



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ
ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΨΥΞΗΣ
ΜΗΧΑΝΗΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ
ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ

ΧΑΡΑΛΑΜΠΙΟΣ ΜΑΡΑΝΤΙΔΗΣ

A.M. 2011050043



Τριμελής επιτροπή: Δ.Κολοκοτσά

Θ. Τσούτσος

Ι.Γεντεκάκης

Επιβλέπων: Δρ. Κολοκοτσά Διονυσία

Χανιά

Οκτώβριος 2016

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θερμές ευχαριστίες στην Δρ.Κολοκοτσά Διονυσία για την πολύτιμή βοήθεια της, την στήριξη καθώς και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε προς την εκτέλεση αυτής της διπλωματικής.

Στον πατέρα μου Μαραντίδη Αναστάσιο για την προσφορά του συνεργείου αυτοκινήτων του και την παροχή των γνώσεων του, όσον αφορά την εκτέλεση του πειράματος.

Στους φίλους μου για την βοήθειά τους, όποτε τους χρειαζόμουν.

Στην κοπέλα μου για την βοήθεια που προσέφερε, όσον αφορά την μαγνητοσκόπηση των μετρήσεων του πειράματος.

Στην οικογένεια μου για την μεγάλη στήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια, στους οποίους αφιερώνω αυτήν την διπλωματική.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Την ώρα που πάνω στον πλανήτη συμβαίνουν μη αναστρέψιμες μεταβολές εξαιτίας του επικρατούντος μοντέλου παραγωγής και κατανάλωσης, οι κατασκευαστές και σχεδιαστές μηχανών εσωτερικής καύσης, αναζητούν εναλλακτικές λύσεις για την αειφόρο εκμετάλλευση των ορυκτών καυσίμων και την μείωση της επίδρασης των μηχανών στο περιβάλλον. Έτσι τα τελευταία 25 χρόνια βάσει Διεθνών και Ευρωπαϊκών προτύπων οι βιομηχανίες παραγωγής μηχανών εσωτερικής καύσης υποχρεώνονται συνεχώς στην ανάπτυξη τεχνικών με σκοπό την μείωση εκπεμπόμενων ρύπων, αυξάνοντας την απόδοση και την οικονομία καυσίμου των μηχανών, με βάση την αρχή της βιωσιμότητας και την προστασία του περιβάλλοντος. Τέτοια πρότυπα για την πιστοποίηση των μηχανών όσον αφορά την εκπομπή ρύπων σήμερα είναι, σε Ευρώπη (Euro 5, Euro 6, Euro 6b) και Ηνωμένες Πολιτείες (Tier 2 Bin 5/ULEV II).

Η παρούσα διπλωματική αποτελεί μια προσπάθεια βελτίωσης της απόδοσης μηχανής εσωτερικής καύσης αυτοκινήτου με την εφαρμογή της θερμοηλεκτρικής τεχνολογίας, αξιοποιώντας μέρος των θερμικών απωλειών της μηχανής, μέσω μιας πειραματικής διάταξης τοποθετημένης στο σύστημα ψύξης της. Η διάταξη αυτή εκμεταλλεύεται τις θερμικές της απώλειες της μηχανής, μέσω θερμοηλεκτρικών μονάδων ως γεννήτριες (**TEG ή Thermoelectric Generator**), μετατρέποντας αυτές σε ηλεκτρική ενέργεια, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για την φόρτιση μπαταριών υβριδικών οχημάτων και την κίνηση τους μέσω ηλεκτροκινητήρων, είτε για την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών του οχήματος αντικαθιστώντας ή συμπληρώνοντας την ήδη υπάρχουσα γεννήτρια(δυναμό) που δέχεται κίνηση από την μηχανή, επιτυγχάνοντας οικονομία καυσίμου και μείωση εκπεμπόμενων ρύπων, μειώνοντας έτσι τις απώλειες. Η ίδια διάταξη θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και σε άλλα οχήματα που διαθέτουν μηχανές εσωτερικής καύσης, όπως τρακτέρ, σκάφη, αεροσκάφη κ.α.. Για τον λόγο όμως ότι το πιο διαδεδομένο όχημα όπου χρησιμοποιείται μηχανή εσωτερικής καύσης αποτελεί το αυτοκίνητο επιλέχθηκε ως πειραματικό μοντέλο.

Τέλος, ο οικονομικός παράγοντας ασφαλώς, πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν σε κάθε έρευνα, ώστε να ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα για μελλοντική εφαρμογή και να κρίνεται αν η λύση αυτή αποτελεί βιώσιμη. Ωστόσο στην παρούσα έρευνα στόχος είναι η εκτίμηση μόνον της απόδοσης της πειραματικής διάταξης και όχι το κόστος.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	6
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	7
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	7
1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
1.1 ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ.....	8
1.1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ.....	8
1.1.2 ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ.....	9
1.1.2.1 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ SEEBECK.....	9
1.1.2.2 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ PELTIER.....	11
1.1.2.3 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ THOMSON.....	12
1.1.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ.....	13
1.1.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ-ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ.....	15
1.1.4.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ-ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ.....	15
1.1.4.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΕ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ.....	16
1.1.4.3 ΛΟΙΠΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.....	17
1.2 ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ.....	19
1.2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΜΕΚ.....	20
1.2.2 ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΕΣ-ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΕΣ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΕΩΣ.....	21
1.2.3 ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ.....	21
1.2.4 ΨΥΞΗ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ.....	22
2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.....	23
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	23
2.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ.....	25
2.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ.....	26
2.4 ΟΡΓΑΝΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ.....	27
2.5 ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ.....	27
3. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	28

3.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΜΕ ΔΥΟ ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ.....	28
3.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΜΕ ΜΙΑ ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ.....	35
3.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	35
4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	37
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	38
5.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΜΕ ΜΙΑ ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ.....	38
5.1.1 ΑΠΟΔΟΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ.....	39
5.2.2 ΑΠΟΔΟΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΣΤΡΟΦΕΣ ΤΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ.....	40
5.2.3 ΑΠΟΔΟΣΗ ΙΣΧΥΟΣ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΔΙΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ (ΔΤ).....	42
5.2 ΑΠΟΔΟΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΜΕ ΔΥΟ ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ	44
5.2.1 ΑΠΟΔΟΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ.....	44
5.2.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ.....	46
5.2.3 ΑΠΟΔΟΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΣΤΡΟΦΕΣ ΤΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ.....	48
5.2.4 ΑΠΟΔΟΣΗ ΙΣΧΥΟΣ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΔΙΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ (ΔΤ).....	50
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	52
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	53

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Σχηματικό διάγραμμα θερμοηλεκτρικού στοιχείου, που αποτελείται από Α και Β θερμοηλεκτρικά υλικά.....	9
Εικόνα 1.2: Σχηματικό διάγραμμα θερμοηλεκτρικού στοιχείου-γεννήτριας.....	10
Εικόνα 1.3: Σχηματικό διάγραμμα του φαινομένου Peltier.....	11
Εικόνα 1.4: Σχηματικό διάγραμμα θερμοηλεκτρικού στοιχείου ψύξης.....	12
Εικόνα 1.5: Σχηματικό διάγραμμα θερμοηλεκτρικού στοιχείου ψύξης, που αποτελείται από p και n τύπου θερμοηλεκτρικά υλικά.....	13
Εικόνα 1.6: Σχηματικό διάγραμμα θερμοηλεκτρικού στοιχείου ψύξης, που αποτελείται από δύο τύπου p θερμοηλεκτρικά υλικά.....	13
Εικόνα 1.7: Σχηματικό διάγραμμα θερμοηλεκτρικής διάταξης.....	14
Εικόνα 1.8: Διάφοροι τύποι θερμοηλεκτρικών διατάξεων.....	14
Εικόνα 1.9: BMW σειρά 5 με σύστημα θερμοηλεκτρικής γεννήτριας (TEG).....	17
Εικόνα 1.10: Εφαρμογές ψύξης με TEC.....	18
Εικόνα 1.11: Εφαρμογές παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος με TEG.....	18
Εικόνα 1.12: Τετράχρονος κινητήρας εσωτερικής καύσης.....	19
Εικόνα 1.13: Κύκλωμα ψύξης υδρόψυκτης μηχανής εσωτερικής καύσης.....	22
Εικόνα 2.1 Σχηματικό διάγραμμα απόδοσης αυτοκινήτου.....	24
Εικόνα 2.2: Κάτοψη και τομή Volkswagen Caddy Mk1 1990.....	25
Εικόνα 2.3: Θερμοηλεκτρική Μονάδα.....	26
Εικόνα 2.4: Χαρακτηριστικά του θερμοηλεκτρικού μοντέλου.....	27
Εικόνα 3.1: Δοχείο αγωγής από αλουμίνιο.....	28
Εικόνα 3.2: Πειραματική Διάταξη.....	29
Εικόνα 3.3: Πειραματική διάταξη.....	30
Εικόνα 3.4: Θέση πειραματικής διάταξης στο αυτοκίνητο.....	31
Εικόνα 3.5: Θέση πειραματικής διάταξης στο αυτοκίνητο.....	32
Εικόνα 3.6: Θέση πειραματικής διάταξης στο αυτοκίνητο.....	32
Εικόνα 3.7: Σύστημα ψύξης υδρόψυκτης μηχανής εσωτερικής καύσης.....	33
Εικόνα 3.8: Πάνελ στήριξης οργάνων.....	34
Εικόνα 3.9: Θερμικές αντιστάσεις.....	35
Εικόνα 3.10: Σχηματικό διάγραμμα δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας.....	36

Εικόνα 3.11: Σχηματικό διάγραμμα δικτύου αισθητήρων θερμοκρασίας.....	36
Εικόνα 4.1: Εθνική οδός Έδεσσας-Θεσσαλονίκης.....	37

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 5.1: Απόδοση της ηλεκτρικής τάσης της πειραματικής διάταξης με μια θερμοηλεκτρική μονάδα.....	38
Πίνακας 5.2: Απόδοση της ηλεκτρικής τάσης της πειραματικής διάταξης με μια θερμοηλεκτρική μονάδα σε σχέση με τις στροφές του κινητήρα.....	40
Πίνακας 5.3: Απόδοση πειραματικής διάταξης με μια θερμοηλεκτρική μονάδα.....	42
Πίνακας 5.4: Απόδοση της ηλεκτρικής τάσης της πειραματικής διάταξης με δύο θερμοηλεκτρικές μονάδες.....	44
Πίνακας 5.5 Αποτελέσματα των δύο πειραματικών διατάξεων.....	46
Πίνακας 5.6: Απόδοση της ηλεκτρικής τάσης της πειραματικής διάταξης με δύο θερμοηλεκτρικές μονάδες σε σχέση με τις στροφές του κινητήρα.....	48
Πίνακας 5.7 Απόδοση ηλεκτρικής ισχύος πειραματικής διάταξης δύο θερμοηλεκτρικών μονάδων.....	50

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 5.1: Απόδοση της ηλεκτρικής τάσης της πειραματικής διάταξης σε σχέση με την θερμοκρασία του περιβάλλοντος (μέρα/νύχτα) και την ταχύτητα του οχήματος (80-100), με μια θερμοηλεκτρική μονάδα.....	39
Διάγραμμα 5.2: Απόδοση της ηλεκτρικής τάσης της πειραματικής διάταξης με μια θερμοηλεκτρική μονάδα σε σχέση με τις στροφές (rpm) του κινητήρα.....	40
Διάγραμμα 5.3: Απόδοση ηλεκτρικής ισχύος πειραματικής διάταξης, με μια θερμοηλεκτρική μονάδα σε σχέση με την ΔT	43
Διάγραμμα 5.4: Απόδοση της ηλεκτρικής τάσης της πειραματικής διάταξης σε σχέση με την θερμοκρασία του περιβάλλοντος (μέρα/νύχτα) και την ταχύτητα του οχήματος (80-100), με δύο θερμοηλεκτρικές μονάδες.....	44
Διάγραμμα 5.5: Απόδοση ηλεκτρικής έντασης των δύο πειραματικών διατάξεων....	47
Διάγραμμα 5.6: Απόδοση της ηλεκτρικής τάσης της πειραματικής διάταξης με δύο θερμοηλεκτρικές μονάδες σε σχέση με τις στροφές (rpm) του κινητήρα.....	49
Διάγραμμα 5.7: Απόδοση ηλεκτρικής ισχύος πειραματικής διάταξης δύο θερμοηλεκτρικών μονάδων σε σχέση με την ΔT	50

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

1.1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Η θερμοηλεκτρική τεχνολογία, μια τεχνολογία φιλική στο περιβάλλον, προσελκύει όλο και περισσότερο το ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια, λόγω των πλεονεκτημάτων της και των πολλαπλών εφαρμογών της.

Οι θερμοηλεκτρικές διατάξεις είναι διατάξεις στερεάς κατάστασης που χρησιμοποιούνται σε ολοένα και μεγαλύτερο αριθμό εφαρμογών, κυρίως σε εξειδικευμένες εφαρμογές ψύξης, αλλά και σε γεννήτριες παραγωγής ρεύματος, λόγω της ικανότητας τους να μετατρέπουν την θερμική ενέργεια σε ηλεκτρική και το αντίστροφο. Με δεδομένη την επιτακτική ανάγκη για εναλλακτικές μορφές ενέργειας, οι θερμοηλεκτρικές γεννήτριες παραγωγής ισχύος υπόσχονται σημαντικότερες εφαρμογές όσον αφορά την μετατροπή της συνήθως χαμένης θερμικής ενέργειας (π.χ. εξατμίσεις αυτοκινήτων) σε ηλεκτρική ενέργεια.

Τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν οι θερμοηλεκτρικές συσκευές σε εφαρμογές ψύξης ή παραγωγής ισχύος, σε σχέση με άλλα συμβατικά συστήματα, είναι πραγματικά σημαντικά:

- αξιοποιούν την "χαμένη" θερμότητα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας,
- έχουν μηδενική εκπομπή ρύπων,
- δεν έχουν κινητά μέρη,
- έχουν εξαιρετικά μεγάλο χρόνο ζωής (στα διαστημόπλοια Voyager 1 και 2 η πηγή ενέργειας προέρχεται από θερμοηλεκτρική συσκευή, η οποία λειτουργεί από το 1977).

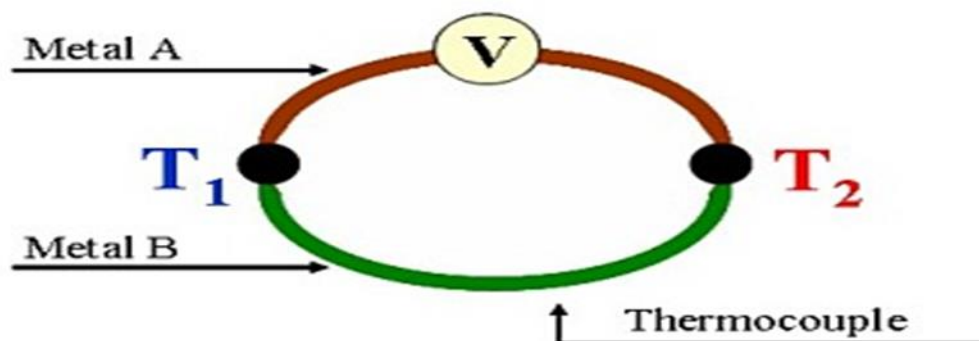
Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι κυρίως ημιαγωγοί. Οι αυξημένες απαιτήσεις των εφαρμογών οδηγούν την έρευνα στη συνεχή αναζήτηση νέων και βελτιωμένων υλικών. Έτσι η μελέτη των θερμοηλεκτρικών υλικών αποτελεί πλέον σύγχρονο αντικείμενο σε θέματα έρευνας και τεχνολογίας προηγμένων υλικών σε παγκόσμιο επίπεδο επειδή ακριβώς σχετίζεται άμεσα με την παραγωγή ενέργειας.

1.1.2 ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

Τα θερμοηλεκτρικά φαινόμενα, συνίστανται στην μετατροπή της θερμικής ενέργειας σε ηλεκτρική, ή στην χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας για την μετακίνηση θερμότητας. Οι θερμοηλεκτρικές γεννήτριες (TE Generators - TEG) είναι στερεάς κατάστασης πηγές ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ οι θερμοηλεκτρικοί ψύκτες (TE coolers - TEG) είναι στερεάς κατάστασης αντλίες θερμότητος.

1.1.2.1 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ SEEBECK

Η ανακάλυψη του θερμοηλεκτρικού φαινομένου έγινε από τον *Thomas Johann Seebeck* το 1821, όπου παρατηρήθηκε ότι όταν στο σημείο ένωσης δυο μετάλλων υπάρχει θερμότητα τότε η μαγνητική βελόνα εκτρέπεται από τη θέση της. Αυτό το γεγονός οδήγησε στο συμπέρασμα ότι οι αγωγοί διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα όταν στα άκρα τους υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας.



Εικόνα 1.1: Σχηματικό διάγραμμα θερμοηλεκτρικού στοιχείου, που αποτελείται από Α και Β θερμοηλεκτρικά υλικά

Πρακτικά αυτό που συμβαίνει είναι το εξής:

Τα ηλεκτρόνια από τη θερμή περιοχή του μετάλλου έχουν περισσότερη ενέργεια, άρα και μεγαλύτερες ταχύτητες, συγκριτικά μ' αυτά στην ψυχρή. Άρα θα παρατηρηθεί διάχυση ηλεκτρονίων από τη θερμή περιοχή στην ψυχρή, άρα θα έχω συσσώρευση ηλεκτρονίων στην ψυχρή περιοχή και δημιουργία απογυμνωμένων θετικών μεταλλικών ιόντων στην θερμή. Η διαδικασία αυτή έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία δυναμικού το οποίο τελικά θα πάρει τιμή ικανή να εμποδίσει οποιαδήποτε περεταίρω μετατόπιση ηλεκτρονίων.

Η τάση που αναπτύσσεται στα άκρα του υλικού είναι:

$$V = \int_{T_1}^{T_2} (S_B(T) - S_A(T)) dT$$

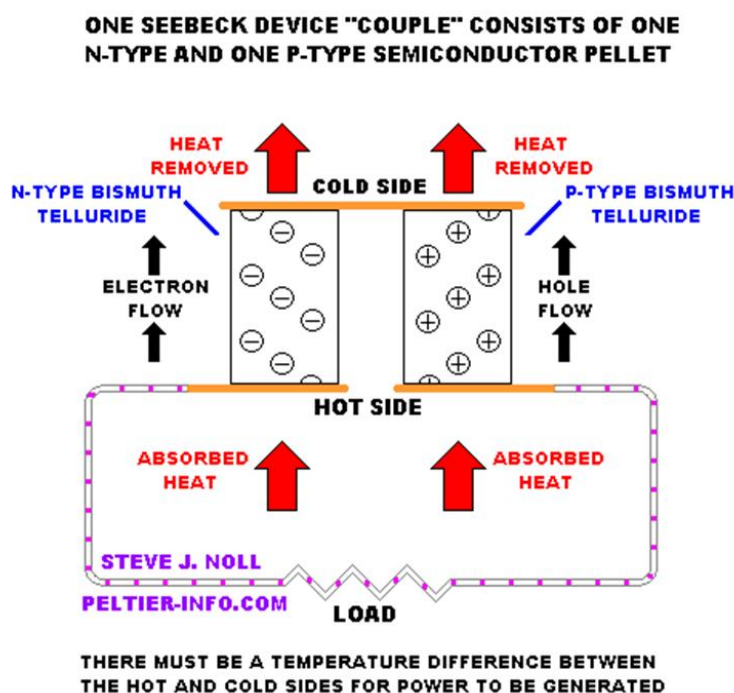
Όπου:

- S_A και S_B οι συντελεστές Seebeck των μετάλλων A και B
- T_1 και T_2 οι θερμοκρασίες των δυο επαφών.

(Οι συντελεστές είναι μη γραμμικοί και εξαρτώνται από την απόλυτη θερμοκρασία, τη μοριακή δομή και το υλικό των αγωγών. Μονάδα μέτρησης των συντελεστών είναι V/K .)

Η θερμοηλεκτρική δύναμη ορίζεται ως η τάση ανοιχτού κυκλώματος μεταξύ δυο σημείων ενός αγωγού όπου η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσά τους είναι $1K$. Εάν η διαφορά θερμοκρασίας των δυο επαφών είναι μικρή της μορφής $T_2 = T_1 + \Delta T$, η θερμοδύναμη του θερμοζεύγους ορίζεται ως:

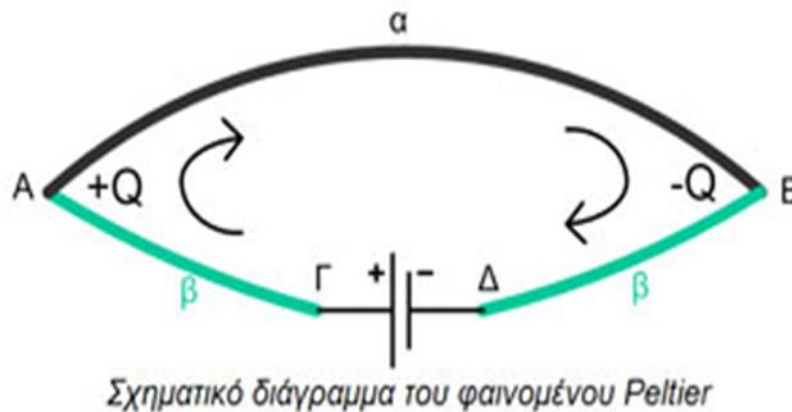
$$S_{AB} = S_A - S_B = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{\Delta T}$$



Εικόνα 1.2: Σχηματικό διάγραμμα θερμοηλεκτρικού στοιχείου-γεννήτριας

1.1.2.2 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ PELTIER

Το 1834 ένας Γάλλος ωρολογοποιός και ερασιτέχνης φυσικός, ο *Jean Peltier* καθώς έκανε μελέτες πάνω στο φαινόμενο *Seebeck* παρατήρησε το αντίθετο φαινόμενο, δηλαδή την απορρόφηση θερμότητας από μια επαφή και αποβολή θερμότητας από μια δεύτερη επαφή κατά την επίδραση διαφοράς δυναμικού.



Εικόνα 1.3

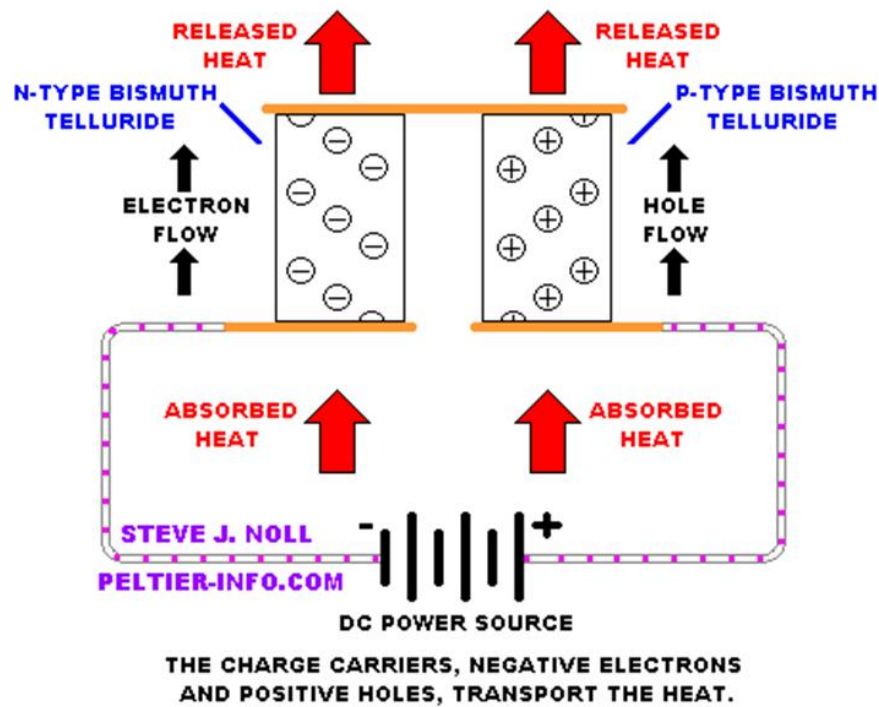
Ενώ στο φαινόμενο *Seebeck* απαιτείται ένα αγώγιμο υλικό, το φαινόμενο *Peltier* παρατηρείται όταν δυο διαφορετικοί αγωγοί ενώνονται σε μια επαφή. Επειδή οι στάθμες *Fermi* των δυο υλικών είναι συνήθως διαφορετικές, μερικά ηλεκτρόνια θα περάσουν μέσα από την επαφή μέχρι να παραχθεί ένα ηλεκτρικό πεδίο σαφώς μεγάλο ώστε να εμποδίζει την περαιτέρω ροή ηλεκτρονίων κατά μήκος της επαφής. Η διαφορά δυναμικού εξαρτάται από το είδος των μετάλλων και από τη θερμοκρασία στο σημείο επαφής.

Ο ρυθμός μεταφοράς της θερμότητας, δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\dot{Q} = \Pi_{AB} I = (\Pi_B - \Pi_A) I$$

(Π_{AB} είναι η σταθερά *Peltier* του κυκλώματος και Π_A , Π_B οι σταθερές *Peltier* κάθε υλικού.)

ONE PELTIER DEVICE "COUPLE" CONSISTS OF ONE N-TYPE AND ONE P-TYPE SEMICONDUCTOR PELLET



Εικόνα 1.4: Σχηματικό διάγραμμα θερμοηλεκτρικού στοιχείου ψύξης

1.1.2.3 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ THOMSON

Την μελέτη των θερμοηλεκτρικών φαινομένων ολοκλήρωσε ο *William Thomson* το 1851 θεμελιώνοντας το τρίτο θερμοηλεκτρικό φαινόμενο που αφορούσε την έκλυση ή την απορρόφηση θερμότητας από ένα υλικό όταν αυτό διαρρέεται από ρεύμα. Ο *Thomson* προσπάθησε να επιλύσει τις διαφορές ανάμεσα στις τάσεις *Seebeck* ενός θερμοηλεκτρικού κυκλώματος τις οποίες μέτρησε και τις τάσεις τις οποίες ανέμενε να ανιχνεύσει σε ένα αντιστρέψιμο σύστημα που υπάκουε στους νόμους της θερμοδυναμικής. Η εξίσωση που περιγράφει το φαινόμενο *Thomson* είναι:

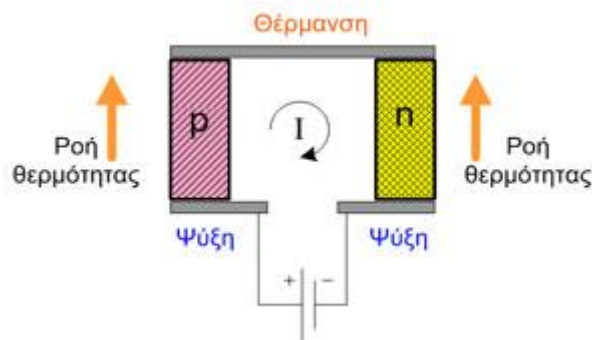
$$\frac{dQ}{dt} = \tau \Delta T$$

,όπου τ είναι ο συντελεστής *Thomson*

Το φαινόμενο *Thomson* έχει μικρή επίδραση στα θερμοηλεκτρικά συστήματα, ωστόσο είναι απαραίτητο να το λάβουμε υπ' όψιν μας, ώστε να κάνουμε ακριβείς υπολογισμούς.

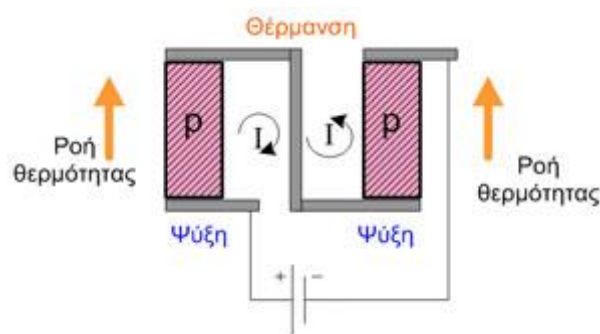
1.1.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ

Το απλούστερο θερμοηλεκτρικό στοιχείο (Thermoelectric Element – TE), TEG ή TEC, μπορεί να κατασκευαστεί από δύο παραλληλεπίπεδα τεμάχια θερμοηλεκτρικού υλικού, όπου το ένα είναι p τύπου ενώ το άλλο n τύπου. Οι επίπεδες επιφάνειές τους, συνδέονται ηλεκτρικά με μεταλλικούς αγωγούς, όπως στο σχήμα που ακολουθεί. Τα υλικά τύπου p μεταφέρουν την θερμότητα προς την ίδια κατεύθυνση με τη φορά του ηλεκτρικού ρεύματος, ενώ τα τύπου n προς την αντίθετη. Επομένως, στη διάταξη του σχήματος, οι κάτω επιφάνειες απορροφούν θερμότητα και ψύχονται, ενώ οι επάνω δέχονται την μεταφερόμενη θερμότητα και θερμαίνονται.



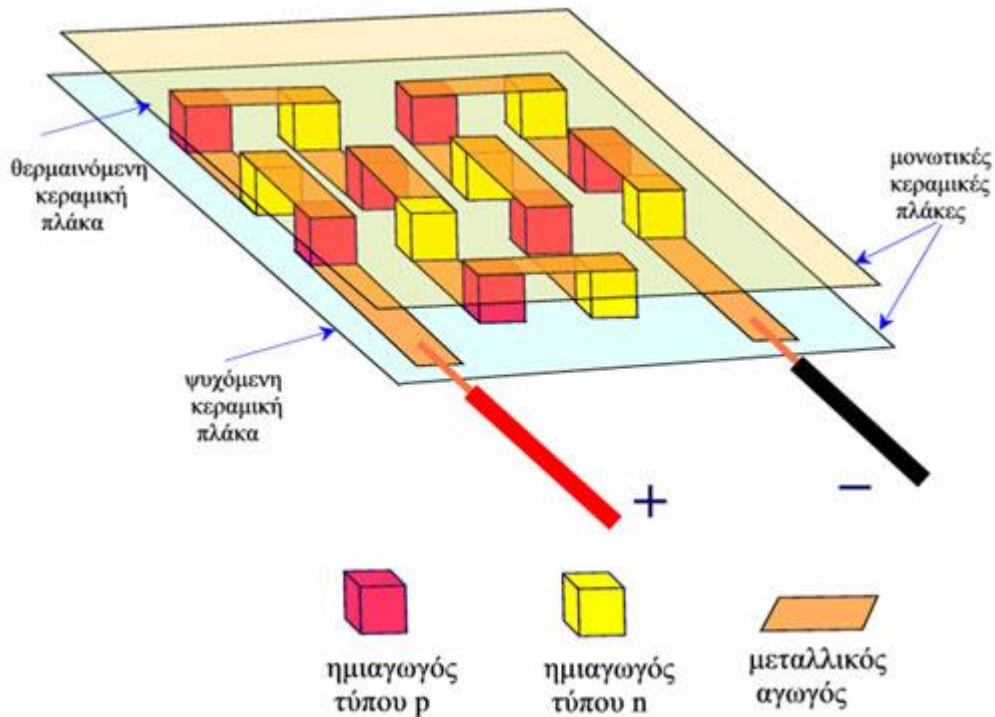
Εικόνα 1.5: Σχηματικό διάγραμμα θερμοηλεκτρικού στοιχείου ψύξης, που αποτελείται από p και n τύπου θερμοηλεκτρικά υλικά

Αντίστοιχα, θα μπορούσε να κατασκευαστεί θερμοηλεκτρικό στοιχείο με την χρήση δύο τεμαχίων τύπου p (ή δύο τύπου n). Στην περίπτωση όμως αυτή (σχήμα), οι μεταλλικοί αγωγοί σχηματίζουν ανεπιθύμητες θερμογέφυρες και η πολυπλοκότερη ηλεκτρική συνδεσμολογία δημιουργεί κατασκευαστικά προβλήματα, ειδικά όταν πρόκειται να συνδεθούν περισσότερα των δύο θερμοστοιχεία.



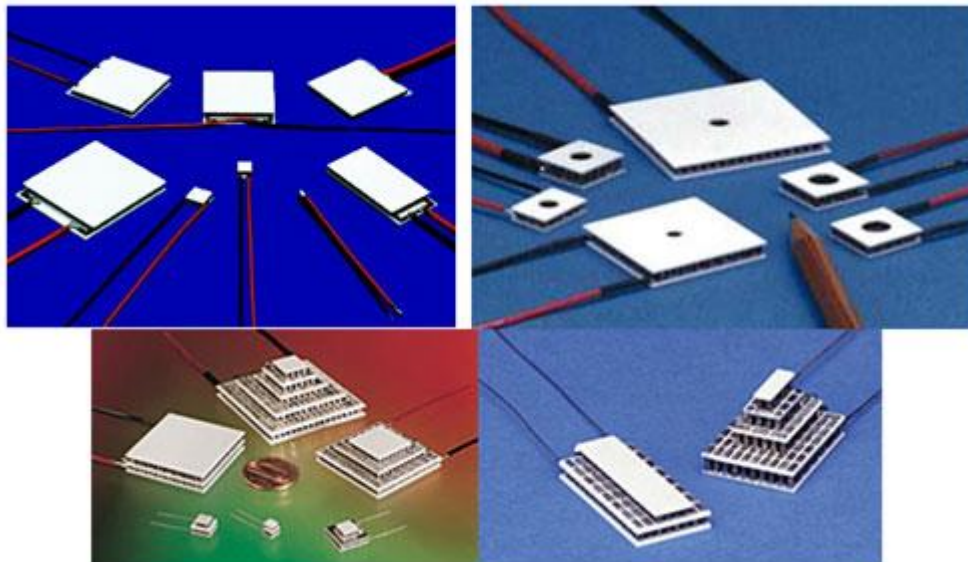
Εικόνα 1.6: Σχηματικό διάγραμμα θερμοηλεκτρικού στοιχείου ψύξης, που αποτελείται από δύο τύπου p θερμοηλεκτρικά υλικά

Οι θερμοηλεκτρικές διατάξεις (TE modules) κατά κανόνα κατασκευάζονται ως συστοιχία p/n θερμοηλεκτρικών στοιχείων, τα οποία είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους ηλεκτρικά σε σειρά, ενώ θερμικά παράλληλα (σχήμα που ακολουθεί). Δύο κεραμικές πλάκες στην επάνω και κάτω πλευρά, εξασφαλίζουν την ηλεκτρική μόνωση των στοιχείων και την μεταφορά της θερμότητας.



Εικόνα 1.7: Σχηματικό διάγραμμα θερμοηλεκτρικής διάταξης
(Τα θερμοηλεκτρικά στοιχεία συνδέονται ηλεκτρικά σε σειρά και θερμικά παράλληλα.)

Οι θερμοηλεκτρικές διατάξεις που διατίθενται εμπορικά, περιέχουν από ένα ζεύγος έως μερικές εκατοντάδες θερμοστοιχεία από βισμούθιο-τελλούριο (Bi_2Te_3), ενώ για την επίτευξη υψηλότερης θερμοκρασιακής διαφοράς (ΔT) στην ψύξη, κατασκευάζονται διατάξεις περισσότερων του ενός (έως και έξι) επιπέδων, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Εικόνα 1.8: Διάφοροι τύποι θερμοηλεκτρικών διατάξεων

Η τάση, το ρεύμα και οι θερμοκρασίες λειτουργίας των διαφόρων θερμοηλεκτρικών διατάξεων ποικίλλει, όπως και η ικανότητα άντλησης θερμότητας. Η τάση που επικρατεί τελευταία, είναι η κατασκευή modules με μεγάλο αριθμό ζευγών, που λειτουργούν σε χαμηλότερες εντάσεις ρεύματος. Η θερμοκρασία λειτουργίας της θερμής πλευράς των περισσότερων TE modules περιορίζεται στην περιοχή των 80-100 °C, αν και κατασκευάζονται σειρές που αντέχουν έως 225 °C. Το κύριο πρόβλημα στις ψηλές θερμοκρασίες, είναι η αντοχή των συγκολλήσεων.

Οι κεραμικές πλάκες κατασκευάζονται κατά κανόνα από αλουμίνα (Al_2O_3) και οι συγκολλήσεις γίνονται από BiSn ή SnSb στις σειρές που είναι ανθεκτικές στις ψηλές θερμοκρασίες.

1.1.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ-ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

1.1.4.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ-ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Τα κύρια **μειονεκτήματα** των θερμοηλεκτρικών υλικών αποτελούν το μεγάλο κόστος αυτών των διατάξεων και η μικρή απόδοση που αυτές έχουν. Ωστόσο στις εφαρμογές ψύξης, με δεδομένα την ακόμη σχετικά μικρή απόδοση και υψηλό κόστος των TECs, η χρήση τους έχει ορισμένα ισχυρά **πλεονεκτήματα** απέναντι στις συμβατικές διατάξεις ψύξης με συμπιεστή και σε ορισμένες περιπτώσεις η εφαρμογή τους είναι μονόδρομος:

- Είναι ολοκληρωμένες ψυκτικές διατάξεις που απαιτούν ελάχιστο χώρο έχοντας πολύ μικρό βάρος και όγκο.
- Δεν έχουν κινούμενα μέρη, επομένως απαιτείται ελάχιστη συντήρηση.
- Η διάρκεια ζωής τους ξεπερνά τις 100.000 ώρες.
- Δεν περιέχουν χλωροφθοράνθρακες ή άλλα υλικά που χρειάζονται περιοδική αναπλήρωση και έχουν περιβαλλοντολογικές συνέπειες.
- Μπορεί να επιτευχθεί πολύ ακριβής έλεγχος της θερμοκρασίας (με ακρίβεια 1 OF) με τη χρήση κατάλληλων κυκλωμάτων υποστήριξης.
- Η λειτουργία τους δεν εξαρτάται από την θέση και την κλίση που είναι τοποθετημένα.
- Μπορούν να λειτουργήσουν σε συνθήκες κενού.
- Χρησιμοποιούν συνεχές ρεύμα χαμηλής τάσης, που σε ορισμένες εφαρμογές είναι εύκολα διαθέσιμο.
- Η λειτουργία τους είναι εύκολα αντιστρέψιμη. Με αλλαγή της πολικότητας του ρεύματος, μπορούν να λειτουργήσουν ως θερμαντήρες (heaters).

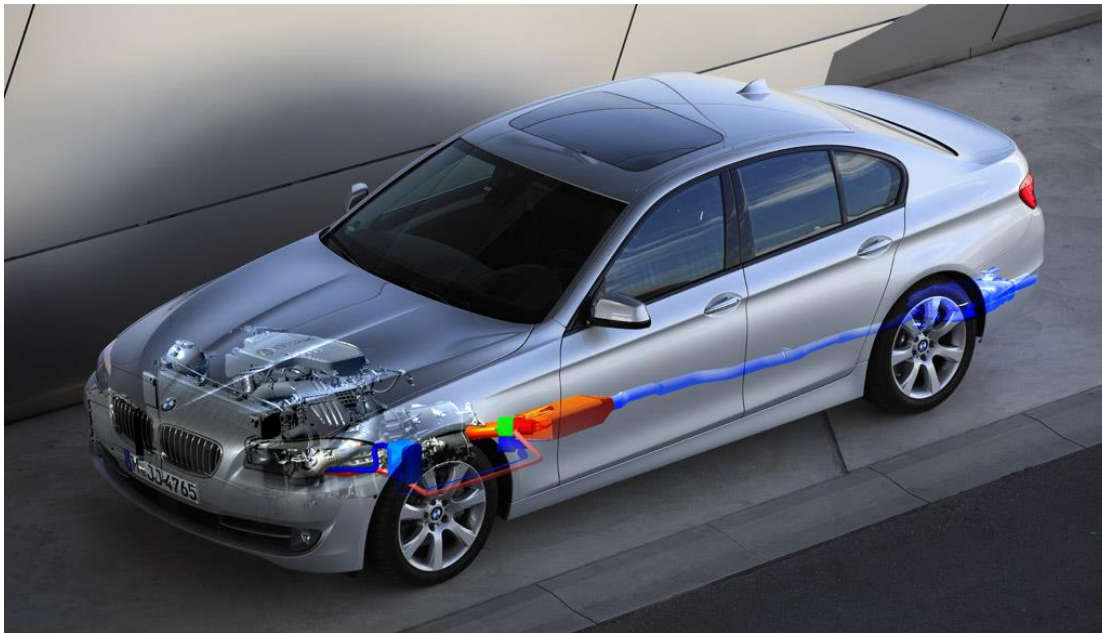
1.1.4.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ

Τα τελευταία χρόνια, οι αυτοκινητοβιομηχανίες, έχουν βελτιώσει σημαντικά την απόδοση των κινητήρων, με τεχνολογίες όπως άμεσος ψεκασμός καυσίμου, μεταβλητός χρονισμός βαλβίδων, υπερσυμπιεστές καυσαερίων, ανάκτηση ενέργειας πέδησης και τη λειτουργία Auto Start. Ωστόσο, περίπου το 60% της παραγόμενης ενέργειας χάνεται καθώς διαφεύγει μέσω της εξάτμισης και η υπόλοιπη απορροφάται από το σύστημα ψύξης του κινητήρα. Έτσι έγιναν κάποιες προσπάθειες από την BMW, την Ford και την Chevrolet, με μικρότερη επιτυχία ωστόσο, με σκοπό την ανεύρεση τρόπων ανάκτησης αυτής της χαμένης θερμικής ενέργειας.

Το πρώτο βήμα που έκαναν οι μηχανικοί ήταν η ενθυλάκωση του κινητήρα (πλήρης κάλυψη), η χρήση της εκλυόμενης θερμότητας καυσαερίων και η ενσωμάτωση μίας θερμοηλεκτρικής γεννήτριας στο σύστημα εξαγωγής για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Το πρώτο σύστημα του είδους παρουσιάστηκε στο κοινό το 2008 από την BMW και παράγαγε μάζιμου 200 Watt, που ήταν σχετικά χαμηλό ως προς την απόδοση ισχύος. Αλλά η χρήση νέων υλικών και βελτιώσεων στο βάρος και το μέγεθος των TEG οδήγησε σε ραγδαίες νέες εξελίξεις, έτσι ώστε η τελευταία γενιά των TEG που είναι εγκατεστημένες στην εξαγωγή να παράγει ηλεκτρική ισχύ 600 Watt, ενώ σύντομα θα επιτευχθεί ο στόχος παραγωγής 1000 Watt. Το τρέχον πρωτότυπο – μία BMW X6 – κατασκευάστηκε στο πλαίσιο ενός project εξέλιξης που χρηματοδότησε το Αμερικανικό Υπουργείο Ενέργειας.

Στη συνέχεια, το 2009, το BMW Group παρουσίασε μία εναλλακτική εξέλιξη αυτού του προγράμματος. Αντί να την τοποθετήσουν στο σύστημα εξαγωγής, οι μηχανικοί αποφάσισαν να ενσωματώσουν την TEG στο ψυγείο του συστήματος ανακύκλωσης καυσαερίων. Με αυτή τη διάταξη, δοκιμές από τους ίδιους τους πελάτες έδειξαν ότι μπορούν να παραχθούν 250 Watt ενώ παράλληλα μειώνονται οι εκπομπές CO₂ και η κατανάλωση κατά 2%.

Επιπλέον, αυτό το σύστημα ανάκτησης ενέργειας προσφέρει ενδιαφέροντα πρόσθετα πλεονεκτήματα όπως παροχή πρόσθετης θερμότητας για τον κινητήρα και την καμπίνα επιβατών στις κρύες εκκινήσεις. Εξάλλου, η θερμοηλεκτρική γεννήτρια είναι το ιδανικό αντιστάθμισμα του συστήματος Brake Energy Regeneration (Ανάκτησης Ενέργειας από την Πέδηση) της φιλοσοφίας BMW EfficientDynamics. Ενώ τα φρένα παράγουν ενέργεια κατά τη διάρκεια της επιβράδυνσης και της ακινητοποίησης, η TEG αποκαλύπτει τις δυνατότητές της όταν η οδήγηση είναι συναρπαστική – δηλαδή κατά την επιτάχυνση. Όπως προβλέπουν οι ερευνητές, οι TEG θα οδηγήσουν σε οικονομία καυσίμου μέχρι 5% σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης στο μέλλον.



Εικόνα 1.9: BMW σειρά 5 με σύστημα θερμοηλεκτρικής γεννήτριας (TEG)

1.1.4.3 ΛΟΙΠΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

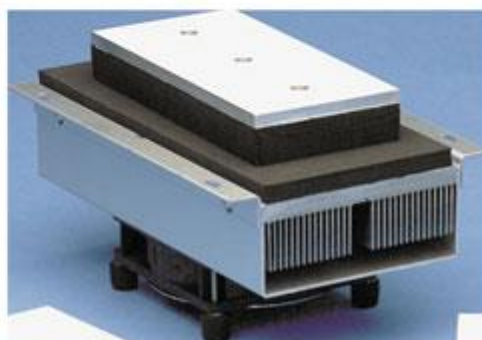
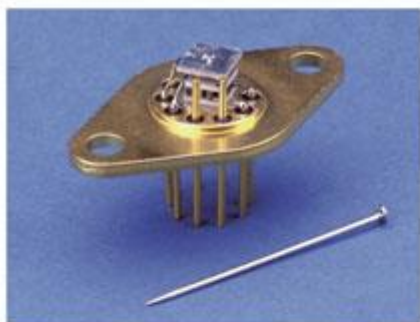
Ο αριθμός και η ποικιλία των χρήσεων των TECs είναι συνεχώς αυξανόμενος. Η αντιστρεπτότητα του φαινομένου Peltier, επιτρέπει την χρήση των TE modules τόσο για εφαρμογές ψύξης με την παροχή ρεύματος, όσο και για εφαρμογές παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος με την εφαρμογή θερμοκρασιακής διαφοράς ανάμεσα στις δύο επιφάνειες του module. Αν και θεωρητικά θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί το ίδιο TE module και για τις δύο περιπτώσεις, αυτό γίνεται σπάνια. Συνήθως για την περίπτωση παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος, κατασκευάζονται από τις εταιρείες διαφορετικού τύπου modules (TEGs) με τη χρήση βελτιστοποιημένων θερμοηλεκτρικών υλικών για την εφαρμογή αυτή.

Εφαρμογές τους συναντώνται:

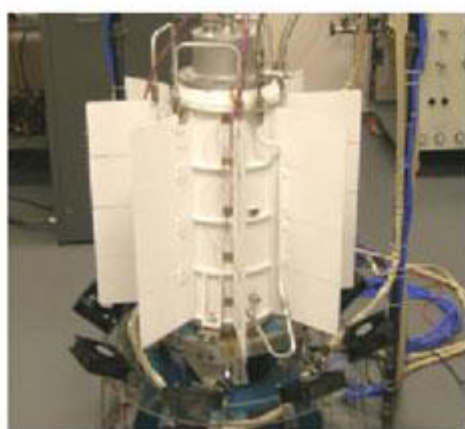
- Στην ψύξη ολοκληρωμένων κυκλωμάτων
- Σε κλιματιστικά μικρών χώρων και θαλάμων
- Σε εργαστηριακές πλάκες ψύξης και θέρμανσης (solid-state air/plate heat pumps)
- Σε ψύκτες νερού, υγρών και αναψυκτικών
- Σε εφαρμογές laser
- Σε όργανα ακριβείας και ελέγχου

Τα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν προηγούμενα, ισχύουν και για την χρήση των TE modules ως πηγών ηλεκτρικής ισχύος, με το πρόσθετο πλεονέκτημα της μη εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα. Σε περιπτώσεις μετατροπής απορριπτόμενης θερμικής ενέργειας σε ηλεκτρική και σε απομακρυσμένες περιοχές εκτός δικτύου, όπου χρειάζεται ηλεκτρική ενέργεια, η χρήση τους μπορεί να αποβεί συμφέρουσα, παρά τον μικρό τους βαθμό απόδοσης. Έτσι υπάρχουν εκτεταμένες εφαρμογές των

TEGs στην διαστημική τεχνολογία και φαίνεται πολύ πιθανή η χρήση τους για ανάκτηση απορριπτόμενης ενέργειας από θερμοηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 1.10: Εφαρμογές ψύξης με TEC



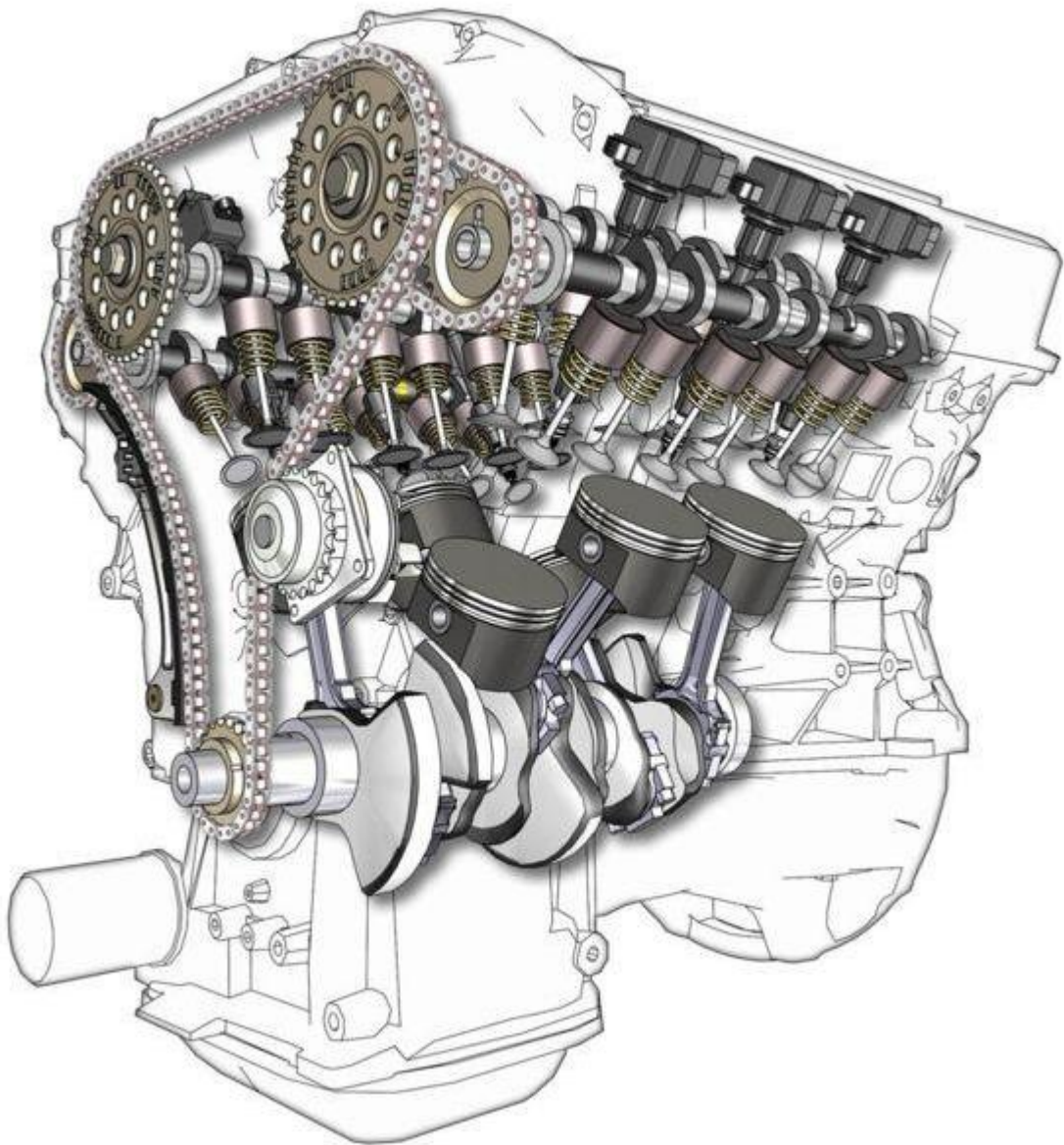
α



β

Εικόνα 1.11: Εφαρμογές παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος με TEG:
α) Θερμοηλεκτρική γεννήτρια ραδιοϊσοτόπου για παροχή ηλεκτρισμού σε αποστολή στον πλανήτη Άρη β) Ρολόι χεριού που λειτουργεί με την θερμότητα του χεριού

1.2 ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ



Εικόνα 1.12: Τετράχροнос κινητήρας εσωτερικής καύσης

1.2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΜΕΚ

Κινητήρια μηχανή ονομάζεται ένα σύνολο εξαρτημάτων τα οποία μπορούν να παράγουν ωφέλιμο μηχανικό έργο. Σε όλες σχεδόν τις κινητήριες μηχανές, τα διάφορα μέρη που τις συγκροτούν, συνεργάζονται μεταξύ τους κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτυγχάνεται η κίνηση ενός βασικού άξονα, από τον οποίο παραλαμβάνουμε τελικά το ωφέλιμο έργο.

Οι κινητήριες μηχανές διακρίνονται σε διαφορές κατηγορίες, ανάλογα με τη μορφή της ενέργειας την οποία παραλαμβάνουν και που μετατρέπουν, τελικά, σε κινητική. Οι μηχανές που καταναλώνουν θερμική ενέργεια, ονομάζονται θερμικές μηχανές.

Ανάλογα με τον τρόπο μετατροπής της θερμικής ενέργειας σε μηχανικό έργο οι θερμικές μηχανές διακρίνονται σε:

- εμβολοφόρους ή παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης (βενζινοκινητήρες ή κινητήρες πετρελαίου) και εξωτερικής καύσης.
- περιστροφικές ή στροβίλους (στις μηχανές εσωτερικής καύσεως ονομάζονται ατμοστροβίλοι και στις εξωτερικής καύσεως αεριοστροβίλοι).

Ειδικότερα στις εμβολοφόρους - παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσεως η έναυση στον κύλινδρο μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους:

- α. με τη βοήθεια εξωτερικού μέσου π.χ. σπινθήρα, σε αυτή περίπτωση υπάγονται οι "κινητήρες Όττο" (που διακρίνονται σε αεριομηχανές και σε βενζινομηχανές)
- β. αυτόματα, λόγω μεγάλης θέρμανσης του καυσίμου, περίπτωση όπου οι μηχανές Ντήζελ ή πετρελαιομηχανές.

1.2.2 ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΕΣ-ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΕΣ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΕΩΣ

Η λειτουργία των μηχανών αυτών στηρίζεται στην παραγωγή μηχανικού έργου από τη χημική ενέργεια των καυσίμων και συγκεκριμένα της καύσης τους. Καύση είναι η χημική αντίδραση όπου η καύσιμος ύλη ενώνεται με το οξυγόνο του αέρα για να δώσει νέα συστατικά, το διοξείδιο του άνθρακα και νερό (κ.α.)

Επειδή η ενέργεια που χρειάζεται για να σχηματιστούν τα νέα αυτά μόρια είναι μικρότερη από αυτή που είχαν τα αρχικά μόρια, μένει ελεύθερο ένα σημαντικό ποσό ενέργειας με την μορφή της θερμότητας (εξώθερμη αντίδραση, αποδιδόμενη ενέργεια). Η θερμότητα δεν είναι ακριβώς αυτό που ζητάμε, την εκμεταλλευόμαστε όμως για να πετύχουμε τον σκοπό μας.

Μέρος λοιπόν αυτής της θερμότητας ανεβάζει την θερμοκρασία των αερίων προϊόντων της καύσης και αυξάνει την πίεσή τους. Τα υπερσυμπιεσμένα αέρια σπρώχνουν προς όλες τις κατευθύνσεις και φυσικά και την επιφάνεια του εμβόλου που αρχίζει να κινείται. Με αυτόν τον τρόπο μετατρέπουμε την θερμότητα σε κινητική ενέργεια. Η κίνηση είναι αυτό που ζητάμε.

1.2.3 ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Δυστυχώς μόνο ένα μέρος της θερμότητας που παραλαμβάνει η μηχανή από το θερμό σώμα, μπορεί να μετατραπεί σε μηχανικό έργο και δεν μπορούμε να μετατρέψουμε όλο το ποσό της εκλυόμενης ενέργειας του καυσίμου σε κινητική. Αυτό ονομάζεται θερμοδυναμική απόδοση των κινητήρων. Ο λόγος, δηλαδή, ανάμεσα στη θερμότητα που αξιοποιείται (μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια) και στη θεωρητικά διαθέσιμη ενέργεια. Όσο πιο υψηλή είναι αυτή η απόδοση τόσο πιο αποδοτικός είναι ο κινητήρας. Σύμφωνα με την αρχή του Carnot η απόδοση μιας θερμικής μηχανής είναι, πάντοτε, ένας αριθμός μικρότερος της μονάδας, ακόμα και όταν η μηχανή είναι τέλεια. Έτσι λοιπόν η μόνιμη πρόκληση των σχεδιαστών είναι να προσπαθήσουν να μειώσουν τις απώλειες και να παρουσιάσουν κινητήρες με τον καλύτερο βαθμό μετατροπής, της προσφερόμενης ενέργειας σε αποδιδόμενη.

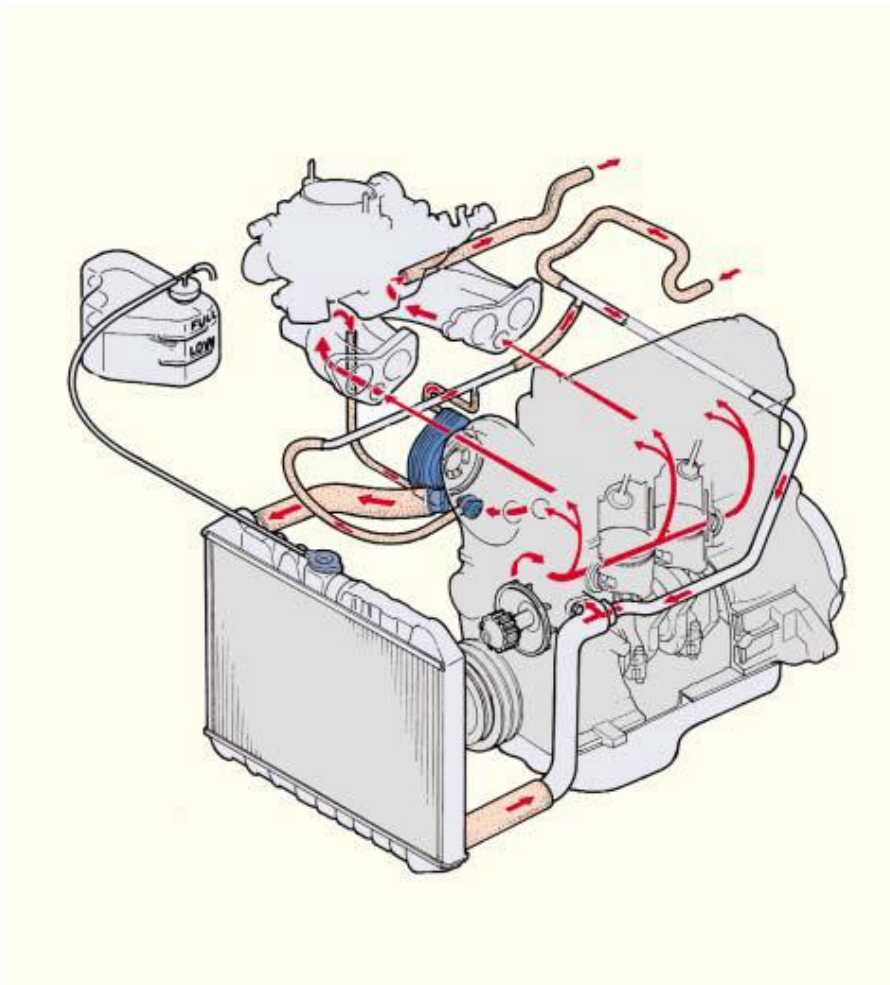
Βελτίωση της θερμοδυναμικής απόδοσης ενός κινητήρα σημαίνει αύξηση της αποδιδόμενης ισχύος για την ίδια κατανάλωση καυσίμων, ή μείωση της κατανάλωσης για την ίδια απόδοση ισχύος.

1.2.4 ΨΥΞΗ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ

Οι κύλινδροι των ΜΕΚ χρειάζονται ψύξη. Οι περισσότεροι κινητήρες εσωτερικής καύσης (βενζινοκινητήρες και πετρελαιοκινητήρες) είναι υγρόψυκτοι, εκτός από ορισμένους κινητήρες κυρίως μικρών μονάδων, όπως χορτοκοπτικές ή αλυσοπρίονα, οι οποίοι είναι αερόψυκτοι.

Το υγρό κυκλοφορεί γύρω από τους κυλίνδρους απάγοντας θερμότητα, την οποία αποδίδει στο ψυγείο του κινητήρα. Το κύκλωμα περιλαμβάνει συνήθως θερμοστάτη για να κρατά τη θερμοκρασία στα χιτώνια των κυλίνδρων σταθερή. Το εύρος θερμοκρασιών του υγρού στο κύκλωμα ψύξης των κινητήρων, κυμαίνεται μεταξύ 80-90 °C βαθμών κελσίου, ώστε να επιτυγχάνεται αποδοτική καύση, ενώ ταυτόχρονα εξασφαλίζεται η μακροζωία των μερών του κινητήρα προστατεύοντας τα από υπερθερμάνσεις.

Η θερμοκρασία στο τοίχωμα του κυλίνδρου, ασκεί σημαντική επίδραση στην κατανάλωση καυσίμου και στις εκπομπές καυσαερίων. Στο σύστημα ψύξης επικρατεί συνήθως υπερπίεση για να ανυψώνει το σημείο ζέσης του ψυκτικού μέσου, έτσι ώστε το τελευταίο να διατηρείται σε υγρή κατάσταση και να διευκολύνεται η μεταφορά θερμότητας στο ψυγείο.



Εικόνα 1.13: Κύκλωμα ψύξης υδρόψυκτης μηχανής εσωτερικής καύσης

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παγκόσμια οικονομία διψά για ενέργεια και αυτό αντικατοπτρίζεται στους αυξητικούς ρυθμούς της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας. Σε αντίθεση, όμως, με όλες τις προηγούμενες, η σημερινή κρίση χαρακτηρίζεται από μία ραγδαία αυξανόμενη ζήτηση και όχι όπως στο παρελθόν από προβλήματα στην παραγωγή και περιορισμούς στην προμήθεια. Σήμερα απεναντίας παρατηρείται επάρκεια στην προσφορά.

Τη σημερινή κρίση επιβάλλει η αλλαγή του κλίματος της γης, αφού χρειάζεται να εξευρεθούν οικονομικοί πόροι, έτσι, ώστε να γίνουν σοβαρές επενδύσεις για την προώθηση των εναλλακτικών πηγών ενέργειας και των τεχνολογιών αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Η ευρεία χρήση των ορυκτών καυσίμων οδηγεί αναπόφευκτα σε μια δραματική αύξηση των εκπομπών των θερμοκηπιακών αερίων. Είναι σαφές ότι οι τάσεις αυτές μπορούν να ανατραπούν δραστικά αν υπάρξει η απαραίτητη πολιτική βούληση και δράση. Έτσι θα επιτευχθεί η μετατροπή του υφιστάμενου ενεργειακού συστήματος σε ένα αειφόρο και παράλληλα τεχνολογικά αναβαθμισμένο έξυπνο σύστημα όπου η χρήση των ορυκτών καυσίμων θα μειωθεί και μετέπειτα θα εγκαταλειφθεί.

Σύμφωνα με έκθεση της Climate Action Tracker (CAT), με την υποστήριξη τριών ευρωπαϊκών ερευνητικών ομάδων, επισημαίνει ότι απαιτείται μια δραστική στροφή προς τα καθαρά ηλεκτρικά αυτοκίνητα, εφόσον το 14% των αερίων που ευθύνονται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου προέρχονται από τον κλάδο των μεταφορών.

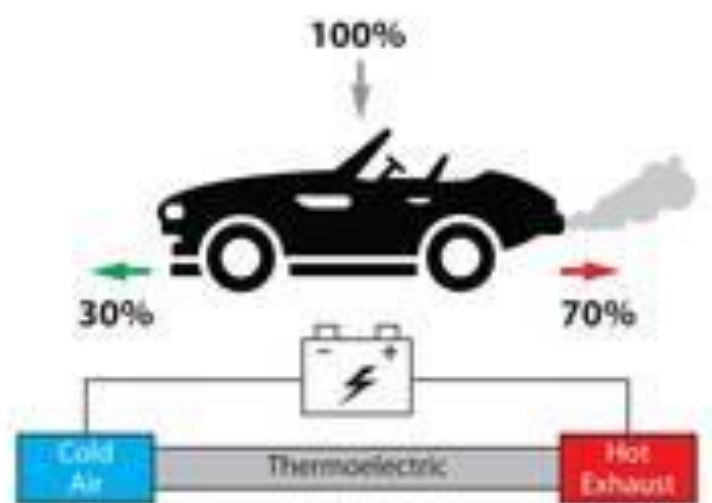
Ο Οργανισμός Πετρελαιοεξαγωγικών Χωρών (OPEC) προβλέπει πως μέχρι το 2040, μόνο το 6% των επιβατικών αυτοκινήτων και το 5,3% των επαγγελματικών οχημάτων θα κινούνται από μη ορυκτά καύσιμα, με το υπόλοιπο 94% να κινείται από βενζίνη ή πετρέλαιο. Θεωρεί πως το κόστος των μπαταριών των ηλεκτρικών αυτοκινήτων θα μειωθεί, η αυτονομία των ηλεκτρικών αυτοκινήτων θα μεγαλώσει, όπως και οι επιδόσεις τους, αλλά τελικά αυτά δεν θα μπορέσουν να ανταγωνιστούν επαρκώς τα βενζινοκίνητα και τα πετρελαιοκίνητα αυτοκίνητα, τα οποία συνεχώς βελτιώνουν την απόδοσή τους.

Ως γνωστόν οι κινητήρες εσωτερικής καύσης των αυτοκινήτων, έχουν μικρό βαθμό απόδοσης με το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας να αποβάλλεται στο περιβάλλον ως θερμότητα. Από την συνολική ενέργεια που παράγει ένας κινητήρας εσωτερικής καύσης περίπου το 30% είναι το ωφέλιμο που μετατρέπεται σε ροπή και περνά στους τροχούς, καθώς το 30% αποβάλλεται στο περιβάλλον ως θερμότητα, το 30% στην μορφή των καυσαερίων ενώ το 10% αναλώνεται σε μηχανικές τριβές (αντλίες λαδιού-ψύξης, σύστημα κλιματισμού, επιμέρους συστήματα κ.α.). Ακόμη και το 30% (στους βενζινοκίνητους είναι κάτω από 25%) που περισσεύει μειώνεται στη συνέχεια περίπου στο μισό κατά την μεταφορά ισχύος προς τους τροχούς.

Λαμβάνοντας υπόψιν τις θερμικές απώλειες των μηχανών εσωτερικής καύσης κατασκευάστηκε μια διάταξη τοποθετημένη στο σύστημα ψύξης κινητήρα αυτοκινήτου, η οποία μέσω θερμοηλεκτρικών μονάδων/γεννητριών (TEG ή Thermoelectric Generator) εκμεταλλευόμενη τις θερμικές απώλειες του κινητήρα και την πλούσια παροχή αέρα περιβάλλοντος, για θέρμανση και ψύξη των δύο κύριων πλευρών τους αντίστοιχα, παράγει ηλεκτρική ενέργεια, σύμφωνα με το φαινόμενο Seebeck.

Η ενέργεια αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί, είτε για την φόρτιση μπαταριών υβριδικών οχημάτων και την κίνηση τους μέσω ηλεκτροκινητήρων, είτε για την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών του οχήματος αντικαθιστώντας ή συμπληρώνοντας την ήδη υπάρχουσα γεννήτρια(δυναμό) που δέχεται κίνηση από την μηχανή και την επιβαρύνει έως και 5%. Επιτυγχάνοντας με αυτόν τον τρόπο μείωση απωλειών, εκπεμπόμενων ρύπων και οικονομία καυσίμων προστατεύοντας το περιβάλλον και καθιστώντας το αυτοκίνητο πιο «πράσινο».

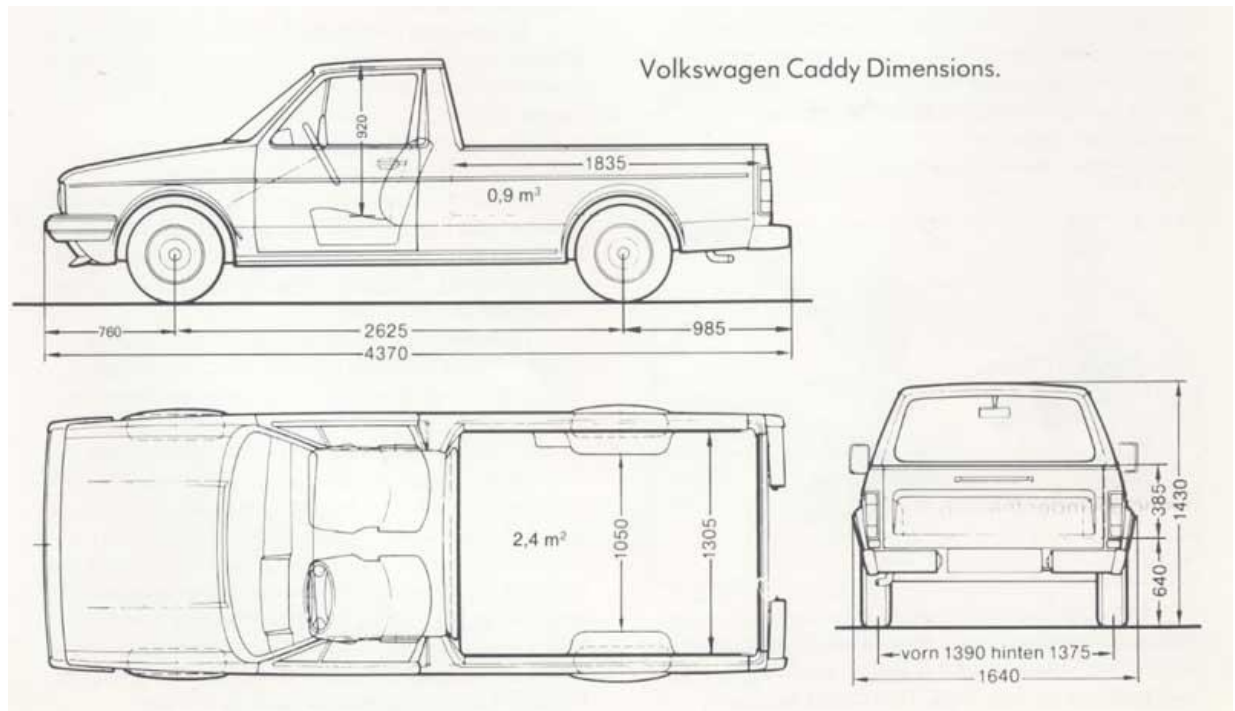
Κατασκευάστηκε αρχικά διάταξη δύο θερμοηλεκτρικών μονάδων και έπειτα μιας θερμοηλεκτρικής μονάδας, για σύγκριση των μεταξύ τους αποτελεσμάτων και εξαγωγή ακριβέστερων συμπερασμάτων.



Εικόνα 2.1 Σχηματικό διάγραμμα απόδοσης αυτοκινήτου

2.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ

Το αυτοκίνητο του πειράματος είναι το Volkswagen Caddy MK1 Diesel 1990, επιλέχθηκε λόγω της δυνατότητας που δίνεται στην εφαρμογή τροποποιήσεων στο σύστημα ψύξης του σε σχέση με νεότερα μοντέλα αυτοκινήτων. Διαθέτει τον πετρελαιοκινητήρα της VW 1Y 1900cc με απόδοση 65hp, μέγιστη ροπή 124Nm και μέση κατανάλωση 5l/100km.



Εικόνα 2.2: Κάτοψη και τομή Volkswagen Caddy Mk1 1990

2.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ

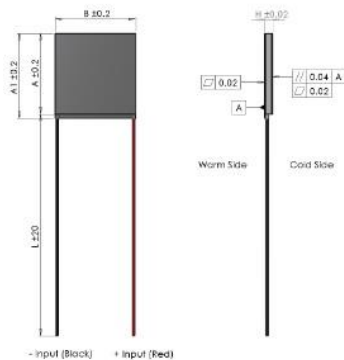
Έπειτα από εκτενή έρευνα με βάση το θερμοκρασιακό εύρος του ψυκτικού υγρού κατά την λειτουργία των κινητήρων (80-90 °C) , ως θερμοηλεκτρική μονάδα επιλέχθηκε το μοντέλο της EUROPEAN THERMODYNAMICS APHC-12708-S PELTIER COOLER MODULE με απόδοση 71W στα 14.7VDC ως cooler, για τον λόγο ότι προσφέρει ιδανική απόδοση σε αυτές τις θερμοκρασίες ως generator σε σχέση με άλλα μοντέλα, αφού εκτός απο cooler (όταν συνδεθεί σε κάποια πηγή ρεύματος) έχει την δυνατότητα να λειτουργεί και ως generator, με μικρότερη απόδοση ωστόσο, δηλαδή να παράγει ηλεκτρική ενέργεια όταν στις δύο κύριες επιφάνειες του υπάρξει θερμοκρασιακή διαφορά (φαινόμενο Seebeck).



Εικόνα 2.3: Θερμοηλεκτρική Μονάδα

APHC-12708-S Peltier cooler module

Data sheet



Features

- RoHs and Reach 161 compliant
- Solid-state reliability
- Built with high temperature solder with the ability to withstand <200°C assembly processing temperatures for short periods of time
- High integrity nickel diffusion barriers on elements
- High strength for rugged environments
- Porched style for enhanced leadwire strength
- Sealed & lapped for multi-module applications

I _{max}	[A]	7.4
V _{max}	[Vdc]	14.7
P _{c max}	[W]	71
ACR	[Ω]	1.6
ΔT _{max}	[°C]	66
A	[mm]	40
A1	[mm]	40
B	[mm]	44
H	[mm]	3.53
L	[mm]	100
Wire	AWG	20

- (At hot side temperature T_h = 27°C / 300K, under dry N₂)
- P_{c max} = Cooling power at ΔT = 0 and I = I_{max}
- ΔT_{max} = Temperature difference at I = I_{max} and P_c = 0
- Max hot side temperature T_h = 200°C for best long term performance
- Max mounting pressure: 1.5MPa
- Wires: UL-style 1569, 105°C (Unstripped)



Adaptive is a registered trademark of European Thermodynamics Limited.
Web: www.etedyn.com Tel: +44(0)16 279 6899 E-mail: info@etedyn.com

Εικόνα 2.4: Χαρακτηριστικά του θερμοηλεκτρικού μοντέλου

2.4 ΟΡΓΑΝΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ

- Βολτόμετρο (mV)
- Αμπερόμετρο (μA)
- Θερμόμετρο (°C)
- Μετρητής ταχύτητας (km/h) (μέσω εφαρμογής και GPS κινητού τηλεφώνου)
- Στροφόμετρο μηχανής (rpm)

2.5 ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ

- Μεταλλικό δοχείο από αλουμίνιο
- Θερμομονωτική σιλικόνη
- Θερμοαγώγιμη πάστα 5 W/m·K
- Καλώδια
- Αντίσταση 16 Ω
- Ξύλινο πάνελ
- Βίδες
- Ψύκτρα αλουμινίου

3. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

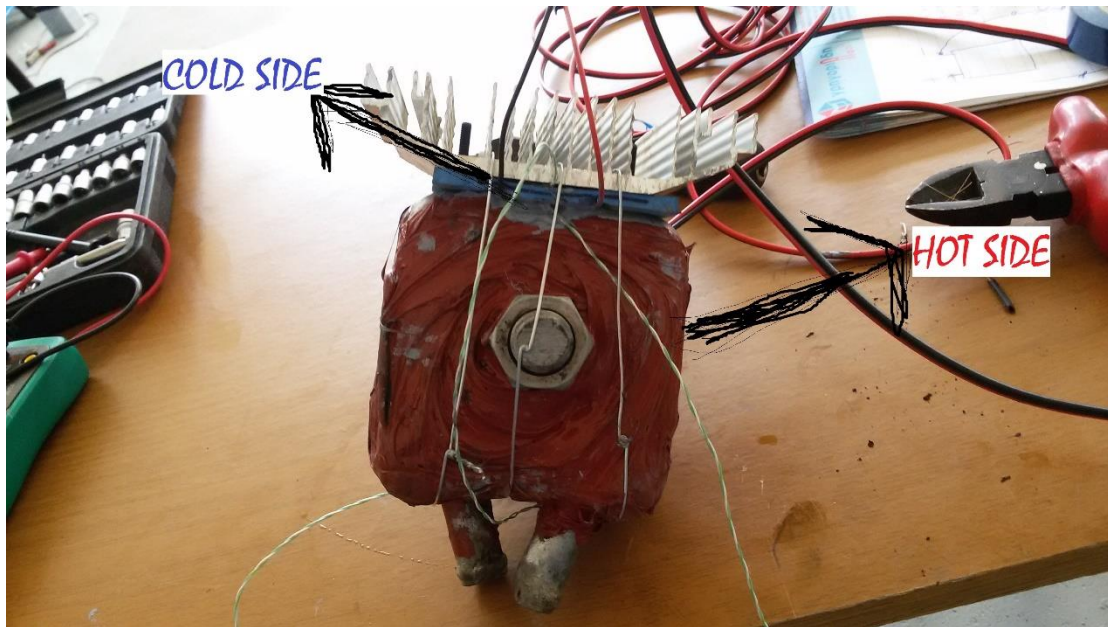
3.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΜΕ ΔΥΟ ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ

1. Ως μέσο αγωγής επιλέχθηκε αλουμινένιο δοχείο, λόγω της καλής του θερμικής αγωγιμότητας ($317 \text{ W}/\text{m}\cdot\text{K}$ στους 298K), το οποίο στην συνέχεια μονώθηκε με θερμομονωτική σιλικόνη σε όλες τις πλευρές του ώστε να μην υπάρχουν θερμικές απώλειες, εκτός από την πλευρά όπου τοποθετήθηκαν οι θερμοηλεκτρικές μονάδες.



Εικόνα 3.1: Δοχείο αγωγής από αλουμίνιο

2. Προσαρμόστηκαν οι θερμοηλεκτρικές μονάδες στο δοχείο, αφού οι κύριες πλευρές τους αρχικά καλύφθηκαν με θερμοαγώγιμη πάστα ($5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ στους 298K) και στην εξωτερική τους πλευρά τοποθετήθηκε αλουμινένια ψύκτρα, με τέτοιο τρόπο ώστε η μια τους πλευρά να θερμαίνεται από το δοχείο και η άλλη να ψύχεται από την αλουμινένια ψύκτρα, όπως φαίνεται στην εικόνα.



Εικόνα 3.2: Πειραματική Διάταξη

3. Τοποθετήθηκαν αισθητήρες θερμοκρασίας τύπου K στο κέντρο των θερμοηλεκτρικών μονάδων, ένας στην εσωτερική πλευρά και ένας στην εξωτερική πλευρά τους, οι οποίοι στην συνέχεια συνδέθηκαν με ψηφιακό θερμόμετρο και επεκτάθηκαν τα καλώδια μεταφοράς του ηλεκτρικού ρεύματος προς τον χώρο της καμπίνας του οχήματος, όπου βρίσκονταν τα όργανα. Επίσης στο θερμόμετρο συνδέθηκε και ένας ακόμη αισθητήρας τύπου K, ο οποίος μετρούσε την θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα.



Εικόνα 3.3: Πειραματική διάταξη

4. Το δοχείο με την βοήθεια κάποιων μεταλλικών εξαρτημάτων στηρίχθηκε στην κατάλληλη θέση του σκάφους του αυτοκινήτου ώστε να είναι εύκολη η πρόσβαση σε αυτό για μετέπειτα τροποποιήσεις άλλα και να ψύχεται κατάλληλα η ψύκτρα από τον εισερχόμενο αέρα κατά την πορεία.



Εικόνα 3.4: Θέση πειραματικής διάταξης στο αυτοκίνητο

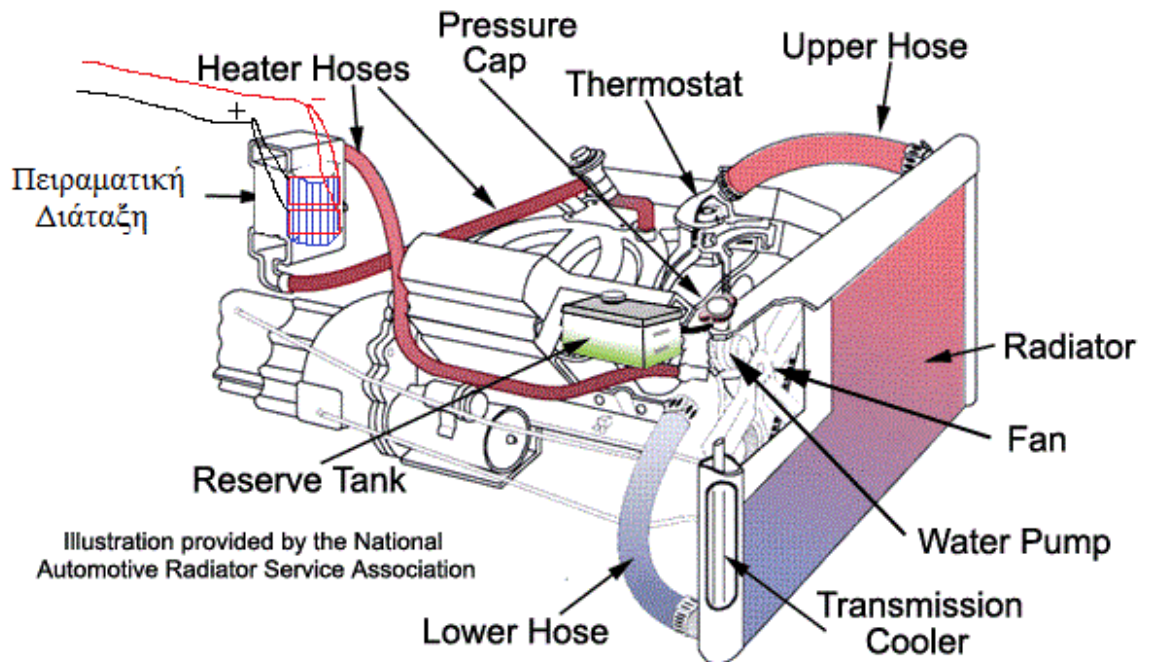


Εικόνα 3.5: Θέση πειραματικής διάταξης στο αυτοκίνητο



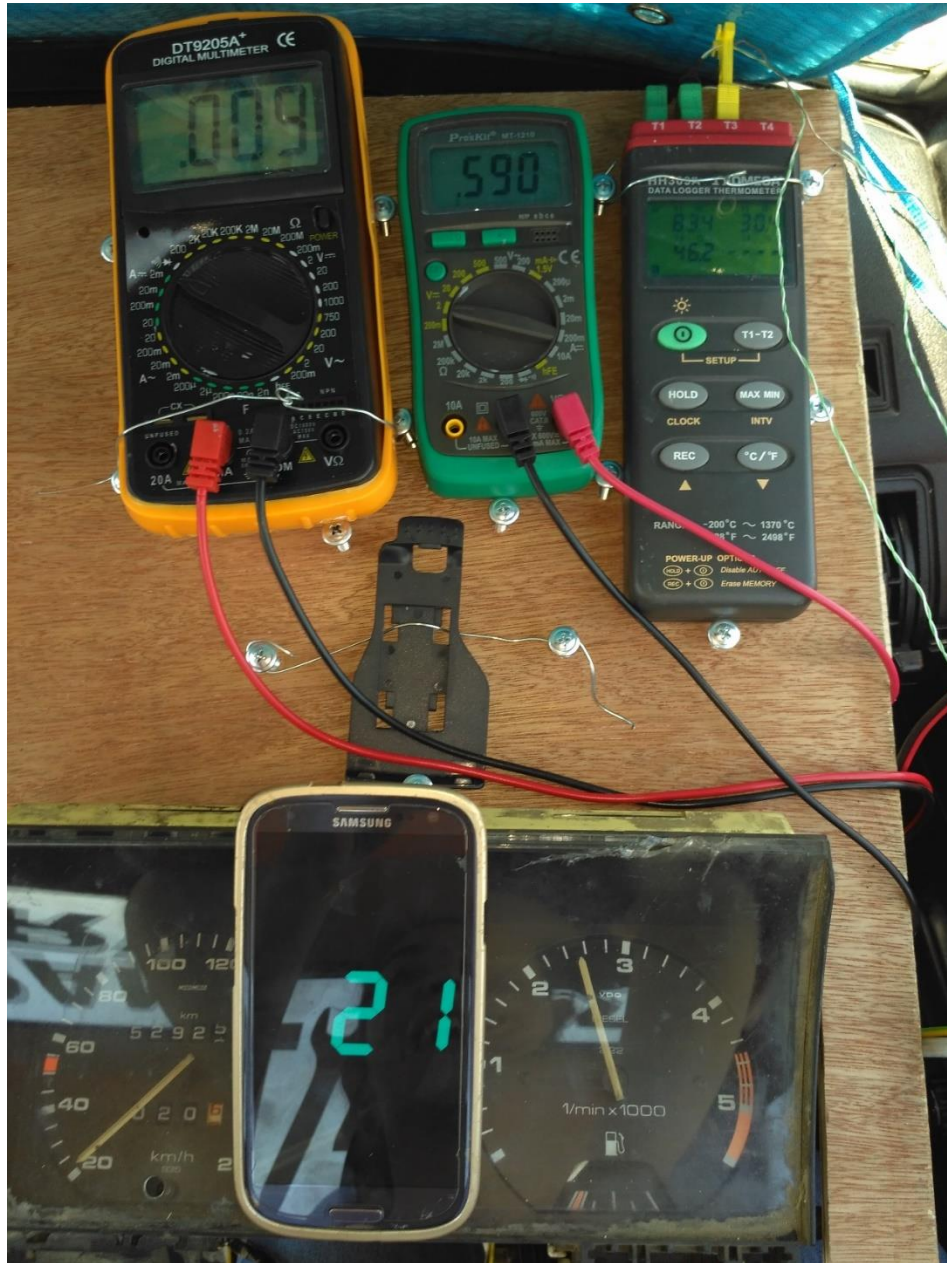
Εικόνα 3.6: Θέση πειραματικής διάταξης στο αυτοκίνητο

5. Συνδέθηκαν οι σωληνώσεις του κυκλώματος ψύξης του κινητήρα οι οποίες προσφέρουν ζεστό υγρό στο καλοριφέρ του αυτοκινήτου τους χειμερινούς μήνες. Ουσιαστικά πρόκειται για το ίδιο κύκλωμα με αυτό που συνδέεται στο ψυγείο του κινητήρα, απλώς η πειραματική διάταξη συνδέθηκε σε αυτό για λόγους ευκολίας.



Εικόνα 3.7: Σύστημα ψύξης υδρόψυκτης μηχανής εσωτερικής καύσης

6. Προμηθεύτηκε πάνελ πάνω στο οποίο τοποθετήθηκαν διάφορα όργανα για τις απαιτούμενες μετρήσεις, όπως αμπερόμετρο, βολτόμετρο, στροφόμετρο μηχανής και ψηφιακό θερμόμετρο.



Εικόνα 3.8: Πάνελ στήριξης οργάνων

7. Το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας επεκτάθηκε από την πειραματική διάταξη προς τον χώρο της καμπίνας του οχήματος, όπου βρίσκονται τα όργανα, προσαρμόζοντας έναν διακόπτη (ON/OFF) για λόγους ασφαλείας. Επίσης οι αισθητήρες θερμοκρασίας συνδέθηκαν στο ψηφιακό θερμόμετρο.

3.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΜΕ ΜΙΑ ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ

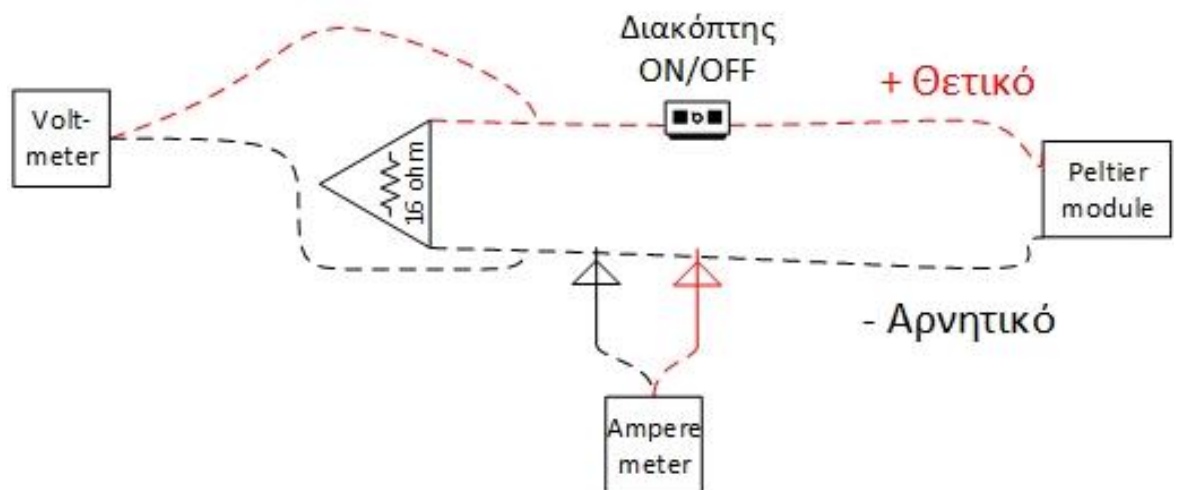
1. Έχοντας προηγουμένως εκτελέσει τις παραπάνω εργασίες, απλώς αφαιρέθηκε η μια θερμοηλεκτρική μονάδα με σκοπό την εκτίμηση της απόδοσης της μιας μονάδας και την σύγκριση των μεταξύ τους αποτελεσμάτων. Επομένως η διαδικασία κατασκευής είναι ακριβώς η ίδια.

3.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

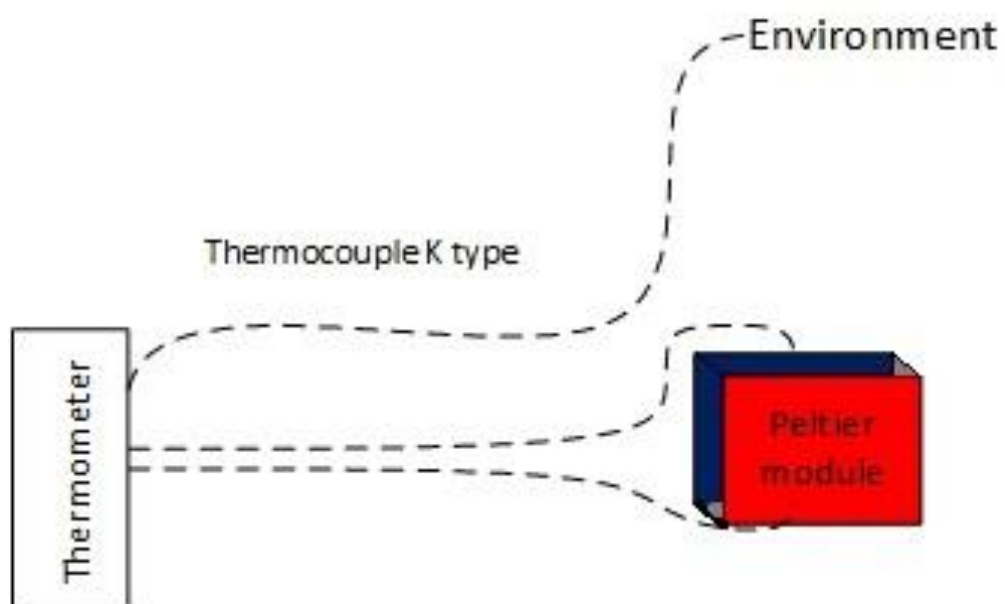
Αρχικά τέθηκε σε λειτουργία ο κινητήρας, εν στάση στο ρελαντί μέχρις ότου φτάσει σε συνθήκες ομαλής λειτουργίας (80-90 °C θερμοκρασία ψυκτικού υγρού). Πραγματοποιήθηκαν κάποιες διαδρομές όπου καταγράφηκαν τα πρώτα δεδομένα σε mVolt και μA , βάσει των οποίων, επιλέχθηκε η κατάλληλη συσκευή κατανάλωσης της ηλεκτρικής παραγόμενης ενέργειας. Έτσι με την χρήση του τύπου $Ohm = Volt/Amps$, επιλέχθηκε κατά προσέγγιση μια θερμική αντίσταση 16 ohm και συνδέθηκε στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, ικανή να ανταποκρίνεται και στις δύο διατάξεις που κατασκευάστηκαν. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε με τόση λεπτομέρεια ώστε να αποφευχθεί η καταστροφή των θερμοηλεκτρικών μονάδων σε περίπτωση τυχαίας επιλογής.



Εικόνα 3.9: Θερμικές αντιστάσεις



Εικόνα 3.10: Σχηματικό διάγραμμα δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας



Εικόνα 3.11: Σχηματικό διάγραμμα δικτύου αισθητήρων θερμοκρασίας

4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Η εκτέλεση του πειράματος έλαβε χώρα στις 25&26/05 στην εθνική οδό Έδεσσας-Θεσσαλονίκης (από Μαυροβούνι έως Μελίσσι), λόγω της ασφάλειας που παρέχει ως δρόμος και της μεγάλης απόστασης από κατοικημένες περιοχές ώστε να μην υπάρχουν οχλήσεις.



Εικόνα 4.1: Εθνική οδός Έδεσσας-Θεσσαλονίκης

Η προετοιμασία για την καταγραφή των μετρήσεων περιελάμβανε την προθέρμανση του κινητήρα στην απαιτούμενη θερμοκρασία (80-90 °C) για την εκτέλεση του πειράματος και την παρουσία της βοηθού για την καταγραφή των μετρήσεων με την χρήση κάμερας κινητού τηλεφώνου.

Κατά την εκτέλεση του πειράματος εξετάστηκαν οι παράγοντες:

- **Θερμοκρασία περιβάλλοντος:** Οι μετρήσεις καταγράφηκαν σε διαφορετικές ώρες της ημέρας, μεσημέρι (13:00) και βράδυ (00:00), όπου υπήρχαν μεταβολές στην θερμοκρασία του περιβάλλοντος έως και 10 βαθμούς κελσίου, ώστε να προσδιοριστεί σε ποιο βαθμό αυτή επηρεάζει την απόδοση της πειραματικής διάταξης.
- **Ταχύτητα του οχήματος:** Ως ταχύτητες εκτέλεσης του πειράματος επιλέχθηκαν οι ταχύτητες των 80 και 100km/h, φυσιολογικές για κίνηση σε εθνική οδό, ώστε τα αποτελέσματα να είναι αντιπροσωπευτικά. Η ταχύτητα εξετάστηκε ώστε να προσδιοριστεί σε ποιον βαθμό ο διερχόμενος αέρας κατά την κίνηση του αυτοκινήτου επηρεάζει την απόδοση της διάταξης.
- **Στροφές του κινητήρα:** Κατά την κίνηση του οχήματος για κάθε ταχύτητα (80 και 100km/h) χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές σχέσεις κιβωτίου, ώστε να προκύπτουν διαφορετικές στροφές (rpm) λειτουργίας του κινητήρα. Για παράδειγμα για την ταχύτητα των 100km/h επιλέχθηκε αρχικά η 4^η σχέση κιβωτίου στις 4.500(rpm) και έπειτα η 5^η ταχύτητα στις 3500(rpm). Η εξέταση των διαφορετικών στροφών έγκειται στο γεγονός ότι ο στροφαλοφόρος άξονας του κινητήρα συνδέεται μέσω ιμάντα με την αντλία του συστήματος ψύξης του, επομένως διαφορετικές στροφές σημαίνει και διαφορετική ταχύτητα ροής του ψυκτικού υγρού στο σύστημα, άρα και διαφορετική ροή θερμότητας προς την πειραματική διάταξη.

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε οδηγώντας το αυτοκίνητο σταθερά στα 80km/h και έπειτα στα 100km/h με δύο σχέσεις κιβωτίου (4^η και 5^η) και για διάρκεια περίπου 2 λεπτών για κάθε σχέση μέχρις ότου σταθεροποιηθούν οι μετρήσεις των οργάνων και καταγραφούν στην κάμερα. Τέλος οι μαγνητοσκοπημένες μετρήσεις αντιγράφηκαν σε ηλεκτρονικό υπολογιστή και καταγράφηκαν σε αρχείο excel.

5.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΜΕ ΜΙΑ ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ

5.1.1 ΑΠΟΔΟΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Πίνακας 5.1: Απόδοση της ηλεκτρικής τάσης της πειραματικής διάταξης με μια θερμοηλεκτρική μονάδα.

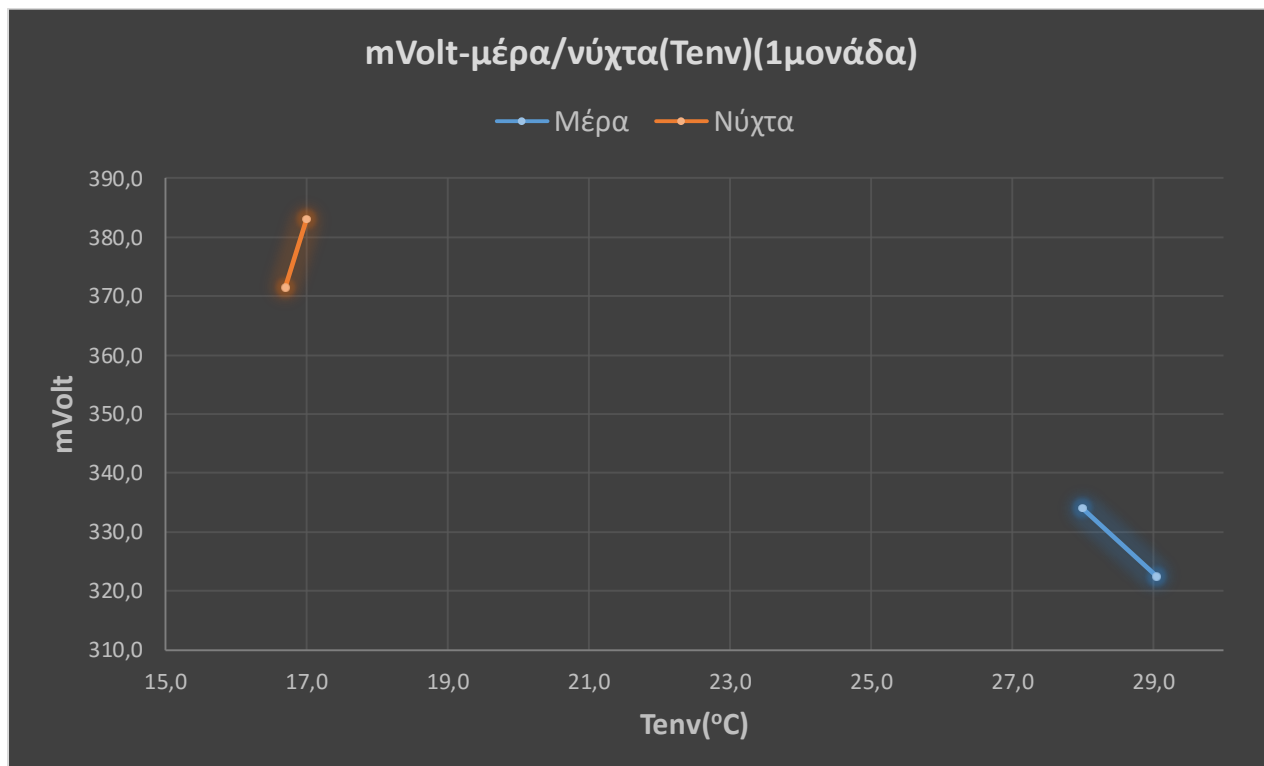
	Μέρα		Νύχτα	
km/h	80	100	80	100
μΑ	5	5	5	5
mVolt	323	334	372	383
Th(°C)	87,8	88,8	83,7	86,3
Tc(°C)	56,6	56,5	49,2	48,1
Tenv(°C)	29,1	28,0	16,7	17,0
ΔT(°C)	31,2	32,3	34,5	38,2

*οι παραπάνω μετρήσεις αποτελούν μέσοι όροι των μετρήσεων με 4^η και 5^η ταχύτητα

Όπου:

- km/h: η ταχύτητα του αυτοκινήτου
- μΑ: η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που αποδίδει η πειραματική διάταξη
- mVolt: η ηλεκτρική τάση που αποδίδει η πειραματική διάταξη
- Th: η θερμοκρασία της «θερμής» πλευράς της θερμοηλεκτρικής μονάδας στην οποία μεταφέρεται θερμότητα από το σύστημα ψύξης.
- Tc: η θερμοκρασία της ψυχόμενης πλευράς της θερμοηλεκτρικής μονάδας
- Tenv: η θερμοκρασία του περιβάλλοντος
- ΔT: η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο πλευρών της θερμοηλεκτρικής μονάδας, δηλαδή Tenv= Th-Tc

Διάγραμμα 5.1: Απόδοση της ηλεκτρικής τάσης της πειραματικής διάταξης σε σχέση με την θερμοκρασία του περιβάλλοντος (μέρα/νύχτα) και την ταχύτητα του οχήματος (80-100), με μια θερμοηλεκτρική μονάδα.



Σχολιασμός:

Η απόδοση της πειραματικής διάταξης συνδέεται άμεσα με την (T_c) θερμοκρασία της ψυχόμενης πλευράς της θερμοηλεκτρικής μονάδας, αφού η θερμοκρασία της (T_h) θερμής πλευράς είναι σταθερή μεταξύ 80-90°C. Έτσι όσο μεγαλύτερη η διαφορά θερμοκρασίας (ΔT) των δύο πλευρών της θερμοηλεκτρικής μονάδας, τόσο μεγαλύτερη και η απόδοσή της πειραματικής διάταξης.

Βάσει του διαγράμματος 5.1 κύριος παράγοντας επιρροής της απόδοσης της τάσης της πειραματικής διάταξης σε mVolt, αποτελεί η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και σε μικρότερο βαθμό η ταχύτητα του οχήματος.

Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος επηρεάζει άμεσα την θερμοκρασία της ψυχόμενης πλευράς (T_c), μεταφέροντας ποσά θερμότητας μέσω ακτινοβολίας από την ψύκτρα της θερμοηλεκτρικής μονάδας προς το περιβάλλον, ψύχοντας την ακόμη και όταν το αυτοκίνητο δεν κινείται, εν στάση στο ρελαντί. Αυτό το φαινόμενο οφείλεται στο γεγονός ότι η θερμότητα, ως φυσικό φαινόμενο μεταδίδεται από ένα σώμα/σύστημα μεγαλύτερης θερμοκρασίας(ψύκτρα θερμοηλεκτρικής μονάδας) προς ένα άλλο μικρότερης θερμοκρασίας (περιβάλλον).

Αντίθετα με την ταχύτητα (κίνηση) του αυτοκινήτου, η ψύξη πραγματοποιείται μέσω αγωγής των μορίων του διερχόμενου αέρα στην μεταλλική ψύκτρα της ψυχόμενης επιφάνειας, με μικρότερη απόδοση ψύξης ωστόσο βάσει των μετρήσεων.

5.1.2 ΑΠΟΔΟΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΣΤΡΟΦΕΣ ΤΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

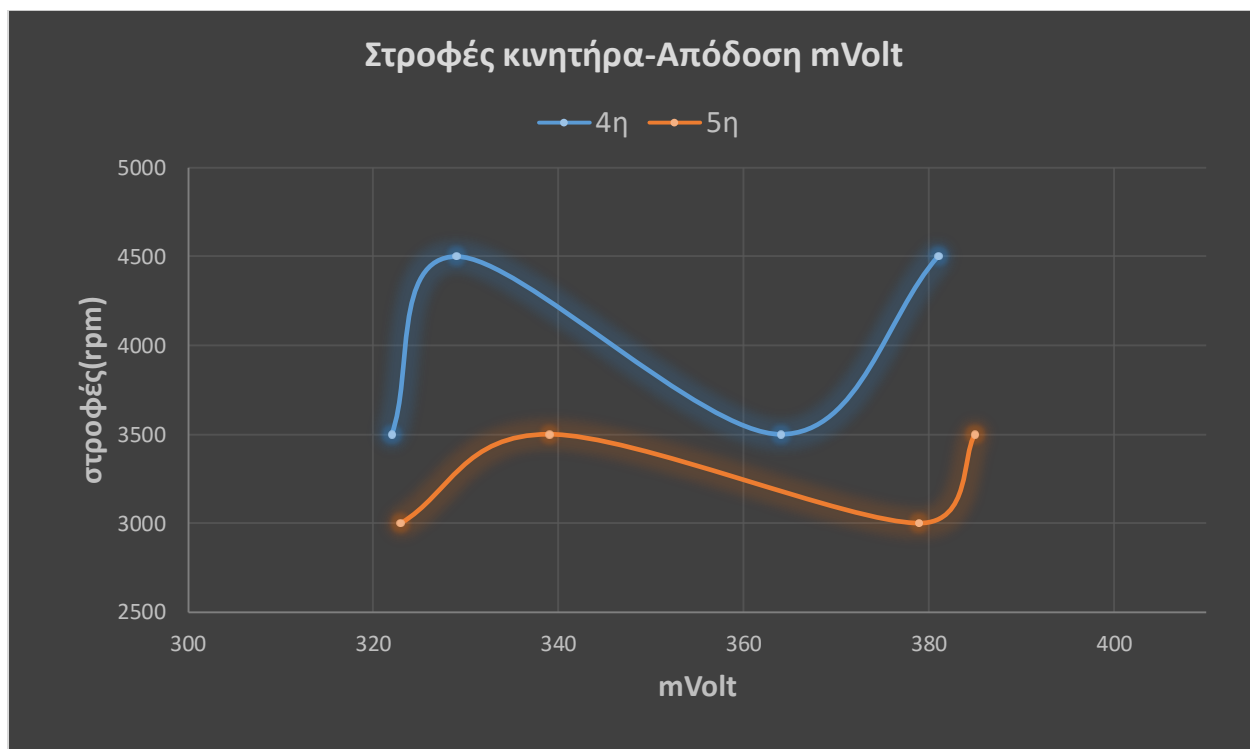
Πίνακας 5.2: Απόδοση της ηλεκτρικής τάσης της πειραματικής διάταξης με μια θερμοηλεκτρική μονάδα σε σχέση με τις στροφές του κινητήρα.

		Μέρα					Νύχτα		
km/h	80	80	100	100		80	80	100	100
Σχέσεις Κιβωτίου	4η	5η	4η	5η		4η	5η	4η	5η
Στροφές(rpm)	3500	3000	4500	3500		3500	3000	4500	3500
mVolt	322	323	329	339		364	379	381	385
Th (°C)	87,7	87,8	88,1	89,5		83,7	83,6	86,1	86,4
Tc (°C)	56,6	56,6	56	57		49,7	48,7	48,1	48,1
Tenv (°C)	29,2	28,9	27,8	28,2		17,4	16	17,3	16,7
ΔT (°C)	31,1	31,2	32,1	32,5		34	34,9	38	38,3

Όπου:

- km/h: η ταχύτητα του αυτοκινήτου.
- Σχέσεις κιβωτίου: Η σχέση κιβωτίου ταχυτήτων στο σύστημα μετάδοσης του αυτοκινήτου.
- Στροφές (rpm): Οι στροφές που εκτελεί ο στροφαλοφόρος άξονας του κινητήρα ανά λεπτό ή αλλιώς οι στροφές του κινητήρα.
- mVolt: η ηλεκτρική τάση που αποδίδει η πειραματική διάταξη.
- Tenv: η θερμοκρασία του περιβάλλοντος.
- ΔT: η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο πλευρών της θερμοηλεκτρικής μονάδας, δηλαδή $T_{env} = T_h - T_c$.

Διάγραμμα 5.2: Απόδοση της ηλεκτρικής τάσης της πειραματικής διάταξης με μια θερμοηλεκτρική μονάδα σε σχέση με τις στροφές (rpm) του κινητήρα



Σχολιασμός:

Οι στροφές του κινητήρα επηρεάζουν την απόδοση της πειραματικής διάταξης σε mVolt βάσει του διαγράμματος 5.2. Για παράδειγμα με 5η σχέση, στις 3500rpm με 100km/h η απόδοση είναι υψηλότερη από ότι αν κινείται, με 4η στις 4500rpm με 100km/h.

Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι η θερμοκρασία του ψυκτικού υγρού, η οποία συνδέεται άμεσα με την απόδοση της πειραματικής διάταξης, μεταβάλλεται σύμφωνα με τις στροφές, λόγω του ότι η αντλία του συστήματος ψύξης του κινητήρα συνδέεται με τον στροφαλοφόρο άξονα του, μέσω ιμάντα. Έτσι αυξάνοντας τις στροφές του κινητήρα, αυξάνονται και οι στροφές της αντλίας με αποτέλεσμα την ταχύτερη ροή του ψυκτικού υγρού και την ψύξη του.

Σε συνθήκες λειτουργίας όπως τις πειραματικές, δηλαδή σε δρόμους με μικρές κλίσεις, όπου ο κινητήρας δεν δέχεται μεγάλο φορτίο, δίνεται η δυνατότητα επιλογής μεταξύ πολλών σχέσεων κιβωτίου για τα ίδια km/h. Επομένως η χρήση μικρών σχέσεων με υψηλές στροφές, έχει αρνητική επίδραση στην απόδοση της πειραματικής διάταξης, λόγω του ότι η ψύξη του ψυκτικού υγρού αυξάνεται.

5.1.3 ΑΠΟΔΟΣΗ ΙΣΧΥΟΣ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΔΙΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ (ΔT)

Πίνακας 5.3: Απόδοση πειραματικής διάταξης με μια θερμοηλεκτρική μονάδα.

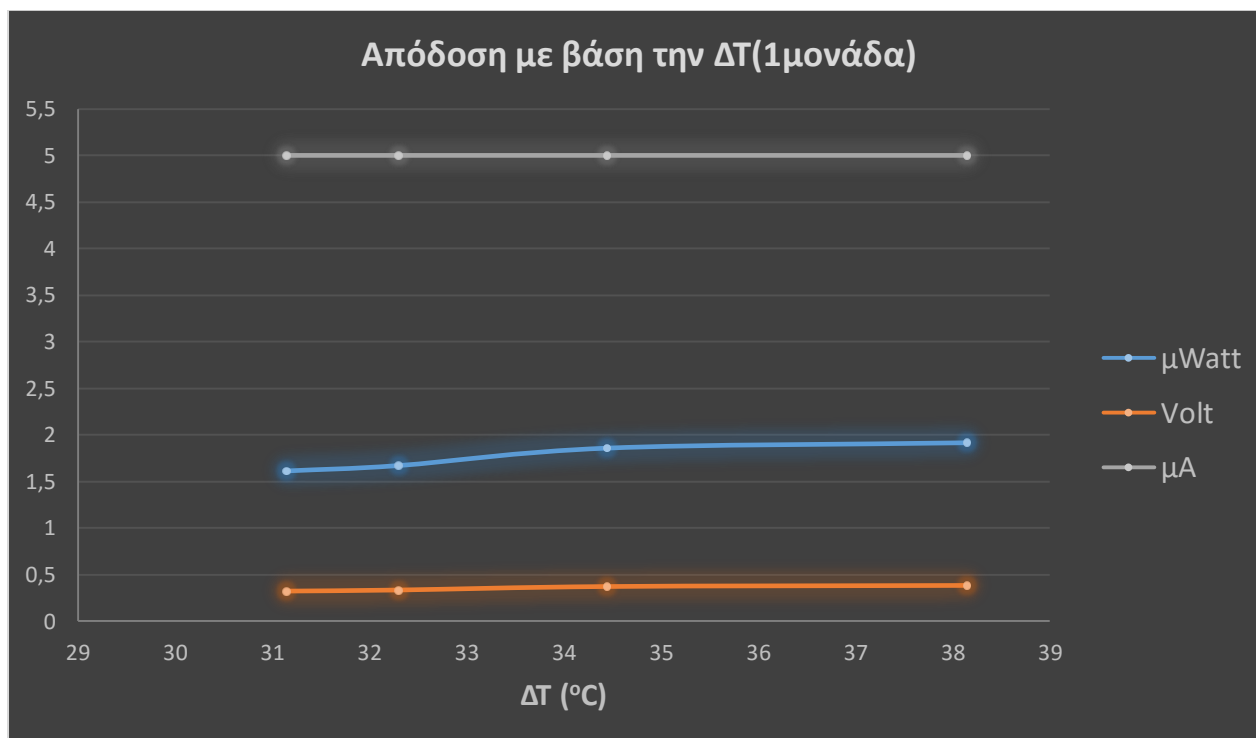
	Μέρα		Νύχτα	
km/h	80	100	80	100
μA	5	5	5	5
mV	0,323	0,334	0,372	0,383
μW	1,61	1,67	1,86	1,92
$\Delta T(^{\circ}C)$	31,2	32,3	34,5	38,2

*οι παραπάνω μετρήσεις αποτελούν μέσοι όροι των μετρήσεων με 4^η και 5^η ταχύτητα

Όπου:

- km/h: η ταχύτητα του αυτοκινήτου
- μA : η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που αποδίδει η πειραματική διάταξη
- mV: η ηλεκτρική τάση που αποδίδει η πειραματική διάταξη
- μW : Η ισχύς που αποδίδει η πειραματική διάταξη
- ΔT : η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο πλευρών της θερμοηλεκτρικής μονάδας, δηλαδή $T_{env} = T_h - T_c$

Διάγραμμα 5.3: Απόδοση ηλεκτρικής ισχύος πειραματικής διάταξης, με μια θερμοηλεκτρική μονάδα σε σχέση με την ΔT .



Σχολιασμός:

Βάσει του διαγράμματος 5.3 επαληθεύεται το φαινόμενο Seebeck, όπως παρατηρείται όσο αυξάνεται η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο πλευρών της θερμοηλεκτρικής μονάδας, ομοίως με την ηλεκτρική τάση αυξάνεται και η ηλεκτρική ισχύς της πειραματικής διάταξης (μWatt), αφού η ισχύς προκύπτει από τον τύπο **Watts = Volts * Amperes**.

5.2 ΑΠΟΔΟΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΜΕ ΔΥΟ ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ

5.2.1 ΑΠΟΔΟΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Πίνακας 5.4: Απόδοση της ηλεκτρικής τάσης της πειραματικής διάταξης με δύο θερμοηλεκτρικές μονάδες.

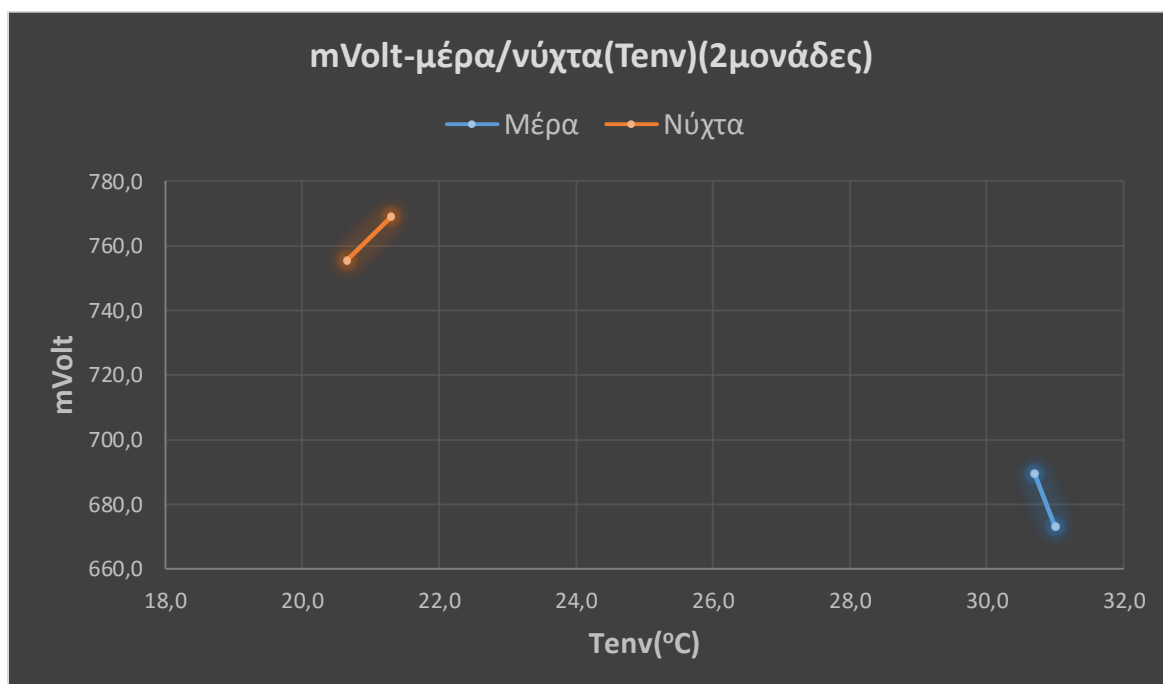
	Μέρα		Νύχτα	
km/h	80	100	80	100
μA	10	11	11	12
mVolt	673	689	755	769
$T_h(^{\circ}\text{C})$	83,3	84,5	79,3	81,9
$T_c(^{\circ}\text{C})$	42,6	42,2	35,9	36,1
$T_{env}(^{\circ}\text{C})$	31,0	30,7	20,7	21,3
$\Delta T(^{\circ}\text{C})$	40,8	42,4	43,5	45,9

*οι παραπάνω μετρήσεις αποτελούν μέσοι όροι των μετρήσεων με 4^η και 5^η ταχύτητα

Όπου:

- km/h: η ταχύτητα του αυτοκινήτου
- μA : η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που αποδίδει η πειραματική διάταξη
- mVolt: η ηλεκτρική τάση που αποδίδει η πειραματική διάταξη
- T_h : η θερμοκρασία της «θερμής» πλευράς της θερμοηλεκτρικής μονάδας στην οποία μεταφέρεται θερμότητα από το σύστημα ψύξης.
- T_c : η θερμοκρασία της ψυχόμενης πλευράς της θερμοηλεκτρικής μονάδας
- T_{env} : η θερμοκρασία του περιβάλλοντος
- ΔT : η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο πλευρών της θερμοηλεκτρικής μονάδας, δηλαδή $T_{env} = T_h - T_c$

Διάγραμμα 5.4: Απόδοση της ηλεκτρικής τάσης της πειραματικής διάταξης σε σχέση με την θερμοκρασία του περιβάλλοντος (μέρα/νύχτα) και την ταχύτητα του οχήματος (80-100), με δύο θερμοηλεκτρικές μονάδες.



Σχολιασμός:

Ως γνωστόν η απόδοση της πειραματικής διάταξης συνδέεται άμεσα με την (T_c) θερμοκρασία της ψυχόμενης πλευράς της θερμοηλεκτρικής μονάδας.

Βάσει του διαγράμματος 5.4 ομοίως με το 5.1, κύριος παράγοντας επιρροής της απόδοσης της πειραματικής διάταξης σε mVolt, αποτελεί η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και σε μικρότερο βαθμό η ταχύτητα του οχήματος.

Όπως είναι φυσικό η πειραματική διάταξη δύο θερμοηλεκτρικών μονάδων αποδίδει την διπλάσια ηλεκτρική τάση και ένταση σε σχέση με την άλλη διάταξη, αφού οι θερμοηλεκτρικές γεννήτριες είναι δύο αντί μιας.

Ωστόσο αυτό που παρατηρείται συγκρίνοντας τους πίνακες 5.1 και 5.4, είναι η μεγαλύτερη θερμοκρασιακή διαφορά ΔT , στην διάταξη δύο θερμοηλεκτρικών μονάδων ($\Delta T_{\max 1}=38.3$, $\Delta T_{\max 2}=45.9$), γεγονός που πιθανώς οφείλεται στο μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας στην ατμόσφαιρα κατά την εκτέλεση του πειράματος, αφού προσφάτως είχε βρέξει. Το ποσοστό υγρασίας στην ατμόσφαιρα, ως καλός αγωγός της θερμότητας, επηρεάζει την μετάδοση της θερμότητας μέσω αγωγής, ενισχύοντας έτσι (όταν αυξάνεται) την ψύξη της πειραματικής διάταξης. Επομένως η απόδοση της πειραματικής διάταξης εξαρτάται και από τις κλιματολογικές συνθήκες.

5.2.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ

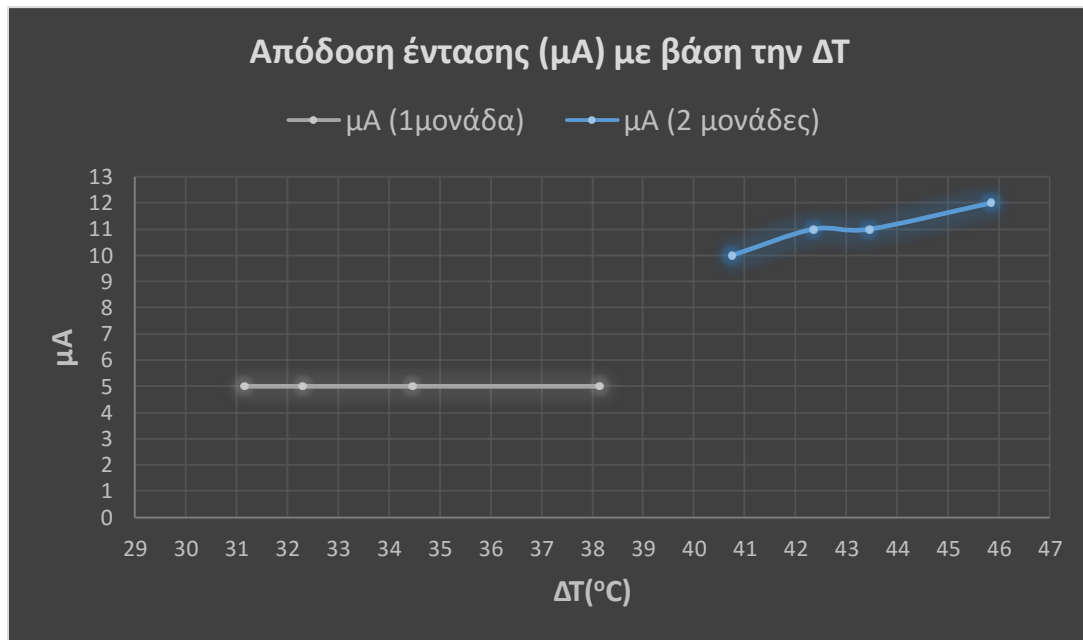
Πίνακας 5.5 Αποτελέσματα των δύο πειραματικών διατάξεων

Πειραματική διάταξη(1) μιας θερμοηλεκτρικής μονάδας								
		Μέρα				Νύχτα		
km/h	80	80	100	100	80	80	100	100
μA	5	5	5	5	5	5	5	5
mVolt	322	323	329	339	364	379	381	385
$\Delta T(^{\circ}\text{C})$	31,1	31,2	32,1	32,5	34	34,9	38	38,3
Πειραματική διάταξη(2) δύο θερμοηλεκτρικών μονάδων								
		Μέρα				Νύχτα		
km/h	80	80	100	100	80	80	100	100
μA	10	10	11	11	11	11	12	12
mVolt	672	674	687	692	756	755	769	769
$\Delta T(^{\circ}\text{C})$	41,2	40,3	42	42,7	43,1	43,8	45,2	46,5

Όπου:

- km/h: η ταχύτητα του αυτοκινήτου
- μA : η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που αποδίδει η πειραματική διάταξη
- mVolt: η ηλεκτρική τάση που αποδίδει η πειραματική διάταξη
- ΔT : η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο πλευρών της θερμοηλεκτρικής μονάδας, δηλαδή $T_{\text{env}} = T_h - T_c$

Διάγραμμα 5.5: Απόδοση ηλεκτρικής έντασης των δύο πειραματικών διατάξεων.



Σχολιασμός:

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δύο πειραματικών διατάξεων παρατηρείται μια σταδιακή αύξηση της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος στην πειραματική διάταξη(2) δύο θερμοηλεκτρικών μονάδων σε σχέση με την ΔΤ, φαινόμενο που δεν παρατηρείται στην διάταξη(1), της οποίας η ένταση παραμένει σταθερή.

Βάσει των μετρήσεων η διάταξη(2) αποδίδει το διπλάσιο και παραπάνω σε κάποιες περιπτώσεις των mVolt(τάση) που παράγει η πειραματική διάταξη(1). Ως γνωστόν η αύξηση της τάσης αυξάνει και την ένταση του ρεύματος, έτσι όπως είναι φυσικό η διάταξη(2) αποδίδει την διπλάσια ένταση από την διάταξη(1).

Στην περίπτωση της πειραματικής διάταξης(1) η ένταση παραμένει σταθερή, λόγω του ότι η τάση δεν παρουσιάζει μεγάλες μεταβολές, με μέγιστη διαφορά μεταξύ των μετρήσεων $385-322=63\text{mVolt}$, ικανές να αυξήσουν την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, σε αντίθεση με την διάταξη(2) η οποία παρουσιάζει μεγαλύτερες μεταβολές, με μέγιστη διαφορά $769-672=97\text{mVolt}$.

5.2.3 ΑΠΟΔΟΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΣΤΡΟΦΕΣ ΤΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

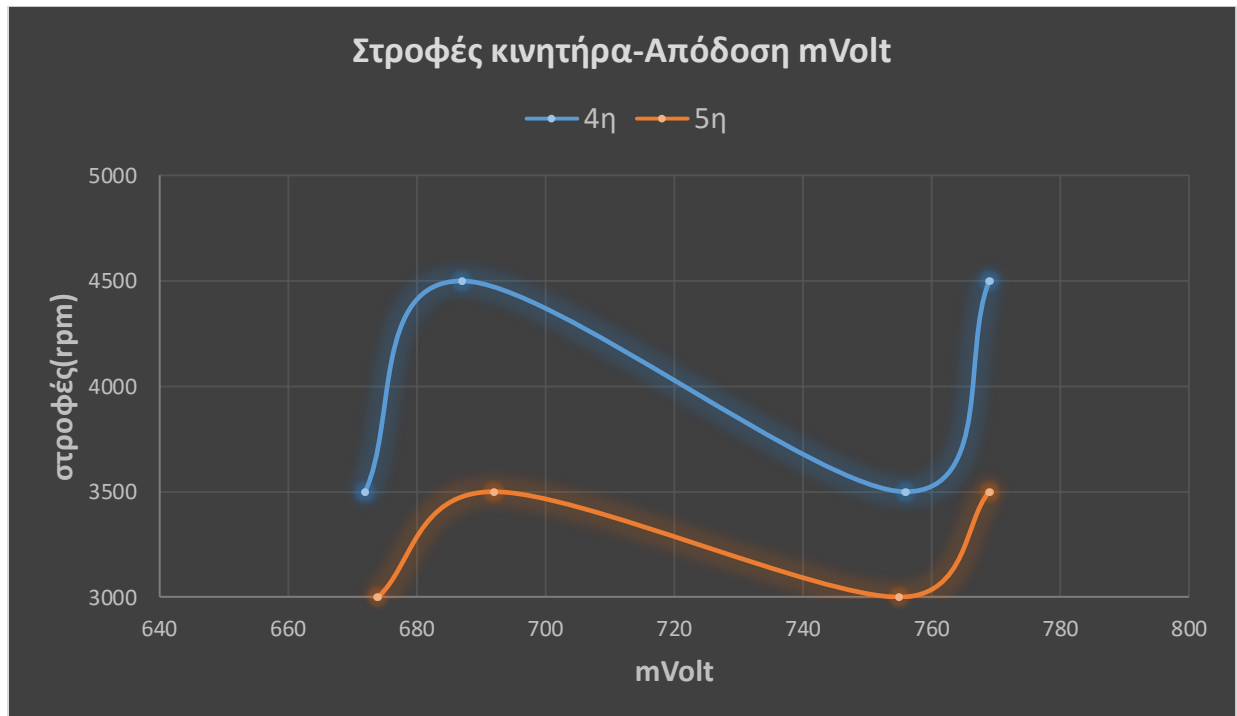
Πίνακας 5.6: Απόδοση της ηλεκτρικής τάσης της πειραματικής διάταξης με δύο θερμοηλεκτρικές μονάδες σε σχέση με τις στροφές του κινητήρα.

		Μέρα					Νύχτα		
km/h	80	80	100	100		80	80	100	100
Σχέσεις Κιβωτίου	4η	5η	4η	5η		4η	5η	4η	5η
Στροφές(rpm)	3500	3000	4500	3500		3500	3000	4500	3500
mVolt	672	674	687	692		756	755	769	769
Th(°C)	83,1	83,5	84,2	84,8		79,1	79,5	81,5	82,3
Tc(°C)	41,9	43,2	42,2	42,1		36	35,7	36,3	35,8
Tenv (°C)	30,8	31,2	31,4	30		20,7	20,6	21,5	21,1
ΔT (°C)	41,2	40,3	42	42,7		43,1	43,8	45,2	46,5

Όπου:

- km/h: η ταχύτητα του αυτοκινήτου.
- Σχέσεις κιβωτίου: Η σχέση κιβωτίου ταχυτήτων στο σύστημα μετάδοσης του αυτοκινήτου.
- Στροφές (rpm): Οι στροφές που εκτελεί ο στροφαλοφόρος άξονας του κινητήρα ανά λεπτό ή αλλιώς οι στροφές του κινητήρα.
- mVolt: η ηλεκτρική τάση που αποδίδει η πειραματική διάταξη.
- Tenv: η θερμοκρασία του περιβάλλοντος.
- ΔT: η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο πλευρών της θερμοηλεκτρικής μονάδας, δηλαδή $T_{env} = T_h - T_c$.

Διάγραμμα 5.6: Απόδοση της ηλεκτρικής τάσης της πειραματικής διάταξης με δύο θερμοηλεκτρικές μονάδες σε σχέση με τις στροφές (rpm) του κινητήρα.



Σχολιασμός:

Βάσει του διαγράμματος 5.6 οι στροφές του κινητήρα επηρεάζουν σε μικρό βαθμό την απόδοση της τάσης της πειραματικής διάταξης.

Πράγματι, σε αντίθεση με το διάγραμμα 5.2 που αφορά την πειραματική διάταξη με μια θερμοηλεκτρική μονάδα, όπου υπήρχαν διαφορές στην τάση αν και σε μικρό βαθμό, με την προσθήκη δύο θερμοηλεκτρικών μονάδων παρατηρείται μικρότερη απόκλιση μεταξύ των αποτελεσμάτων για διαφορετικές στροφές κινητήρα.

Επομένως με την προσθήκη ενδεχομένως περισσότερων θερμοηλεκτρικών μονάδων να μην παρατηρείται σημαντική διαφορά στην απόδοση της τάσης.

5.2.4 ΑΠΟΔΟΣΗ ΙΣΧΥΟΣ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΔΙΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ (ΔT)

Πίνακας 5.7 Απόδοση ηλεκτρικής ισχύος πειραματικής διάταξης δύο θερμοηλεκτρικών μονάδων.

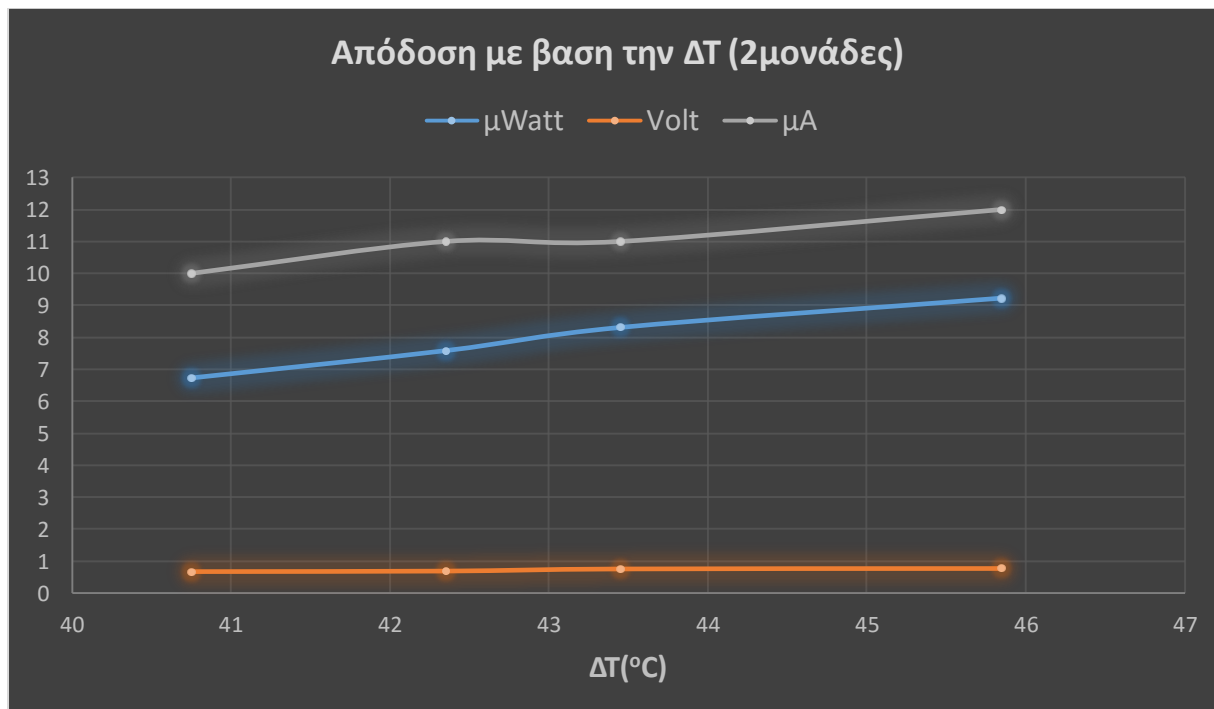
	Μέρα		Νύχτα	
km/h	80	100	80	100
μA	10	11	11	12
mVolt	0,673	0,689	0,755	0,769
$\mu Watt$	6,73	7,58	8,31	9,23
$\Delta T(^{\circ}C)$	40,8	42,4	43,5	45,9

*οι παραπάνω μετρήσεις αποτελούν μέσοι όροι των μετρήσεων με 4η και 5η ταχύτητα

Όπου:

- km/h: η ταχύτητα του αυτοκινήτου
- μA : η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που αποδίδει η πειραματική διάταξη
- mVolt: η ηλεκτρική τάση που αποδίδει η πειραματική διάταξη
- $\mu Watt$: Η ισχύς που αποδίδει η πειραματική διάταξη
- ΔT : η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο πλευρών της θερμοηλεκτρικής μονάδας, δηλαδή $T_{env} = T_h - T_c$

Διάγραμμα 5.7: Απόδοση ηλεκτρικής ισχύος πειραματικής διάταξης δύο θερμοηλεκτρικών μονάδων σε σχέση με την ΔT .



Σχολιασμός:

Βάσει του διαγράμματος 5.7, ομοίως με το 5.3 επαληθεύεται το φαινόμενο Seebeck, όπως παρατηρείται όσο αυξάνεται η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο πλευρών των θερμοηλεκτρικών μονάδων, ομοίως με την ηλεκτρική τάση αυξάνεται και η ηλεκτρική ισχύς (απόδοση) της πειραματικής διάταξης (μWatt), αφού η ισχύς προκύπτει από τον τύπο **Watts = Volts * Amperes**.

6.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά η απόδοση/επιδόσεις της συγκεκριμένης πειραματικής διάταξης είναι πολύ μικρή για να αξίζει την κατασκευή της. Ωστόσο ο λόγος κατασκευής της αποτελεί η μελέτη της απόδοσης της, αρχικά με μια θερμοηλεκτρική μονάδα και έπειτα με δύο, ώστε να εκτιμηθεί η συμπεριφορά της πειραματικής διάταξης με περισσότερες μονάδες σε μελλοντικές εφαρμογές.

Ενδεχομένως με την προσθήκη περισσότερων θερμοηλεκτρικών μονάδων/γεννητριών μπορεί να επιτευχθεί η συμπλήρωση του δυναμού ο οποίος φορτίζει την μπαταρία του αυτοκινήτου με ηλεκτρική τάση 14volt περίπου και 100 amps (μέση τιμή) ένταση. Ωστόσο η αποδιδόμενη ένταση είναι αρκετά μικρή ώστε να μπορέσει να αντικαταστήσει τον υπάρχον δυναμό και το κόστος των θερμοηλεκτρικών μονάδων αποτελεί περιοριστικό παράγοντα.

Τα ποσά θερμότητας των μηχανών, με την μορφή απωλειών είναι τόσο μεγάλα ώστε επιτρέπουν την τοποθέτηση αρκετών θερμοηλεκτρικών γεννητριών, αφού με τις υπάρχουσες τεχνολογίες μπορεί κανείς να μετατρέψει μόνο το 5-7% της θερμικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Στο μέλλον ίσως με την βελτίωση των θερμοηλεκτρικών μονάδων και την ελαχιστοποίηση του κόστους, καταστούν οικονομικά συμφέρουσες λύσεις για την αύξηση της απόδοσης των μηχανών εσωτερικής καύσης.

7.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] http://www.eng.ucy.ac.cy/kyratsi/thermoelectrics/thermo_phe.html
- [2] <http://eclass.uth.gr/eclass/modules/units/?course=MHXB117&id=2777>
- [3] <http://meklab.teipir.gr/wordpress/wp-content/docs/Mixanes-Esoterikis-Kaysis1.pdf>
- [4] http://www.futurenergia.org/ww/el/pub/futurenergia/chats/car_design.htm
- [5] <http://www.caroto.gr/2009/09/03/εκπομπές-ρύπων-euro-emissions/>
- [6] <http://www.caroto.gr/2011/09/06/bmw-waste-heat-recovery-turbosteamer-thermoelectric-generator/>
- [7] <http://iceal.wikidot.com/ilektriko-systima-aytokiniton>
- [8] <http://www.sigmalive.com/archive/simerini/business/analiseis/160183>
- [9] <http://www.fortunegreece.com/article/echoume-ligotero-apo-20-chronia-gia-na-egkatalipsoume-ta-orkta-kafsima-stis-metafores/>
- [10] <http://1epal-amaliad.ilei.sch.gr/autosch/joomla15/images/FILES/elyliko/ΕΘΔ/Μηχανές Εσωτερικής Καύσης.pdf>

- [11] https://el.wikipedia.org/wiki/Μηχανή_εσωτερικής_καύσης
- [12] <http://www.autoblog.gr/2015/12/24/opec-to-94-twn-aytokinhewn-tha-kaine-orykta-kaysima-to-2040/>
- [13] <http://www.karaferis.gr/τάση-ένταση-χωρητικότητα-και-κατανάλ/>
- [14] <http://kryothermtec.com/thermoelectric-modules-for-power-generation.html>
- [15] <http://energypress.gr/news/thermoilektriki-gennitria-metatrepei-ti-thermotita-kaysaerion-se-ilektriki-energeia>
- [16] CRC Handbook of Thermoelectrics by D.M. Rowe (1995)
- [17] Melcor Handbook, www.melcor.com
- [18] Tellurex Corporation, www.tellurex.com
- [19] David Michael Rowe, REVIEW, THERMOELECTRIC WASTE HEAT RECOVERY AS A RENEWABLE ENERGY SOURCE, International Journal of Innovations in Energy Systems and Power, Vol. 1, no. 1 (November 2006)
- [20] <http://www.ferrotec.com/technology/thermoelectric/>

