



ΔΙΕΘΝΕΣ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥΠΟΛΗ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ (πρώην Σ.Τ.ΕΦ.)  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

# Συγκομιδή θερμοηλεκτρικής ενέργειας σε όχημα

Πτυχιακή εργασία του  
Αντωνιάδη Ιωάννη ΑΜ 2015-031

Επιβλέπων Καθηγητής:

Μιχαήλ Κιζήρογλου

Θεσσαλονίκη, Φεβρουάριος 2021



## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κύριο Μιχαήλ Κιζήρογλου, καθηγητή του πρώην τμήματος Αυτοματισμού στο ΤΕΙ Θεσσαλονίκης και νυν του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης , χάρις την θετική στάση του από την αρχή μέχρι το τέλος, την συνεργατικότητα, την αμέριστη προσοχή και την κατανόηση του κατάφερα να ολοκληρώσω με επιτυχία την πτυχιακή μου εργασία στο τέλος των σπουδών μου. Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω να δώσω στην οικογένεια και τους φίλους μου, για την υποστήριξη και της θυσίες τους όλα αυτά τα χρόνια σπουδών μου.

## Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ασχολείται με τον σχεδιασμό και την κατασκευή πειραματικής διάταξης πάνω σε όχημα με σκοπό την μέτρηση τάσης. Ο τρόπος ανάκτησης της θερμοηλεκτρικής ενέργειας είναι με στατική συγκομιδή ενέργειας καθώς με τις βασικές αρχές λειτουργίας έγινε η μελέτη του πειράματος. Ένα όχημα από την στιγμή λειτουργίας μέχρι το κλείσιμο του έχει θερμικές απώλειες, άρα με αυτό σαν βάση έγινε η μελέτη για την κατασκευή και τοποθέτηση της διάταξης έτσι ώστε να αποδείξει ότι η εκμετάλλευση της θερμικής απορριπτόμενης ενέργειας κατά την λειτουργία μιας μηχανής εσωτερικής καύσης είναι ικανή να τροφοδοτήσει έναν αισθητήρα. Τέλος μετά τους κύκλους λειτουργίας του πειράματος στο όχημα συμπερασματικά φαίνεται από τα διαγράμματα ότι στα σημεία ενδιαφέροντος μετρήθηκε τάση ικανή για την τροφοδοσία ενός αυτόνομου αισθητήρα όπου θα μπορούσε να αναφερθεί και συνεισφορά του στον βαθμό απόδοσης του κινητήρα.

## **Abstract**

The present dissertation deals with the design and construction of an experimental device on a vehicle for the purpose of voltage measurement. The way of recovering the thermoelectric energy is with static energy harvesting as with the basic operating principles the study of the experiment was done. A vehicle from the moment of operation until its closure has heat loss, so with this as a basis the study was made for the construction and installation of the device so as to prove that the exploitation of heat dissipated energy during operation of an internal combustion engine is capable of power a sensor. Finally, after the operating cycles of the experiment in the vehicle, it can be concluded from the diagrams that at the points of interest a voltage capable of supplying an autonomous sensor was measured, where its contribution to the degree of engine efficiency could be mentioned.

## Κατάλογος εικόνων/σημμάτων

<u>Σχήμα</u> 1. Αναπαράσταση ροής ενέργειας με χρήση θερμοηλεκτρικής γεννήτριας.....	1
<u>Σχήμα</u> 1.2 Τρισδιάστατο σχήμα τυπικής θερμοηλεκτρικής γεννήτριας τύπου n-p ημιαγωγών.(Πηγή <a href="https://shopee.com.my">https://shopee.com.my</a> ).....	1
<u>Σχήμα</u> 1.2.1 Φαινόμενο Seebeck.....	1
<u>Σχήμα</u> 1.2.2 αριστερά σχήμα ίδια ροή ρεύματος και θερμότητας, δεξιά σχήμα αντίθετη ροή ρεύματος και θερμότητας.....	1
<u>Σχήμα</u> 1.2.3 Σχηματική απεικόνιση φαινομένου Thomsom.....	1
<u>Σχήμα</u> 1.3 Εσωτερική διάταξη δυναμικής θερμοηλεκτρικής συγκομιδής ενέργειας πειράματος.....	1
<u>Σχήμα</u> 2.1 Πειραματική διάταξη θερμοκρασιακής καταγραφής σε εξάτμιση της BMW (Πηγή <a href="https://www.motorauthority.com/news/1065596_bmw-showcases-thermoelectric-technology-in-5-series">https://www.motorauthority.com/news/1065596_bmw-showcases-thermoelectric-technology-in-5-series</a> ).....	1
<u>Σχήμα</u> 2.2 Σχηματικό διάγραμμα μιας συμβατικής θερμοηλεκτρικής γεννήτριας αυτοκινήτου που χρησιμοποιεί τη θερμότητα καυσαερίων από τα καυσαέρια. ( <a href="https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-of-a-conventional-automotive-thermoelectric-generator-using-the-exhaust_fig1_347692375">https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-of-a-conventional-automotive-thermoelectric-generator-using-the-exhaust_fig1_347692375</a> ).....	1
<u>Σχήμα</u> 2.3 Αναλυτικός σχεδιασμός θερμοηλεκτρικού συστήματος γεννήτριας σε εξάτμιση ( <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890414004725">https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890414004725</a> ).....	1
<u>Εικόνα</u> 3.1.1 Βίδες πλαστικές διαμέτρου 3mm και μήκους 20mm.....	1
<u>Εικόνα</u> 3.1.2 Πειραματική διάταξη πτυχιακής εργασίας.....	1
<u>Εικόνα</u> 3.1.3 Θερμοηλεκτρικό στοιχείο TEC1-0703 (30x30x4.7mm).....	1

<u>Σχήμα</u> 3.1.4 Περιβάλλον στο Software του USB-5106.....	1
<u>Σχήμα</u> 3.1.5 αισθητήρας τάσης (USB-5106 Series) (Πηγή <a href="https://www.mccdaq.com/usb-data-acquisition/USB-5100-Series.aspx">https://www.mccdaq.com/usb-data-acquisition/USB-5100-Series.aspx</a> ).....	1
<u>Σχήμα</u> 3.1.6 Περιβάλλον στο Software του αισθητήρα θερμοκρασίας EL-USB-TC.....	1
<u>Σχήμα</u> 3.1.7 αισθητήρας θερμοκρασίας EL-USB-TC ( <a href="https://www.lascarelectronics.com/easylog-el-usb-tc">https://www.lascarelectronics.com/easylog-el-usb-tc</a> ).....	1
<u>Εικόνα</u> 3.2.1 Τοποθετημένη πειραματική διάταξη πάνω στο κάλυμμα κυλινδροκεφαλής.	1
<u>Σχήμα</u> 3.2.2 Διάγραμμα Τάσης-Χρόνου σε πορεία.....	1
<u>Σχήμα</u> 3.2.3 Διάγραμμα Θερμοκρασίας-Χρόνου σε πορεία.....	1
<u>Σχήμα</u> 3.2.4 Διάγραμμα Τάσης-Χρόνου στο ρελαντί.....	1
<u>Σχήμα</u> 3.2.5 Διάγραμμα Θερμοκρασίας-Χρόνου στο ρελαντί.....	1
<u>Σχήμα</u> 3.2.6 Τοποθετημένη πειραματική διάταξη πάνω στο κάλυμμα κάλυμμα πολλαπλής εξαγωγής.....	1
<u>Σχήμα</u> 3.2.7 Διάγραμμα Τάσης-Χρόνου στο ρελαντί.....	1
<u>Σχήμα</u> 3.2.8 Διάγραμμα Θερμοκρασίας-Χρόνου στο ρελαντί.....	1
<u>Σχήμα</u> 3.2.9 Διάγραμμα Τάσης-Χρόνου στο ρελαντί.....	1
<u>Σχήμα</u> 3.2.10 Διάγραμμα Θερμοκρασίας-Χρόνου στο ρελαντί.....	1

## Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	1
Περίληψη.....	1
Abstract.....	1
Κατάλογος εικόνων/σχημάτων.....	1

### A. Θεωρητικό μέρος

Πρόλογος .....	1
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	
1.1 θερμοηλεκτρικά στοιχεία.....	1
1.2 Αρχή λειτουργίας.....	1
1.2.1 Φαινόμενο Seebeck.....	1
1.2.2 Φαινόμενο Peltier.....	1
1.2.3 Φαινόμενο Thomson.....	1
1.3 Δυναμική θερμοηλεκτρική συγκομιδή ενέργειας.....	1
1.4 Θερμοηλεκτρικές γεννήτριες στην αυτοκινητοβιομηχανία.....	1
Κεφάλαιο 2: Εταιρία που εφάρμοσε TEGs σε οχήματα .....	1
2.1 Εφαρμογή σε όχημα της BMW.....	1



## B. Πειραματικό μέρος

Κεφάλαιο 3: Περιγραφή και ανάλυση πειράματος.....	1
3.1 Σκοπός πειράματος και υλικά που χρησιμοποιήθηκαν.....	1
3.2 Σημεία ενδιαφέροντος μέτρησης πειράματος.....	1
Συμπεράσματα.....	1
Βιβλιογραφία.....	1

## **A. Θεωρητικό μέρος**

### Πρόλογος

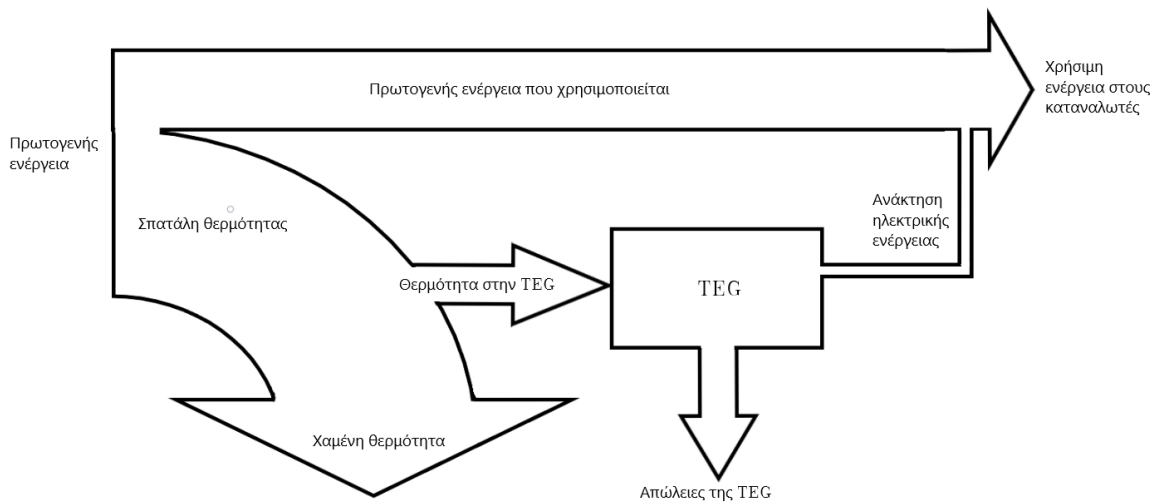
Στην πτυχιακή εργασία θα αναφερθεί η αρχή λειτουργίας των θερμοηλεκτρικών στοιχείων και ποιο συγκεκριμένα των θερμοηλεκτρικών γεννητριών, thermoelectric generators (TEGs) οι αρχές λειτουργίας στα φαινόμενα Seebeck, Peltier, και Thomson . Στη συνέχεια μέσω της στατικής συγκομιδής ενέργειας θα διεξαχθεί πείραμα με σκοπό την ένδειξη παραγόμενης τάσης πάνω στο όχημα. Ο κύριος σκοπός της πτυχιακής είναι να αποδείξει ότι η χαμένη ενεργεία (θερμικές απώλειες) κατά την παραγωγή έργου είναι εφικτό να εκμεταλλευτή με έξυπνο τρόπο και να συνεισφέρει στην συνολική απόδοση ενός οχήματος. Γνωρίζοντας ότι στο παρελθόν έχουν γίνει πολλές προσπάθειες με σκοπό την εκμετάλλευση των απωλειών λόγω θερμότητας και είναι υποχρέωση να αναφερθεί ότι η τεχνολογία και οι εφαρμογές ενός τέτοιου πειράματος που έχουν φτάσει σε ένα πολύ καλό σημείο ως και σήμερα, για αυτό τον λόγο και έχουν μείνει οι εφαρμογές του στα επιθυμητά επίπεδα απόδοσης. Το πείραμα έγινε σε βενζινοκίνητο αυτοκίνητο, τα υλικά που χρειάστηκαν συλλέχτηκαν και επεξεργάστηκαν ανάλογα με τις ανάγκες που προέκυψαν για το πείραμα.



# Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

## 1. Θερμοηλεκτρικά στοιχεία

Θερμοηλεκτρικά στοιχεία είναι κατασκευές μικρές σε μέγεθος και κατασκευάζονται εύκολα. Δεν έχουν κινούμενα μέρη και μπορούν να λειτουργούν ως θερμοηλεκτρικές γεννήτριες μετατρέποντας θερμότητα σε ηλεκτρική ενέργεια ή ως θερμοηλεκτρικές ψήκτρες καταναλώνοντας ηλεκτρικό ρεύμα. Τα θερμοηλεκτρικά στοιχεία έχουν την δυνατότητα σε πληθώρα εφαρμογών στην καθημερινότητα, παρόλο αυτά στη σημερινή εποχή η χρήση τους είναι ελάχιστη. Σε αυτή την εργασία μελετάται η χρήση των θερμοηλεκτρικών γεννητριών (TEG).[1],[2],[3],[4],[5],[6]

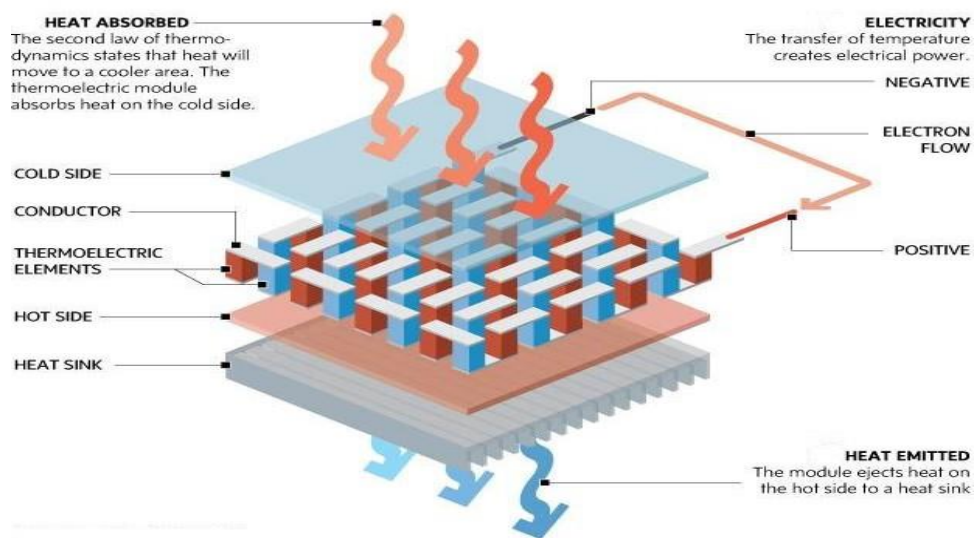


Σχήμα 1. Αναπαράσταση ροής ενέργειας με χρήση θερμοηλεκτρικής γεννήτριας.

Πηγή!!

Η θερμοηλεκτρικές γεννήτριες έχουν ως αρχή λειτουργίας το θερμοηλεκτρικό φαινόμενο το οποίο μετατρέπει την θερμική ενέργεια σε ηλεκτρική. Το θερμοηλεκτρικό φαινόμενο ανακαλύφθηκε για πρώτη φορά από τον Γερμανό φυσικό Thomas Johann Seebeck το 1826. Ο Seebeck παρατήρησε ότι σε ένα κλειστό κύκλωμα όπου αποτελείται από δύο διαφορετικά μέταλλα τα οποία έχουν διαφορετικές θερμοκρασίες (ψυχρό-θερμό) ρέει σαν αποτέλεσμα ηλεκτρικό ρεύμα ικανό να μετακινήσει μια μαγνητική βελόνα. Με λίγα λόγια η διαφορά θερμοκρασίας δημιουργεί διαφορά δυναμικού η οποία προκαλεί ροή ενέργειας βάσει θερμότητας η οποία αφήνει τα ηλεκτρόνια και της σπές να μετακινηθούν με αποτέλεσμα δημιουργίας ηλεκτρικού πεδίου με το ρεύμα να ρέει σε κλειστό κύκλωμα. Πιο αναλυτικά από την θερμή περιοχή τα ηλεκτρόνια κατευθύνονται στην ψυχρή, με

αποτέλεσμα την διαφορά δυναμικού της οποίας μπορούμε να μετρήσουμε με πολύμετρο. Επίσης, στο φαινόμενο Seebeck τα φαινόμενα Peltier, Thomson και Joule έχουν σημαντικό ρόλο στη λειτουργία αυτών των διατάξεων. Οι θερμοηλεκτρικές γεννήτριες συνήθως αποτελούνται από πολλά θερμοζεύγη ημιαγωγών τύπου p-n (positive-negative) βισμούθιου-τελλουρίου ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ), τα οποία συνήθως έχουν 2 στρώσεις από κεραμικό μονωτικό υλικό, 2 στρώσεις αγωγίμου υλικού καθώς και 2 ειδών θερμοηλεκτρικά υλικά, αντιμονίου-κασσίτερου (Sb-Sn) ή μόλυβδου-κασσίτερου (Pb-Sn) καθώς εξασφαλίζουν υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα και θερμική αντοχή λόγω του υψηλού σημείου τήξεωσ τους. Η όλη διάταξη είναι τοποθετημένη ανάμεσα σε δύο κεραμικές πλάκες οι οποίες λόγω των καλών μηχανικών ιδιοτήτων τους, της υψηλής θερμικής αγωγιμότητας και της μηδενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας τους εξασφαλίζουν την σωστή λειτουργία του θερμοστοιχείου και την προστασία του. Οι δύο αυτές πλάκες αποτελούν τη θερμή και την ψυχρή πλευρά. Το ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει τον μεταλλικό αγωγό καθώς και τα θερμοζεύγη τύπου p και n, τα οποία είναι συνδεδεμένα ηλεκτρικά σε σειρά και θερμικά παράλληλα. Οι μονωτικές κεραμικές πλάκες είναι απαραίτητες για να διασφαλίζεται η ηλεκτρική μόνωση του κυκλώματος ενώ ταυτόχρονα επιτρέπεται η διέλευση της θερμότητας. Στις καινούριου τύπου θερμοηλεκτρικές γεννήτριες μπορούν να είναι και ηλεκτρολύτες -ιοντικά υγρά.



Σχήμα 1.2 Τρισδιάστατο σχήμα τυπικής θερμοηλεκτρικής γεννήτριας τύπου p-n ημιαγωγών.

(Πηγή <https://shopee.com.my>)

Μερικά πλεονεκτήματα των θερμοηλεκτρικών στοιχείων είναι ότι δεν έχουν μεγάλο κόστος κατασκευής, δεν χρειάζονται συντήρηση είναι αθόρυβες και είναι πολύ αξιόπιστες όταν λειτουργούν σύμφωνα με τις ιδιότητες που όρισε ο κατασκευαστής. [5],[7]

## 1.2 Αρχή λειτουργίας

### 1.2.1 Φαινόμενο Seebeck

Η αναφορά στο φαινόμενο Seebeck σηματοδοτεί την αρχή λειτουργίας των θερμοηλεκτρικών γεννητριών όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Η διαφορά θερμοκρασίας προκαλεί κίνηση ηλεκτρονίων ,μέσα σε ένα κλειστό κύκλωμα, από την θερμή πλευρά προς την ψυχρή . Αυτό συμβαίνει γιατί στην θερμή πλευρά έχει υψηλότερη θερμική ενέργεια ενώ στην ψυχρή χαμηλότερη.[5],[23],[25],[27]

$$V = \alpha_{AB} * (T_H - T_C), \text{ όπου } \alpha_{AB} = \alpha_A - \alpha_B$$

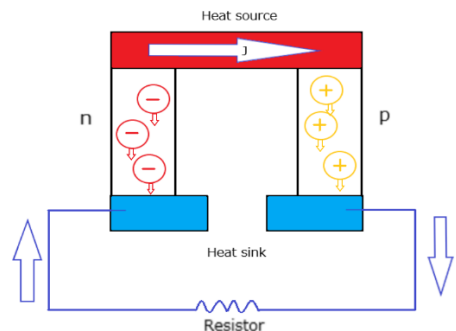
$\alpha_A$  Σταθερά Seebeck για το υλικό A(V/K)

$\alpha_B$  Σταθερά Seebeck για το υλικό B(V/K)

V voltage (V)

$T_H$  Θερμοκρασία για τη ζεστή πλευρά (K)

$T_C$  Θερμοκρασία για τη ψυχρή πλευρά (K)



Σχήμα 1.2.1 Φαινόμενο Seebeck.

### 1.2.2 Φαινόμενο Peltier

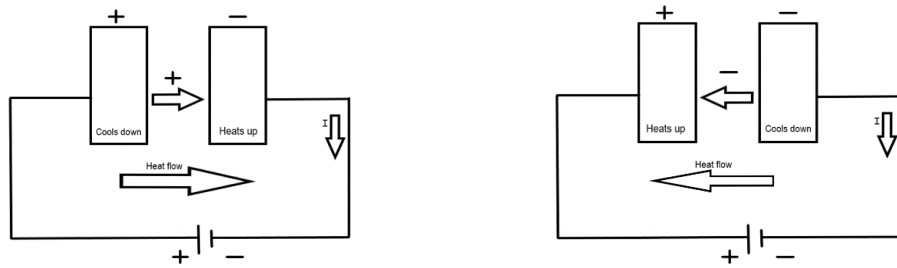
Το φαινόμενο Peltier στην ουσία είναι το ανάποδο από το Seebeck γιατί ανάλογα με την κατεύθυνση ροής ρεύματος και την κατεύθυνση ροής θερμότητας (αν είναι ίδια ή αν είναι αντίστροφη) μέσα σε ένα θερμοστοιχείο έχει ως αποτέλεσμα να ψύχει ή να θερμαίνει. [5],[23],[25],[27]

$$q = \pi_{AB} * I$$

$\pi_{AB}$  Σταθερά Peltier (V)

$q$  Θερμότητα που ρέει στον αγωγό (W)

$I$  ηλεκτρικό ρεύμα (A)



Σχήμα 1.2.2 αριστερά σχήμα ίδια ροή ρεύματος και θερμότητας, δεξιά σχήμα αντίθετη ροή ρεύματος και θερμότητας.

### 1.2.3 Φαινόμενο Thomson

Το φαινόμενο Thomson προκύπτει από τα φαινόμενα Seebeck και Peltier. Όταν σε ένα ομογενές αγώγιμο υλικό με σταθερή θερμοκρασιακή διαβάθμιση περνάει ρεύμα τότε παράγεται ή απορροφάτε θερμότητα. [5],[23],[25],[27]

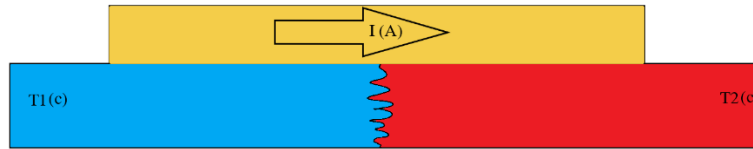
$$q = \beta * I * \Delta T$$

$q$  ροή θερμότητας (W)

$\beta$  Σταθερά Thomson (V/K)

$I$  ρεύμα (A)

$\Delta T$  διαφορά θερμοκρασίας (K)



Σχήμα 1.2.3 Σχηματική απεικόνιση φαινομένου Thomsom.

### 1.3 Δυναμική θερμοηλεκτρική συγκομιδή ενέργειας

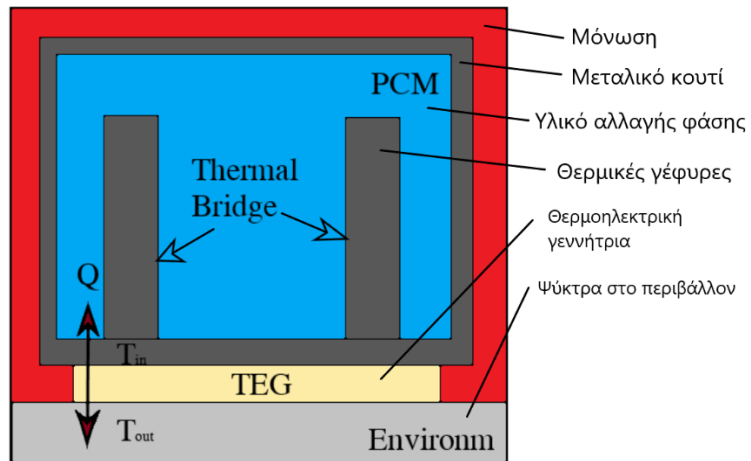
Η εκμετάλλευση της μεταβολής θερμοκρασίας στο χρόνο από το περιβάλλον μέσω μιας διατάξεις Heat Storage Unit (HSU) η οποία αποθηκεύει θερμότητα δημιουργώντας μια τοπική διαβάθμιση θερμοκρασίας από μια χρονική διακύμανση της θερμοκρασίας. Το HSU περιέχει ένα υλικό αλλαγής φάσης Phase Change Material (PCM) για την αύξηση της θερμοχωρητικότητας καθώς αυτή με την σειρά της βοηθάει στη συσσώρευση ενέργειας.

Οπότε στο εσωτερικό μιας διατάξεις HSU υπάρχει διαφορετική θερμοκρασία από το εξωτερικό και η μόνη επαφή που είναι με το περιβάλλον μέσω της TEG .

Άρα η δυναμική διαφορά θερμοκρασίας εξαρτάτε από την αποθηκευτικοί ικανότητα της μονάδας HSU και την PCM η οποία συσσωρεύει την ενέργεια με αποτέλεσμα παραγωγής θερμοηλεκτρικής ενέργειας.

Λόγο της εσωτερικής θερμοκρασίας  $T_{in}$  η εξωτερική θερμοκρασία  $T_{out}$  ακολουθεί με καθυστέρηση και αυτό οφείλεται στην θερμική σταθερά χρόνου RC δηλ.  $T = T_{out} - T_{in}$  οπού κατά μήκος της TEG έχουμε μετατροπή ενέργειας σε μεγάλη απόδοση. Με τη σωστή ομοιογενή αλλαγή φάσης φαίνεται ότι βοηθάει στην καλύτερη απόδοση του συστήματος.[28],[30],[31]





Σχήμα 1.3 Εσωτερική διάταξη δυναμικής θερμοηλεκτρικής συγκομιδής ενέργειας πειράματος

#### 1.4 Στατική θερμοηλεκτρική συγκομιδή ενέργειας

Η στατική θερμοηλεκτρική συγκομιδή ενέργειας μιας TEG είναι όταν η μία από τις δυο πλευρές της συνδέεται σε μια πηγή θερμότητας, και η άλλη πλευρά σε μια ψυχρή όπως είναι μια ψύκτρα. Οι βασικές εξισώσεις ενός ιδανικού θερμοηλεκτρικού στοιχείου πρέπει να τροποποιούνται έτσι ώστε να περιλαμβάνουν τις θερμικές αντιστάσεις σε επαφή με το TEG. Αυτό περιλαμβάνει τις θερμικές αντιστάσεις της πηγής θερμότητας ή τα αντίστοιχα θερμικά και ηλεκτρικά κυκλώματα. Το ρεύμα που ρέει μέσω της αντίστασης φορτίου είναι:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{\alpha(T) * \Delta T}{Ri + RL}$$

Όπου η τάση Seebeck είναι ίση με  $U = \alpha(T) * \Delta T$ . Οπότε η έξοδος ηλεκτρικής ισχύος του ισοδύναμου κυκλώματος μπορεί να γραφτεί ως:

$$Pel = U * I = I^2 * RL = \frac{\alpha^2(T)\Delta T^2}{(Ri + RL)^2} * RL$$

Σε μια στατική θερμική συγκομιδή, η έξοδος ηλεκτρικής ισχύος εξαρτάται από τις θερμικές αντιστάσεις, καθώς η διαφορά θερμοκρασίας στο TEG δεν είναι ίση με την εφαρμοζόμενη διαφορά θερμοκρασίας. Χρησιμοποιώντας την εξίσωση θερμότητας Fourier, η ροή θερμότητας στο κρύο και στις καυτές πλευρές είναι:

$$q_h = \alpha(T_h) * T_h * I - \frac{1}{2} I^2 R_i + \frac{\Delta T}{R}$$

$$q_c = \alpha(T_c) * T_c * I - \frac{1}{2} I^2 R_i + \frac{\Delta T}{R}$$

Όπου το R είναι η θερμική αντίσταση του TEG. Ο πρώτος όρος δείχνει το Peltier, το δεύτερο το Joule και το τρίτο το Seebeck. Η διαφορά θερμοκρασίας που εφαρμόζεται στο TEG γράφεται:

$$\Delta T = \Delta T(TEG) + R_c * q_c + R_h * q_h$$

Λαμβάνοντας υπόψη μόνο τους όρους πρώτης τάξης του  $\Delta T$  και έναν σταθερό συντελεστή Seebeck για το δεδομένο εύρος θερμοκρασίας, η διαφορά θερμοκρασίας που εφαρμόζεται στο TEG, χρησιμοποιώντας την εξίσωση θερμότητας Fourier, μπορεί να γραφτεί ως:

$$\Delta T(TEG) = \frac{\Delta T}{1 + (R_c + R_h) \left( \frac{1}{R} + \frac{a^2 T_c}{R_i + R_L} \right)}$$

Ο τελευταίος όρος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της ισχύος εξόδου μιας στατικής γεννήτριας η οποία με μαθηματική απλοποίηση μπορεί να γραφτεί ως:

$$Pel = (a\Delta T)^2 \left( \frac{R}{R_c + R_h + R} \right)^2 \frac{R_L}{(R_L + R_i^{eff})^2}$$

Όπου η πραγματική εσωτερική αντίσταση του TEG είναι ίση με:

$$R_i^{eff} = R_i + a^2 T_c (R_c + R_h) \frac{R}{R_c + R_h + R}$$

Η μέγιστη παραγωγή ισχύος της στατικής συγκομιδής μπορεί να βρεθεί από  $\frac{d}{dR_i} Pel \stackrel{def}{=} 0$ , και το αποτέλεσμα είναι ότι η αντίσταση φορτίου πρέπει να ταιριάζει με την πραγματική εσωτερική αντίσταση.

$$R_L = R_i^{eff}$$

Εάν η αντίσταση φορτίου ταιριάζει με την πραγματική εσωτερική αντίσταση, αντικαθιστώντας στον τύπο προκύπτει  $\frac{d}{dR} Pel(R_L = R_i^{eff}) \stackrel{def}{=} 0$ . Αυτό αντιστοιχεί σε θερμική αντίσταση TEG:

$$R = (R_c + R_h)\sqrt{ZTc + 1}$$

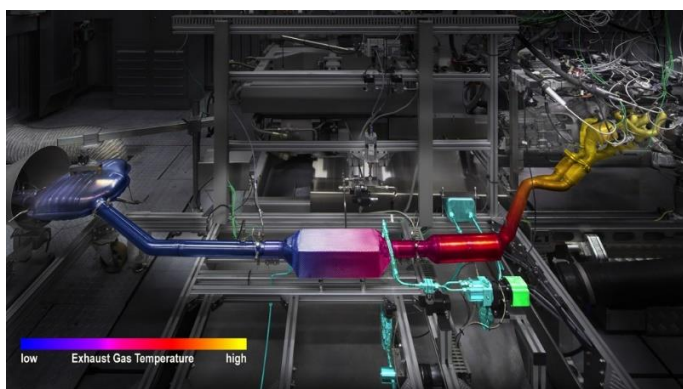
Άρα υποθέτοντας ότι η εσωτερική ηλεκτρική αντίσταση είναι σχεδόν ίση με την αντίσταση ηλεκτρικού φορτίου, η παραπάνω εξίσωση μπορεί να προσδιορίσει τα πιθανά εύρη λειτουργίας. Εάν η εσωτερική θερμική αντίσταση του TEG είναι πολύ μικρότερη από το άθροισμα των θερμικών αντιστάσεων των θερμών και κρύων πλευρών, το φαινόμενο Peltier σχεδόν δεν υπάρχει λόγω μικρής ροής θερμότητας. Παρ'όλα αυτά, το σύστημα πρέπει να σχεδιάζεται η θερμική αντίσταση των θερμών και κρύων πλευρών των επαφών, επιτυγχάνοντας τον βέλτιστο συνδυασμό ροής θερμότητας και  $\Delta T$  κατά μήκος του TEG.[29]

## Κεφάλαιο 2: Εταιρία που εφάρμοσε TEG σε όχημα

### 2.1 Εφαρμογή σε όχημα της BMW

Η αρχική σκέψη της BMW ήταν η ανάκτηση της χαμένης ενεργείας μιας μηχανής εσωτερικής καύσης η οποία λόγω τριβών και θερμικών απωλειών έφτανε το πολύ 60% συνολική απόδοση. Η μεγαλύτερη απώλεια που έχει είναι λόγω υψηλής θερμότητας η οποία χάνεται μέσω της εξάτμισης και του συστήματος ψύξης του κινητήρα. Η τεχνολογία BMW EfficientDynamics ασχολείται με την αύξηση της απόδοσης του κινητήρα ,για το λόγο αυτό δημιούργησε πολλά επί μέρους τμήματα έτσι ώστε να έχει καθένα το δικό του project για την καλύτερη προσεγγίσει στη χαμένη ενέργεια. Το project που έχει ενδιαφέρον να αναφερθεί είναι θερμοηλεκτρική γεννήτρια (thermoelectric generator).

Τα πειράματα και οι έρευνες που έγιναν έδειξαν δυο εναλλακτικά συστήματα έχουν ενδιαφέρον στην ανάκτηση της ενέργειας, το ένα είναι μια μονάδα στην εξάτμιση ενός οχήματος και η άλλη στο σύστημα ανακυκλοφορίας των καυσαερίων του.

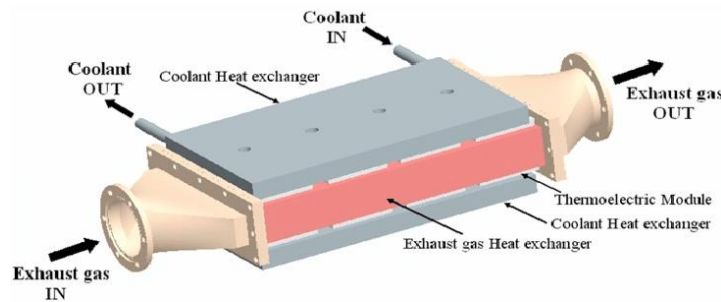


Σχήμα 2.1 Πειραματική διάταξη θερμοκρασιακής καταγραφής σε εξάτμιση της BMW

([https://www.motorauthority.com/news/1065596\\_bmw-showcases-thermoelectric-technology-in-5-series](https://www.motorauthority.com/news/1065596_bmw-showcases-thermoelectric-technology-in-5-series))

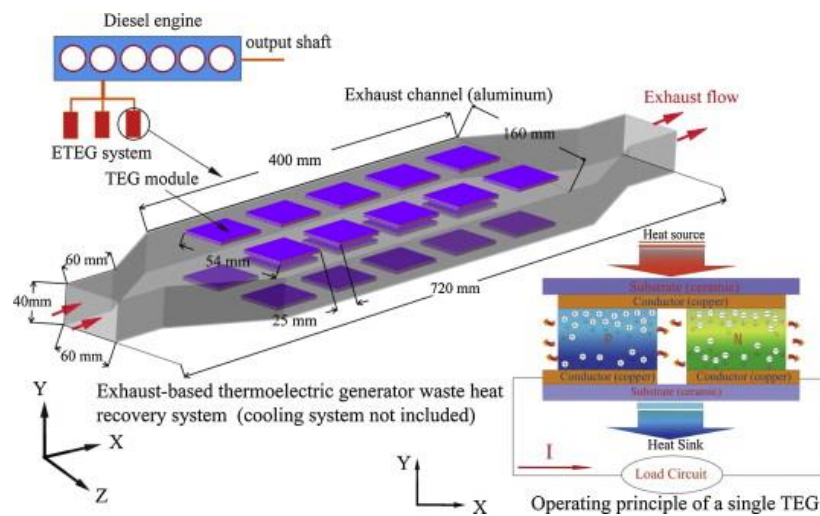
Η θερμοηλεκτρική γεννήτρια μετατρέπει τη θερμότητα άμεσα σε ηλεκτρική ενέργεια και αυτό είχε ως αποτέλεσμα να χρησιμοποιηθεί ακόμα και από την NASA σε δορυφόρους όπου τοποθέτησε σε τροχιά γύρο από την γη. Επηρεασμένοι η BMW από μια εφαρμογή σε μια εκλεπτυσμένη βασικά τεχνολογία που έχει χρησιμοποιηθεί σε διαστημικούς ανιχνευτές λειτουργίας για περισσότερο από τέσσερις δεκαετίες από τη NASA, και την αεροναυπηγική και διαστημική υπηρεσία των Ηνωμένων Πολιτειών βοήθησε στην ανάπτυξη αυτής της ιδέας. Η αρχή πίσω από αυτή την τεχνολογία είναι γνωστή ως η

επίδραση Seebeck, δηλαδή ότι μια ηλεκτρική τάση μπορεί να δημιουργηθεί μεταξύ των δύο θερμοηλεκτρικών ημιαγωγών αν έχουν διαφορετικές θερμοκρασίες. Το αποτέλεσμα ήταν να μην έχει πολύ καλή εφαρμογή στην αυτοκινητοβιομηχανία οπότε σταμάτησε το project της BMW έως ότου τα τελευταία χρόνια η πρόοδος στον τομέα της έρευνας υλικών έχει οδηγήσει σε ανακαλύψεις που έχουν βελτιώσει τις επιδόσεις της TEG σε πολλές ενότητες.[10-14],[26]



Σχήμα 2.2 Σχηματικό διάγραμμα μιας συμβατικής θερμοηλεκτρικής γεννήτριας αυτοκινήτου που χρησιμοποιεί τη θερμότητα καυσαερίων από τα καυσαέρια.

([https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-of-a-conventional-automotive-thermoelectric-generator-using-the-exhaust\\_fig1\\_347692375](https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-of-a-conventional-automotive-thermoelectric-generator-using-the-exhaust_fig1_347692375))



Σχήμα 2.3 Αναλυτικός σχεδιασμός θερμοηλεκτρικού συστήματος γεννήτριας σε εξάτμιση

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890414004725>)

Η τεχνολογία αυτή είχε ξεκινήσει από το 2008 με την προσθήκη TEGs στο σύστημα εξάτμισης όπως έχει αναφερθεί και πιο πάνω. Αυτό το σύστημα είχε μέγιστη ισχύς 200 watt οπότε είχε χαμηλή η ενεργειακή απόδοση. Μετά από πολλά βήματα και πολλά πειράματα η BMW έφτασε σε σημείο να παράγει 600 watt ηλεκτρικής ενέργειας ,επειδή βελτίωσε την ποιότητα τον υλικών κατασκευής, το βάρος και το σχήμα των TEGs ενώ

μελλοντικά είχε στόχο τα 1000 watt. Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το BMW X6 για της πειραματικές μέτρησης και εφαρμογές.

Η δεύτερη εφαρμογή που μελετήθηκε ήταν σύστημα ανακυκλοφορίας των καυσαερίων. Στο σημείο αυτό που τοποθετήθηκε έδειξε πράξει ότι παράχθηκαν 250 watt και ότι οι ρύποι των καυσαερίων μειωθήκαν κατά 2% καθώς και η κατανομή της θέρμανσης στα επιμέρους μέρη του κινητήρα κατά την ψυχρή εκκίνηση και επιπλέον την παροχή ζέστης μέσα στην καμπίνα του οχήματος. Επίσης στα φρένα κατά την επιβράδυνση, στάση και επιτάχυνση παρατηρήθηκε υψηλή θερμοκρασία η οποία είναι ιδανική να τροφοδοτήσει της TEGs λόγω του μεγάλου ποσοστού ενέργειας που παράγουν. Οι ερευνητές προβλέπουν ότι TEGs θα οδηγήσει σε εξοικονόμηση καυσίμου της κατανάλωσης έως και 5 % σε πραγματικές καθημερινές συνθήκες οδήγησης στο μέλλον. Στην ουσία η έξυπνη διαχείριση της θερμότητας μπορεί να βελτιώσει την απόδοση του κινητήρα και να προαφάιρει χαμηλότερη κατανάλωση και λιγότερους ρίπους. Σαν αυτό το project είχαν αναπτυχθεί και από άλλες αυτοκινητοβιομηχανίες όπως η Ford η Porsche. .[10-14],[26]

## **B. Πειραματικό μέρος**

### **Κεφάλαιο 3: Εγκατάσταση πειράματος**

#### **3.1 Σκοπός πειράματος και υλικά που χρησιμοποιήθηκαν**

Λόγο των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται σε ένα όχημα με μηχανή εσωτερικής καύσης, έχει μεγάλο ενδιαφέρον η εκμετάλλευση της απορριπτόμενης θερμοκρασίας με μικρά έξυπνα θερμοηλεκτρικά στοιχεία. Με αυτό σαν γνώμονα έγινε η εγκατάσταση της πειραματικής διάταξης, έτσι ώστε να αποδειχθεί ότι η τοποθέτησή της διάταξης αυτής πάνω σε καίρια σημεία ενός οχήματος μπορεί να μας δώσει μια τάση αρκετή ώστε να τροφοδοτήσει έναν αισθητήρα. Η διαδικασία αυτή γίνεται με στατική θερμοηλεκτρική συγκομιδή ενέργειας η οποία σημαίνει γρήγορες αλλαγές θερμοκρασίας με αποτέλεσμα παραγωγής ενέργειας μέσω της θερμοηλεκτρικής γεννήτριας.

Το πείραμα έχει μια σειρά προγραμματισμένων μετρήσεων σε κύκλους μετρήσεων. Ο πρώτος κύκλος μέτρησης έχει να κάνει με το όχημα όταν είναι στο ρελαντί και η πειραματική διάταξη είναι τοποθετημένη στο κάλυμμα κυλινδροκεφαλής του οχήματος. Έπειτα η επόμενη σταδιακές μετρήσεις έχουν να κάνουν την χρήση του οχήματος σε έναν κύκλο λειτουργίας σε περιοχή εκτός και εντός πόλης με την πειραματική διάταξη στο ίδιο σημείο όπως και πριν.

Στο πειραματικό μέρος χρησιμοποιήθηκαν ένας (1) αισθητήρας θερμοκρασίας (LASCAR) ,ένας (1) μετρητής τάσης (USB 5106), μια (1) θερμοαγώγιμη πάστα (Arctic MX-4 Thermal compound), μια (1) θερμοηλεκτρική γεννήτρια (TEC1-07103) ,μια (1) ψύχρα αλουμινίου (Aluminum Heat Sink 50x45x18mm), και τέλος ένα (1) σώμα αλουμινίου (60x53x8mm) για την καλύτερη θερμική ροή πάνω στην θερμογεννήτρια. Για την συναρμολόγηση της πειραματικής διατάξεις χρειάστηκε να γίνουν τέσσερις (4) τρύπες (3mm) και να περαστούν τέσσερις (4) βίδες από πλαστικό υλικό (νάιλον), έτσι ώστε να απομονωθούν θερμικά τα δυο μέρη βάσης και ψήκτρας και να υπάρχει καλύτερο θερμοκρασιακό αποτέλεσμα προς εκμετάλλευση από την TEG.



### Χαρακτηριστικά

Είδος κεφαλής : Cheese head

Τύπος κοπής κεφαλής : Phillips

Σπείρωμα: M3

Μήκος βίδας: 20mm

Υλικό: Nylon 66

Εικόνα 3.1.1 Βίδες πλαστικές διαμέτρου 3mm και μήκους 20mm.

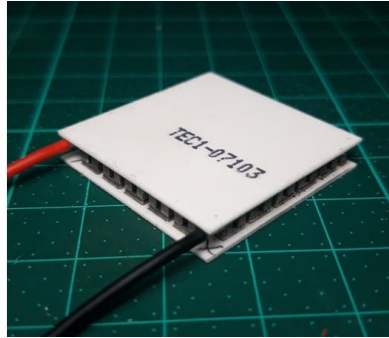


Εικόνα 3.1.2 Πειραματική διάταξη πτυχιακής εργασίας

Η θερμοαγώγιμη πάστα Arctic MX-4 Thermal compound έχει θερμική αγωγιμότητα (Heat Flow):  $8,5\text{W/mK}$ , χαμηλή θερμική αντίσταση και συμπεριφέρεται σαν μονωτής. Για τους λόγους αυτούς προτιμήθηκε η συγκεκριμένη πάστα έτσι ώστε να τοποθετηθεί μέσα στο σώμα αλουμινίου για να έχει μεγαλύτερη ακρίβεια στην μέτρησης ο αισθητήρας θερμοκρασίας Lascar στο πείραμα.

Το θερμοηλεκτρικό στοιχείο TEC1-07103 χρησιμοποιήθηκε για της ανάγκες του πειράματος με χαρακτηριστικά την μέγιστη θερμοκρασία έως  $68^{\circ}\text{C}$ , μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας  $138^{\circ}\text{C}$ , μέγιστη θερμοχωρητικότητα  $18\text{W}$ , μέγιστη τάση λειτουργίας  $8.5\text{V}$ , μέγιστο ρεύμα λειτουργίας  $3.3\text{A}$  και τέλος το υλικό  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .



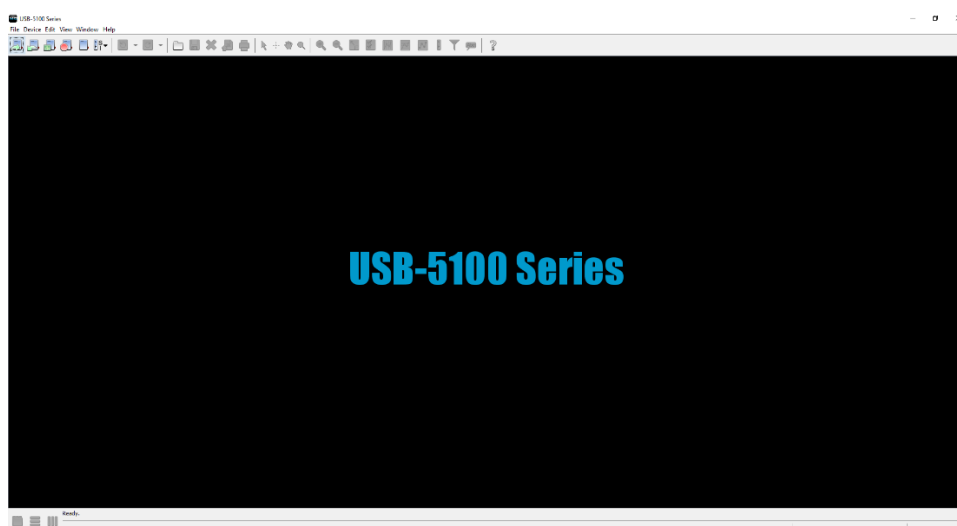


Σχήμα 3.1.3 Θερμοηλεκτρικό στοιχείο TEC1-0703 (30x30x4.7mm)

### Γενικά χαρακτηριστικά

Τύπος στοιχείου Peltier	TEC (Thermoelectric cooler)
Κατασκευαστικό σχεδιάγραμμα	Σφραγισμένο χωρίς σιλικόνη
Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας (Max)	138°C
Μέγιστη τάση (Max)	8.5V
Μέγιστο ρεύμα (Max)	3.3A
Αντίσταση	1.94 Ohm
Μέγιστη ισχύς (Max)	18W
Μέγιστη θερμοκρασία (Max)	68°C
Συνένωση P-N	71 ζευγάρια
Υλικό	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (aluminum oxide)
Μέγεθος καλωδίου	16AWG
Μήκος καλωδίου	150mm
Υλικό μόνωσης καλωδίων	Τεφλόν
Βάρος	14g
Μέγεθος	30x30x4.7mm
Κατασκευαστής PN	TEC1-07103
Κατασκευαστής	Hebei

Για την μέτρηση της τάσης χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας USB-5106 Series της εταιρίας Measurement computing. Έχει πολλές λειτουργίες μια εκ των οποίων είναι η μέτρηση της τάσης, οποία θα χρειαστεί στο πειραματικό μέρος για την διεξαγωγή αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων. Το Software της είναι πολύ απλό και εύκολο στην χρήση, τα μέρη που αποτελείται είναι η μια συσκευή με οθόνη που δείχνει της μέτρησης που κάνει την ώρα που λειτουργεί, στο κάτω μέρος έχει 4 υποδοχές για καλώδια οπότε η κάθε μια έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί για διαφορετικές μέτρησης. Στην άλλη άκρη του καλωδίου ενώνεται με την έξοδο της TEG έτσι ώστε να μετρηθεί η τάση που βγάζει.



Σχήμα 3.1.4 Περιβάλλον στο Software του USB-5106

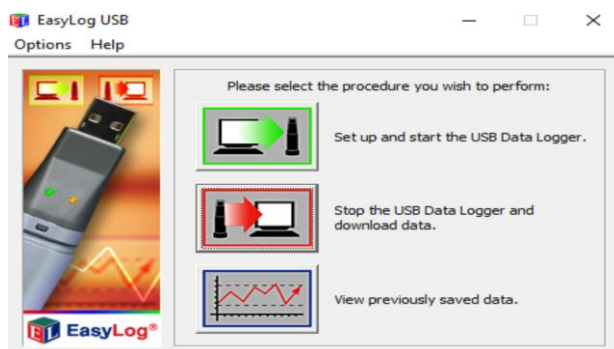
Το περιβάλλον στο software του αισθητήρα της εταιρίας Measurement Computing Corporation είναι απλό στην σύλληψη και δεν χρειάστηκε πολύς χρόνος για την ρύθμιση του ανάλογα με της ανάγκες της πτυχιακής εργασίας. Στο πάνω μέρος από αριστερά έως την μέση της γραμμής εργασιών έχει όλα τα εργαλεία που χρειάστηκαν για την αποθήκευση των μετρήσεων μετά από της καταγραφές που έγιναν κατά την πειραματική μελέτη.



Σχήμα 3.1.5 αισθητήρας τάσης (USB-5106 Series)

<https://www.mccdaq.com/usb-data-acquisition/USB-5100-Series.aspx>

Ο αισθητήρας θερμοκρασίας που χρησιμοποιήθηκε είναι ο EL-USB-TC της εταιρίας Lascar. Με τον κατάλληλο προγραμματισμό του αισθητήρα που είναι επίσης πολύ εύκολος δίνει γρήγορα αποτελέσματα, μετά από κάθε μέτρηση που έγινε, σε μορφή διαγράμματος θερμοκρασίας στο χρόνο και ο αναγνώστης είναι εύκολο να καταλάβει αμέσως τι συμβαίνει στην μέτρηση που βλέπει. Η μια άκρη του αισθητήρα έχει USB θύρα η οποία συνδέεται στην υπολογιστή έτσι ώστε να προγραμματιστή για μέτρηση. Η ρύθμιση του είναι πολύ απλή και για την εξακρίβωση ότι όλα πάνε καλά έχει δυο ενδεικτικές λυχνίες η μια με πράσινο και μια με κόκκινο. Η πράσινη ανάβει δυο φορές η μια όταν ο αισθητήρας ρυθμιστή και έπειτα την στιγμή που αποσυνδεθεί από τον υπολογιστή ανάβει ως ένδειξη ότι είναι έτοιμος για χρήση και η δεύτερη λειτουργία της πράσινης λυχνίας είναι την στιγμή που θα συνδεθεί με το καλώδιο (τύπου K) ως ένδειξη ότι από εκείνη τη στιγμή αρχίζει η μέτρηση. Η κόκκινη λυχνία συμβολίζει ότι η μπαταρία του (τύπου ½ AA 3.6V) είναι εξαντλημένη, για αυτό μετά από κάθε εργασία που γίνεται στον υπολογιστή πρέπει να αποσυνδέεται άμεσα ώστε να μην τελειώνει γρήγορα η μπαταρία του.



(1)



(2)

(1) Σχήμα 3.1.6 Περιβάλλον στο Software του αισθητήρα θερμοκρασίας EL-USB-TC

(2) Σχήμα 3.1.7 αισθητήρας θερμοκρασίας EL-USB-TC (Πηγή <https://www.lascarelectronics.com/easylog-el-usb-tc>)

## 3.2 Σημεία ενδιαφέροντος μέτρησης πειράματος

### 1<sup>ος</sup> Κύκλος

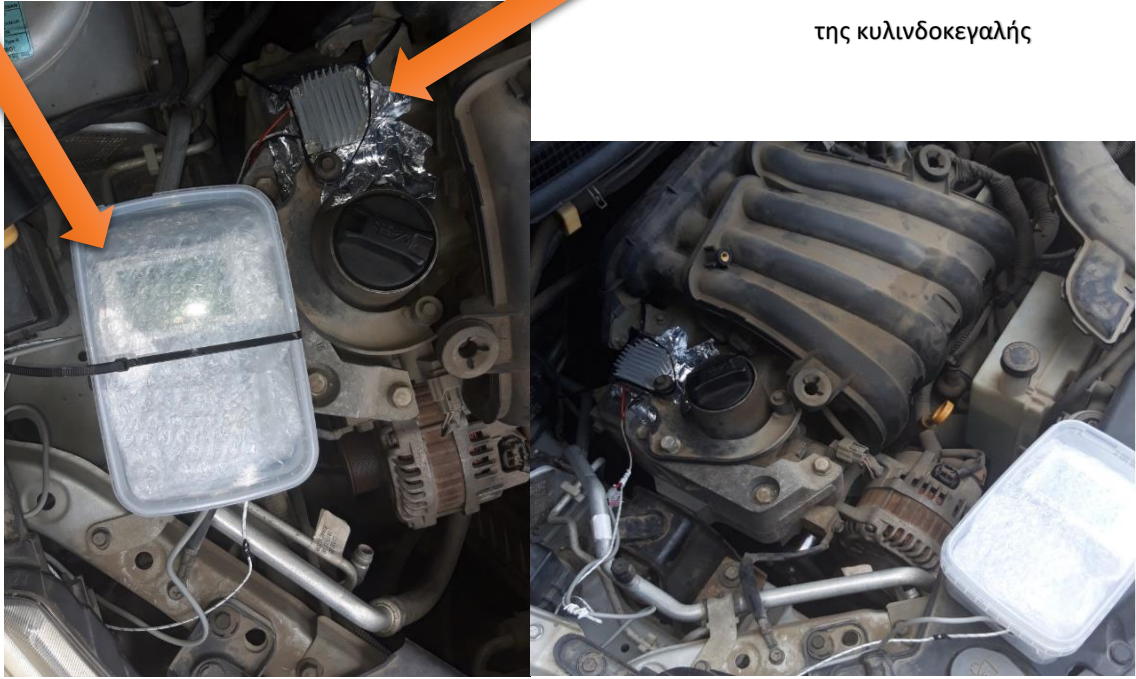
#### i) Κάλυμμα κυλινδροκεφαλής σε πορεία

Στο πρώτο πείραμα τοποθετήθηκε η πειραματική διάταξη στο όχημα στην περιοχή του κινητήρα πάνω στο κάλυμμα κυλινδροκεφαλής. Στη συνέχεια έγινε η πορεία όπου τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μέγιστη τάση ήταν 0,40 (V) και η μικρότερη 0,046 (V) επίσης η θερμοκρασία από 26,5 °C έως 72 °C. Άρα για παράδειγμα ένας αισθητήρας θερμοκρασίας θα μπορούσε να τροφοδοτηθεί από την TEG της πειραματικής διάταξης. Συνεπώς το πείραμα αποδεικνύει ότι με μια μικρή διαδρομή και έναν ελάχιστο χρόνο η TEG είναι ικανή να παρέχει αυτονομία σε έναν αισθητήρα, οπότε αυτόματα σημαίνει ότι έχει αυτονομία τάσης κατά την λειτουργία του οχήματος. Να σημειωθεί ότι λόγω της κατασκευής της πειραματικής διάταξης τα σημεία ενδιαφέροντος πάνω στο όχημα τοποθετήθηκαν με τρόπο τέτοιο ώστε να κάνει καλή επαφή το σώμα της πειραματικής διάταξης με το σημείο στο οποίο έγινε η μέτρηση.

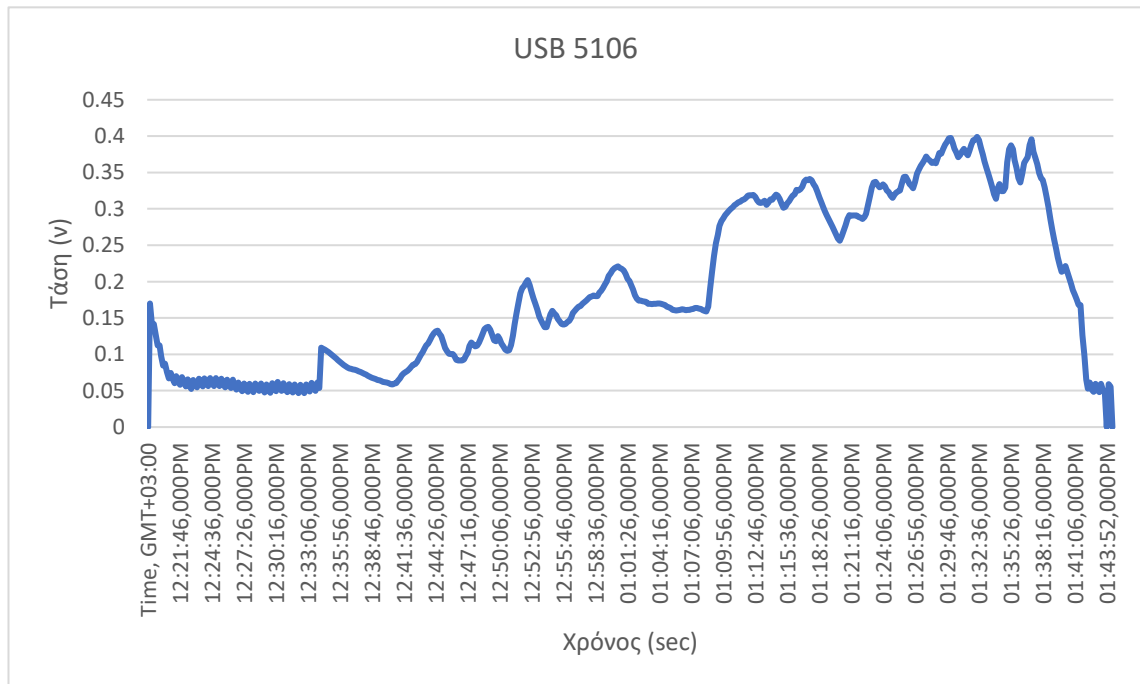
Σε αυτό το πείραμα παρατηρήθηκε ότι κατά το ξεκίνημα του οχήματος είχε την μεγαλύτερη τάση. Αυτό συμβαίνει γιατί είναι με στατική συγκομιδή ενέργειας δηλαδή δεν υπάρχει μεγάλη θερμοκρασιακή διαφορά έτσι ώστε να μπορέσει η TEG να παρέχει μεγαλύτερη τάση σε μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης.

Το κουτί της πειραματικής διάταξης για την προστασία και σωστή τοποθέτηση των αισθητήρων για της μετρήσεις

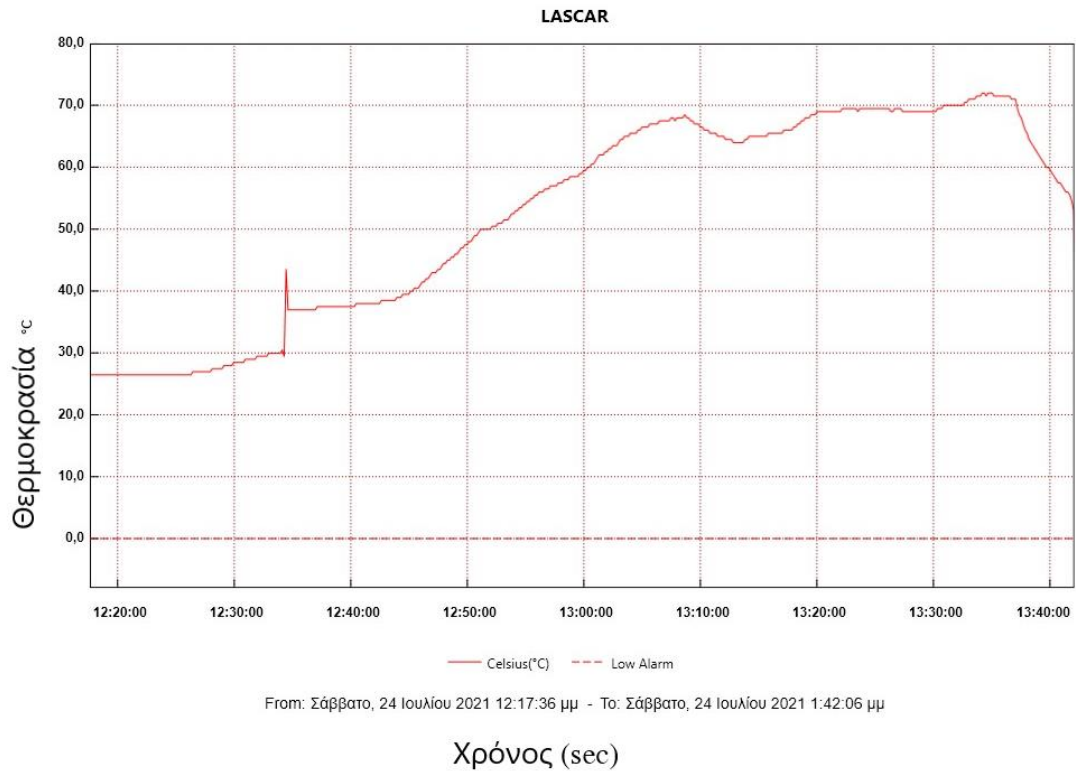
Τοποθετημένη η διάταξη της θερμογεννήτριας μαζί με την αλλουμινένια βάση και ψηκτρα στο μεταλικό μέρος της κυλινδροκεφαλής



Εικόνα 3.2.1 Τοποθετημένη πειραματική διάταξη πάνω στο κάλυμμα κυλινδροκεφαλής.



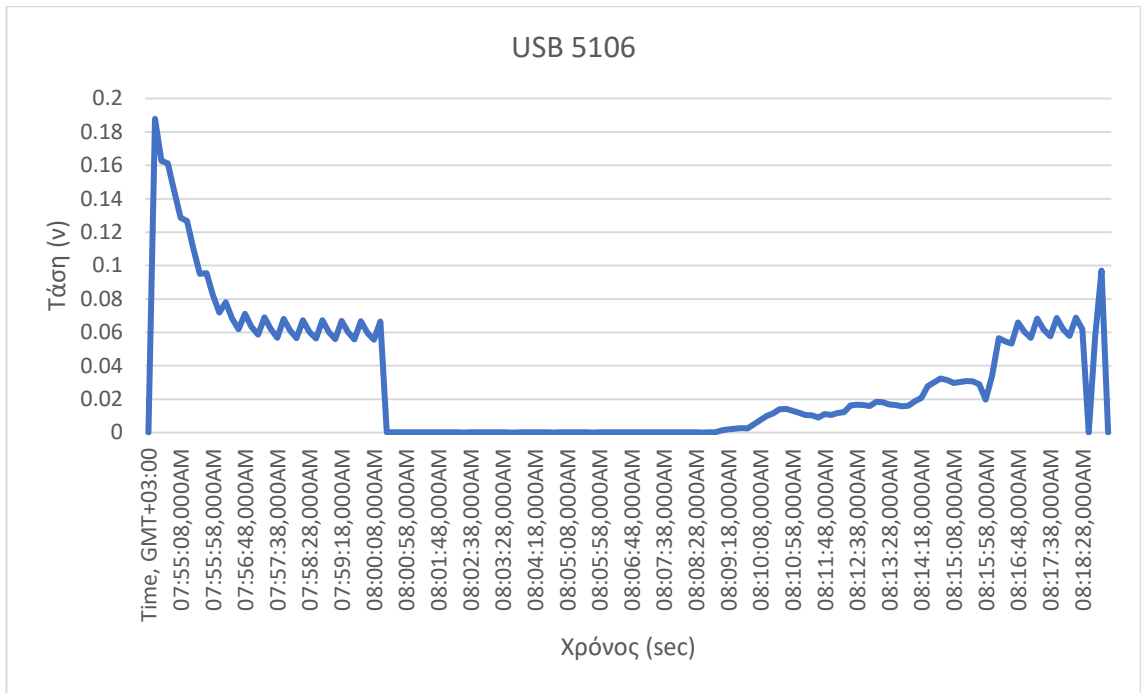
Σχήμα 3.2.2 Διάγραμμα Τάσης-Χρόνου σε πορεία



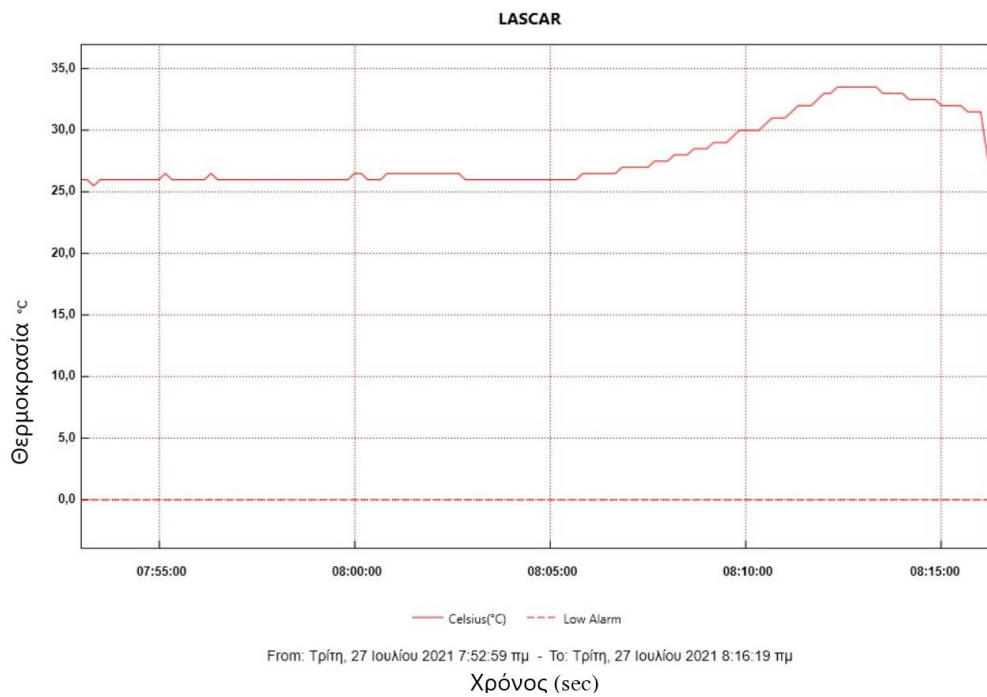
Σχήμα 3.2.3 Διάγραμμα Θερμοκρασίας-Χρόνου σε πορεία

## ii) Κάλυμμα κυλινδροκεφαλής στο ρελαντί

Το πείραμα στο ρελαντί δείχνει επίσης ότι κατά το ξεκίνημα του οχήματος έχει την μεγαλύτερη τάση εξόδου και στην συνέχεια η τάση αυτή σταθεροποιείται και προς το τέλος έχει μια μικρή αύξηση τάσης έως το κλείσιμο της μηχανής. Σε αντίθεση με την πάνω περίπτωση φαίνεται η διαφορά και στην θερμοκρασία που έχει και αυτό οφείλεται στην λειτουργία του οχήματος οπού στην προκειμένη περίπτωση είναι σε απλή λειτουργία και για αυτό το λόγο δεν έχει μεγάλες θερμικές απώλειες. Η μέγιστη τάση που μετρήθηκε είναι 0,46 (V) και η ελάχιστη 0,027 (V), επίσης η μέγιστη θερμοκρασία είναι 33,5 °C και η ελάχιστη 25,5 °C. Η συνθήκες στις οποίες έγιναν οι μέτρησης ήταν την περίοδο καλοκαιριού και μπορεί ευκολά κάποιος να αντιληφθεί ότι οι θερμοκρασίες και οι τάσης ποικίλουν ανάλογα την εποχή την ώρα και το υψόμετρο, για τα δεδομένα εκείνη τη χρονική στιγμή τα νούμερα ήταν αντιπροσωπευτικά μιας γενικής κατάστασης του οχήματος όταν λειτουργεί υπό κανονικές συνθήκες για να καταλάβει κάποιος ότι το πείραμα αποδεικνύει ότι και στο ρελαντί ένα όχημα έχει θερμικές απώλειες που μπορούμε να εκμεταλλευτούμε για την τροφοδότηση κάποιου αισθητήρα θερμοκρασίας.



Σχήμα 3.2.4 Διάγραμμα Τάσης-Χρόνου στο ρελαντί



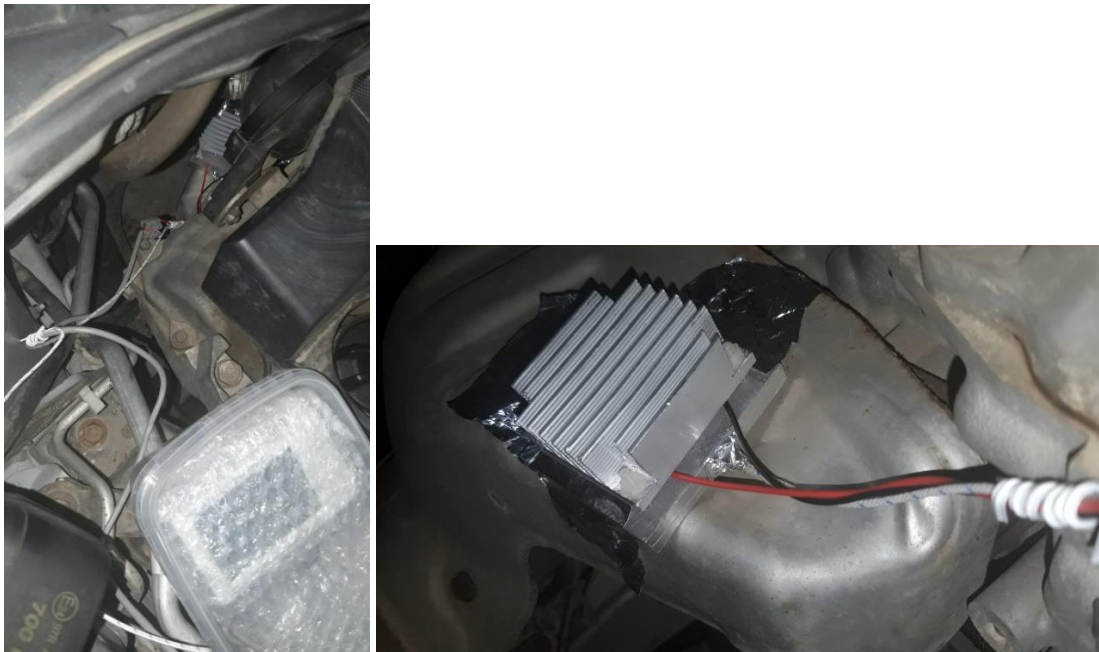
Σχήμα 3.2.5 Διάγραμμα Θερμοκρασίας-Χρόνου στο ρελαντί



## 2<sup>ος</sup> Κύκλος

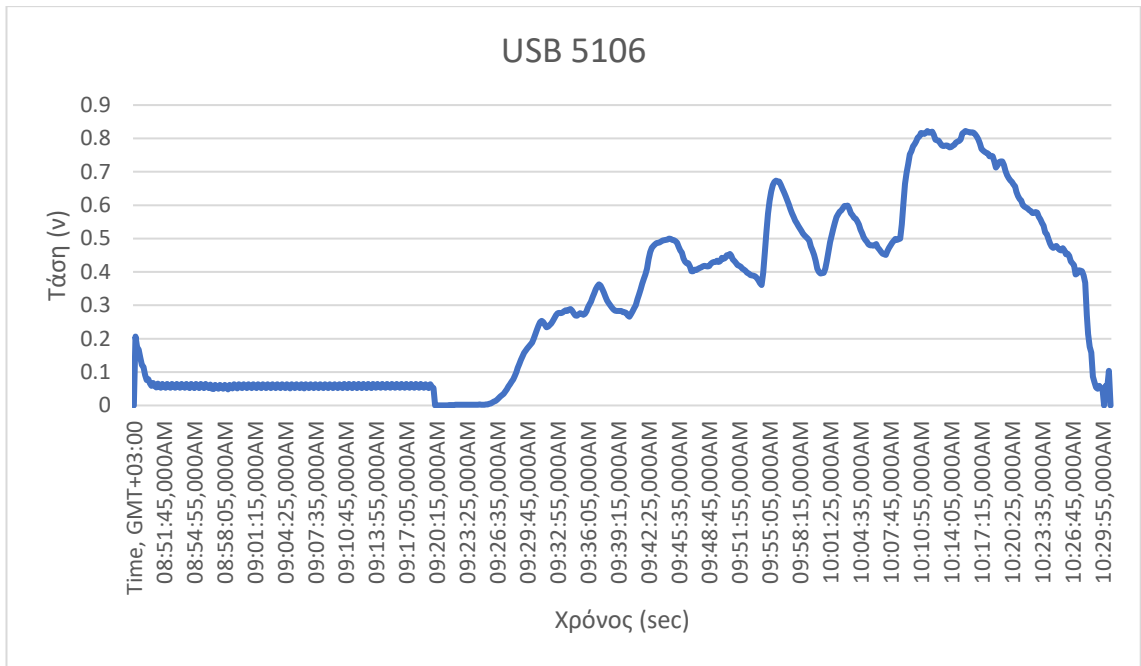
### i) Κάλυμμα πολλαπλής εξαγωγής σε πορεία

Το σημείο της πολλαπλής εξαγωγής καυσαερίων του κινητήρα έχει μεγάλο ενδιαφέρον γιατί είναι το σημείο στο οποίο έχει και της μεγαλύτερες θερμοκρασιακές απώλειες λόγω της υψηλής θερμοκρασίας που αναπτύσσει κατά την λειτουργία ενός οχήματος. Στα αποτελέσματα του πειράματος διακρίνεται ευκολά ότι στο σημείο της πολλαπλής εξαγωγής έχει της πιο υψηλές θερμοκρασίες που μπορούν να ξεπεράσουν τους 90-100°C γιατί ένα βήμα πιο πίσω είναι βαλβίδα εξαγωγής η οποία μπορεί να φτάσει και 650°C. Άρα για αυτό το λόγο η πειραματική διατάξει τοποθετήθηκε στην πολλαπλή εξαγωγής, όπως φαίνεται παρακάτω, και οι μέτρησης έδειξαν μέγιστη τάση 0,83 (V) και ελάχιστη 0,08 (mV), και οι θερμοκρασίες αντίστοιχα, μέγιστη θερμοκρασία 91,0 °C και ελάχιστη 20,6 °C. Η διατομή για αυτό το πείραμα ήταν ακριβώς ίδια όπως και στον πρώτο κύκλο μέτρησης για να υπάρχει και σύγκριση των δυο αυτών σημείων. Οπότε αυτή η τάση που παράγει η TEG μπορεί να χρησιμοποιεί για την τροφοδότηση ενός αισθητήρα θερμοκρασίας.

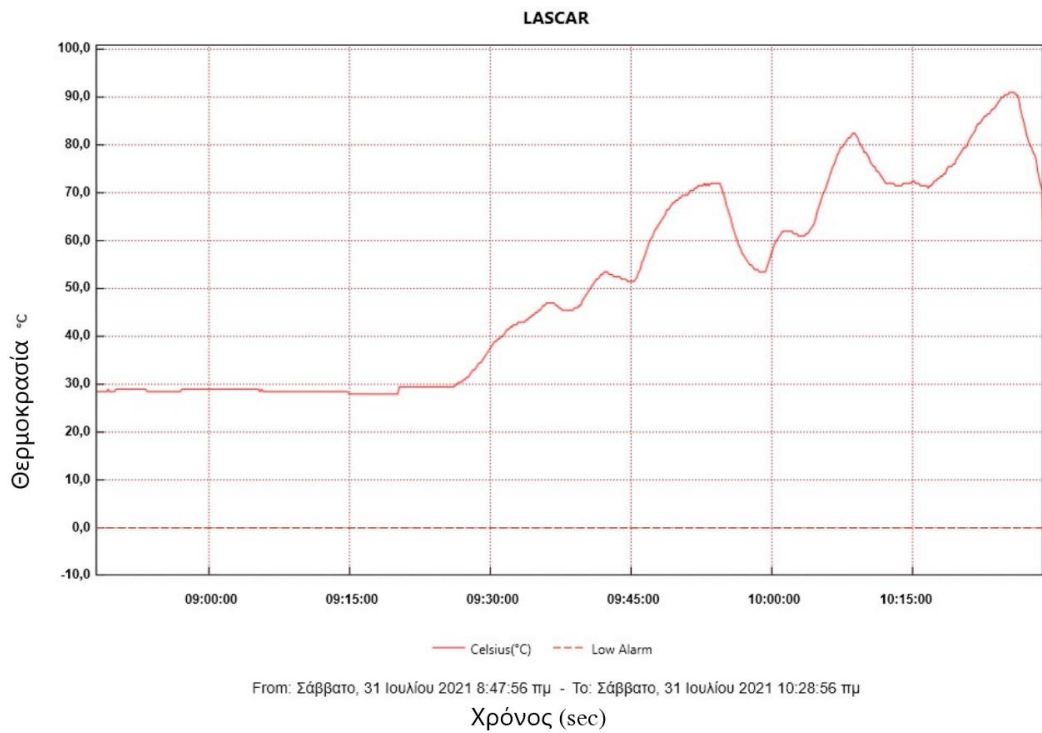


Εικόνα 3.2.6 Τοποθετημένη πειραματική διάταξη πάνω στο κάλυμμα πολλαπλής εξαγωγής.





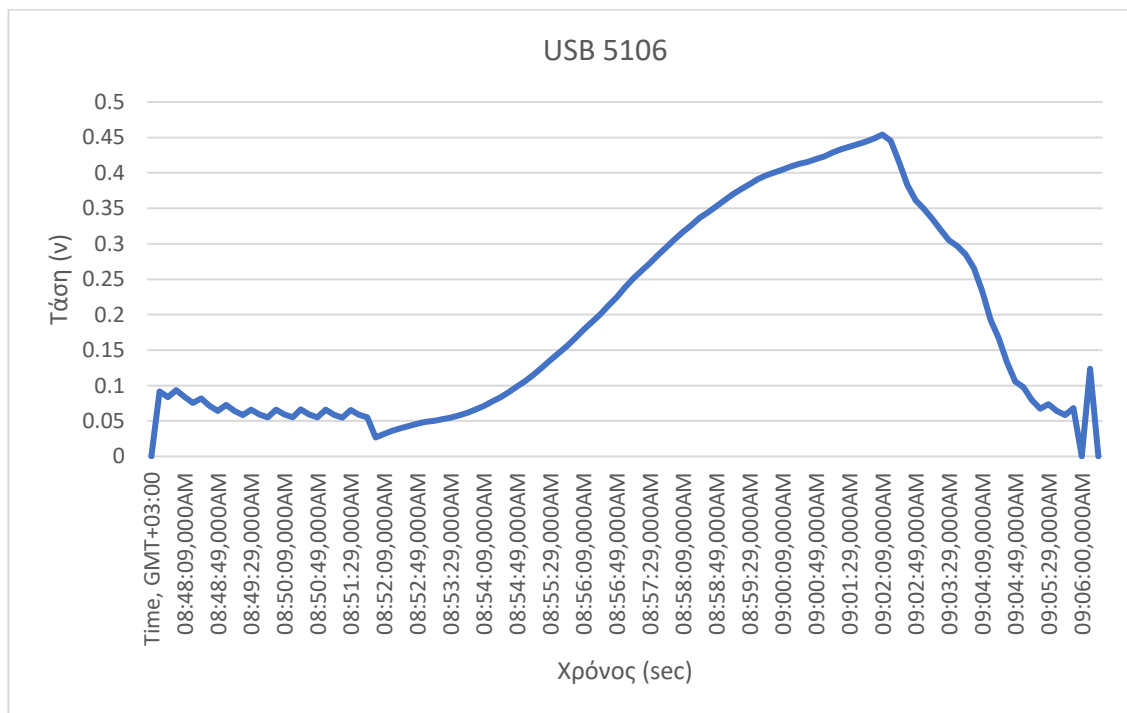
Σχήμα 3.2.7 Διάγραμμα Τάσης-Χρόνου στο ρελαντί



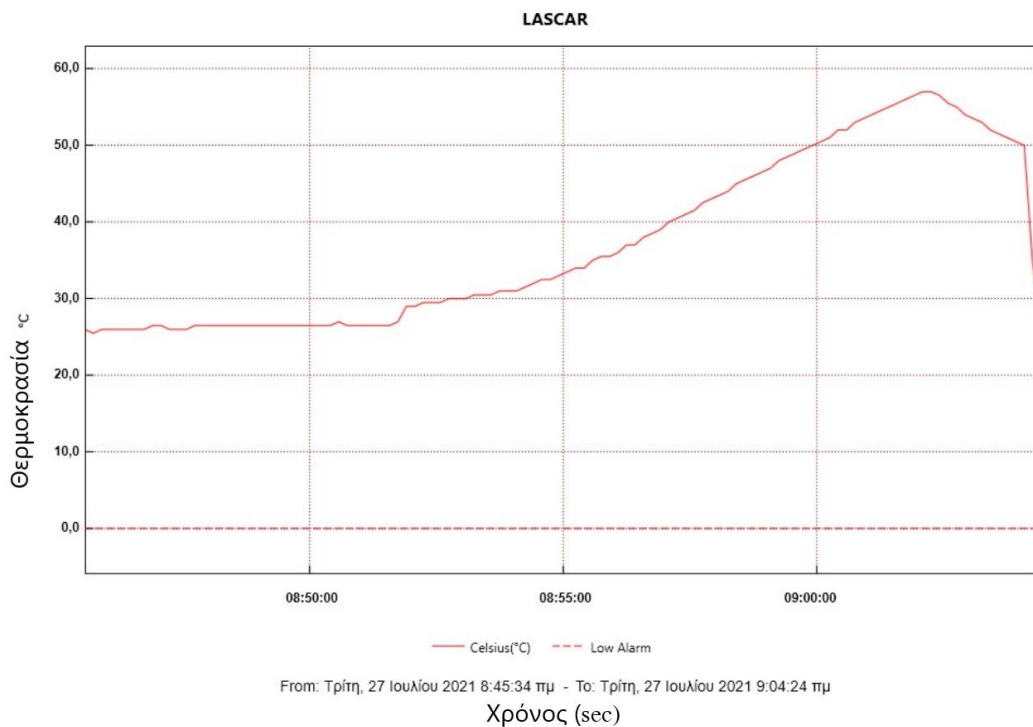
Σχήμα 3.2.8 Διάγραμμα Θερμοκρασίας-Χρόνου στο ρελαντί

## ii) Κάλυμμα πολλαπλής εξαγωγής στο ρελαντί

Το όχημα στο ρελαντί δεν υποβάλλεται σε μεγάλη καταπόνηση οπότε είναι λογικό να παρατηρηθεί ότι η θερμοκρασία που παράγει εκείνη τη στιγμή φτάνει ως ένα μέγιστο σημείο και μετά πέφτει και σταθεροποιείται. Άρα αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι αισθητήρες τάσης και θερμοκρασίας της TEG να διαβάζουν μικρές διακυμάνσεις στις μέτρησής τους. Είναι όμως φανερό ότι ακόμα και σε αυτήν την περίπτωση η μεγαλύτερη τάση που διαβάζει ο αισθητήρας είναι αρκετή για τα δεδομένα που χρειάζεται σε αυτήν την περίπτωση που είναι αρκετό να τροφοδοτήσει έναν αισθητήρα. Τα αποτελέσματα έδειξαν μέγιστη τάση 0,45 (V) και η μέγιστη θερμοκρασία 57,0 °C. Οι θερμοκρασίες που έφτασε είναι λογικές αν παρατηρηθεί και από παραπάνω ότι αυτό το σημείο έχει οριστεί από τον κατασκευαστή ως το πιο θερμικά υψηλόβαθμο και ο λόγος είναι τα καυσαέρια τα οποία βγαίνουν μετά την καύση. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το συγκεκριμένο σημείο ήταν πολύ δύσκολο να τοποθετηθεί η πειραματική διατάξη καθώς η μηχανική διάταξη είναι τέτοιας μορφής η οποία δεν έχει πολύ ελεύθερο χώρο να περάσει τίποτα το οποίο δεν έχει να κάνει με κυρία μέλη της μηχανής, οπότε η ακρίβεια της τοποθέτησης έγινε με τον καλύτερο δυνατό τρόπο όπως φαίνεται και παραπάνω στο Σχήμα 3.2.9 και Σχήμα 3.2.10 .



Σχήμα 3.2.9 Διάγραμμα Τάσης-Χρόνου στο ρελαντί



Σχήμα 3.2.10 Διάγραμμα Θερμοκρασίας-Χρόνου στο ρελαντί

Οι μετρήσεις που έγιναν στα πλαίσια του πειράματος ήταν σε πραγματικές συνθήκες διότι ο σκοπός της εργασίας είναι να μελετηθεί η τάση που μπορεί να προσφέρει ένα όχημα όταν λειτουργεί στην καθημερινότητα. Το σενάριο μιας διαδρομής είναι ένα μέρος από αυτό που μπορεί να κάνει μια TEG σε ένα σημείο και πόσο μάλλον αν τοποθετηθούν περισσότερες από μια και σε περισσότερα σημεία πάνω στο όχημα σε μια καθημερινή διαδρομή από το σπίτι στη δουλειά. Οι καιρικές συνθήκες έχουν μεγάλο ρόλο γιατί οι τιμές της τάσης εξόδου είναι ανάλογες της διαφοράς θερμοκρασίας όπως φαίνεται παραπάνω, άρα μια τάση εξόδου ποικίλη ανάλογα την εποχή την ώρα και μέρα από τη στιγμή της εκκίνησης του οχήματος για μια διαδρομή.

Τα πειραματικά αποτελέσματα για τους κύκλους μέτρησης έδειξαν ενδιαφέρον για μελέτη σε ακόμα μεγαλύτερης και πολύωρες διαδρομές οι οποίες θα είναι αναμενόμενο να εμφανίσουν ακόμα μεγαλύτερα αποτελέσματα στην μέτρησης. Η εφαρμογή και σε άλλου είδους οχήματα όπως λεωφορεία, φορτηγά, γεωργικά οχήματα, αεροπλάνα, πλοία και πολλά αλλά έχει μεγάλο ενδιαφέρον να γίνει κατανοητό ότι μια διάταξη τέτοιας μορφής μπορεί να αποτελέσει μια χρήσιμη για το μέλλον εφαρμογή η οποία σκοπό θα έχει να βελτιώσει την απόδοση και οικονομία του εκάστοτε οχήματος.

### 3.3 Συμπεράσματα

Το αποτέλεσμα τους παρούσας πτυχιακής εργασίας αποδεικνύει ότι ένα όχημα από την αρχή λειτουργίας του μέχρι να σταματήσει, το ποσοστό απόδοσης που παράγει είναι γύρω στο 60% στις μέρες τους. Τους τρόπος που μπορεί να το βελτιώσει εύκολα με οικονομικό και απλό τρόπο είναι με την χρήση τους θερμοηλεκτρικής συγκομιδής ενέργειας μέσω των TEGs. Η ενσωμάτωση τους σε οχήματα με μηχανή εσωτερικής καύσης σίγουρα θα έχει αυξήσει τους απόδοσης και μείωση στο καύσιμο. Μπορεί να είναι μικρή η απόδοση σε σχέση με το σύνολο, τους με τα σημερινά δεδομένα τους σύγχρονης επιστήμης και τα μέσα που διαθέτη μπορεί να βελτιώσει ακόμα περισσότερο τα υλικά κατασκευής, το σχήμα, και την σύσταση των θερμικών στοιχείων παραγωγής θερμοηλεκτρικής τάσης με συγκομιδή ενέργειας. Τα σημεία εκείνα που έχουν μεγάλο ενδιαφέρον είναι αυτό με τους μεγαλύτερες απώλειες λόγω θερμότητας οπότε και η μελέτη έγινε σε κάποια από αυτά και παρατηρήθηκε μεγαλύτερη απόκτηση τάσης τους ήταν αναμενόμενο, η παρατήρηση είναι ότι με περισσότερες TEG με την ανάλογη μορφή (κυκλικές ή άλλο σχήματος) και την κατάλληλη τοποθέτηση τους στα σημεία αυτά θα έχει ακόμα μεγαλύτερη τάση εξόδου ικανή ανατροφοδότηση και ανάλογους καταναλωτές πάνω σε ένα όχημα. Το μέλλον για τέτοια συστήματα εκμετάλλευσης τους απορριπτόμενης θερμοκρασίας είναι σε οχήματα βαρέων τύπων τους σε φορτηγά, φαγάρες και οχήματα βιομηχανικού περιβάλλοντος για τον λόγο ότι έχουν μεγάλες απώλειες και μια διάταξη από TEG θα βελτίωση την απόδοση τους και κυρίως την οικονομία τους.

Με βάσει τα διαγράμματα τα οποία παρήχθησαν από τους κύκλους μέτρησης σε πραγματικές συνθήκες εργασίας ενός οχήματος είναι κατανοητό ότι με την ελάχιστη λειτουργία του αυτοκινήτου γίνεται εφικτή η απαιτούμενη παραγόμενη τάση. Στους κύκλους μέτρησης είναι φανερό ότι η τάσης έχουν μια ευρεία γκάμα αυξομειώσεων η οποία θα μπορούσε να σταθεροποιηθεί με κάποιες παραδοχές που θα είναι σε θέση να σταθεροποιήσουν την τάση εξόδου και να την κάνουν ακόμα πιο χρήσιμη σε μια καθημερινή λειτουργία με ακόμα πιο χαμηλό κόστος και ακόμα καλύτερη απόδοση του οχήματος. Μελλοντικά μια δραστική αύξηση της απόδοσης των TEG σε επίπεδο αντίστοιχο όπως για παράδειγμα τα φωτοβολταϊκά (πάνω από 10%), θα μπορούσε να επιτρέψει την ανάκτηση θερμικής ενέργειας για μια πολύ μικρή αλλά ίσως σημαντική βελτίωση της απόδοσης λειτουργίας των οχημάτων. Οι κατηγορίες και εφαρμογές στα οχήματα ποικίλουν και είναι εύκολο να γίνει κατανοητό ότι κάθε όχημα έχει της δικές του ανάγκες ανάλογα την χρήση του, για αυτό και θα μπορούσε να σημειωθεί ότι σε κάποια οχήματα βαρέου τύπου η εφαρμογή μιας τέτοιας διατάξεις θα μπορούσε να προσφέρει καλύτερη οικονομία και απόδοση γιατί ένα από τα σημαντικά κομμάτια που απασχολούν τους κατασκευαστές είναι αυτά.

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι καλοί αγωγοί της θερμοκρασίας άρα για αυτό το λόγο μελετήθηκε καλύτερα η θερμοκρασία στα σημεία ενδιαφέροντος της πτυχιακής

εργασίας. Το σχήμα και οι διαστάσεις της αλουμινένιας βάσης της πειραματικής διάταξης είναι απλές και βολικές για το σκοπό της εργασίας, παρόλα αυτά ένα όχημα στα σημεία στα οποία έχει ενδιαφέρον να μελετηθεί η θερμοκρασία του δεν είναι τελείως ιδανικό το σχήμα στο οποίο θα τοποθετηθεί μια διάταξη οπότε πρέπει να συμπεριληφθεί ότι η επιφάνεια η οποία είναι να γίνει εγκατάσταση μιας τέτοιας πειραματικής διάταξης θα πρέπει να είναι ανάλογη της επιφάνειας εφαρμογής με το σημείο. Πολλές εταιρίες στην αυτοκινητοβιομηχανία όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω έχουν αναπτύξει κάποιες μεθόδους για την καλύτερη εφαρμογή στα σημεία στα οποία έχει μεγάλο ενδιαφέρον όπως είναι η πολλαπλή εξαγωγή και η εξάτμιση. Με καλύτερη επαφή σε μια τέτοια επιφάνεια όπως είναι ο σωλήνας μιας εξάτμισης είναι λογικό να μπορέσει η διάταξη των TEG να έχουν ακόμα μεγαλύτερα αποτελέσματα στην τάση εξόδου. Συνεπώς είναι λογικό να υπάρχουν κάποια μικρά σφάλματα στην μέτρησης μου καθώς το η πειραματική διάταξη ήταν στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας.

# Βιβλιογραφία

## Ελληνική και ξένη

- [1] Ντίνος Θ. Χρυσανθόπουλος – Δάλλας (2015), Θερμοηλεκτρικές Γεννήτριες και Εφαρμογές στα Φωτοβολταϊκά και την Αυτοκινητοβιομηχανία, <http://artemis.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/bitstream/123456789/12809/1/DT2015-0162.pdf>
- [2] G globusks (2019), <https://globusks.ru/el/kak-ustroen-glushitel-kak-nazyvayutsya-chasti-vyhlopnoi-truby-iz/>
- [3] Πετρίδη Μαρίνα (2016), Σχεδίαση και υλοποίηση συστήματος μέγιστης μεταφοράς ισχύος από θερμοηλεκτρική γεννήτρια για τη φόρτιση μπαταρίας, [http://circuits.ece.ntua.gr/documents/DiplomaTheses/Marina\\_Petridi\\_Design\\_and\\_Implementation\\_of\\_a\\_Maximum\\_Power\\_Point\\_Tracking\\_System\\_for\\_Thermoelectric\\_Generators.pdf#%5B%7B%22num%22%3A76%2C%22gen%22%3A0%7D%2C%7B%22name%22%3A%22XYZ%22%7D%2C69%2C778%2C0%5D](http://circuits.ece.ntua.gr/documents/DiplomaTheses/Marina_Petridi_Design_and_Implementation_of_a_Maximum_Power_Point_Tracking_System_for_Thermoelectric_Generators.pdf#%5B%7B%22num%22%3A76%2C%22gen%22%3A0%7D%2C%7B%22name%22%3A%22XYZ%22%7D%2C69%2C778%2C0%5D)
- [4] Κολτσάκης Γρηγόριος (2019), Διαχείριση θερμότητας σε κινητήρες και εξατμίσεις υψηλής ενεργειακής απόδοσης, <http://ikee.lib.auth.gr/record/309975/files/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CF%87%CE%B5%CE%AF%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%B7%20%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1%CF%82%20%CF%83%CE%B5%20%CE%BA%CE%B9%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B5%CF%82%20%CE%BA%CE%B1%CE%B9%20%CE%B5%CE%BE%CE%B1%CF%84%CE%BC%CE%AF%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82%20%CF%85%CF%88%CE%B7%CE%BB%CE%AE%CF%82%20%CE%B5%CE%BD%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AE%CF%82%20%CE%B1%CF%80%CF%8C%CE%B4%CE%BF%CF%83%CE%B7%CF%82.pdf>
- [5] [http://eureka.teithe.gr/jspui/bitstream/123456789/10259/1/Daskalopoulos\\_Chatziparadeisis.pdf](http://eureka.teithe.gr/jspui/bitstream/123456789/10259/1/Daskalopoulos_Chatziparadeisis.pdf)
- [6] Ντεμίρης Σπυρίδων (2019), Ανάπτυξη συστοιχίας θερμοηλεκτρικών στοιχείων ενσωματωμένων σε δομικές κατασκευές από σύνθετα,

υλικά <https://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/12818/6/Demiris%28aer%29.pdf>

- [7] Σιωπής Ιωάννης (2014), Συγκομιδή θερμοηλεκτρικής ενέργειας από το περιβάλλον: σχεδίαση του συστήματος διαχείρισης  
[http://ikee.lib.auth.gr/record/291796/files/siopis\\_ioannis\\_tegs.pdf#%5B12%2C%7B%22name%22%3A%22XYZ%22%7D%2C87%2C769%2C0%5D](http://ikee.lib.auth.gr/record/291796/files/siopis_ioannis_tegs.pdf#%5B12%2C%7B%22name%22%3A%22XYZ%22%7D%2C87%2C769%2C0%5D)
- [8] <https://grobotronics.com/>
- [9] <https://www.intechopen.com/books/bringing-thermoelectricity-into-reality/prospects-and-problems-of-increasing-the-automotive-thermoelectric-generators-efficiency>
- [10] Thermoelectrics application workshop (2011)  
<https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f13/maranville.pdf>
- [11] John Fairbanks Solid State Energy Conversion Advanced Combustion Engine R&D Program Vehicle Technologies Office(2013) , Automotive Thermoelectric generators and HVAC,  
[https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f13/ace00e\\_fairbanks\\_2013\\_o.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f13/ace00e_fairbanks_2013_o.pdf)
- [12] By Jason Torchinsky (2014), Porsche LeMans Racer Is Attempting To Use The Energy We Lose From Gas , <https://jalopnik.com/porsche-lemans-racer-is-attempting-to-use-the-energy-we-1536368898>
- [13] BMW Turbosteamer & Θερμοηλεκτρική Γεννήτρια (2011),  
<https://www.bmwforum.gr/forum/showthread.php?t=11569>
- [14] Arctic mx-4 thermal compound 4g, [https://www.e-shop.gr/arctic-mx-4-thermal-compound-4g-p-PER.641198?gclid=EAIaIQobChMIw73E1KmW8AIVUOh3Ch2Jwg8MEAAYASAAEgLh0vD\\_BwE](https://www.e-shop.gr/arctic-mx-4-thermal-compound-4g-p-PER.641198?gclid=EAIaIQobChMIw73E1KmW8AIVUOh3Ch2Jwg8MEAAYASAAEgLh0vD_BwE)
- [15] K-Type -50 - 400 Thermocouple Temperature Sensor with 1m Cable,  
[https://www.cableworks.gr/ilektronika/arduino-and-microcontrollers/mcu-and-components/temperature/k-type-50-400-thermocouple-temperature-sensor-with-1m-cable/?skr\\_prm=WyIyNDMzYTNiMy0xOTIzLTQxNWQtYWQ2Yy04ZmJlZTc2MTMyZDQiLDE2MTkxNzA4NTc4NDAseyJhcHBfdHlwZSI6IndlYiIsImNwIjojYiIsInRhZ3MiOiIifV0](https://www.cableworks.gr/ilektronika/arduino-and-microcontrollers/mcu-and-components/temperature/k-type-50-400-thermocouple-temperature-sensor-with-1m-cable/?skr_prm=WyIyNDMzYTNiMy0xOTIzLTQxNWQtYWQ2Yy04ZmJlZTc2MTMyZDQiLDE2MTkxNzA4NTc4NDAseyJhcHBfdHlwZSI6IndlYiIsImNwIjojYiIsInRhZ3MiOiIifV0)

- [16] Thermocouple Temperature Data Logger with USB,  
<https://www.lascarelectronics.com/easylog-el-usb-tc>
- [17] USB-5100 Series Multi-Channel Data Loggers,  
<https://www.measurementsystems.co.uk/docs/mc/USB-5100-Series-data.pdf>
- [18] <https://www.mccdaq.com/software-downloads.aspx>
- [19] Thermoelectricity, <http://electrons.wikidot.com/thermoelectricity>
- [20] Heatsinkonline, <https://www.e-wireless.gr/aluminum-heat-sink-50x45x18mm-psyktra-aloyminioy/>
- [21] CRC Handbook of Thermoelectrics by D.M. Rowe (1995),  
θερμοηλεκτρισμός,  
[http://www.eng.ucy.ac.cy/kyratsi/thermoelectrics/thermo\\_phe.html](http://www.eng.ucy.ac.cy/kyratsi/thermoelectrics/thermo_phe.html)
- [22] Παντελής Ν. Τρικαλίτης, Τμήμα Χημείας, Πανεπιστήμιο Κρήτης  
[http://www.chemistry.uoc.gr/ptrikalitis/Published\\_Papers\\_PDF\\_Files/Thermoelectric\\_Lecture.pdf](http://www.chemistry.uoc.gr/ptrikalitis/Published_Papers_PDF_Files/Thermoelectric_Lecture.pdf)
- [23] Δασκαλοπούλου Κωνσταντίνα, Χατζηπαραδείση Γεωργίου,  
Θερμοκρασιακή κατανομή των στοιχείων της εξάτμισης και χρήση  
θερμοηλεκτρικής διάταξης για ανάκτηση απορριπτόμενης θερμότητας από  
τον βενζινοκινητήρα αυτοκινήτου,  
[http://eureka.teithe.gr/jspui/bitstream/123456789/10259/1/Daskalopoulos\\_Chatziparadeisis.pdf](http://eureka.teithe.gr/jspui/bitstream/123456789/10259/1/Daskalopoulos_Chatziparadeisis.pdf)
- [24] Λιβάνιος Βασίλης, Ατταρά Αλέξανδρος (2019), Μελέτη  
Θερμοηλεκτρικής Αντλίας και  
Βιομηχανικές Εφαρμογές,  
[http://oceanis.lib.puas.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/4843/mec\\_40095.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://oceanis.lib.puas.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/4843/mec_40095.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [25] Oborudow.Ru (2021), Ποια είναι η θερμοκρασία των καυσαερίων στο  
σιγαστήρα. Η θερμοκρασία των καυσαερίων του κινητήρα βενζίνης στον  
συλλέκτη. Κανονική καύση του μίγματος αέρα-αέρα,  
<https://oborudow.ru/el/prokachka/kakaya-temperatura-vyhlopnyh-gazov-v-glushitele-temperatura-vyhlopnyh/>
- [26] <https://oborudow.ru/el/prokachka/kakaya-temperatura-vyhlopnyh-gazov-v-glushitele-temperatura-vyhlopnyh/>
- [27] Γεώργιος Καραλής (2018), Στρατηγικές βελτιστοποίησης για τη  
συγκομιδή θερμοηλεκτρικής ενέργειας από προηγμένα σύνθετα υλικά,  
<https://olympias.lib.uoi.gr/jspui/bitstream/123456789/29165/1/%ce%9c.%ce>



%95.%20%ce%9a%ce%91%ce%a1%ce%91%ce%9b%ce%97%ce%a3%20  
%ce%93%ce%95%ce%a9%ce%a1%ce%93%ce%99%ce%9f%ce%a3%2020  
18.pdf

- [28] Παπαχρήστου Αλέξανδρος (2012), Συγκομιδή θερμοηλεκτρικής ενέργειας σε αγρόκτημα,  
<http://iikee.lib.auth.gr/record/291359/files/PapachristouA.pdf>
- [29] Danick Briand, Eric Yeatman, and shad Roundy (2003), Micro Energy Harvesting, [https://books.google.gr/books?hl=en&lr=&id=i-t8CAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA415&dq=Static+thermoelectric+energy+harvest&ots=ohPteJa6Eq&sig=SfvCa5ZJj\\_3UmCMVY3BHyg9-UTc&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Static%20thermoelectric%20energy%20harvest&f=false](https://books.google.gr/books?hl=en&lr=&id=i-t8CAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA415&dq=Static+thermoelectric+energy+harvest&ots=ohPteJa6Eq&sig=SfvCa5ZJj_3UmCMVY3BHyg9-UTc&redir_esc=y#v=onepage&q=Static%20thermoelectric%20energy%20harvest&f=false)  
[https://www.tuc.gr/fileadmin/users\\_data/elci/Koutroulis/J.27.pdf](https://www.tuc.gr/fileadmin/users_data/elci/Koutroulis/J.27.pdf)
- [30] 2014\_IEEE\_TIE\_Heat\_Storage\_Harvesting
- [31] 17\_IEEE\_Sensor\_Letters