



ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΓΙΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΑΠΟΡΡΙΠΤΟΜΕΝΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΒΕΝΖΙΝΟΚΙΝΗΤΗΡΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ

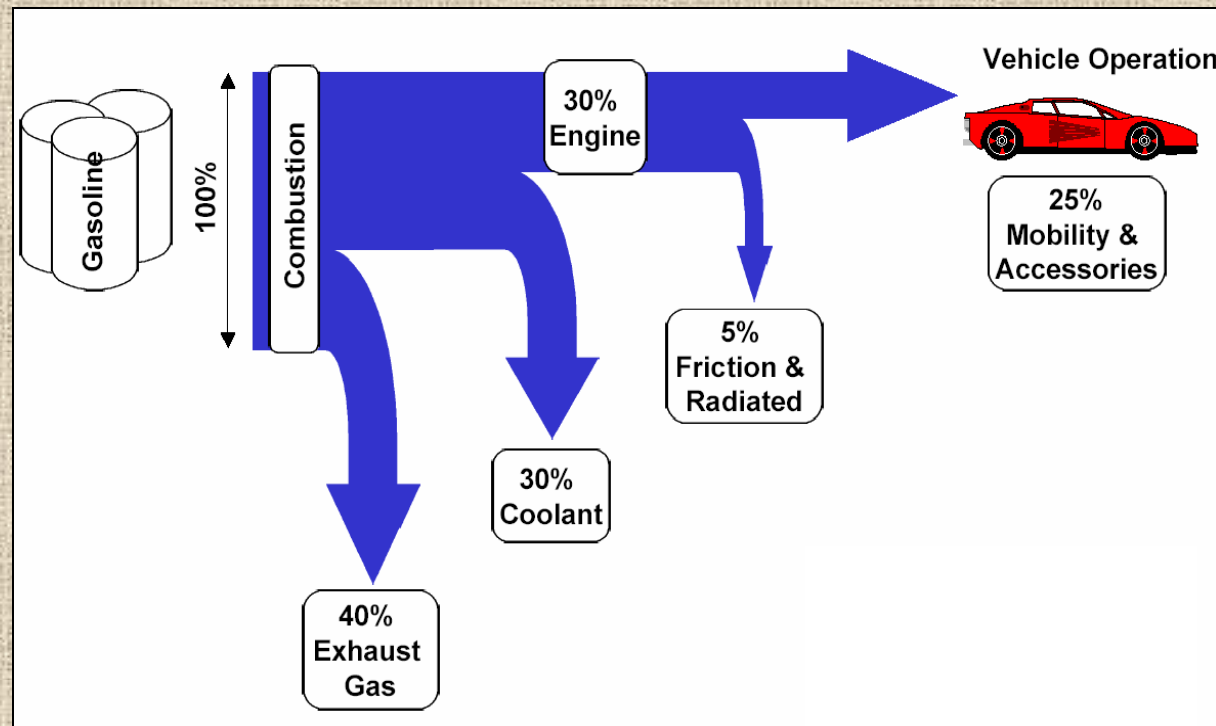
**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΦΟΙΤΗΤΩΝ:
ΔΑΣΚΑΛΟΠΟΥΛΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ
ΧΑΤΖΗΠΑΡΑΔΕΙΣΗ ΓΕΩΡΓΙΟΥ**

Επιβλέπων καθηγητής:
Κωνσταντίνος Ζορμπάς

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΡΡΙΠΤΟΜΕΝΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΤΗΣ.
- ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΧΡΗΣΗΣ ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ
- ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ
- ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΙΑΣ ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΓΙΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ
- ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Δυνατότητες ανάκτησης της απορριπτόμενης θερμικής ενέργειας και επίδραση στην κατανάλωση καυσίμου

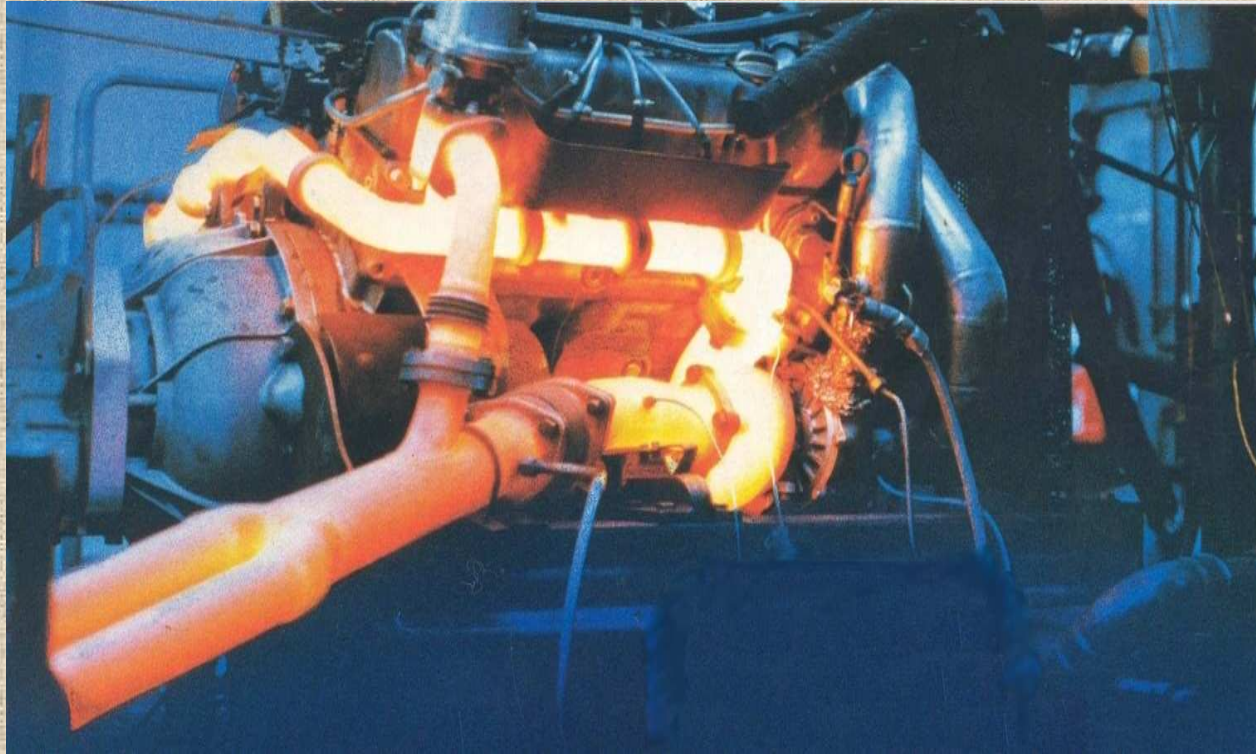


- Η απορριπτόμενη θερμότητα από τους κινητήρες εσωτερικής καύσης είναι πολύ μεγάλο ποσοστό της συνολικής προσφερόμενης θερμότητας από το καύσιμο.
- Στους βενζινοκινητήρες, κατά μέσο όρο ένα ποσοστό 75% της συνολικής θερμότητας του καυσίμου απορρίπτεται στο περιβάλλον

Δυνατότητες ανάκτησης της απορριπτόμενης θερμικής ενέργειας και επίδραση στην κατανάλωση καυσίμου

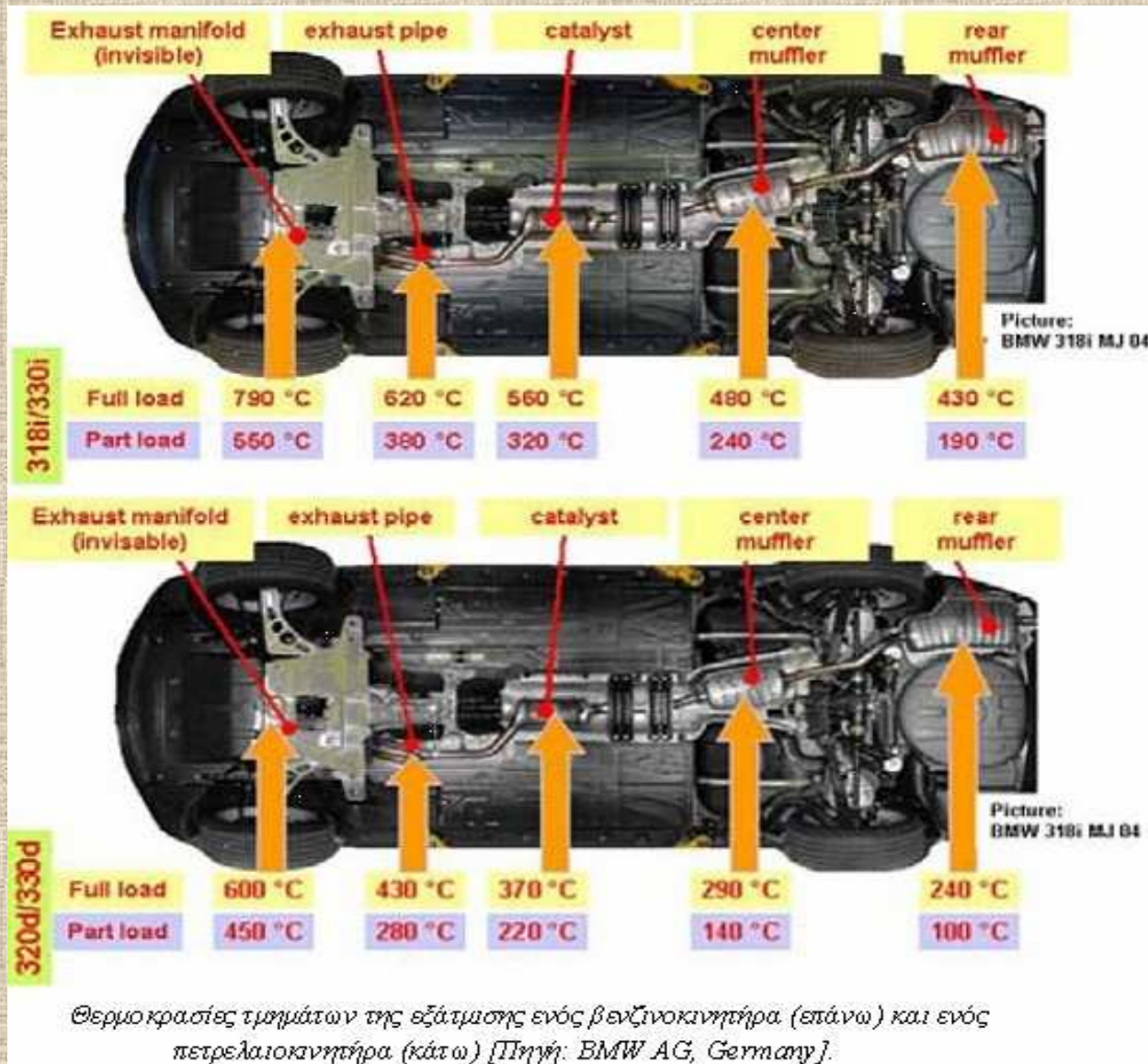
- Η ανάκτηση μικρού ποσοστού της απορριπτόμενης ενέργειας από τις μηχανές εσωτερικής καύσης, σημαίνει σημαντική αύξηση της απόδοσης του κινητήρα και επομένως εξοικονόμηση καυσίμου και μείωση του εκπεμπόμενου CO₂.
- Στην εργασία αυτή, μελετήθηκε η δυνατότητα ανάκτησης μέρους της απορριπτόμενης θερμικής ενέργειας από τον σωλήνα εξάτμισης ενός βενζινοκινητήρα με τη χρήση θερμοηλεκτρικών στοιχείων.

Η θερμοκρασιακή κατανομή κατά μήκος του σωλήνα εξάτμισης βενζινοκινητήρα

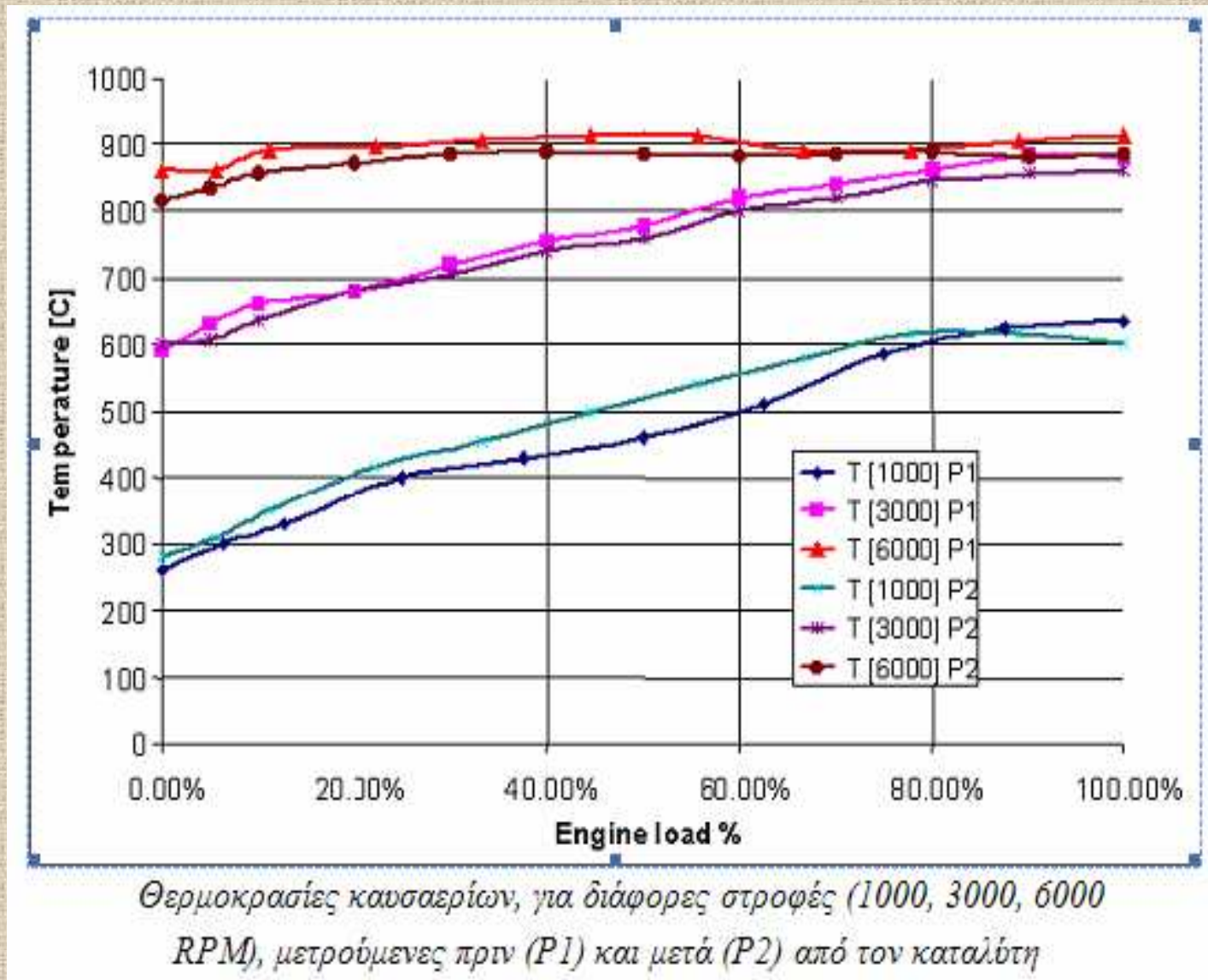


- Η παραγωγή ισχύος με τη χρήση θερμοηλεκτρικής διάταξης εξαρτάται από την θερμοκρασία της εξάτμισης και την διαθέσιμη θερμική ισχύ.
- Στους βενζινοκινητήρες παρατηρούνται υψηλές θερμοκρασίες στον σωλήνα της εξάτμισης (έως και $900\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- Οι αντίστοιχες θερμοκρασίες των τμημάτων της εξάτμισης ενός πετρελαιοκινητήρα είναι χαμηλότερες από $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ μέχρι και $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ανάλογα του φορτίου.

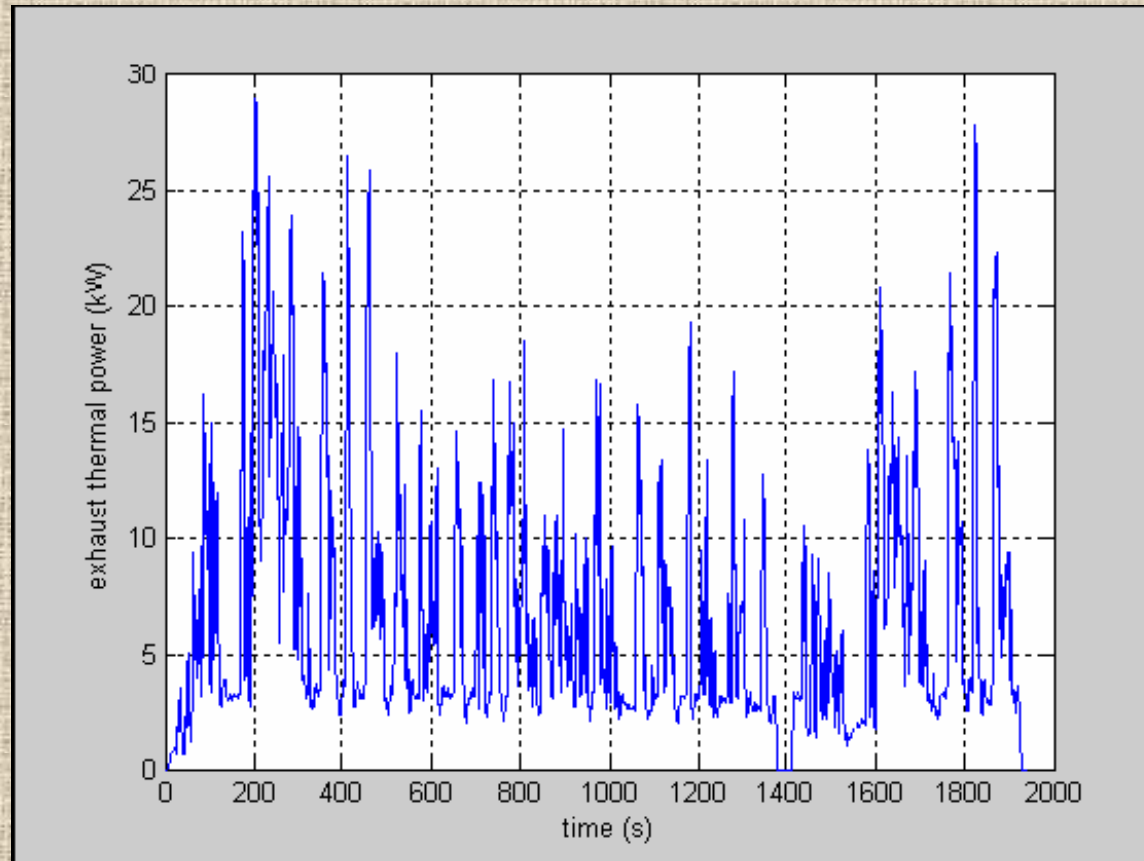
Η θερμοκρασιακή κατανομή κατά μήκος του σωλήνα εξάτμισης βενζινοκινητήρα



Η θερμοκρασιακή κατανομή κατά μήκος του σωλήνα εξάτμισης βενζινοκινητήρα



Η θερμοκρασιακή κατανομή κατά μήκος του σωλήνα εξάτμισης βενζινοκινητήρα

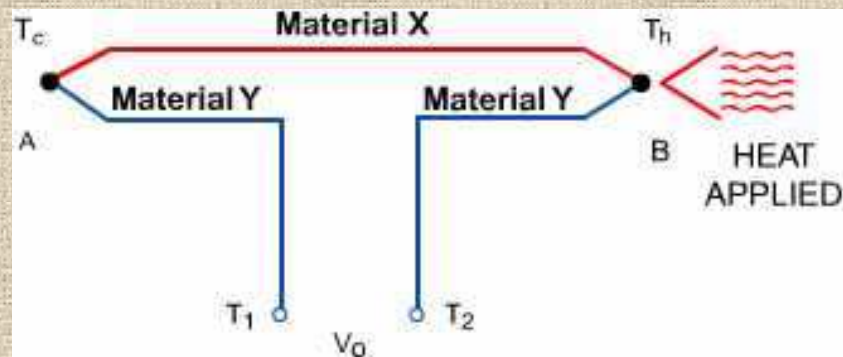


Διαθέσιμη θερμική ισχύς στο σύστημα της εξάτμισης, για τον κύκλο κίνησης FTP-75 και θερμοκρασία περιβάλλοντος 20 °C.

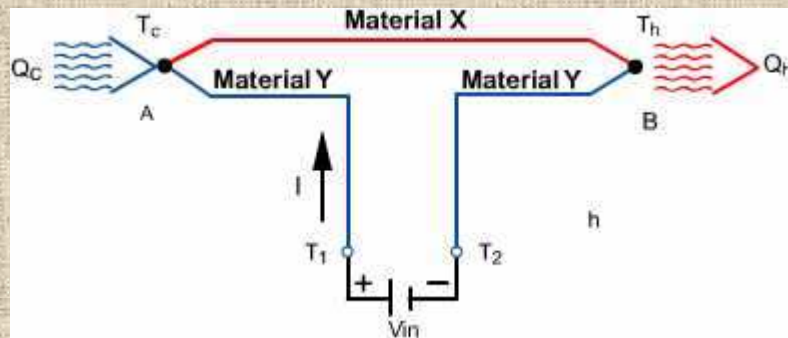
Συμπερασματικά, οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στον σωλήνα της εξάτμισης και η διαθέσιμη θερμική ισχύς, επιτρέπουν την εφαρμογή ενός συστήματος ανάκτησης αυτής της θερμικής ενέργειας.

Τα θερμοηλεκτρικά φαινόμενα

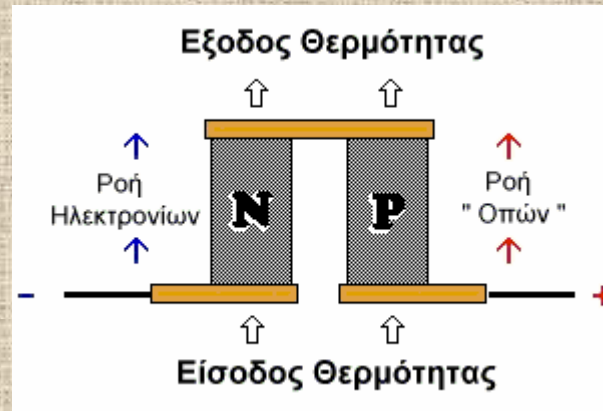
- Το φαινόμενο Seebeck



- Το φαινόμενο Peltier



Τα θερμοηλεκτρικά στοιχεία



- **Υλικά που χρησιμοποιούνται:**

ενώσεις Βισμούθιου-Τελλουρίου, Μολύβδου- Τελλουρίου, Πυριτίου-Γερμανίου και Βισμούθιου - Αντιμονίου

- Το στοιχείο αποτελείται από ένα ζεύγος ημιαγωγών τύπου p και τύπου n

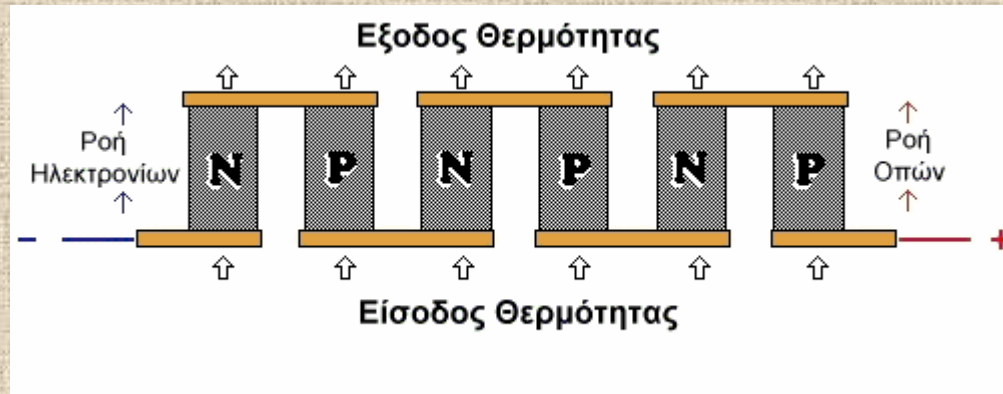
- **Λειτουργία:**

αν δημιουργηθεί ροή ηλεκτρικού ρεύματος στην διάταξη, τότε θα υπάρξει ροή θερμότητας από την μία πλευρά στην άλλη

Και αντίστροφα,

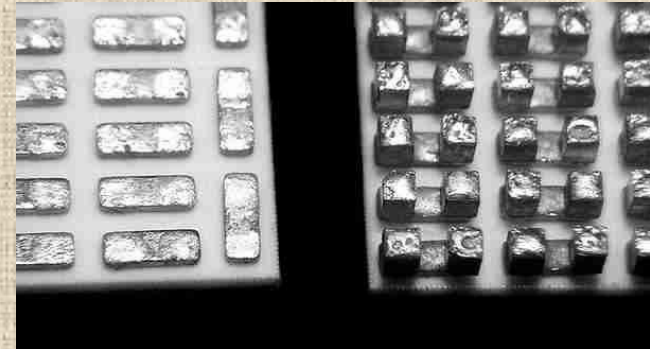
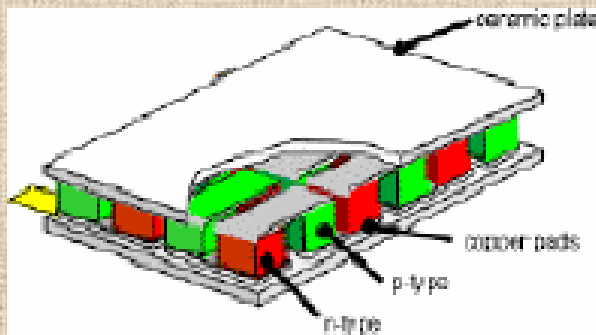
αν δημιουργηθεί ροή θερμότητας στην διάταξη, τότε θα υπάρξει ροή ηλεκτρικού ρεύματος από την μία επαφή στην άλλη

Θερμοηλεκτρικές συστοιχίες (TE modules)

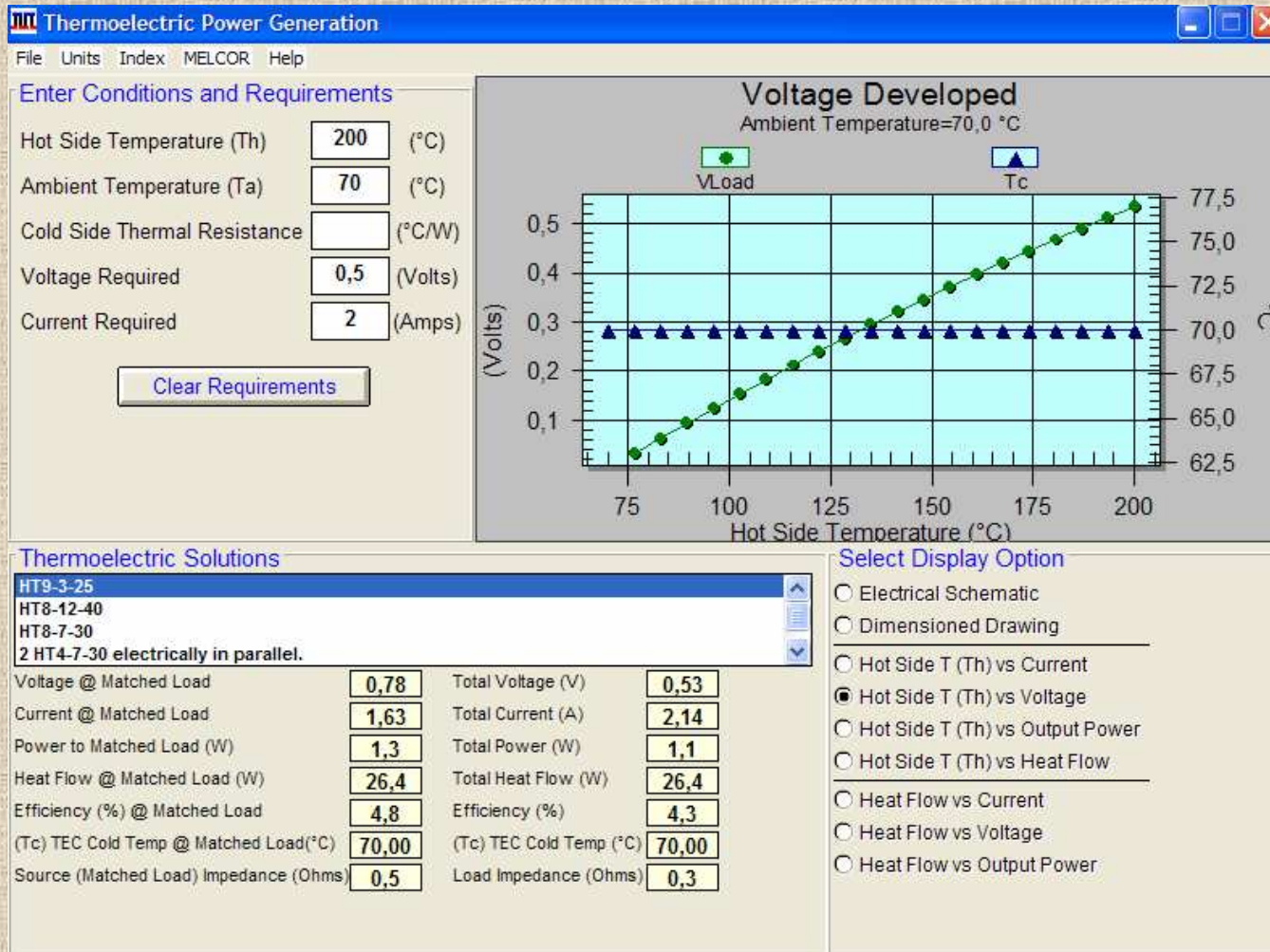


- Αποτελούνται από πολλά θερμοηλεκτρικά στοιχεία (ζεύγη), τα οποία ηλεκτρικά συνδέονται σε σειρά, ενώ θερμικά παράλληλα.
- Χρησιμοποιούνται για:
 - Ψύξη-θέρμανση (φαινόμενο Peltier)
 - Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (φαινόμενο Seebeck)

Θερμοηλεκτρικές συστοιχίες (TE modules)



Υπολογισμός της αναμενόμενης ισχύος και απόδοσης TEG με χρήση του λογισμικού Aztec



Το συγκεκριμένο λογισμικό, μπορεί να υπολογίζει τον κατάλληλο τύπο θερμοηλεκτρικού στοιχείου που πρέπει να χρησιμοποιήσουμε

Υπολογισμός της αναμενόμενης ισχύος και απόδοσης TEG με χρήση του λογισμικού Aztec

- Χρησιμοποιήσαμε το λογισμικό αυτό για να υπολογίσουμε την αναμενόμενη απόδοση του TEG HT9-3-25 που είχαμε διαθέσιμο στην πειραματική μας συσκευή, για διάφορες θερμοκρασίες της θερμής και ψυχρής πλευράς.
- Με δεδομένο ότι η θερμοκρασία της θερμής πλευράς δεν πρέπει να ξεπεράσει τους 220°C , λόγω κινδύνου καταστροφής του TEG, η αναμενόμενη μέγιστη αποδιδόμενη ισχύς της συσκευής μας εκτιμήθηκε περί το $1 - 1,5 \text{ W}$.

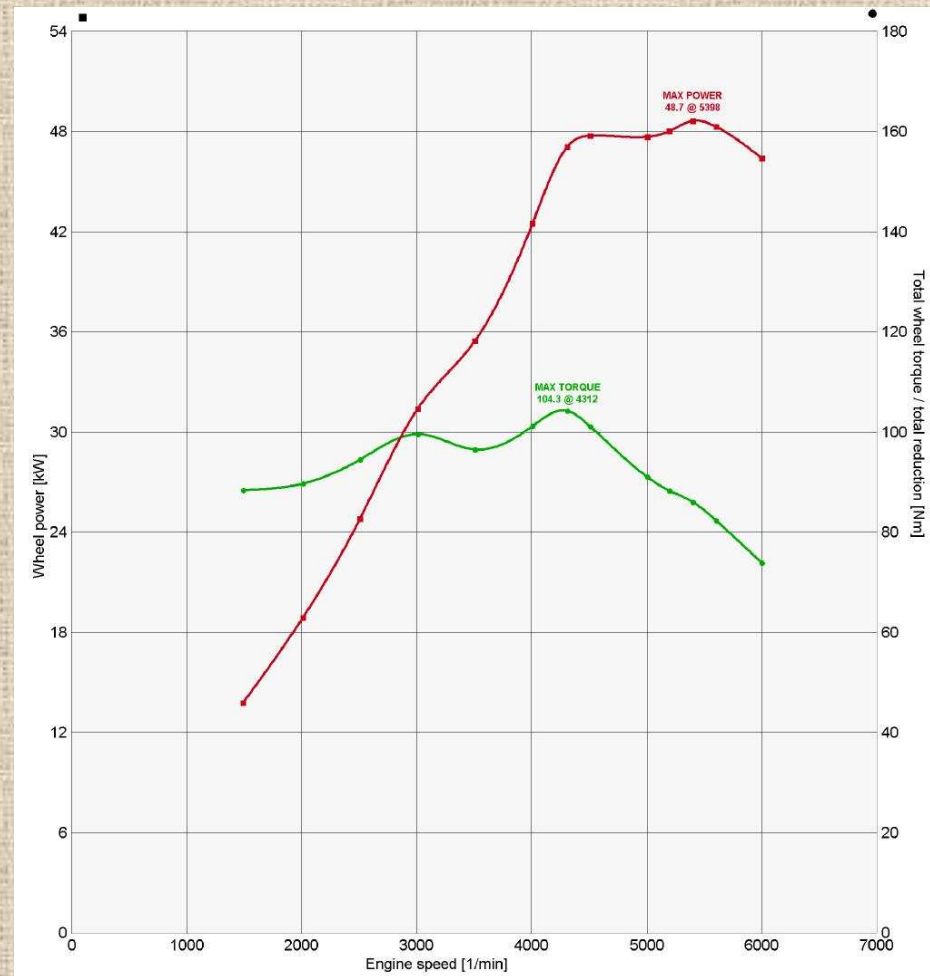
Σχεδιαστικές αρχές μιας θερμοηλεκτρικής διάταξης που θα χρησιμοποιηθεί ως γεννήτρια

- Επιλογή του καταλληλότερου τύπου των TEG-modules
- Μεγιστοποίηση των θερμικών ροών διαμέσου του TEG και η ελαχιστοποίηση των θερμικών ροών που παρακάμπτουν το TEG.
- Επιλογή των βέλτιστων εναλλακτών θερμότητας
- Επιμελημένη συναρμολόγηση της διάταξης.

Χαρακτηριστικά του αυτοκινήτου που χρησιμοποιήθηκε στις μετρήσεις



Toyota Starlet 98/55KW



Χαρακτηριστικά του αυτοκινήτου που χρησιμοποιήθηκε στις μετρήσεις

General

Official test no.	STR-97112101
Model year	1998
Mileage, km	2590
Gearbox type	5 - speed manual
Drive wheels	Front

Engine

Cylinders / Valves	4 / 4
Displacement, cc	1331
Bore / Stroke, mm	74 / 77.4
Type / Configuration	SI NA / Inline
Location / Orientation	Front / Transverse
Compression ratio	9.6:1

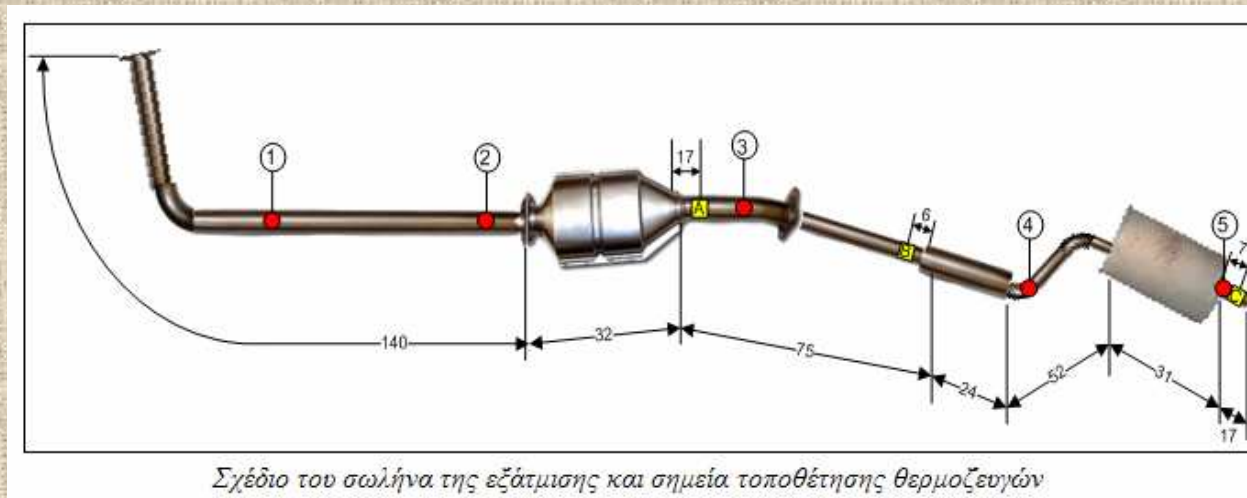
Wheels / Fuel / Weights

Tyre dimension	165/70R13
Test fuel	95 RON
Curb weight, kg	903
Weight dist front / rear, %	61 / 39

Χαρακτηριστικά του αυτοκινήτου που χρησιμοποιήθηκε στις μετρήσεις

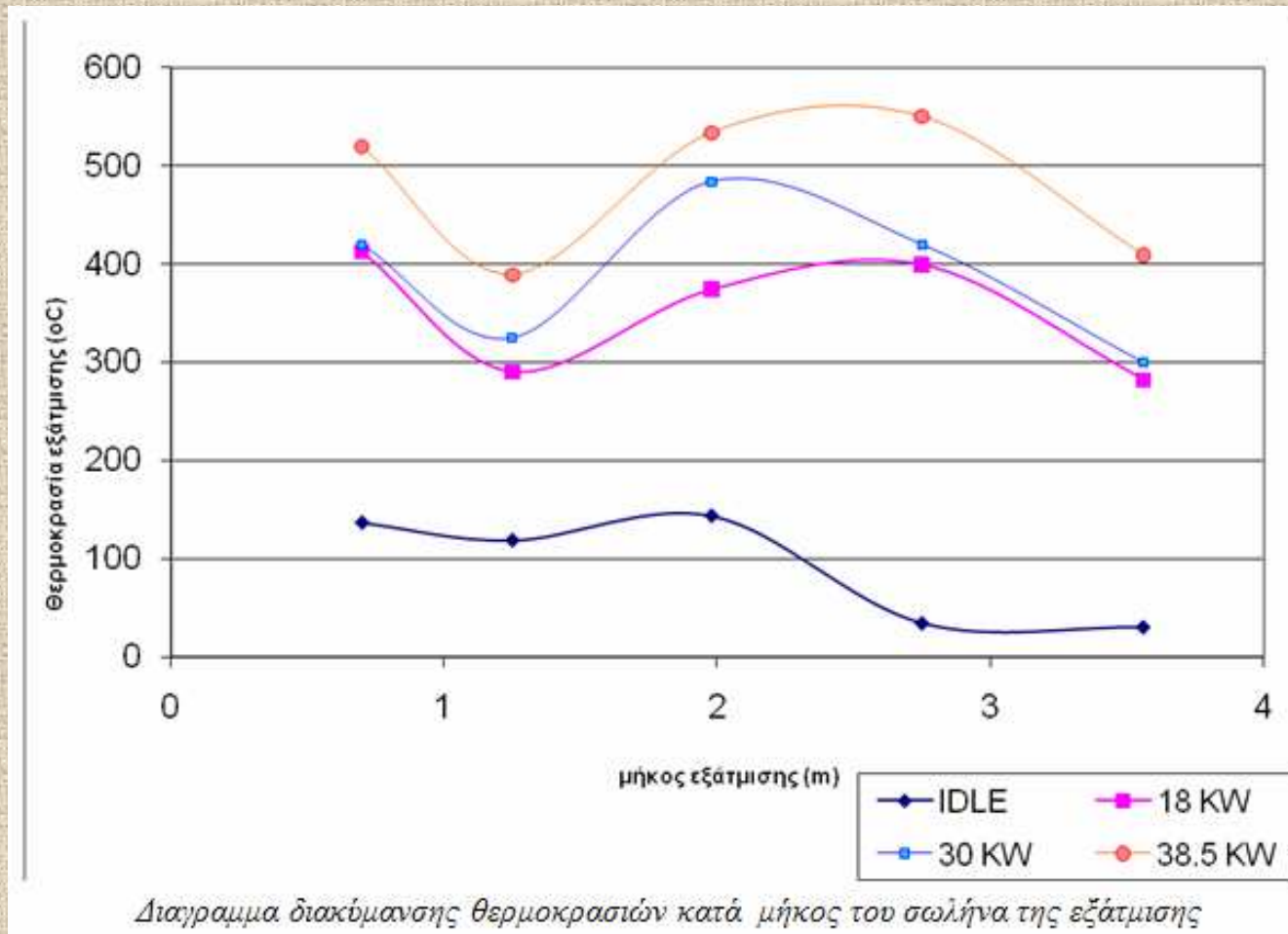


Μετρήσεις σε δυναμοπέδη της θερμοκρασιακής κατανομής στο σωλήνα της εξάτμισης



- Οι μετρήσεις έγιναν στην δυναμοπέδη με τον κινητήρα να λειτουργεί σε πλήρες φορτίο.
 - Για την μέτρηση χρησιμοποιήθηκαν 5 θερμοζεύγη τύπου K και ένα πολύμετρο με δυνατότητα ένδειξης θερμοκρασίας από θερμοζεύγος.
 - Η θερμοκρασία μετρήθηκε σε 5 σημεία της εξάτμισης
 - στο ρελαντί (1000 rpm)
 - στις 2000 rpm με ταχύτητα 40 km/h
 - στις 3000 rpm και ταχύτητα 60 km/h
 - και στις 3950 rpm και ταχύτητα 80 km/h.
- Η θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν 23,5 °C.

Μετρήσεις σε δυναμοπέδη της θερμοκρασιακής κατανομής στο σωλήνα της εξάτμισης



Μετρήσεις σε δυναμοπέδη της θερμοκρασιακής κατανομής στο σωλήνα της εξάτμισης

Οι θέσεις στις οποίες θα μπορούσε να τοποθετηθεί το TEG, είναι οι εξής:

- Μετά την πολλαπλή πολλαπλή εξαγωγής και πριν τον καταλύτη, όπου οι θερμοκρασίες της εξάτμισης κυμαίνονται μεταξύ των 500°C και 150°C .
- Μετά τον καταλύτη και πριν το πρώτο καζανάκι, όπου οι θερμοκρασίες της εξάτμισης κυμαίνονται μεταξύ των 550°C και 100°C .
- Στο τμήμα μετά το πρώτο καζανάκι, όπου οι θερμοκρασίες είναι αρκετά χαμηλότερες και κυμαίνονται μεταξύ των 400°C και 50°C .

Αποφασίσαμε να τοποθετήσουμε την πειραματική μας συσκευή σε μια θέση μετά τον καταλύτη και πριν το πρώτο καζανάκι όπου υπάρχει μια αντιπροσωπευτική τιμή των θερμοκρασιών αλλά και για λόγους ευκολίας τοποθέτησης της συσκευής και των καλωδίων.

Η πειραματική διάταξη

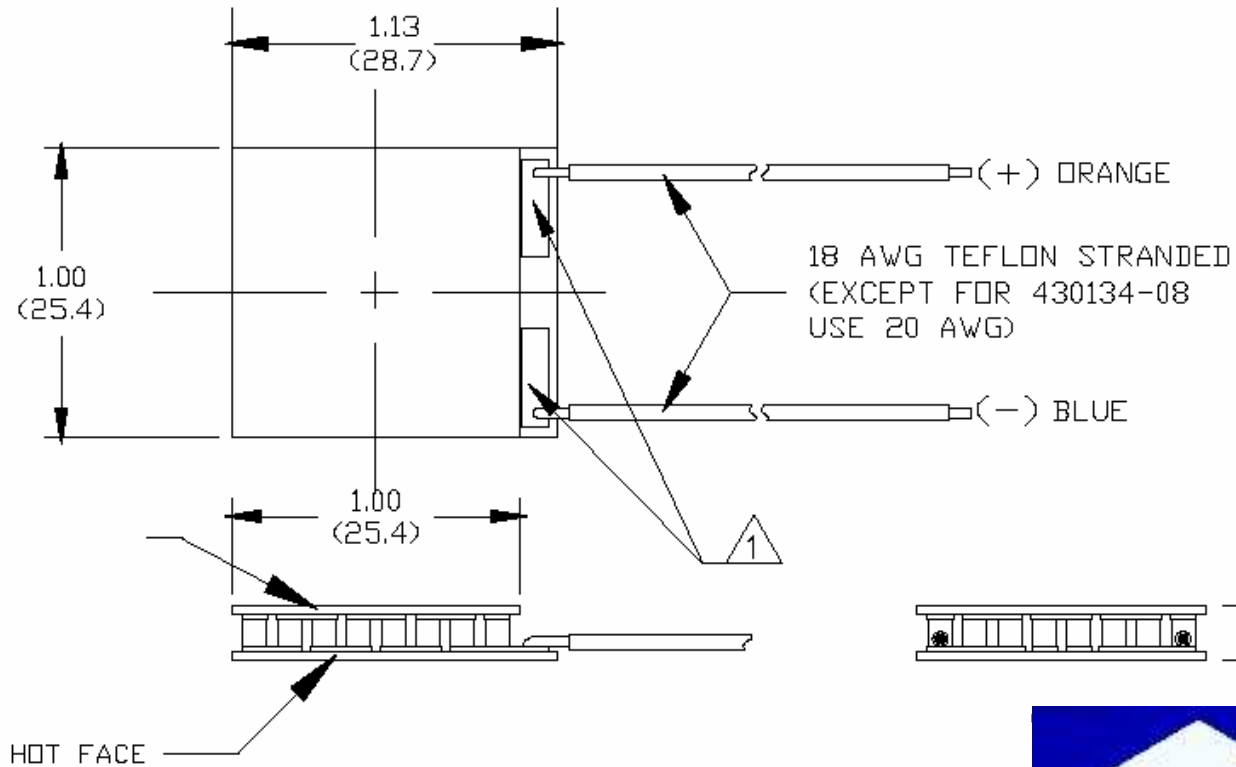
Η πειραματική διάταξη αποτελείται από:

- Ένα κομμάτι αλουμινίου διαμορφωμένο ώστε να προσαρμόζεται στον σωλήνα της εξάτμισης για τη μεταφορά της θερμότητας.
- Ένα θερμοηλεκτρικό στοιχείο HT9-3-25 25x25 mm, της εταιρείας Melcor.
- Ένα αλουμινένιο πλακίδιο.
- Μία ψύκτρα αλουμινίου 40x40 mm, για την ψύξη της ψυχρής πλευράς από τον αέρα του περιβάλλοντος.

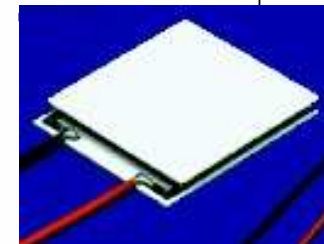
Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν:

- 4 θερμοζεύγη τύπου K
- Καταγραφέας δεδομένων τύπου MultiLog
- 2 πολύμετρα για τη μέτρηση της τάσης και της έντασης που απέδιδε το θερμοστοιχείο
- Πολύμετρο με δυνατότητα καταγραφής θερμοκρασίας

Η πειραματική διάταξη

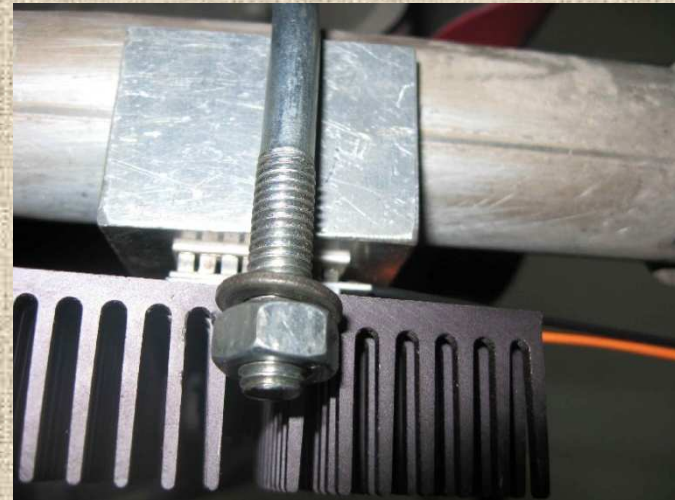
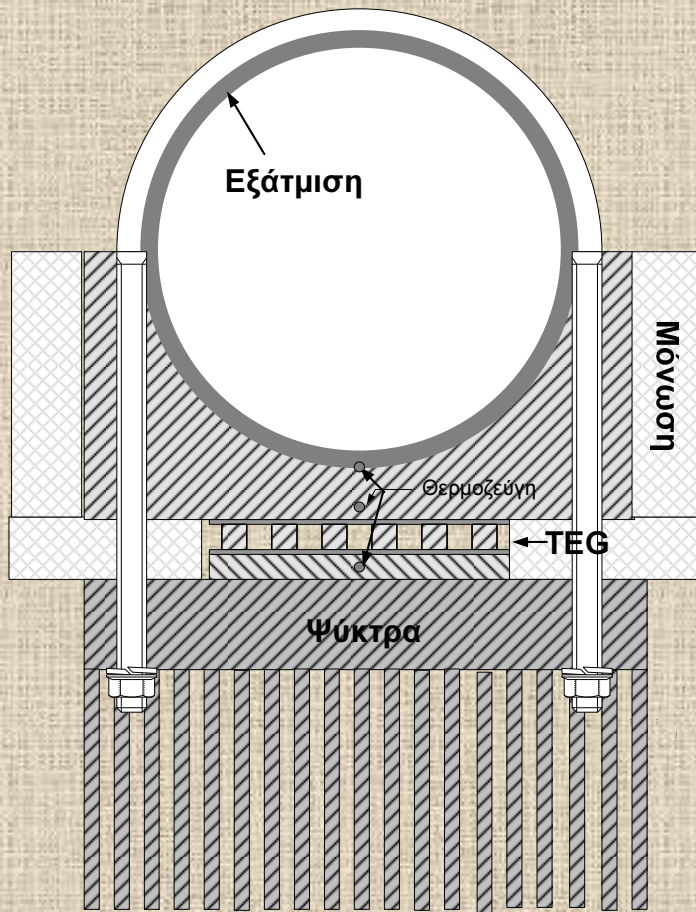


Ceramic: Alumina (Al_2O_3)
Solder Construction: 271°C SnSb

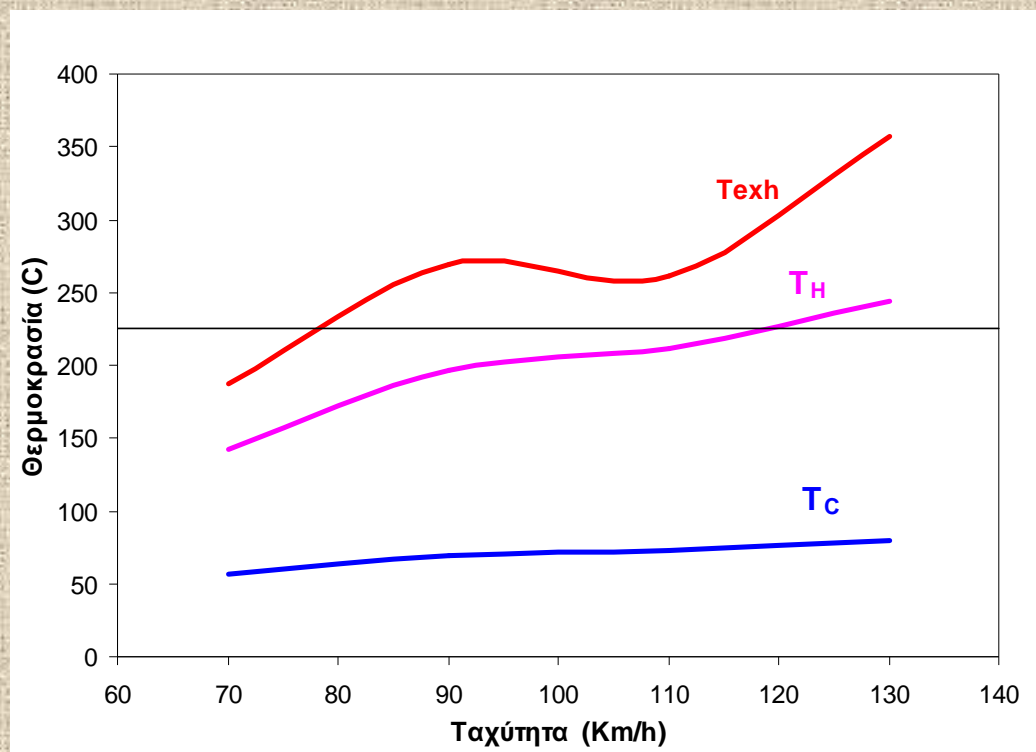


Διαστάσεις του TEG module HT9-3-25

Η πειραματική διάταξη



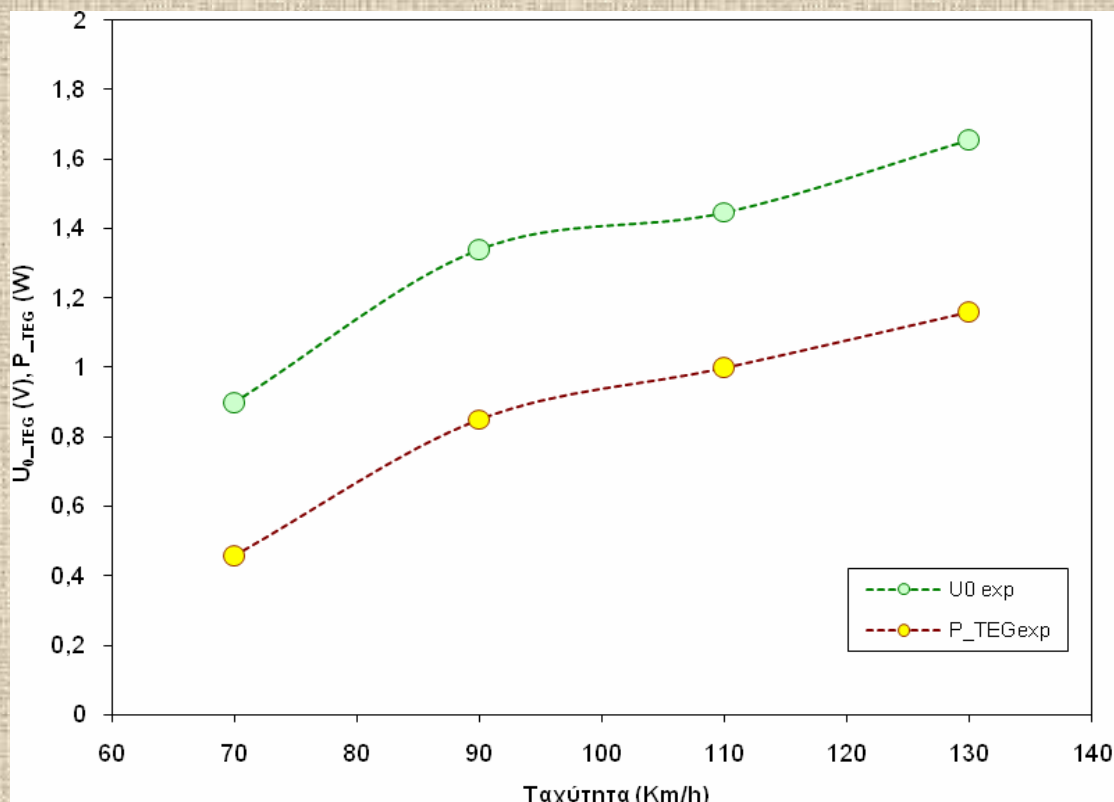
Μετρήσεις σε συνθήκες πραγματικής οδήγησης



Θερμοκρασίες της εξάτμισης (T_{exh}) και της θερμής (T_H) και ψυχρής (T_C) πλευράς του θερμοστοιχείου συναρτήσει της ταχύτητας του αυτοκινήτου

- Με την αύξηση της ταχύτητας του οχήματος, καθώς και του φορτίου του κινητήρα, αυξάνεται και η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ θερμής και ψυχρής πλευράς του TEG
- Σαν αποτέλεσμα, παρατηρείται αύξηση της τάσης στα άκρα του TEG, καθώς και της αποδιδόμενης ισχύος του

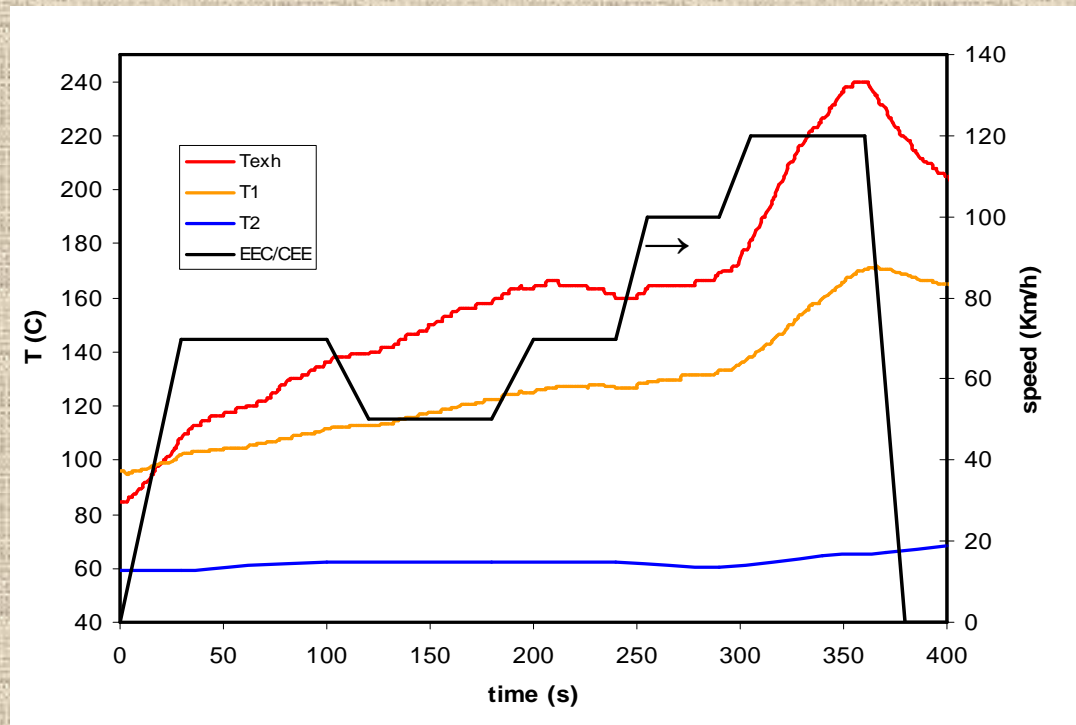
Μετρήσεις σε συνθήκες πραγματικής οδήγησης



Αποδιδόμενη ισχύς (P_{TEG}) και τάση (U_0) του TEG συναρτήσει της ταχύτητας του αυτοκινήτου

- Με ταχύτητες γύρω στα 100 Km/h μπορούμε να έχουμε από το TEG απόδοση ισχύος περίπου 1W, σε τάση περί το 1,5V

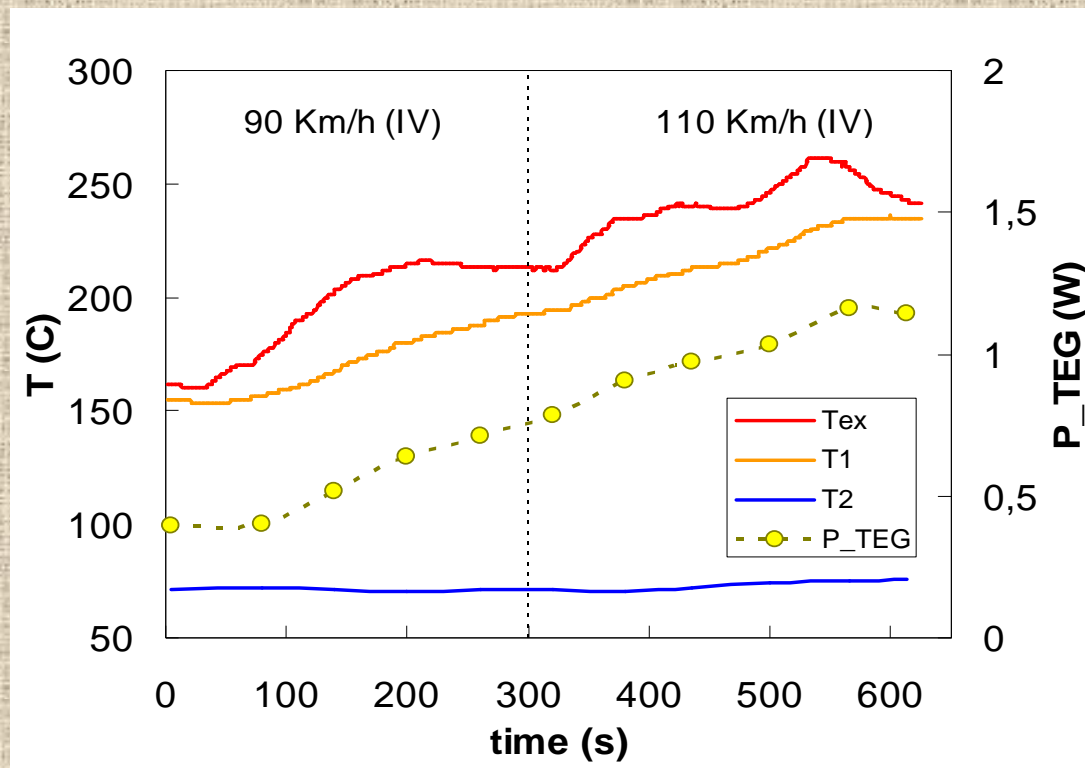
Μετρήσεις σε συνθήκες πραγματικής οδήγησης



Θερμοκρασίες εξάτμισης και θερμοκρασίες θερμής και ψυχρής πλευράς του TEG κατά τη διάρκεια κύκλου οδήγησης κατά EEC/CEE

- Στον ευρωπαϊκό κύκλο κίνησης η θερμοκρασία της εξάτμισης ακολουθεί αδρά την καμπύλη της ταχύτητας
- Η μεταβολή της θερμοκρασίας της θερμής πλευράς του TEG μεταβάλλεται ομαλότερα, λόγω της θερμικής αδράνειας της συσκευής
- Η θερμοκρασία της ψυχρής πλευράς του TEG, παραμένει σχεδόν σταθερή

Μετρήσεις σε συνθήκες πραγματικής οδήγησης



Θερμοκρασίες και αποδιδόμενη ισχύς κατά τη διάρκεια κίνησης του αυτοκινήτου για 10 min με ταχύτητες 90 και 110 Km/h

- Κινούμενοι με μια μέση ταχύτητα γύρω στα 100 Km/h, μπορούμε να έχουμε μια σταθερή απόδοση ισχύος από το TEG περί το 1W.

Συμπεράσματα

- Με τη χρήση θερμοηλεκτρικών διατάξεων είναι δυνατό να ανακτήσουμε ένα σημαντικό ποσό ηλεκτρικής ισχύος
- Η ανάκτηση αυτή θα αύξανε την συνολική απόδοση του κινητήρα με αποτέλεσμα τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπεμπόμενων ρύπων
- Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων, διαπιστώσαμε ότι η μέση ισχύς που λάβαμε από τη διάταξή μας φτάνει το 1W. Η συνολική ισχύς θα μπορούσε να φτάσει τα 50W ή τα 100W με εφαρμογή μιας μεγαλύτερης διάταξης με περισσότερα θερμοστοιχεία
- Συμπεραίνουμε ότι με την χρήση των κατάλληλων θερμοηλεκτρικών διατάξεων σε ορισμένες επιφάνειες του αυτοκινήτου, από όπου αποβάλλεται θερμότητα, υπάρχει η δυνατότητα παραγωγής σημαντικού ποσού ηλεκτρικής ισχύος, η οποία θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία ηλεκτρικών εξαρτημάτων του αυτοκινήτου

ΕΥΧΑΡΙΣΤΟΥΜΕ ΓΙΑ ΤΗΝ
ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΑΣ