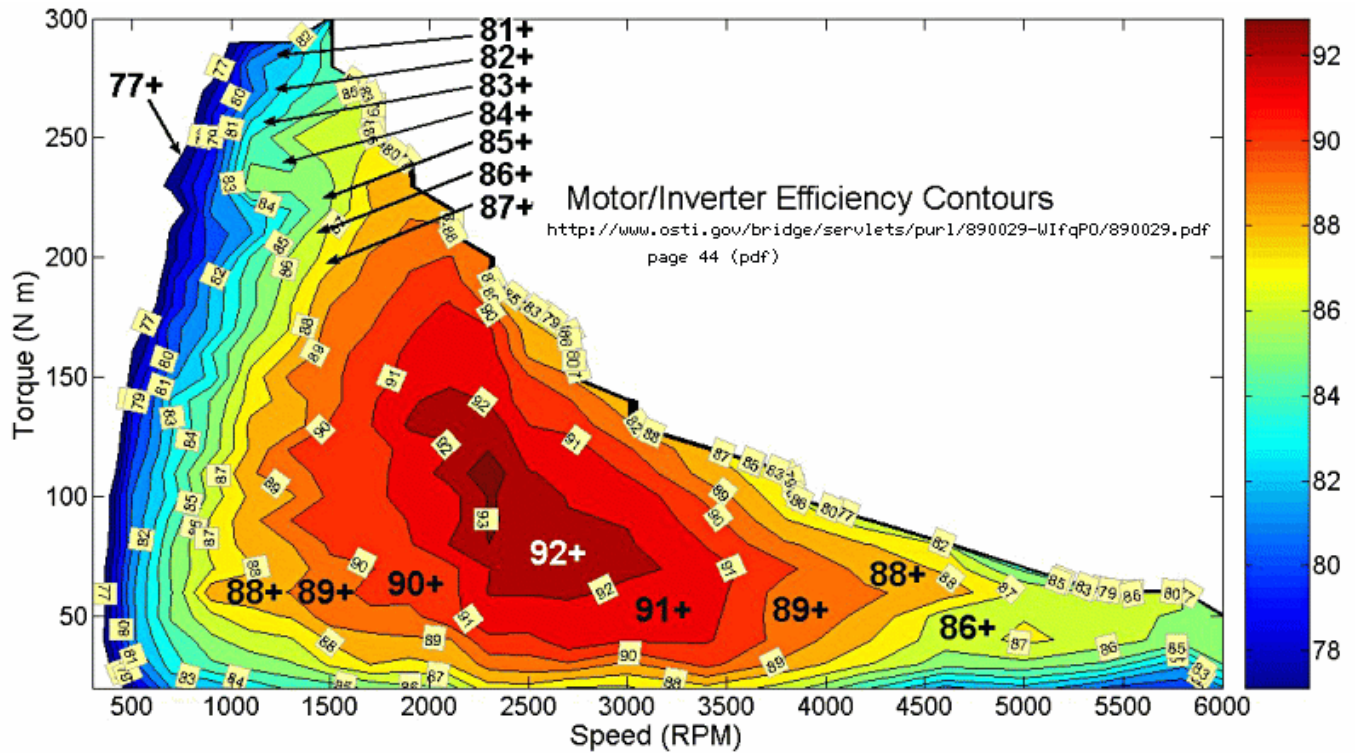
Σχήμα 1 Η τεχνολογία των νέων αυτοκινήτων που αγοράζονται



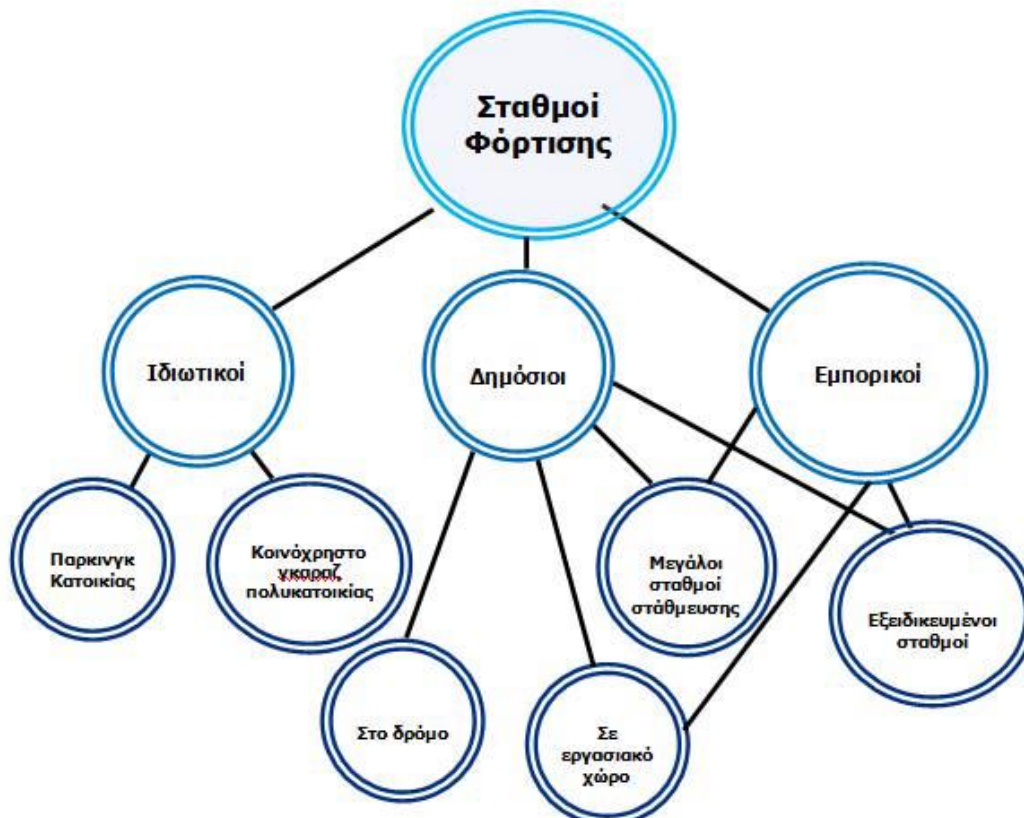
Σχήμα 2 Χάρτης ηλιακής ενέργειας στην Ελλάδα



Σχήμα 3 ηλεκτροκινητήρας AC : καμπύλες ισχύς / RPM / απόδοση



Σχήμα 4 Δυνατότητες φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων



## **4. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΝΑΣΤΡΕΨΙΜΟΥ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

### **4.1. Εισαγωγή και σκοπός της εγκατάστασης**

Η παρούσα μελέτη έχει ως σκοπό την διαστασιολόγηση ενός υβριδικού σταθμού παραγωγής ενέργειας για την πλήρη κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών στη νήσο Λέρο, ώστε να είναι αυτόνομο ενεργειακά.

Ο υβριδικός σταθμός μελετάται ότι θα εγκατασταθεί στην Λέρο αποτελείται από έναν συνδυασμό εγγυημένης και μη εγγυημένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Συστήματα εγγυημένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας θεωρούνται οι Ατμοστρόβιλοι, οι Ντιζελογεννήτριες, οι Αεροστρόβιλοι και οι Υδροστρόβιλοι ενώ συστήματα μη εγγυημένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας θεωρούνται τα συστήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.) που είναι οι Ανεμογεννήτριες και τα Φωτοβολταϊκά.

Για την κάλυψη των ηλεκτρικών απαιτήσεων της Λέρου, με βάση τις παραμέτρους του νησιού, όπως η ζήτηση ισχύος ως ο καλύτερος συνδυασμός θεωρήθηκε η χρήση Ανεμογεννητριών μεγάλου μεγέθους (ως μη εγγυημένη παραγωγή) σε συνδυασμό με τη χρήση θερμοηλεκτρικών μηχανών (εγγυημένης παραγωγής). Όμως είναι λογικό η ηλεκτρική παραγωγή ενέργειας για ένα ολόκληρο νησί δεν είναι φυσικό να είναι βασισμένη μόνο σε μονάδες μη εγγυημένης παραγωγής που εξαρτάται μόνο από την ταχύτητα του ανέμου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μας οδηγήσει στην μέγιστη εκμετάλλευση των Α.Π.Ε. με τον εξής τρόπο, στην αποθήκευση ενέργειας των Α/Γ με την εγκατάσταση ενός αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού σταθμού.

Ο σταθμός θα αποτελείται και θα λειτουργεί ως εξής:

Εγκατάσταση ανεμογεννητριών με ποσοστό διείσδυσης 40%. Σε περίπτωση που η παραγωγή των Α/Γ είναι μικρότερη του 40% με βάση της ζήτησης του νησιού θα καλύπτεται από το νερό της δεξαμενής που θα είναι αποθηκευμένο, το οποίο θα συνεχίζει σε υδροστρόβιλους. Ένα άλλο ενδεχόμενο είναι η εξάντληση όλης της ενέργειας Α/Γ, της δεξαμενής και ταυτόχρονα των υδροστροβίλων. Σε αυτήν την περίπτωση οδηγούμαστε στην χρήση των θερμοηλεκτρικών μηχανών. Αξιοσημείωτο είναι επίσης το γέμισμα της δεξαμενής νερού και ταυτόχρονα η διαθεσιμότητα περισσευούμενης ενέργειας από τις Α/Γ που οδηγούμαστε σε απόρριψη ενέργειας.

### **4.2. Βασικοί παράμετροι – Δεδομένα υπολογισμού**

#### **Επιλογή θέσης Αιολικού πάρκου**

Για την εγκατάσταση του αιολικού πάρκου η μέθοδος που ακολουθείται είναι συγκεκριμένη, πρέπει τουλάχιστον δύο χρόνια πριν την εγκατάσταση του αιολικού πάρκου να γίνει η εγκατάσταση ενός ανεμολογικού ιστού ο οποίος θα ελέγχει την ωριαία ταχύτητα του ανέμου καθώς και την διεύθυνση που κινείται. Η εγκατάσταση αυτή θα ήταν καλύτερα να γίνει σε μέρος χωρίς «σκιάσεις» διότι γνωρίζουμε ότι έχει δυνατές εντάσεις ανέμου. Τέτοια μέρη συνήθως είναι κορυφές βουνών - οροσειρών. Εφ' όσον λοιπόν

γίνει καταγραφή της ταχύτητας ανέμου και η διεύθυνση του ανέμου και τα αποτελέσματα που θα έχουμε μας καλύπτουν τότε μπορούμε να προχωρήσουμε στην εγκατάσταση των ανεμογεννητριών.

Επιλογή θέσης (άνω) δεξαμενής και διαστασιολόγηση αντλιοσταμειυτήρα. Γνωρίζουμε ότι η δυναμική ενέργεια ενός οποιουδήποτε αντικειμένου είναι ανάλογη του απόλυτου υψομέτρου του αντικειμένου, δηλαδή της κάθετης απόστασης του από την επιφάνεια της θάλασσας.

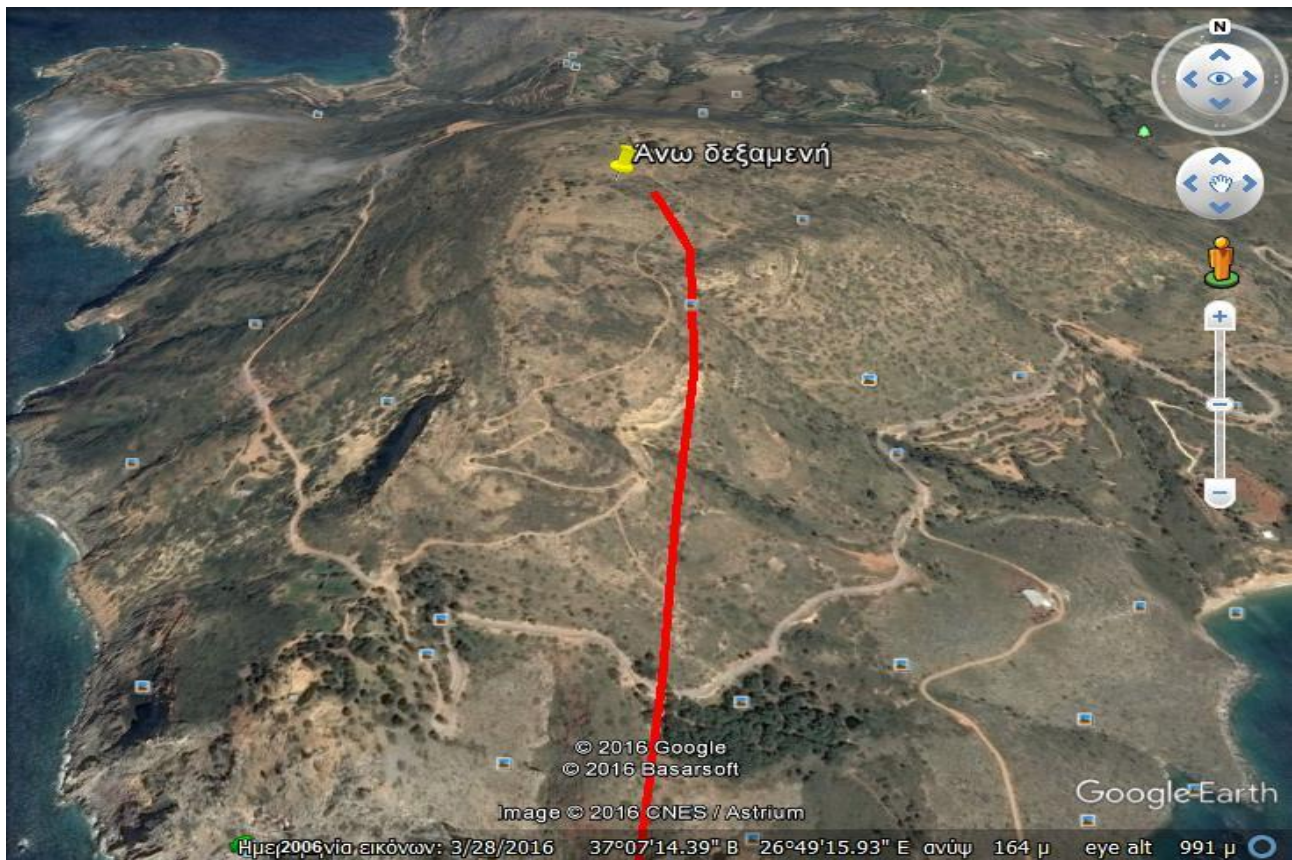
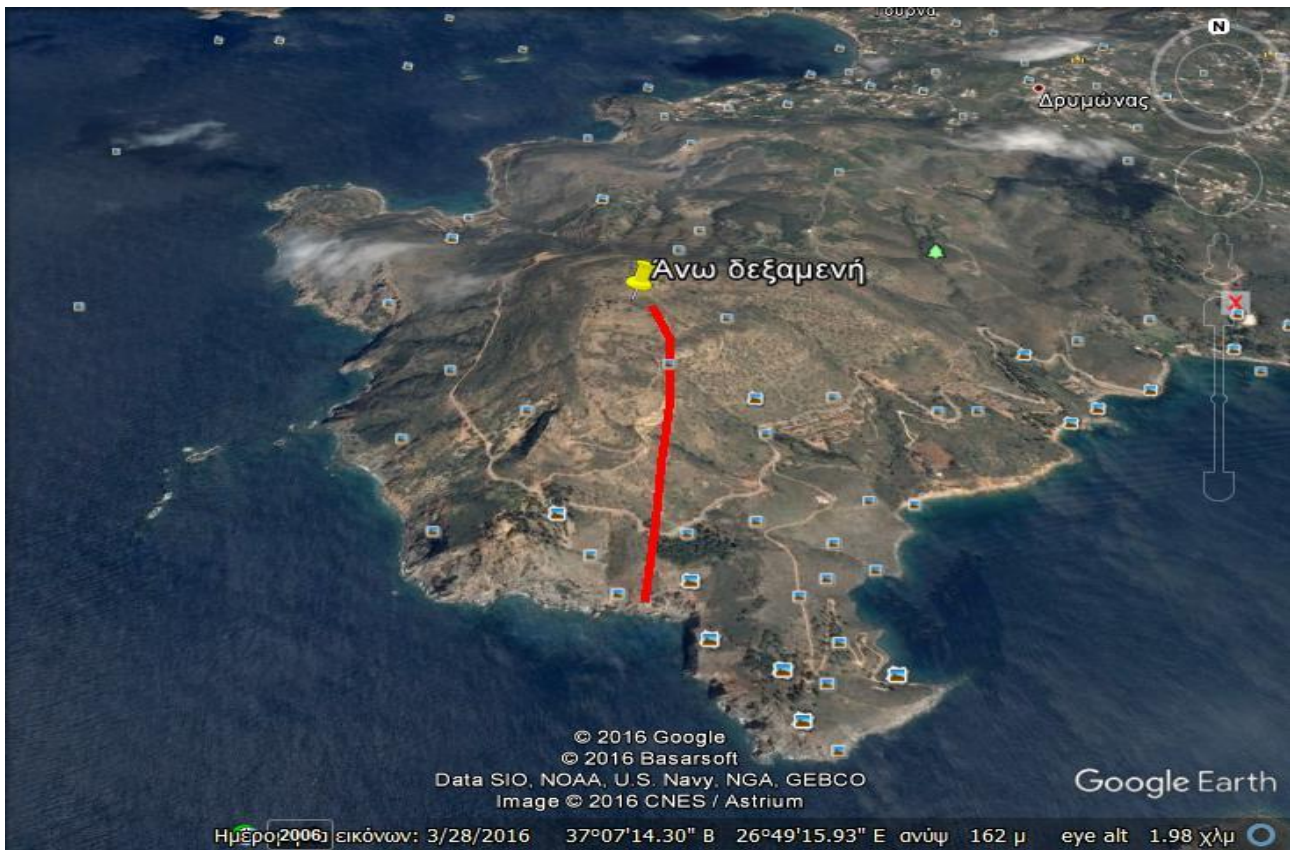
$$U = m * g * H$$

Για τον λόγο αυτό η δεξαμενή θα πρέπει να τοποθετηθεί σε υψόμετρο μεγαλύτερο των 200m, και ταυτόχρονα κοντά στην θαλάσσια ακτή διότι εκεί θα βρίσκεται η κάτω δεξαμενή με αποτέλεσμα να αποφύγουμε τα μεγάλα μήκη σωληνώσεων συνεπώς και τις μεγάλες απώλειες τριβών και εξαρτημάτων. Είναι φυσικό το μέγεθος της άνω δεξαμενής να λαμβάνει μία αρκετά μεγάλη επιφάνεια της τάξεως μερικών δεκάδων στρεμμάτων, οπότε θα πρέπει η κορυφή που θα επιλέξουμε θα πρέπει να ικανοποιεί αυτό το κριτήριο μας.

Σύμφωνα με την λήψη των παραπάνω παραμέτρων η καλύτερη θέση για την τοποθέτηση της δεξαμενής είναι στην κορυφή του βουνού Σκουμπάρδας την περιοχή Ξηροκάμπου στο νοτιοδυτικό μέρος του νησιού με υψόμετρο 300 μέτρων και χωρητικότητα δεξαμενής 1.000.000 m<sup>3</sup>, διαστάσεων 200m πλάτος, 250 m μήκος και 20 m βάθος. Παραθέτω εικόνες για την καλύτερη κατανόηση της γεωγραφικής θέσης.

Η επιλογή του υψομέτρου αλλά και της θέσης της δεξαμενής έγινε με την βοήθεια του προγράμματος Google Earth , όπως φαίνεται και στις παρακάτω εικόνες.







## **Εγκατάσταση Αιολικού Πάρκου**

Για να πετύχουμε τον καλύτερο δυνατό συνδυασμό όλων των παραμέτρων που έχουν προαναφερθεί καθώς και μια πραγματοποιήσιμη - ικανοποιητική οικονομική αναφορά επιλέξαμε να τοποθετηθούν 16 στο σύνολο ανεμογεννήτριες ονομαστικής ισχύς 850kW η κάθε μια. Το είδος των ανεμογεννητριών θα είναι της Δανέζικης εταιρίας Vestas και το μοντέλο V52-850kW.

## **Σωληνώσεις**

Έχοντας ως βασική παράμετρο το γεγονός ότι η κλίση των σωληνώσεων που θα άγουν το νερό από την άνω δεξαμενή στην θάλασσα δεν πρέπει να είναι μεγάλη, ορίζουμε τον λόγο L/H όπου:

L: το μήκος των σωληνώσεων και

H: την υψομετρική διαφορά των δύο δεξαμενών.

Ο λόγος αυτός δεν θα πρέπει να ξεπερνάει το 5, δηλαδή  $(L/H) < 5$ .

Η τοποθεσία που επιλέξαμε να τοποθετήσουμε την άνω δεξαμενή του αντλησιοταμιευτήρα καλύπτει την παράμετρο αυτή έχοντας ως απόλυτο υψόμετρο τα 300 μέτρα (H) και ως μήκος σωληνώσεων τα 739 μέτρα (L), δηλαδή ο λόγος  $L/H=2.46$ . Οι σωληνώσεις που επιλέγουμε θα είναι κατασκευασμένες από χάλυβα.

## **4.3. Περιεκτική περιγραφή της διαδικασίας υπολογισμού - διαστασιολόγησης**

### **Διαστασιολόγηση αιολικού πάρκου**

Όπως αναφέραμε και παραπάνω η διαστασιολόγηση ενός αιολικού πάρκου προϋποθέτει την ύπαρξη των ανεμολογικών στοιχείων της περιοχής όπως και την ζήτησης ισχύος που καταναλώνει το νησί.

### **Διαστασιολόγηση δεξαμενής**

Το μέγεθος της ζήτησης ισχύος του νησιού περιορίζει τον απαιτούμενο όγκο της δεξαμενής με αποτέλεσμα να κάνει το έργο μας πιο οικονομικό. Με βάση κάποιες θεωρητικές μετρήσεις ένας σχετικά ικανοποιητικός όγκος δεξαμενής ανέρχεται στο 1.000.000 κυβικά μέτρα ( $m^3$ ) και λόγω της χωροθέτησης οι διαστάσεις είναι οι εξής: 250m μήκος, 200m πλάτος και 20m βάθος. Ο ελάχιστος όγκος που θα παραμένει στην δεξαμενή χωρίς να εκμεταλλεύεται θα είναι 100.000  $m^3$  ενώ ο αρχικά περιεχόμενος όγκος της δεξαμενής θα ανέρχεται στο 500.000  $m^3$ .

### **Διαστασιολόγηση αντλιών – υδροστρόβιλων**

Έχοντας ως δεδομένα μετά από τους απαραίτητους υπολογισμούς την ωριαία παραγωγή του αιολικού πάρκου, την ωριαία ζήτηση ισχύος από το νησί άρα και κατ επέκταση την ωριαία διακύμανση της στάθμης της δεξαμενής μπορούμε να υπολογίσουμε τις παροχές, τα μανομετρικά της εγκατάστασης καθώς και την

απαιτούμενη ισχύ για την υδατόπτωση και την μεταφορά του νερού στην δεξαμενή έχοντας ως επιπλέον δεδομένο την απόδοση των αντλιών να φτάνει το 80% ενώ των υδροστροβίλων ακόμα και 90%.

Σαφώς θα πρέπει η ολική ισχύς των αντλιών και των υδροστροβίλων να είναι (ελαφρώς) μεγαλύτερη από την μέγιστη υπολογισμένη ωριαία ισχύς μέσα στο έτος.

#### 4.4. Υπολογισμός διαμέτρου, απωλειών ροής και υψών υδατόπτωσης.

Γνωρίζοντας από υπολογισμούς την μέγιστη παροχή, το μήκος σωληνώσεων, συντελεστή απωλειών για την πτώση αλλά και για την άντληση του νερού έχουμε την δυνατότητα να υπολογίσουμε τις απώλειες πτώσης και άντλησης συναρτήσει της διαμέτρου σωλήνα σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$H_f = f * (L/D^5) * (8 * Q^2 / \pi^2 * g)$$

Όπου:

- ✓  $H_f$  οι απώλειες ροής σε m
- ✓  $D$  η διάμετρος του σωλήνα σε m
- ✓  $f$  συντελεστής απωλειών ροής (καθαρός αριθμός)
- ✓  $L$  το μήκος των σωληνώσεων (διαφορετική τιμή για πτώση και για άντληση) σε m
- ✓  $Q$  η παροχή (διαφορετική τιμή για πτώση και για άντληση) σε  $m^3/sec$
- ✓  $g$  η επιτάχυνση της βαρύτητας ( $g=9.81 m/s^2$ )

Η πτώση του νερού γίνεται από τον πυθμένα της δεξαμενής δηλαδή  $300m - 40m = 260m$  ενώ η άντληση του νερού στην δεξαμενή καταλήγει στο επάνω μέρος της δεξαμενής δηλαδή στα 300m από την επιφάνεια της θάλασσας.

Εάν θεωρήσουμε ως μέγιστη τιμή των απωλειών  $H_f$  το 5% της φυσικής υψομετρικής διαφοράς (260 μέτρα για την πτώση και 300 μέτρα για την άντληση) τότε θέτοντας διάφορες τιμές στο  $D$  μπορούμε να βρούμε μια διάμετρο η οποία θα καλύπτει την παράμετρο  $H_f < (5% * \Delta H)$ . Πραγματοποιώντας όλα τα παραπάνω καταλήγουμε ότι η κατάλληλη διάμετρος χαλυβδοσωλήνα είναι  $D=1524mm$  ή  $D=1,524m$ .

Τέλος σημαντική παράμετρος που πρέπει να προσεχτεί είναι η κλίση των σωλήνων η οποία δεν πρέπει να είναι μεγάλη. Στο σημείο που έχει τοποθετηθεί η δεξαμενή και με την απόστασή της από την θάλασσα η κλίση ανέρχεται 56.2% με βάση του προγράμματος Google Earth.

#### 4.5. Υπολογισμός πάχους αγωγού.

Το πάχος του σωλήνα δίνεται από την εξής σχέση:

$$e = d \cdot P_{\max} / (2 \cdot k_1 \cdot \sigma_{\max} / k_2) + e_1 + e_2$$

όπου,

e: Το απαιτούμενο πάχος του σωλήνα.

d: η διάμετρο του σωλήνα σε χιλιοστά (=1524mm).

P<sub>max</sub>: η μέγιστη πίεση του σωλήνα σε Mpa.

k<sub>1</sub>=0.7

k<sub>2</sub>=1.7

σ<sub>max</sub>: η μέγιστη τάση αντοχής του υλικού (=800MPa)

e<sub>1</sub>=e<sub>2</sub>=1mm συντελεστές ασφάλειας.

Με βάση τον παρακάτω πίνακα από τις μέγιστες απώλειες πτώσης και άντλησης νερού επιλέξαμε την διάμετρο του σωλήνα d=1524 mm.

Οι υπολογισμοί παρατίθενται στους ακόλουθους πίνακες:

#### Πίνακας 1

	Πτώση Νερού	Άντληση Νερού
Συντελεστής Απωλειών Ροής:	0.1014	0.1014
Μήκος Σωληνώσεων:	739	779
Μέγιστη Παροχή:	5,44	3,44
Μέγιστες Απώλειες:	12,5	15,1

**Πίνακας 2**

Διάμετρος Σωλήνωσης (m)	Απώλειες Πτώσης (m)	Απώλειες Αντλησης (m)
1,52	22,3204	9,3818
2,50	1,8790	0,7898
3,00	0,7551	0,3174
3,50	0,3494	0,1468
4,00	0,1792	0,0753
4,50	0,0994	0,0418
5,00	0,0587	0,0247
5,50	0,0365	0,0153
6,00	0,0236	0,0099
6,50	0,0158	0,0066
7,00	0,0109	0,0046
7,50	0,0077	0,0033

**Πίνακας 3**

<b>Δεδομένα Υπολογισμών</b>	
Αριθμός Ανεμογεννητριών Αιολικού Πάρκου	<b>16</b>
Ποσοστό Μέγιστης Διεισδυσης Αιολικής Ισχύος	<b>40,00%</b>
Χωρητικότητα Δεξαμενής	<b>1.000.000 m<sup>3</sup></b>
Ελάχιστος Όγκος Νερού Δεξαμενής	<b>100,000 m<sup>3</sup></b>
Αρχικά Περιεχόμενος Όγκος Νερού Δεξαμενής	<b>500,000 m<sup>3</sup></b>
Απόδοση Υδροστροβίλου	<b>90,00%</b>
Απόδοση Αντλιών	<b>80,00%</b>
Συντελεστής Υπολογισμού Αφαιρούμενου Όγκου	<b>1019,37</b>
Συντελεστής Υπολογισμού Προστιθέμενου Όγκου	<b>716,04</b>
Φυσική Ψυομετρική Διαφορά Πτώσης	<b>250</b>
Φυσική Ψυομετρική Διαφορά Αντλησης	<b>302</b>
Τελικός Συντελεστής Υπολογισμού Αφαιρούμενου Όγκου	<b>407747,2</b>
Τελικός Συντελεστής Υπολογισμού Προστιθέμενου Όγκου	<b>293577,89</b>

Πίνακας 4

Όγκος υλικού αγωγού	Κατακόρυφο Μήκος Αγωγού	Πραγματικό Μήκος Αγωγού (m)
1,469	10	35
3,203	20	71
5,194	30	106
5,604	30	106
12,777	60	212
14,341	60	212
15,942	60	212
8,765	30	106

Πίνακας 5

Κατακόρυφο Μήκος Αγωγού (m)	Πραγματικό Μήκος Αγωγού (m)	Όγκος υλικού αγωγού (m <sup>3</sup> )
10	35	29,386
20	71	4,804
30	106	5,194
30	106	5,604
60	212	14,906
60	212	16,732
60	212	15,942
30	106	20,452

**Πίνακας 6**

<b>ΔΕΔΟΜΕΝΑ</b>	
k1	0,70
k2	1,70
D (mm)	1524,00
$\sigma_{\max}$ (Mpa)	800,00
$E_B$ (Gpa)	2,20
E (Gpa)	260,00
$P_{H_2O}$ (kg/m <sup>3</sup> )	1000,00
$\gamma_{H_2O}$ (Nt/m <sup>3</sup> )	9810,00
D (m)	1,524

**Πίνακας 7**

<b>Πάχος</b> (mm)	<b>Μέγιστη Πίεση</b> (Mpa)	<b>Ταχύτητα Διάδοσης Κύματος</b> (m/sec)	<b>Πίεση Υδραυλικού</b> (Mpa)
8,74	2,91	942,72	2,81
9,53	3,26	966,91	2,89
10,31	3,59	988,66	2,95
11,13	3,95	1009,54	3,01
12,7	4,63	1044,8	3,12
14,27	5,3	1075,02	3,21
15,88	6	1101,86	3,29
17,48	6,69	1125,18	3,36

Πίνακας 8

Υψόμετρο	Υψος Στήλης Υδατος	Υδροστατική πίεση	Συνολική Πίεση
(m)	(m)	(Mpa)	(Mpa)
300	0	0	2,813
290	10	0,0981	2,912
280	20	0,1962	3,082
270	30	0,2943	3,180
260	40	0,3924	3,343
250	50	0,4905	3,441
240	60	0,5886	3,539
230	70	0,6867	3,700
220	80	0,7848	3,798
210	90	0,8829	3,896
200	100	0,981	4,099
190	110	1,0791	4,197
180	120	1,1772	4,295
170	130	1,2753	4,393
160	140	1,3734	4,491
150	150	1,4715	4,590
140	160	1,5696	4,778
130	170	1,6677	4,876
120	180	1,7658	4,974
110	190	1,8639	5,072
100	200	1,962	5,170
90	210	2,0601	5,268
80	220	2,1582	5,447
70	230	2,2563	5,545
60	240	2,3544	5,643
50	250	2,4525	5,741
40	260	2,5506	5,839
30	270	2,6487	5,937
20	280	2,7468	6,105
10	290	2,8449	6,203
0	300	2,943	6,301

#### 4.6. Οικονομικά στοιχεία

Πίνακας 9

ΑΡΧΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΡΓΟΥ										
ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ		1200	€/kW				Συνολικά MW	13,6	MW	16.320.000 €
ΑΝΑΣΤΡΕΨΙΜΟ Υ/Η	ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ	700	€/kW	Μαχ μελετης	12,01	MW	Συνολικά MW	12,00	MW	19.450.000 €
	ΑΝΤΛΙΕΣ	850	€/kW	Μαχ μελετης	12,72	MW	Συνολικά MW	13,00	MW	11.050.000 €
ΔΕΞΑΜΕΝΗ	ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΑ	8	€/m <sup>3</sup>				Ογκος Δεξαμενης	1.000.000	m3	10.500.000 €
	ΦΡΑΓΜΑΤΑ									- €
	ΣΤΕΓΑΝΟΠΟΙΗΣΗ	15	€/m <sup>2</sup>				Εμβαδο δεξαμενης	50.000	m2	900.000 €
ΑΓΩΓΟΣ	Ογκος αγωγου:	67.296	m3							1.236.167 €
	Πυκνοτητα υλικου	7850	kg/m3							
	ΑΓΟΡΑ ΥΛΙΚΟΥ	0,9	€/Kg				Μαζα Αγωγου	528.277	Kgr	950.897,72 €
	ΜΕΤΑΦΟΡΑ-ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	30% Αγορας υλικου								285.269,32 €
ΚΟΣΤΟΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ										5.000.000 €
ΆΛΛΑ ΚΟΣΤΗ										2.000.000 €
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΑΡΧΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ										54.506.167 €

Πίνακας 10

ΕΤΗΣΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	43.504,74	MWh
	43.504.736,91	KWh
ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ Kwh	0,2	€/kWh



**Πίνακας 11**

Χρηματοδοτικό Σχήμα	Ποσό	Ποσοστό
Ίδια Κεφάλαια	13,626,542	25,00%
Επιχορήγηση	21,802,467	40,00%
Δάνειο	19,077,158	35,00%
Σύνολο	54,506,167	100,00%
Επιτόκιο Δανεισμού	6,00%	
Έτη Αποπληρωμής	10	
Επιτόκιο Αναγωγής	6,00%	

**Πίνακας 12**

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΕΡΓΟΥ														
ΕΤΟΣ	ΕΤΗΣΙΑ ΕΣΟΔΑ	ΔΗΜΟΤΙΚΑ ΤΕΛΗ	ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ	ΠΛΗΡΩΜΗ ΔΑΝΕΙΟΥ	ΑΣΦΑΛΙΣΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ	ΜΙΣΘΟΛΟΓΙΑ	ΔΙΑΦΟΡΑ	ΑΠΟΣΒΕΣΗ	ΦΟΡΟΙ	ΣΥΝΟΛΟ ΕΞΟΔΩΝ	ΚΕΡΔΗ	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ ΚΕΡΔΗ	ΚΕΡΔΗ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ ΚΕΡΔΗ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ
											- 13.626.542 €		- 13.626.542 €	- 13.626.542 €
1	8.700.947 €	261.028 €	100.000 €	2.591.975 €	218.025 €	300.000 €	50.000 €	681.327 €	899.719 €	4.420.746 €	4.280.201 €	4.280.201 €	4.037.926 €	4.037.926 €
2	8.700.947 €	261.028 €	100.000 €	2.591.975 €	218.025 €	300.000 €	50.000 €	681.327 €	899.719 €	4.420.746 €	4.280.201 €	8.560.402 €	3.809.364 €	7.618.728 €
3	8.700.947 €	261.028 €	100.000 €	2.591.975 €	218.025 €	300.000 €	50.000 €	681.327 €	899.719 €	4.420.746 €	4.280.201 €	12.840.604 €	3.593.739 €	10.781.218 €
4	8.700.947 €	261.028 €	695.312 €	2.591.975 €	218.025 €	300.000 €	50.000 €	681.327 €	780.656 €	4.896.996 €	3.803.952 €	16.644.555 €	3.013.086 €	13.184.047 €
5	8.700.947 €	261.028 €	695.312 €	2.591.975 €	218.025 €	300.000 €	50.000 €	681.327 €	780.656 €	4.896.996 €	3.803.952 €	20.448.507 €	2.842.534 €	15.280.314 €
6	8.700.947 €	261.028 €	695.312 €	2.591.975 €	218.025 €	300.000 €	50.000 €	681.327 €	780.656 €	4.896.996 €	3.803.952 €	24.252.459 €	2.681.636 €	17.097.026 €
7	8.700.947 €	261.028 €	695.312 €	2.591.975 €	218.025 €	300.000 €	50.000 €	681.327 €	780.656 €	4.896.996 €	3.803.952 €	28.056.410 €	2.529.845 €	18.659.115 €
8	8.700.947 €	261.028 €	695.312 €	2.591.975 €	218.025 €	300.000 €	50.000 €	681.327 €	780.656 €	4.896.996 €	3.803.952 €	31.860.362 €	2.386.646 €	19.989.585 €
9	8.700.947 €	261.028 €	695.312 €	2.591.975 €	218.025 €	300.000 €	50.000 €	681.327 €	780.656 €	4.896.996 €	3.803.952 €	35.664.314 €	2.251.553 €	21.109.652 €
10	8.700.947 €	261.028 €	695.312 €	2.591.975 €	218.025 €	300.000 €	50.000 €	681.327 €	780.656 €	4.896.996 €	3.803.952 €	39.468.265 €	2.124.107 €	22.038.873 €
11	8.700.947 €	261.028 €	695.312 €		218.025 €	300.000 €	50.000 €	681.327 €	1.299.051 €	2.823.416 €	5.877.531 €	45.345.797 €	3.096.210 €	23.887.600 €
12	8.700.947 €	261.028 €	695.312 €		218.025 €	300.000 €	50.000 €	681.327 €	1.299.051 €	2.823.416 €	5.877.531 €	51.223.328 €	2.920.953 €	25.456.425 €
13	8.700.947 €	261.028 €	695.312 €		218.025 €	300.000 €	50.000 €	681.327 €	1.299.051 €	2.823.416 €	5.877.531 €	57.100.859 €	2.755.616 €	26.771.111 €
14	8.700.947 €	261.028 €	695.312 €		218.025 €	300.000 €	50.000 €	681.327 €	1.299.051 €	2.823.416 €	5.877.531 €	62.978.391 €	2.599.638 €	27.855.403 €
15	8.700.947 €	261.028 €	695.312 €		218.025 €	300.000 €	50.000 €	681.327 €	1.299.051 €	2.823.416 €	5.877.531 €	68.855.922 €	2.452.488 €	28.731.170 €
16	8.700.947 €	261.028 €	695.312 €		218.025 €	300.000 €	50.000 €	681.327 €	1.299.051 €	2.823.416 €	5.877.531 €	74.733.453 €	2.313.668 €	29.418.546 €
17	8.700.947 €	261.028 €	695.312 €		218.025 €	300.000 €	50.000 €	681.327 €	1.299.051 €	2.823.416 €	5.877.531 €	80.610.985 €	2.182.706 €	29.936.051 €
18	8.700.947 €	261.028 €	695.312 €		218.025 €	300.000 €	50.000 €	681.327 €	1.299.051 €	2.823.416 €	5.877.531 €	86.488.516 €	2.059.157 €	30.300.715 €
19	8.700.947 €	261.028 €	695.312 €		218.025 €	300.000 €	50.000 €	681.327 €	1.299.051 €	2.823.416 €	5.877.531 €	92.366.047 €	1.942.601 €	30.528.180 €
20	8.700.947 €	261.028 €	695.312 €		218.025 €	300.000 €	50.000 €	681.327 €	1.299.051 €	2.823.416 €	5.877.531 €	98.243.579 €	1.832.642 €	30.632.812 €

**Πίνακας 13**

IRR	NPV - ΚΕΡΔΩΝ	NPV - ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΝ ΚΕΡΔΩΝ
30,688%	39.799.573 €	419.687.957 €

