



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ
ΣΠΟΥΔΩΝ "ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ"
ΤΟΜΕΑΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

**«Σύγκριση αλουμινίου και χάλυβα ως προς τις θερμικές τους
ιδιότητες σε χρήση τους ως ηλιακά κάτοπτρα και μελέτη
γήρανσης δοκιμίων πολυαιθυλενίου»**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΒΑΡΕΛΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

Υπεύθυνος καθηγητής: Βασίλειος Κεφαλάς
Επίκουρος καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα Ιούλιος 2011

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πειραματική διπλωματική εργασία χωρίζεται σε δύο μέρη.

Στο πρώτο μέρος, αναλύεται ένα πείραμα που πραγματοποιήθηκε με σκοπό την σύγκριση υλικών χρησιμοποιούμενων σε ηλιακά θερμικά συστήματα. Πιο συγκεκριμένα τα υλικά που μελετήθηκαν ως προς τις ιδιότητες απορρόφησης της ηλιακής ενέργειας ήταν αλουμίνιο και χάλυβας καθώς και περιπτώσεις μοντέλων αφροδών καταστάσεων αλουμινίου και χάλυβα. Για την μελέτη των υλικών κατασκευάστηκαν απλές θερμοδομετρικές διατάξεις που αποτελούνταν από κατάλληλα θερμικά μονωμένα κουτιά ώστε να μελετήσουμε την απορρόφηση της ακτινοβολίας και την μετατροπή της σε θερμότητα από το κάθε υλικό, μέσω της μέτρησης της επιφανειακής θερμοκρασίας που αναπτύσσεται σε κάθε ένα από αυτά. Η θερμοκρασία που αναπτυσσόταν σε κάθε υλικό καταγραφόταν με τη βοήθεια μιας θερμοκάμερας, με ακρίβεια ενός δεκαδικού.

Επίσης έγινε μία εκτενής αναφορά στους τρόπους μετάδοσης θερμότητας, σε βασικές αρχές της οπτικής (ανάκλαση, διάθλαση, διάχυση του φωτός) αλλά μελετήθηκαν επίσης, όσον αφορά τις γενικότερες ιδιότητες τους κυρίως, και τα υλικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα, το αλουμίνιο και ο χάλυβας.

Το κύριο συμπέρασμα που προκύπτει από την πραγματοποίηση των παραπάνω πειραμάτων είναι ότι ο χάλυβας βρέθηκε να απορροφάει την μεγαλύτερη θερμότητα και είχε τις μικρότερες απώλειες ενέργειας προς το εξωτερικό περιβάλλον. Ειδικότερα σε κλίση 45° , που είναι και η βέλτιστη κλίση των ηλιακών θερμικών συστημάτων στη χώρα μας, ο χάλυβας ανέπτυξε πολύ μεγαλύτερες θερμοκρασίες συγκριτικά με το αλουμίνιο. Ένα επίσης σημαντικό πλεονέκτημα του αφρώδη χάλυβα είναι το γεγονός ότι παρόλο που η θερμοκρασία στην επιφάνεια του αυξανόταν με πολύ πιο αργό ρυθμό σε σχέση με το αλουμίνιο, (λόγω της μεγαλύτερης θερμικής αγωγιμότητας του αλουμινίου), όταν επικρατούσαν συνθήκες διάχυτου φωτός (συννεφιάς) το αλουμίνιο έχανε πολύ γρήγορα την θερμότητα του, ενώ ο χάλυβας παρουσίαζε καλύτερη φαινόμενη θερμοχωρητικότητα, η θερμοκρασία του έπεφτε με αρκετά πιο αργό ρυθμό και διατηρούσε υψηλότερη θερμοκρασία σε συνθήκες θερμικής ισορροπίας ακόμη και από τον ίδιο τον συμπαγή χάλυβα.

Στο δεύτερο μέρος μελετάται αναλυτικά το φαινόμενο της γήρανσης (φυσική και τεχνητή) στα υλικά, και πιο συγκεκριμένα στο πολυαιθυλένιο. Το δεύτερο πείραμα που πραγματοποιήθηκε, είναι η γήρανση δοκιμίων πολυαιθυλενίου διπλής στρώσης με εγκλωβισμένο αέρα στο ενδιάμεσο των στρώσεων, σε ειδικό θάλαμο επιταχυνόμενης γήρανσης όπου προσομοίαζε κατάλληλα τις εξωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Σκοπός του πειράματος αυτού ήταν η παρατήρηση αλλαγών στις μηχανικές ιδιότητες των δοκιμίων πολυαιθυλενίου, σε πείραμα μονοαξονικού εφελκυσμού πριν και μετά την γήρανση. Το πείραμα εφελκυσμού πραγματοποιήθηκε στην μηχανή εφελκυσμού Instron, στο εργαστήριο Πολυμερών του κτιρίου Αντοχής Υλικών. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων εφελκυσμού επεξεργάστηκαν μέσω του λογισμικού Origin και προέκυψαν καμπύλες δύναμης-επιμήκυνσης και για τα μη γηρασμένα αλλά και για τα γηρασμένα δοκίμια, και τα συμπεράσματα της σύγκρισης αυτής παρουσιάζονται στο τέλος του δεύτερου μέρους της διπλωματικής.

Η σημαντικότερη παρατήρηση που προκύπτει από τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν είναι πως η γήρανση των δοκιμίων πολυαιθυλενίου επέφερε σημαντική μείωση στην αντοχή τους σε πείραμα εφελκυστικής καταπόνησης, ελαττώνοντας σημαντικά και το μέτρο ελαστικότητας τους. Ενδεχομένως λοιπόν τα υλικά αυτά θα πρέπει να ενισχυθούν με προστατευτικά για την υπεριώδη ακτινοβολία για την χρήση τους σε ηλιακά θερμικά συστήματα.

ABSTRACT

The present experimental diploma thesis is separated in two parts.

In the first part, is analyzed an experiment that was realised aiming at the comparison of materials used as solar mirrors. Specifically the materials that were studied as for the attributes of absorption of solar energy were aluminium and steel as well as cases of models of sparkling situations of aluminium and steel. For the study of materials were manufactured simple calorimetric provisions that were constituted by suitably thermal insulated boxes so that we study the absorption of radiation and her transformation in heat from each material, via the measurement of surface temperature that is developed in each one of them. The temperature that was developed in each material was recorded with the help of a thermal camera, with precision of one decimal.

Also became an extensive report in the ways of transmission of heat, in basic principles of optics (reflection, diffraction, diffusion of light) but was studied also, with regard to their general attributes mainly, and the materials which were used in the experiment, aluminium and the steel that is to say.

The main conclusion that results from the realisation of the above experiments is that the steel found to absorb the biggest heat and had the smallest losses of energy to the exterior environment. More specifically in bent 45th, that is also the most optimal bent of solar thermal systems, developed much bigger temperatures comparatively with aluminium. Also an important advantage foamy steel is the fact that even if the temperature in his surface increased with much more slow rhythm concerning aluminium, (because the bigger thermal conductivity of aluminium), when prevailed conditions of diffusion light (cloudless) the aluminium lost very fast his heat, while the steel presented better heat capacity and his temperature fell with enough more slow rhythm and maintained higher temperature in conditions of thermal balance even from himself the compact steel.

In the second part is studied analytically the phenomenon of ageing (natural and artificial) in the materials, and more concrete in polyethylene. The second experiment that was realised, is the ageing of essays of polyethylene of double layer with trapped air in the intermediary of layers, in special booth of accelerating ageing where simulated suitably the exterior environmental conditions. Aim of this experiment was the observation of changes in the mechanic attributes of essays of polyethylene, in a single-axis tension experiment, before and afterwards the ageing. The tension experiment was realised in the tension machine Instron, in Polymers laboratory of building of Resistance of Materials. The results of tension experiments processed via computational Origin and resulted curve of tendency of elongation and for not aging but also for the aging essays, and the conclusions of this comparison are presented in the end of second part of diplomatic.

The more important observation that results from the experiments that were realised they are that the ageing of essays of polyethylene it involved important reduction in their resistance in tensile load experiment decreasing considerably and their metre of elasticity. Potentially therefore these materials should be strengthened with protective for the ultraviolet radiation for their use in solar thermal systems.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αισθάνομαι την ανάγκη να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όσους συνέβαλαν στην επίτευξη αυτής της πτυχιακής εργασίας.

Πρώτα από όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριο Βασίλειο Κεφαλά για την πολύτιμη βοήθεια του, την άψογη συνεργασία μου μαζί του, καθώς και την υπομονή του και την ενθάρρυνση του για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου διατριβής.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της τριμελούς επιτροπής, την κυρία Ευαγγελία Κοντού και τον κύριο Γεράσιμο Σπαθή.

Τέλος ευχαριστώ τους φίλους μου και ιδιαίτερα τους γονείς μου και γενικότερα τον συγγενικό μου κύκλο για την ψυχολογική υποστήριξη που μου έδειξαν κατά την εκπόνηση της πτυχιακής μου εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή	6
Κεφάλαιο 1 ^ο	8
1.1 Θερμότητα – Μετάδοση θερμότητας.....	8
1.1.1 Εισαγωγή	8
1.1.2 Μετάδοση θερμότητας με αγωγή (επαφή).....	10
1.1.3 Μετάδοση θερμότητας με συναγωγή (μεταφορά)	10
1.1.4 Μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία	11
1.2 Μέλαν σώμα	12
1.2.1 Εισαγωγή	12
1.3 Ο νόμος των Stefan - Boltzmann	14
Κεφάλαιο 2 ^ο	16
2.1 Ανάκλαση – Διάθλαση του φωτός.....	16
2.1.1 Ανάκλαση	16
2.1.1.1 Νόμοι ανάκλασης.....	17
2.1.2 Διάθλαση.....	17
2.1.2.1 Νόμοι Διάθλασης.....	18
2.1.2.2 Ολική ανάκλαση – Οριακή γωνία.....	19
2.2 Διάχυση φωτός.....	19
Κεφάλαιο 3 ^ο	21
3.1 Μελέτη υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα	21
3.1.1 Σίδηρος.....	21
3.1.2 Χάλυβας.....	22
3.1.3 Αλουμίνιο.....	25
Κεφάλαιο 4 ^ο	28
4.1 Συγκριτική μελέτη θερμικών κατόπτρων με επιφάνειες κατασκευασμένες από διαφορετική υφή υλικών	28
4.1.1 Εισαγωγή	28
4.1.2 Εκτέλεση πειραμάτων.....	31
4.1.3 Απόδειξη διαφοράς ροής θερμότητας στα υλικά μας.....	49
4.1.4 Συμπεράσματα	51
Κεφάλαιο 5 ^ο	53
5.1 Γήρανση υλικών.....	53
5.1.1 Φυσική γήρανση υλικών.....	53
5.1.1.1 Υπεριώδης ακτινοβολία	54
5.1.1.2 Υγρασία	54
5.1.1.3 Θερμότητα	55
5.1.2 Τεχνητή γήρανση υλικών.....	55
5.2 Πολυαιθυλένιο	56
5.2.1 Εισαγωγή	56
5.2.1.1 Φυσικές ιδιότητες πολυαιθυλενίου	57
5.2.1.2 Ανακύκλωση πολυαιθυλενίου	57
5.2.2 Γήρανση του πολυαιθυλενίου	58
5.3 Εφελκυσμός	59
5.3.1 Εισαγωγή	59
5.3.1.1 Μηχανή εφελκυσμού Instron	61
Κεφάλαιο 6 ^ο	62
6.1 Πειραματική επεξεργασία.....	62
6.2 Πείραμα με δοκίμια πολυαιθυλενίου σε θάλαμο επιταχυνόμενης γήρανσης....	62
Συμπεράσματα	70

Εισαγωγή

Η συνεχής αύξηση της κατανάλωσης των συμβατικών μορφών ενέργειας στην Ελλάδα έχει οδηγήσει στην εξάντληση των φυσικών πόρων. Βλέποντας η ανθρωπότητα την υποβάθμιση του περιβάλλοντος η οποία οδηγεί σε μια σύντομη « ημερομηνία λήξης» την χώρα μας, έχει οδηγηθεί τα τελευταία χρόνια στην ολοένα και μεγαλύτερη χρήση και αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας μέσω της χρήσης των ηλιακών θερμικών συστημάτων.

Για αυτόν τον λόγο στο πρώτο μέρος της παρούσας διπλωματικής εργασίας, πραγματοποιήθηκε ένα πείραμα που στόχο είχε σύγκριση του αλουμινίου και του χάλυβα, όσον αφορά τη χρήση τους ως υλικά κατασκευής ηλιακών κατόπτρων. Τα δυο υλικά μελετήθηκαν ως προς την θερμοχωρητικότητα τους, την θερμομονωτική τους ικανότητα καθώς και τις απώλειες ενέργειας ως προς το εξωτερικό περιβάλλον έτσι ώστε να είμαστε σε θέση να συμπεράνουμε ποιο από τα δύο είναι καταλληλότερο για τέτοιου είδους εφαρμογή.

Στο δεύτερο κομμάτι μελετήθηκε η γήρανση ενός από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα υλικά στον εμπορικό τομέα, του πολυαιθυλενίου. Δοκίμια πολυαιθυλενίου διπλής στρώσης με εγκλωβισμένο αέρα τοποθετήθηκαν σε θάλαμο επιταχυνόμενης γήρανσης και στη συνέχεια δοκιμάστηκαν σε πείραμα εφελκυσμού, με σκοπό να παρατηρήσουμε το αν και κατά πόσο επηρεάζεται η αντοχή τους και η ελαστικότητα τους από το φαινόμενο της γήρανσης.

Στο **1^ο κεφάλαιο** αναλύονται οι τρόποι μετάδοσης θερμότητας (αγωγή, συναγωγή, ακτινοβολία). Έμφαση δίνεται επίσης στην έννοια του μέλανος σώματος καθώς και του νόμου των Stefan- Boltzmann.

Το **2^ο κεφάλαιο** επικεντρώνεται σε βασικές αρχές της οπτικής. Πιο συγκεκριμένα αναλύεται το φαινόμενο της ανάκλασης, της διάθλασης, της ολικής ανάκλασης καθώς και της διάχυσης του ηλιακού φωτός, όπως επίσης και οι νόμοι που διέπουν το κάθε φαινόμενο.

Το **3^ο κεφάλαιο** αφιερώνεται στην μελέτη των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στο προαναφερθέν πείραμα. Μελετήθηκαν ο σίδηρος, ο χάλυβας καθώς και το αλουμίνιο ως προς την εξελιξή τους τόσο σε παγκόσμιο επίπεδο όσο και στην Ελλάδα καθώς επίσης αναφέρθηκαν και οι μηχανικές ιδιότητες που παρουσιάζουν.

Στο **4^ο κεφάλαιο** αναλύεται εκτενώς το πείραμα το οποίο πραγματοποιήθηκε για την σύγκριση του χάλυβα και του αλουμινίου για τη χρήση τους ως ηλιακά κάτοπτρα. Παρουσιάζονται με τη μορφή πινάκων οι σύνθηκες του κάθε πειράματος, καθώς και εικόνες που πάρθηκαν με την κάμερα υπερύθρου FLIR όπου φαίνεται η θερμοκρασία που έχει αναπτυχθεί στην επιφάνεια του κάθε υλικού.

Το **5^ο κεφάλαιο** επιχειρεί μια πλήρη αναφορά στο φαινόμενο της γήρανσης. Ναλύεται η φυσική γήρανση καθώς και οι παράγοντες που συντελούν στην εξελιξή της (υπεριώδης ακτινοβολία, υγρασία, θερμότητα). Αναφερόμαστε επίσης στο πολυαιθυλένιο και στη γήρανση του καθώς και στην έννοια του εφελκυσμού.

Τέλος στο **6^ο κεφάλαιο** παρουσιάζεται το πείραμα επιταχυνόμενης γήρανσης στον αντίστοιχο θάλαμο, με τα δοκίμια πολυαιθυλενίου. Επισυνάπτονται οι γραφικές παραστάσεις φορτίου-επιμήκυνσης των δοκιμίων που έγιναν με το λογισμικό Origin και τέλος αναφέρονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εκτέλεση του πειράματος.

1^ο ΜΕΡΟΣ

Το πρώτο μέρος της διπλωματικής εργασίας ασχολείται με την επίτευξη ενός πειράματος σχετικά με την απορρόφηση θερμότητας από διαφορετικά υλικά, τον ρυθμό ανάπτυξης θερμοκρασιών στην επιφάνεια τους καθώς και τις απώλειες ενέργειας που υφίστανται οι επιφάνειες. Τα υλικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ήταν αλουμίνιο και χάλυβας. Σκοπός του πειράματος ήταν η παρατήρηση της θερμικής απορρόφησης από το εκάστοτε υλικό καθώς και οι απώλειες που παρουσιάζουν, έτσι ώστε να δούμε αν κάποιο από αυτά τα υλικά θα μπορούσε μελλοντικά να χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή ηλιακών συλλεκτών.

Λόγω του συγκεκριμένου πειράματος που πραγματοποιήθηκε, αναλύθηκαν τα φαινόμενα μετάδοσης μεταφοράς της θερμότητας, ο νόμος των Stefan-Boltzmann για την εκπομπή θερμότητας από τα μέλανα σώματα αλλά και οι βασικές έννοιες της οπτικής όπως η ανάκλαση, η διάθλαση και η διάχυση του φωτός.

Κεφάλαιο 1^ο

1.1 Θερμότητα – Μετάδοση θερμότητας

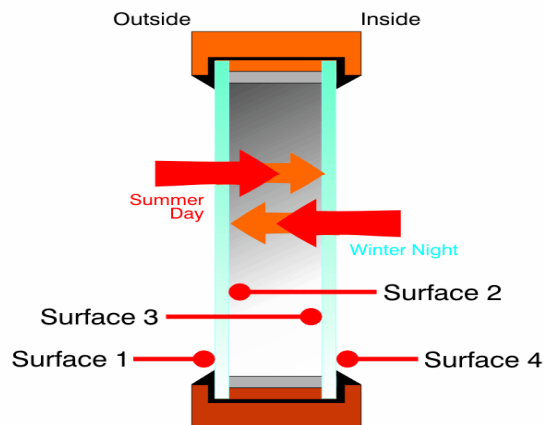
1.1.1 Εισαγωγή

Η θερμότητα ορίζεται ως η μορφή ενέργειας που μεταδίδεται μέσα από το όριο ενός θερμοδυναμικού συστήματος συγκεκριμένης θερμοκρασίας προς ένα άλλο σύστημα (ή στο περιβάλλον) που βρίσκεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία λόγω ακριβώς αυτής της διαφοράς θερμοκρασίας των δυο συστημάτων.

Το αντικείμενο της μετάδοσης θερμότητας είναι η διερεύνηση των μηχανισμών με τους οποίους η θερμότητα μεταδίδεται μεταξύ των σωμάτων και η ποσοτικοποίηση αυτής της συναλλαγής. Με τον όρο μετάδοση θερμότητας ουσιαστικά εννοούμε τη μεταφορά ενέργειας λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς. Έτσι όταν υπάρχει θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ δυο εργαζόμενων μέσων ή συστημάτων παρατηρείται μετάδοση θερμότητας από το θερμότερο προς το ψυχρότερο.

Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί μηχανισμοί με τους οποίους πραγματοποιείται αυτή η μεταφορά ενέργειας. Ο πρώτος μηχανισμός αναφέρεται σε ακίνητο μέσο (στερεό, υγρό ή αέριο) και ονομάζεται αγωγή (conduction).

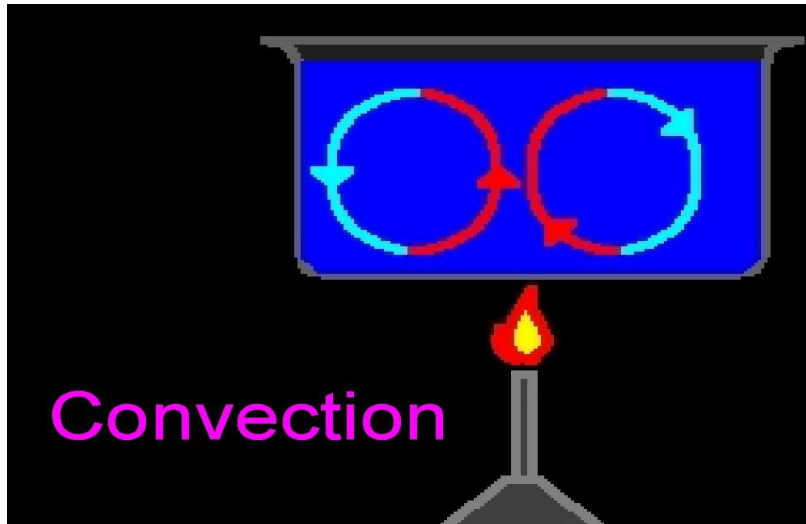
Conduction = Heat Flow through Materials



Copyright 2007 Crystal Clear Window Works. All rights reserved.

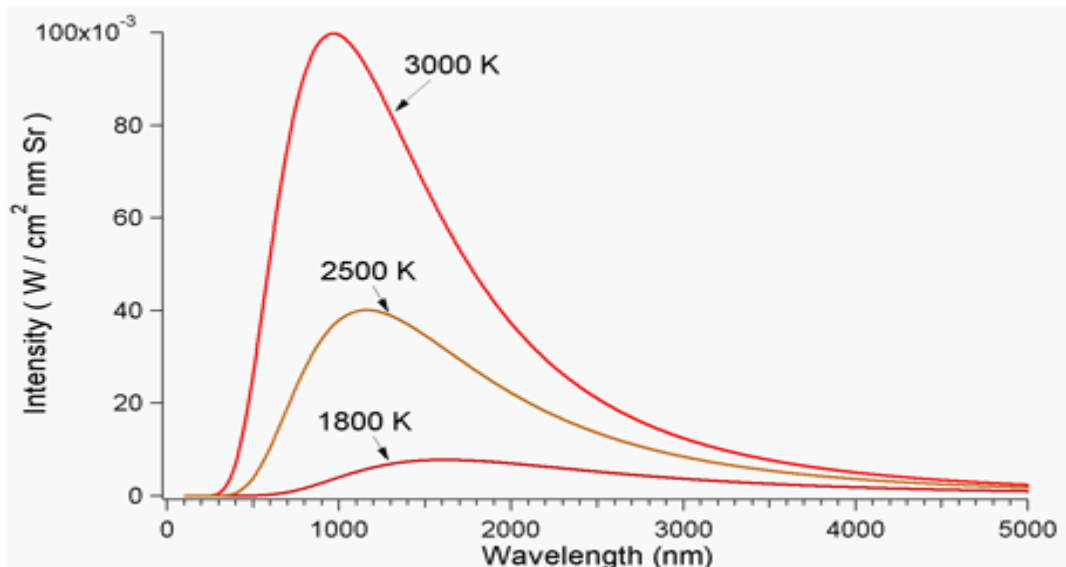
Εικόνα 1: Μετάδοση θερμότητας με αγωγή

Ο δεύτερος μηχανισμός αναφέρεται σε μετάδοση θερμότητας μεταξύ μιας στερεάς επιφάνειας και ενός κινούμενου ρευστού και ονομάζεται συναγωγή (convection).

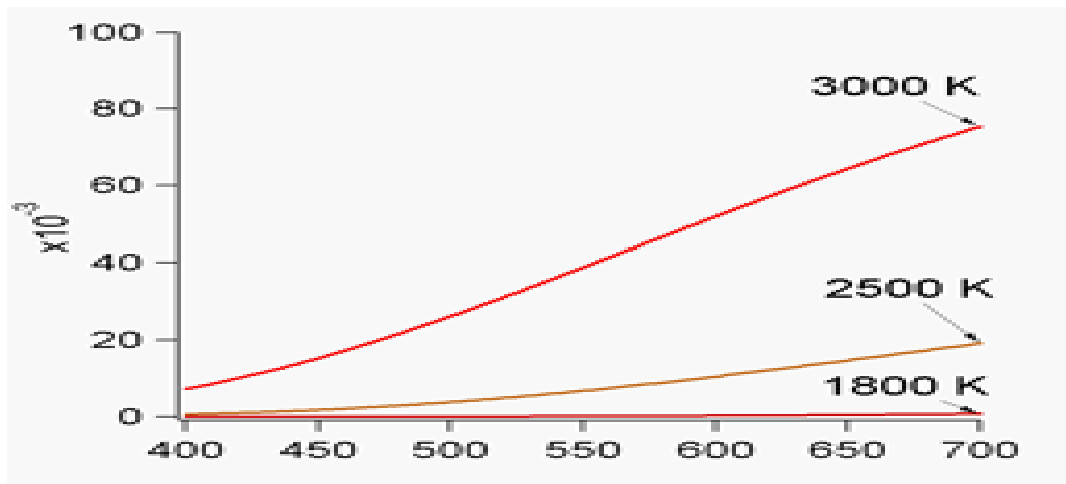


Εικόνα 2: Μετάδοση θερμότητας με συναγωγή

Ο τρίτος μηχανισμός στηρίζεται στο γεγονός ότι κάθε σώμα πεπερασμένης θερμοκρασίας εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Έτσι μεταξύ δύο σωμάτων διαφορετικής θερμοκρασίας θα υπάρξει μετάδοση θερμότητας, χωρίς την ανάγκη παρουσίας κάποιου ενδιάμεσου σώματος με την εφαρμογή του τρίτου μηχανισμού της θερμικής ακτινοβολίας (thermal radiation).



Εικόνα 3: Μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία (ροή θερμότητας συναρτήσει του μήκους κύματος) σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες όπως προκύπτει από το νόμο του Planck



Εικόνα 4: Μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία στο ορατό φάσμα

1.1.2 Μετάδοση θερμότητας με αγωγή (επαφή)

Η αγωγή θερμότητας αναφέρεται σε μακροσκοπικώς ακίνητα σώματα και συνδέεται με την ανταλλαγή ενέργειας σε μοριακό επίπεδο. Ουσιαστικά πρόκειται για την μετάδοση ενέργειας από στοιχειώδη σωματίδια υψηλότερης προς σωματίδια χαμηλότερης ενέργειας δια της μεταξύ τους αλληλεπίδρασης. Στην περίπτωση των στερεών η διάδοση της ενέργειας πραγματοποιείται μέσω δυο μηχανισμών. Στην περίπτωση των μονωτών, η ενέργεια διαδίδεται μέσω πλεγματοκινημάτων εντός της δομής του στερεού. Τα κύματα αυτά επάγονται από την ταλαντωτική κίνηση των ατόμων. Στην περίπτωση των αγωγών, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια συμμετέχουν, μέσω της κίνησης τους στη διάχυση της θερμικής ενέργειας στον όγκο του στερεού, μαζί με τα πλεγματοκινητικά κύματα.

Όταν μέσα σε ένα σώμα έχουμε μία διαφορά θερμοκρασίας, η εμπειρία έχει δείξει ότι υπάρχει μια μετάδοση θερμότητας από την περιοχή υψηλής θερμοκρασίας στην περιοχή χαμηλής θερμοκρασίας. Θεωρείται τότε ότι η ενέργεια μεταδίδεται με αγωγή και ο ρυθμός μετάδοσης της θερμότητας q είναι ανάλογος της θερμοκρασιακής διαφοράς, $q = -k \cdot A \cdot \theta T / \theta x$ (Νόμος Fourier). Ο συντελεστής k είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού με μονάδα μέτρησης W και εξαρτάται από το υλικό, ενώ το αρνητικό πρόσημο δείχνει ότι η θερμότητα ρέει προς το σώμα με τη χαμηλότερη θερμοκρασία.

1.1.3 Μετάδοση θερμότητας με συναγωγή (μεταφορά)

Η συναγωγή αναφέρεται στη μετάδοση θερμότητας σε κινούμενα ρευστά. Στην περίπτωση αυτή συνυπάρχουν δυο μηχανισμοί μετάδοσης ενέργειας. Ο πρώτος είναι η διάχυση ενέργειας μέσω των σωματιδιακών αλληλεπιδράσεων, ενώ ο δεύτερος μηχανισμός συνδέεται με την μακροσκοπική κίνηση του ρευστού. Κατά την μικροσκοπική κίνηση του ρευστού τα στοιχειώδη σωματίδια, που απαρτίζουν τα στοιχεία του ρευστού μεταφέρουν μαζί με τη μάζα τους και την θερμική ενέργεια που σχετίζεται με την τυχαία μεταφορική κίνηση τους, την ταλάντωση τους και την εσωτερική περιστροφή τους. Έτσι η συνολική μετάδοση θερμικής ενέργειας είναι το άθροισμα της μετάδοσης λόγω συγκρούσεων και της

μετάδοσης λόγω της μεταφοράς της θερμικής ενέργειας των σωματιδίων μέσω της μακροσκοπικής κίνησης του ρευστού.

Η κύρια περιοχή εφαρμογής της μετάδοσης θερμότητας με συναγωγή είναι η μετάδοση από στερεή επιφάνεια προς κινούμενο ρευστό σε επαφή με την επιφάνεια ή το αντίθετο. Στην περίπτωση διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ της στερεάς επιφάνειας και του ρευστού εμφανίζεται το θερμικό οριακό στρώμα (thermal boundary layer). Εντός του θερμικού οριακού στρώματος εμφανίζεται ομαλή μεταβολή της θερμοκρασίας από τη θερμοκρασία της στερεάς επιφάνειας έως τη θερμοκρασία της κύριας ροής. Στην περίπτωση που η πρώτη είναι μεγαλύτερη από τη δεύτερη, η ροή θερμότητας πραγματοποιείται από τη θερμή επιφάνεια στο ψυχρότερο ρευστό.

Επειδή στην περιοχή κοντά στο στερεό τοίχωμα οι ταχύτητες της ροής είναι πολύ μικρές ο μηχανισμός της διάχυσης είναι αυτός που επικρατεί. Αντίθετα μακριά από το τοίχωμα όπου έχουν αυξηθεί οι ταχύτητες της ροής, επικρατεί η μετάδοση θερμότητας με μεταφορά. Ειδικά πάνω στο τοίχωμα, όπου η σχετική ταχύτητα της ροής είναι μηδενική, υπάρχει αποκλειστικά μετάδοση θερμότητας με διάχυση.

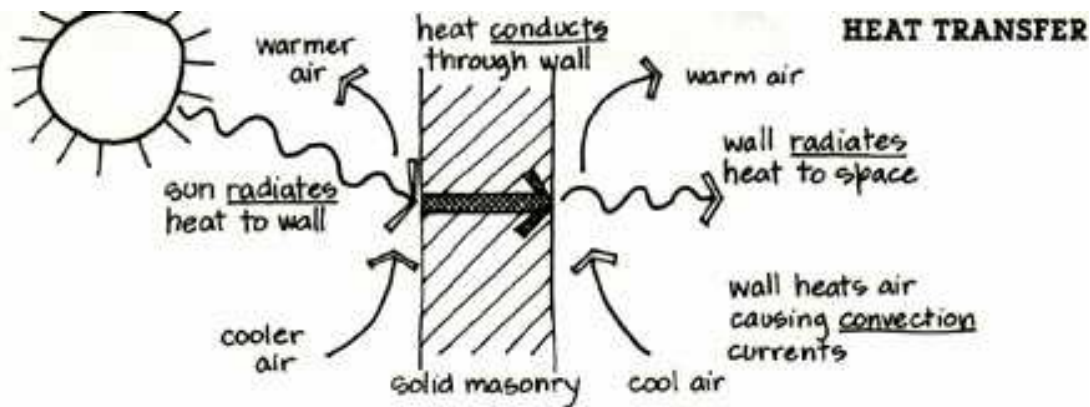
Η μετάδοση θερμότητας με συναγωγή (μεταφορά) εκφράζεται από την σχέση: $q = h \cdot A \cdot (T_s - T_f)$. Ο συντελεστής h ονομάζεται συντελεστής συναγωγής (μεταφοράς) και μπορεί να υπολογιστεί αναλυτικά ή πειραματικά για τις διάφορες περιπτώσεις. Εξαρτάται από τη γεωμετρία της επιφάνειας, και τις ιδιότητες του ρευστού, όπως: το τυρβώδες, η θερμική αγωγιμότητα, η ειδική θερμότητα, και η πυκνότητα. Η ροή που προκαλεί τη συναγωγή θερμότητας μπορεί να οφείλεται σε εξωτερικούς παράγοντες ή στην ίδια τη μετάδοση θερμότητας. Αν η ροή του ρευστού γίνεται με φυσική κυκλοφορία έχουμε το φαινόμενο της φυσικής (ελεύθερης) μεταφοράς θερμότητας, αλλιώς η μεταφορά της θερμότητας ονομάζεται εξαναγκασμένη.

1.1.4 Μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία

Η ιδιαιτερότητα που έχει η μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία σε σχέση με τους άλλους μηχανισμούς είναι το ότι δεν απαιτεί υλικό μέσο, αντίθετα είναι πιο αποτελεσματική στο κενό. Η ακτινοβολία που μεταφέρει την θερμότητα είναι ηλεκτρομαγνητική όπως είναι το φως και τα ραδιοκύματα. Η ακτινοβολία (σε μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων – φωτονίων) δημιουργείται με αλλαγές στην ενεργειακή κατάσταση των ηλεκτρονίων των ατόμων του σώματος.

Η μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία είναι συνήθως συνυφασμένη στην ανθρώπινη αντίληψη με σώματα όπως ο ήλιος και τα πυρακτωμένα μέταλλα, τα οποία είναι τόσο θερμά ώστε να δίνουν και φως. Ο ίδιος μηχανισμός μετάδοσης όμως ισχύει και για τα πιο ψυχρά αντικείμενα. Το ότι το ανθρώπινο μάτι δεν αντιλαμβάνεται την ακτινοβολία όπως στις πιο πάνω περιπτώσεις δεν σημαίνει ότι δεν υπάρχει.

Η ακτινοβολία η οποία μεταφέρει την θερμότητα βρίσκεται στο υπέρυθρο του φάσματος, αποκαλείται υπέρυθρη και ταξιδεύει με την ταχύτητα του φωτός. Όλα τα υλικά σώματα ακτινοβολούν θερμότητα με έναν ρυθμό ο οποίος εξαρτάται (αύξουσα συνάρτηση) από τη θερμοκρασία του σώματος. Κάποιες επιφάνειες (π.χ. μαύρα βερνίκια) ακτινοβολούν περισσότερο από κάποιες άλλες (π.χ. καλογουαλισμένα μέταλλα). Γενικά όσο περισσότερο ακτινοβολεί μια επιφάνεια, τόσο μεγαλύτερο ποσοστό απορροφάει από την ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτήν.



Natural heat flows – Convection, Conduction and Radiation

Εικόνα 5: Τρόποι μετάδοσης θερμότητας

1.2 Μέλαν σώμα

1.2.1 Εισαγωγή

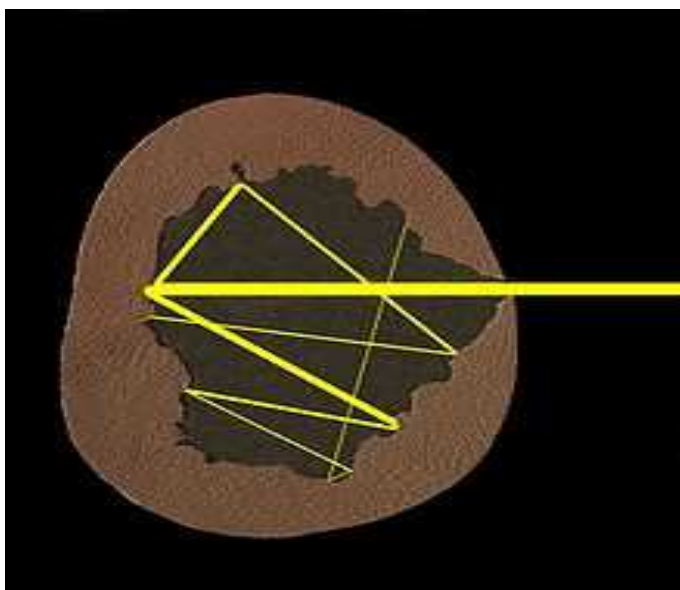
Για να αναλύσουμε την μετάδοση της θερμότητας με ακτινοβολία θα εισαγάγουμε την ιδεατή έννοια του μελανού σώματος. Συμβατικά μελανό είναι το σώμα που δεν ανακλά το φως (ορατή ακτινοβολία) αλλά στην μεταφορά θερμότητας σαν μελανό ορίζεται το σώμα που δεν ανακλά ακτινοβολία σε κανένα μήκος κύματος.

Μια μικρή τρύπα ανοίγεται σε μια κοιλότητα σταθερής θερμοκρασίας. Η προσπίπτουσα ακτινοβολία που πέφτει μέσα στην τρύπα τελικά απορροφάται ολοκληρωτικά. Αυτό συμβαίνει γιατί σε κάθε ανάκλαση της ακτινοβολίας ένα μέρος απορροφάται με αποτέλεσμα μετά από μερικές ανακλάσεις όλη η εισερχόμενη ακτινοβολία να έχει απορροφηθεί και να μην υπάρχει επιστροφή μέσα από την τρύπα. Η τρύπα συμπεριφέρεται σαν μελανό σώμα απορροφώντας όλη την ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτή.

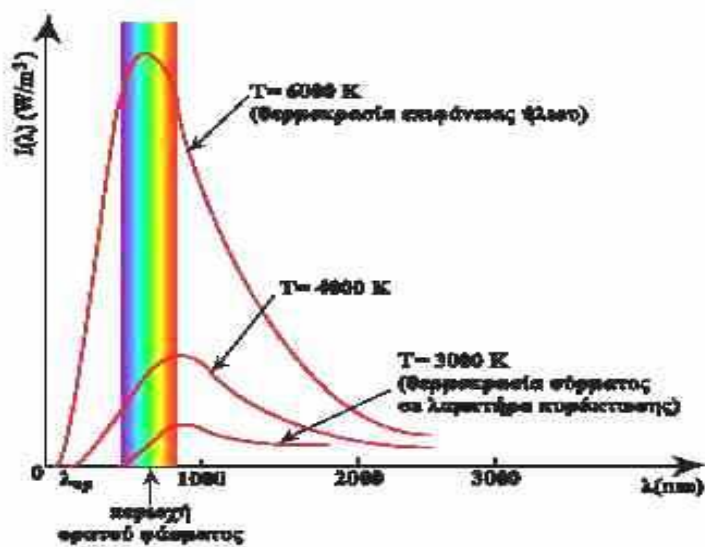
Ισοδύναμα το υλικό που βρίσκεται μέσα στην κοιλότητα θα ακτινοβολεί. Η ακτινοβολία που εξέρχεται από την τρύπα εξαρτάται από την θερμοκρασία αλλά όχι από το υλικό από το οποίο αποτελείται η κοιλότητα. Αυτό το γεγονός είναι μη αναμενόμενο γιατί κανείς θα περίμενε περισσότερη ακτινοβολία αν η κοιλότητα είναι καλυμμένη από μαύρο βερνίκι από ότι αν αποτελείται από ένα καλογυαλισμένο μέταλλο. Η εξήγηση είναι ότι ναι μεν το βερνίκι ακτινοβολεί περισσότερο αλλά επίσης απορροφά περισσότερο (μικρή ανάκλαση) με αποτέλεσμα η ακτινοβολία που βγαίνει από την τρύπα να είναι η ίδια και στις δύο περιπτώσεις.

Η ανεξαρτησία της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας από την τρύπα, από το υλικό της κοιλότητας, επιβάλλεται από τον δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής. Αν ο ρυθμός εκπομπής ενέργειας με ακτινοβολία είναι μεγαλύτερος για το σώμα που έχει την μαύρη επιφάνεια από αυτό που αποτελείται από μέταλλο (και δεδομένου ότι οι δύο τρύπες απορροφούν όλη την ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτές) τότε θα έχουμε καθαρή μετάδοση θερμότητας ανάμεσα σε δύο σώματα που βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία πράγμα που αντιβαίνει τον δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής. Το συμπέρασμα από τα παραπάνω είναι ότι πρέπει να υπάρχει κάποια σχέση μεταξύ της ικανότητας ενός υλικού να εκπέμπει και να ανακλά ακτινοβολία. Οι περισσότερες σκουρόχρωμες επιφάνειες συμπεριφέρονται σαν μελανά

σώματα. Αλλά και μη σκουρόχρωμες επιφάνειες μπορούν σε πρώτη προσέγγιση να θεωρηθούν σαν μελανά σώματα αρκεί να μην είναι μεταλλικές.



Εικόνα 6: Μέλαν σώμα



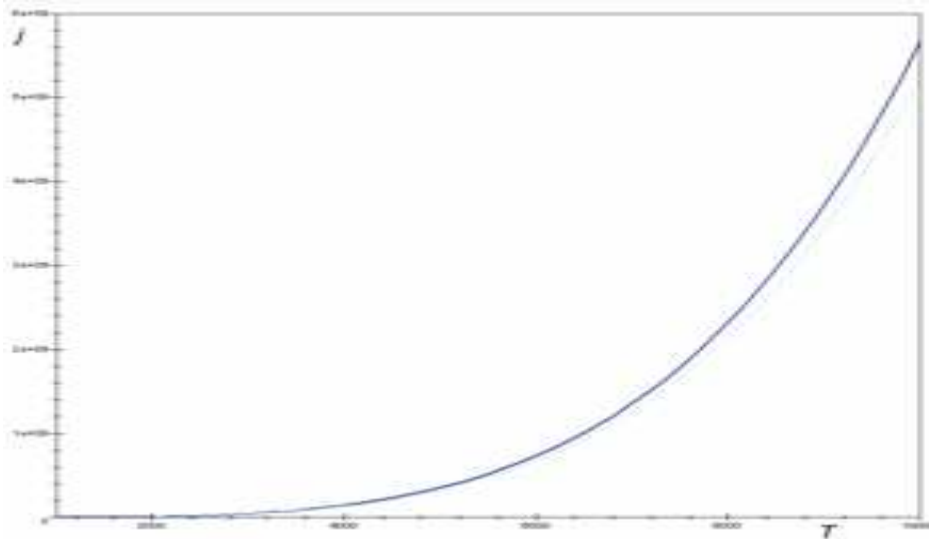
Εικόνα 7: Η φασματική κατανομή της αφετικής ικανότητας $I(\lambda)$ για μέλαν σώμα σε διάφορες θερμοκρασίες. Η τιμή λ_0 είναι η τιμή που μηδενίζεται η αφετική ικανότητα για κάποια θερμοκρασία

1.3 Ο νόμος των Stefan - Boltzmann

Σύμφωνα με αυτόν το νόμο η ροή θερμότητας που ακτινοβολείται από ένα μελανό σώμα είναι $q = \sigma T^4$ (1) όπου T είναι η απόλυτη θερμοκρασία σε βαθμούς Kelvin και σ είναι η σταθερά των Stefan-Boltzmann ίση με $5.67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$. Ο νόμος αυτός πρώτα ανακαλύφθηκε από τον Stefan με βάση πειραματικές μετρήσεις και μετά αποδείχθηκε με βάση τις αρχές της θερμοδυναμικής από τον Boltzmann. Ο υπολογισμός της θερμότητας που μεταφέρεται με ακτινοβολία είναι γενικά δύσκολος. Πολλές φορές το αντικείμενο που μας ενδιαφέρει βρίσκεται σε “οπτική” επαφή με πολλά άλλα αντικείμενα που το καθένα βρίσκεται σε διαφορετική θερμοκρασία. Ο υπολογισμός της ανταλλασσόμενης ενέργειας απαιτεί ολοκληρώσεις σε περίπλοκες γεωμετρίες.

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, η μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία έχει λίγα κοινά με την μεταφορά θερμότητας με αγωγή και συναγωγή: δεν απαιτείται υλικό μέσο για την μεταφορά και η ροή θερμότητας δεν είναι απλώς ανάλογη της διαφοράς θερμοκρασίας. Εκείνο όμως που παραμένει κοινό με τους άλλους μηχανισμούς είναι η ισχύς του δεύτερου νόμου της θερμοδυναμικής ο οποίος για την συγκεκριμένη περίπτωση μπορεί να εκφραστεί ως εξής: Η θερμότητα πάντα μεταδίδεται από την περιοχή της μεγάλης θερμοκρασίας στην περιοχή της μικρής θερμοκρασίας. Αυτός ο νόμος χρησιμοποιείται πολύ συχνά στο υπολογισμό μεταφοράς θερμότητας με ακτινοβολία και δίνει αποτελέσματα ανεξάρτητα από την περιπλοκότητα της γεωμετρίας.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό της ακτινοβολίας είναι ότι μπορεί να μεταφέρει θερμότητα από ένα θερμό αντικείμενο σε ένα απομακρυσμένο ψυχρό αντικείμενο χωρίς να θερμάνει το ενδιάμεσο υλικό (π.χ. αέρας). Στην περίπτωση της αγωγής και της συναγωγής όχι μόνο το ενδιάμεσο υλικό θα θερμανθεί αλλά και η θέρμανση του θα είναι μεγαλύτερη από αυτή του ψυχρού σώματος.



Εικόνα 8: Η συνολική εκπεμπόμενη ενέργεια από μέλαν σώμα συναρτήσει της απόλυτης θερμοκρασίας

Οι πραγματικές επιφάνειες παρουσιάζουν κάποια χαρακτηριστικά που δεν τα βρίσκουμε στην ιδεατή μελανή επιφάνεια. Η παραδοχή της μελανής επιφάνειας δεν είναι και τόσο κακή αν εξαιρέσουμε μεταλλικές επιφάνειες σε υψηλή θερμοκρασία αλλά είναι δυνατό να βελτιώσουμε περαιτέρω την προσέγγιση των πραγματικών επιφανειών χρησιμοποιώντας τον συντελεστή $\epsilon_T (<1)$. Σε μια πραγματική επιφάνεια η ακτινοβολούσα ισχύς είναι προφανώς μικρότερη για την ίδια θερμοκρασία και δίνεται από τη σχέση: $E = \epsilon \sigma T^4$ όπου ϵ η ικανότητα εκπομπής της επιφάνειας με τιμές μεταξύ 0 και 1. Η τιμή της εξαρτάται από το υλικό και τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας και δείχνει πόσο προσεγγίζει η συγκεκριμένη επιφάνεια το μέλαν σώμα.

Εκτός από την εκπομπή ακτινοβολίας από μια επιφάνεια γίνεται και πρόσπτωση ακτινοβολίας η οποία παράγεται εκτός της επιφάνειας. Αν G η πυκνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας) τότε ένα τμήμα της μπορεί να απορροφηθεί από το σώμα (αυξάνοντας την εσωτερική του ενέργεια), ένα τμήμα μπορεί να ανακλαστεί, ενώ το υπόλοιπο τμήμα μπορεί να διαπεράσει το σώμα (εάν αυτό είναι ημιδιαφανές).

Το ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που απορροφάται από το σώμα περιγράφεται με την απορροφητικότητα α , οπότε ισχύει: $G_{\text{απορ}} = \alpha G$. Προφανώς η απορροφητικότητα παίρνει τιμές από 0 έως 1. Η απορροφητικότητα της επιφάνειας δεν εξαρτάται μόνο από την επιφάνεια αλλά και από το είδος της ακτινοβολίας. Η ίδια επιφάνεια μπορεί να έχει διαφορετική απορροφητικότητα σε ακτινοβολίες διαφορετικού μήκους κύματος. Μόνο η απορροφώμενη ακτινοβολία μεταβάλλει την εσωτερική ενέργεια του σώματος ενώ η ανακλώμενη και η ακτινοβολία που διαπερνά το σώμα δεν έχουν προφανώς καμία επίδραση σε αυτή. Όταν δύο πραγματικές επιφάνειες βρίσκονται απέναντι η μία στην άλλη τότε συμβαίνουν πολλαπλές ανακλάσεις και ο υπολογισμός της καθαρής ροής ενέργειας γίνεται περίπλοκος.



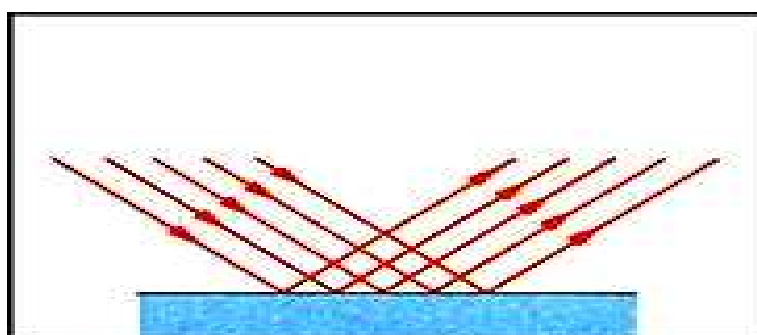
Εικόνα: Stefan - Boltzmann

Κεφάλαιο 2°

2.1 Ανάκλαση – Διάθλαση του φωτός

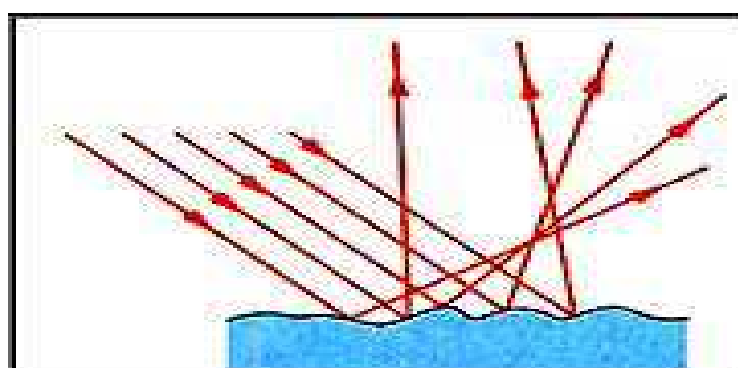
2.1.1 Ανάκλαση

Όταν το φως που διαδίδεται σε ένα μέσο συναντήσει τη διαχωριστική επιφάνεια ανάμεσα στο μέσο αυτό και σε ένα άλλο, τότε ένα μέρος του επιστρέφει στο αρχικό μέσο. Το φαινόμενο αυτό, λέγεται ανάκλαση. Όταν οι ακτίνες του φωτός είναι αρχικά παράλληλες μεταξύ τους και η επιφάνεια που προσπίπτουν είναι λεία και στιλπνή, τότε και οι ανακλώμενες ακτίνες είναι παράλληλες μεταξύ τους και η ανάκλαση λέγεται κατοπτρική.



Εικόνα 9: Κατοπτρική ανάκλαση

Αν η επιφάνεια στην οποία προσπίπτει η παράλληλη δέσμη των ακτίνων έχει ανωμαλίες, τότε οι ανακλώμενες ακτίνες δεν είναι παράλληλες αλλά διασκορπίζονται σε διάφορες διευθύνσεις και τότε λέμε ότι έχουμε διάχυση (το είδωλο δεν διατηρείται αλλά μόνο η ενέργεια του κύματος).



Εικόνα 10: Διάχυση φωτός

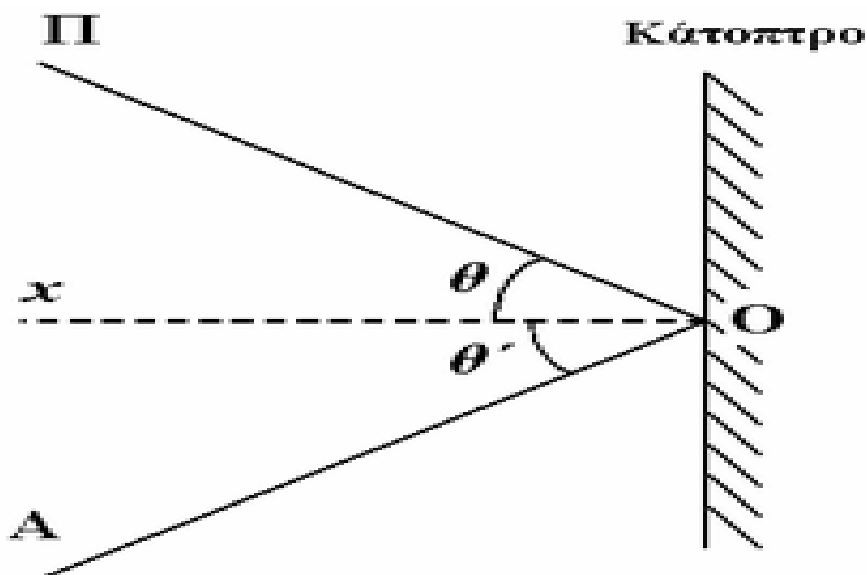
Η ακτίνα (ή η δέσμη) πριν ανακλασθεί ονομάζεται προσπίπτουσα ή αρχική, ενώ μετά την ανάκλαση ονομάζεται ανακλώμενη.

Η γωνία που σχηματίζει η προσπίπτουσα με την κάθετη στην επιφάνεια στο σημείο πρόσπτωσης, ονομάζεται γωνία πρόσπτωσης.

Η γωνία που σχηματίζει η ανακλώμενη ακτίνα με την κάθετη στην επιφάνεια στο σημείο πρόσπτωσης, ονομάζεται γωνία ανάκλασης.

2.1.1.1 Νόμοι ανάκλασης

- 1) Η προσπίπτουσα ακτίνα, η ανακλώμενη και η κάθετη στην επιφάνεια στα σημεία πρόσπτωσης, βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο το οποίο είναι κάθετο στην επιφάνεια.
- 2) Η γωνία ανάκλασης και η γωνία πρόσπτωσης είναι πάντα ίσες ($\theta = \theta'$)



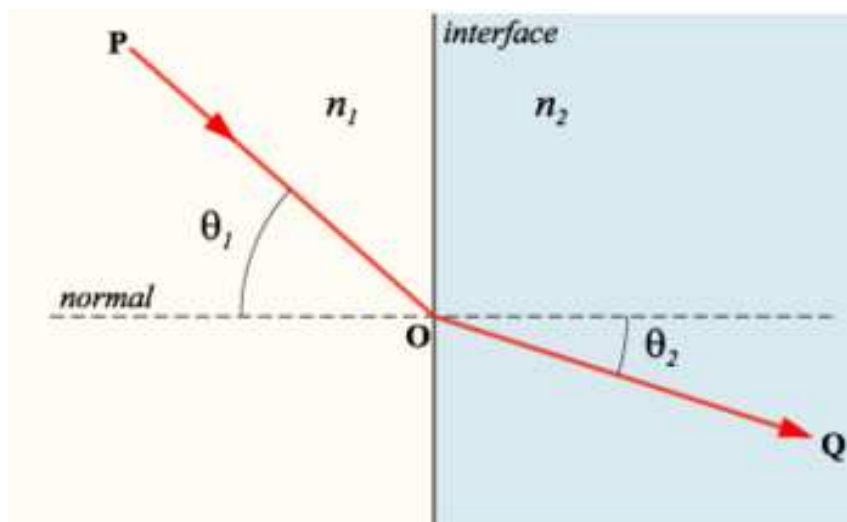
Εικόνα 11: Γωνία πρόσπτωσης και γωνία ανάκλασης

2.1.2 Διάθλαση

Όταν μια ακτίνα μονοχρωματικού φωτός που διαδίδεται σε ένα μέσο συναντήσει τη διαχωριστική επιφάνεια ανάμεσα στο μέσο αυτό και σε ένα άλλο διαφανές μέσο στο οποίο έχει διαφορετική ταχύτητα, τότε ένα μέρος του φωτός ανακλάται ενώ το υπόλοιπο περνά στο δεύτερο μέσο αλλάζοντας πορεία. Το φαινόμενο αυτό λέγεται διάθλαση.

Ουσιαστικά διάθλαση ονομάζουμε κάθε οπτικό φαινόμενο της εκτροπής της διεύθυνσης των φωτεινών ακτίνων κατά τη μετάβασή τους από ένα διαπερατό μέσο διάδοσης με δείκτη διάθλασης n_1 σε άλλο μέσο διάδοσης με δείκτη διάθλασης n_2 . Ως δείκτη διάθλασης n ορίζουμε τον λόγο της ταχύτητας του φωτός στο κενό, c , προς την ταχύτητα του φωτός, v , σε ένα οπτικά ενεργό μέσο και είναι πάντα ένα μέγεθος μεγαλύτερο της μονάδας.

Στην περίπτωση που φωτεινές ακτίνες διερχόμενες από ένα μέσο πέσουν κάθετα στην επιφάνεια του άλλου, τότε η γωνία πρόσπτωσης είναι μηδενική με αποτέλεσμα και η γωνία διάθλασης να είναι και αυτή μηδενική π.χ. ακτίνες φωτός από τον αέρα προσπίπτουσες κάθετα σε νερό συνεχίζουν στην ίδια διεύθυνση.



Εικόνα 12: Διάθλαση φωτός

2.1.2.1 Νόμοι Διάθλασης

- 1) Η προσπίπτουσα ακτίνα, η διαθλώμενη και κάθετη στην διαχωριστική επιφάνεια βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο που είναι κάθετο στην επιφάνεια.
- 2) Όταν το φως είναι μονοχρωματικό ο λόγος του ημίτονου της γωνίας πρόσπτωσης προς το ημίτονο της γωνίας διάθλασης είναι ίσος με τον αντίστροφο λόγο των δεικτών διάθλασης των μέσων (Νόμος Snell)

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

Από τον νόμο του Snell προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

A) Όταν μια ακτίνα φωτός προσπίπτει κάθετα στη διαχωριστική επιφάνεια δεν αλλάζει κατεύθυνση.

B) Όταν μια ακτίνα φωτός διέρχεται από το κενό σε ένα υλικό, προσεγγίζει πάντα την κάθετο.

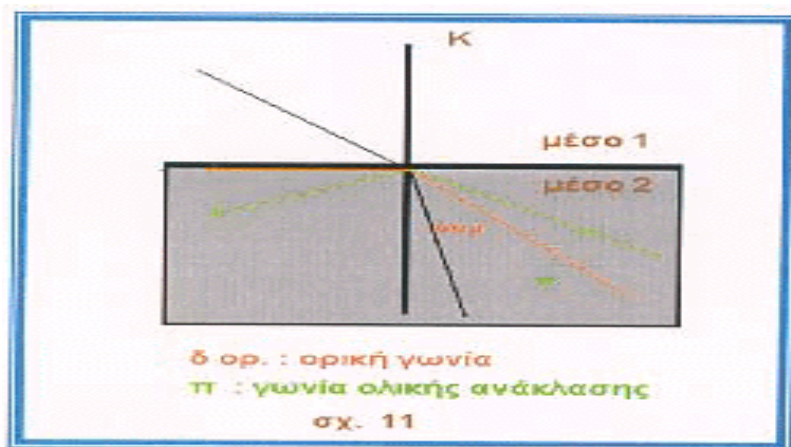
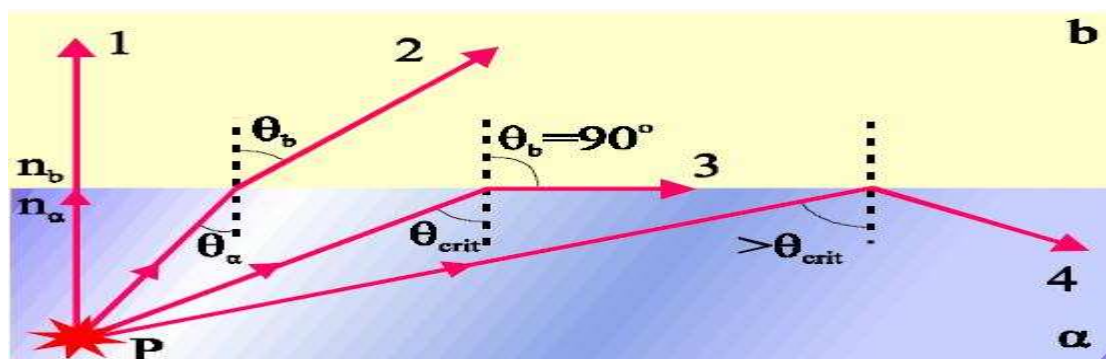
Γ) Αν ισχύει $n_2 < n_1$ τότε έχουμε $\theta_1 > \theta_2$. Δηλαδή η διαθλώμενη ακτίνα απομακρύνεται από την κάθετο.

Δ) Αν ισχύει $n_1 < n_2$ τότε έχουμε $\theta_2 > \theta_1$. Δηλαδή η διαθλώμενη ακτίνα προσεγγίζει την κάθετο.

Από τους νόμους της διάθλασης προκύπτει ότι η πορεία που ακολουθεί μια ακτίνα είναι ίδια είτε αυτή κινείται από το υλικό 1 στο 2 είτε αντίστροφα.

2.1.2.2 Ολική ανάκλαση – Οριακή γωνία

Το φαινόμενο της ολικής εσωτερικής ανάκλασης συμβαίνει μόνο όταν το φως μεταβαίνει από μέσο (α) σε μέσο (β) για τα οποία ισχύει $n_a > n_b$. Η γωνία θ_a για την οποία η διαθλώμενη ακτίνα κινείται παράλληλα προς τη διαχωριστική επιφάνεια των δύο μέσων ονομάζεται κρίσιμη γωνία (ή οριακή γωνία) και συμβολίζεται με θ_{crit} . Όταν η γωνία πρόσπτωσης γίνει μεγαλύτερη από τη θ_{crit} , η ακτίνα ανακλάται ολικά από τη διαχωριστική επιφάνεια. Για να έχουμε λοιπόν ολική εσωτερική ανάκλαση πρέπει η γωνία πρόσπτωσης να είναι μεγαλύτερη της κρίσιμης γωνίας.



Εικόνα 13: Φαινόμενο ολικής ανάκλασης

2.2 Διάχυση φωτός

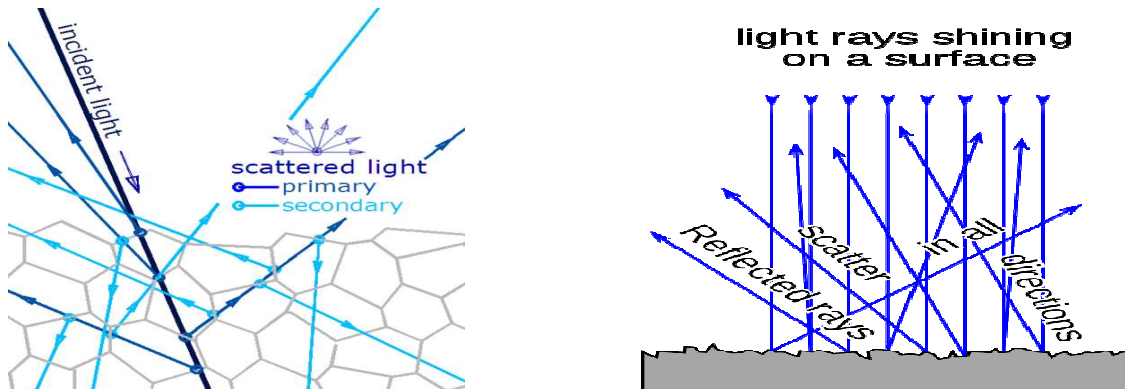
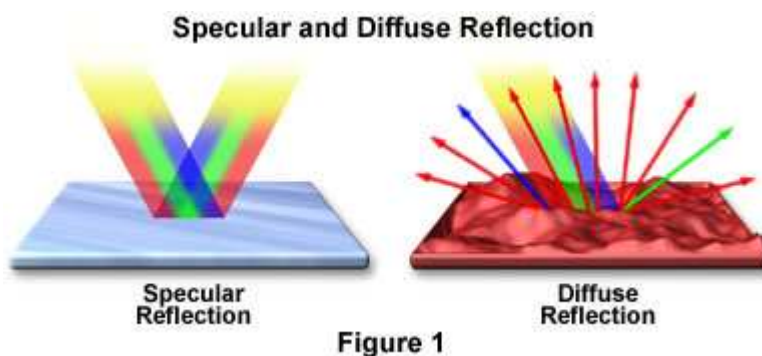
Η διάχυση του φωτός είναι ειδική περίπτωση του φαινομένου της ανάκλασης που παρατηρείται όταν φωτεινά κύματα κατά τη πρόσπτωσή τους σε σώματα με ακανόνιστες επιφάνειες ανακλώνται προς διάφορες κατευθύνσεις. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στην ύπαρξη ενός εξαιρετικά μεγάλου αριθμού λείων μικροσκοπικών επιφανειών που απαρτίζουν τις ακανόνιστες ή τραχιές επιφάνειες των σωμάτων. Έτσι η ανάκλαση από τις μικροσκοπικές αυτές επιφάνειες παρουσιάζεται και αυτή ακανόνιστη με συνέπεια το φως να διαχέεται και να ονομάζεται "διάχυτο φως". Παραδείγματα διάχυσης φαίνονται στις παρακάτω εικόνες.

Το ερώτημα που προκύπτει είναι γιατί μια τραχιά επιφάνεια διαχέει το φως. Μπορούμε να υποθέσουμε ότι μια τραχιά επιφάνεια αποτελείται από πολλούς μικροσκοπικούς καθρέφτες

με τυχαίους προσανατολισμούς. Σε κάθε μικροσκοπικό καθρέφτη το φως υφίσταται κατοπτρική ανάλυση. Επειδή όμως οι μικροσκοπικοί καθρέφτες έχουν τυχαίους προσανατολισμούς, οι ανακλώμενες από αυτούς ακτίνες μιας παράλληλης προσπίπτουσας δέσμης έχουν τυχαίες διευθύνσεις. Επομένως η λεπτή δέσμη φωτός μετά την ανάκλασή της στην τραχιά επιφάνεια διαχέεται προς κάθε κατεύθυνση.

Η διάχυση του φωτός σε μια στερεά επιφάνεια δεν οφείλεται μόνο στην τραχύτητα της επιφάνειας αυτής. Για παράδειγμα μια επίπεδη επιφάνεια υποχρεούται να ανακλάσει κατοπτρικά μια προσπίπτουσα ακτινοβολία, αλλά αυτό δεν σημαίνει ότι δεν θα έχουμε διάχυση της ακτινοβολίας αυτής έστω και σε ένα μικρό ποσοστό.

Ο γενικός μηχανισμός κατά τον οποίο μια επιφάνεια διαχέει την προσπίπτουσα ακτινοβολία δεν περιλαμβάνει αποκλειστικά και μόνο την επιφάνεια αυτή. Κυρίαρχο ρόλο παίζουν τα εσωτερικά σκεδαζόμενα κέντρα, τα οποία βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια όπως μπορούμε να δούμε και στην δεύτερη εικόνα.



Εικόνα 14: Διάχυση φωτός κύριες και δευτερεύουσες ακτίνες

Στην δεύτερη εικόνα απεικονίζεται οι δευτερεύουσες ανακλώμενες ακτινοβολίες που μπορεί να υπάρξουν σε ένα υλικό, και εμφανίζονται αφού ήδη έχουν συμβεί οι κύριες ανακλάσεις. Η αιτία εμφάνισης των συγκεκριμένων ακτινοβολιών είναι είτε ότι οι αρχικές ακτίνες ανακλώνται πάλι στο σημείο τομής κατά την διεύθυνση της ανάκλασης, είτε ότι ακτίνες μεταδίδονται μέσα από διαφανή υλικά κατά την διεύθυνση της διάθλασης. Οι δευτερεύουσες ακτινοβολίες δεν μπορούν να εμφανιστούν σε υλικά με επίπεδες επιφάνειες, αλλά εμφανίζονται σε αντίστοιχα με μη λείες επιφάνειες.

Κάποιο ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε μια επιφάνεια ενός υλικού, ανακλάται ενώ κάποιο άλλο διαθλάται (εκτός και αν έχουμε το φαινόμενο της ολικής ανάκλασης). Αν κάτω από την επιφάνεια του υλικού η διαθλώμενη ακτίνα συναντήσει κάποιο εμπόδιο τότε έχουμε την δευτερεύουσα ανάκλαση σε αυτή την επιφάνεια.

Κεφάλαιο 3°

3.1 Μελέτη υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα

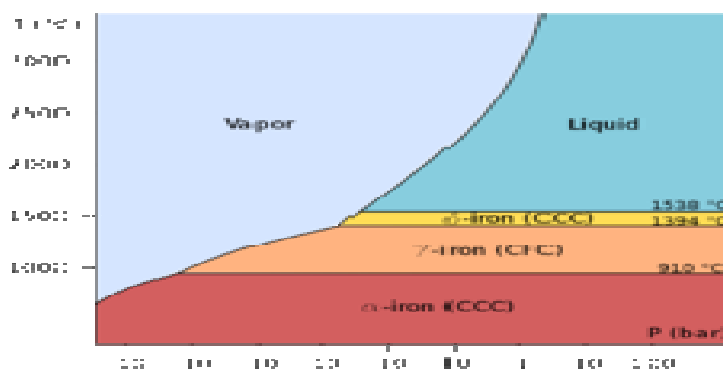
3.1.1 Σίδηρος

Ο σίδηρος είναι μέταλλο και είναι το πιο άφθονο στοιχείο στον στερεό φλοιό της γης μετά το οξυγόνο, το πυρίτιο και το αργίλιο. Επίσης, είναι το μέταλλο με την πιο ευρεία χρήση, κυρίως με τη μορφή των δύο σημαντικότερων κραμάτων του, του χάλυβα (ατσάλι) και του χυτοσίδηρου.

Ο καθαρός σίδηρος είναι ένα μέταλλο αλλά βρίσκεται σπάνια με αυτήν την μορφή στην επιφάνεια της γης, επειδή οξειδώνεται εύκολα με την παρουσία οξυγόνου και υγρασίας στην ατμόσφαιρα. Προκειμένου να παραλάβουμε μεταλλικό σίδηρο, το οξυγόνο πρέπει να απομακρυνθεί από τα φυσικά μεταλλεύματα – κυρίως από τον αιματίτη (μετάλλευμα σιδήρου με τύπο Fe_2O_3) σε υψηλές θερμοκρασίες. Οι ιδιότητες του σιδήρου μπορούν να τροποποιηθούν με την ανάμιξη του με τα διάφορα άλλα μέταλλα (και μερικά αμέταλλα, κυρίως άνθρακα και πυρίτιο) για να σχηματίσει ατσάλι.

Ο σίδηρος είναι το έκτο αφθονότερο στοιχείο στο σύμπαν, που διαμορφώνεται ως τελική πράξη της νουκλεοσύνθεσης, από το πυρίτιο που συντήκεται στα ογκώδη αστέρια. Ενώ αποτελεί περίπου το 5% της επιφάνειας της γης, ο γήινος πυρήνας θεωρείται ότι αποτελείται κατά ένα μεγάλο μέρος από ένα κράμα σιδήρου-νικελίου που αποτελεί το 35% της συνολικής μάζας της γης. Ο σίδηρος είναι συνεπώς το αφθονότερο στοιχείο στη Γη, αλλά μόνο το τέταρτο αφθονότερο στοιχείο στην επιφάνειά της, μετά το αργίλιο. Το μεγαλύτερο μέρος του σιδήρου στην επιφάνεια βρίσκεται ενωμένο με το οξυγόνο ως οξείδια σιδήρου όπως ο αιματίτης, ο γκετίτης και ο μαγνητίτης ή θειούχα (σιδηροπυρίτης).

Όσον αφορά τις μηχανικές ιδιότητες του σιδήρου, έχουν καθοριστεί μέσα από πειράματα εφελκυσμού, και προσδιορισμού της σκληρότητας του κατά Brinell και κατά Rockwell. Τα αποτελέσματα των παραπάνω πειραμάτων ήταν αρκετά συνεπή και έτσι ο σίδηρος χρησιμοποιείται συχνά για την βαθμονόμηση μετρήσεων ή για την συσχέτιση αποτελεσμάτων από διαφορετικά πειράματα. Οι μηχανικές ιδιότητες του σιδήρου εξαρτώνται άμεσα από την καθαρότητά του.



Εικόνα 52: Διάγραμμα φάσεων για τον καθαρό σίδηρο



Εικόνα 53: Καθαρός σίδηρος

3.1.2 Χάλυβας

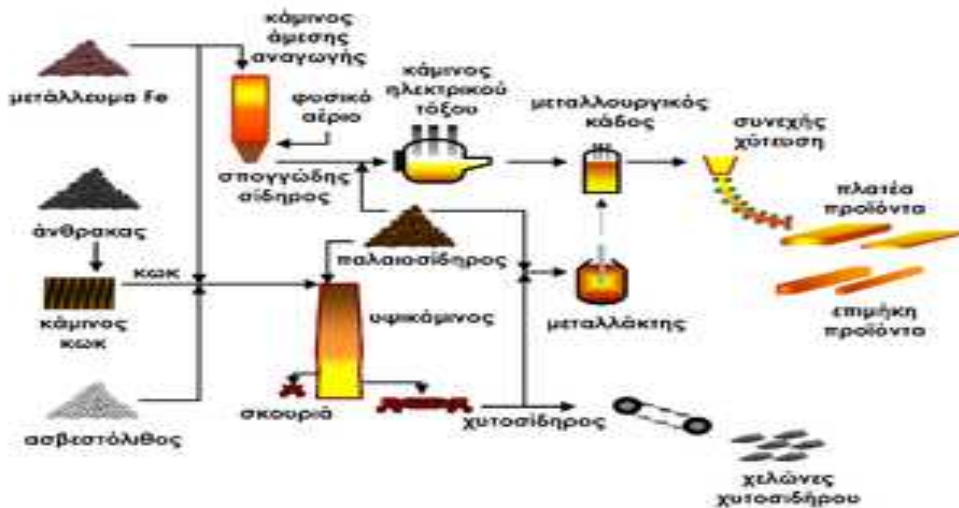
Ο χάλυβας (κοινώς *ασάλι*) είναι κράμα σιδήρου–άνθρακα που περιέχει λιγότερο από 2,06% w/w % άνθρακα, λιγότερο από 1 % μαγγάνιο και πολύ μικρά ποσοστά πυριτίου, φωσφόρου, θείου και οξυγόνου. Οι κραματωμένοι χάλυβες, όπως π.χ. οι ανοξείδωτοι χάλυβες, οι εργαλειοχάλυβες, κ.λπ., αποτελούν ειδική κατηγορία χαλύβων που περιέχουν υψηλότερα ποσοστά άλλων μετάλλων.

Είναι το πιο διαδεδομένο κατασκευαστικό υλικό μετά το σκυρόδεμα και το ξύλο. Χρησιμοποιείται παντού: από την αρχιτεκτονική και τη ναυπηγική μέχρι την κατασκευή χειρουργικών εργαλείων.

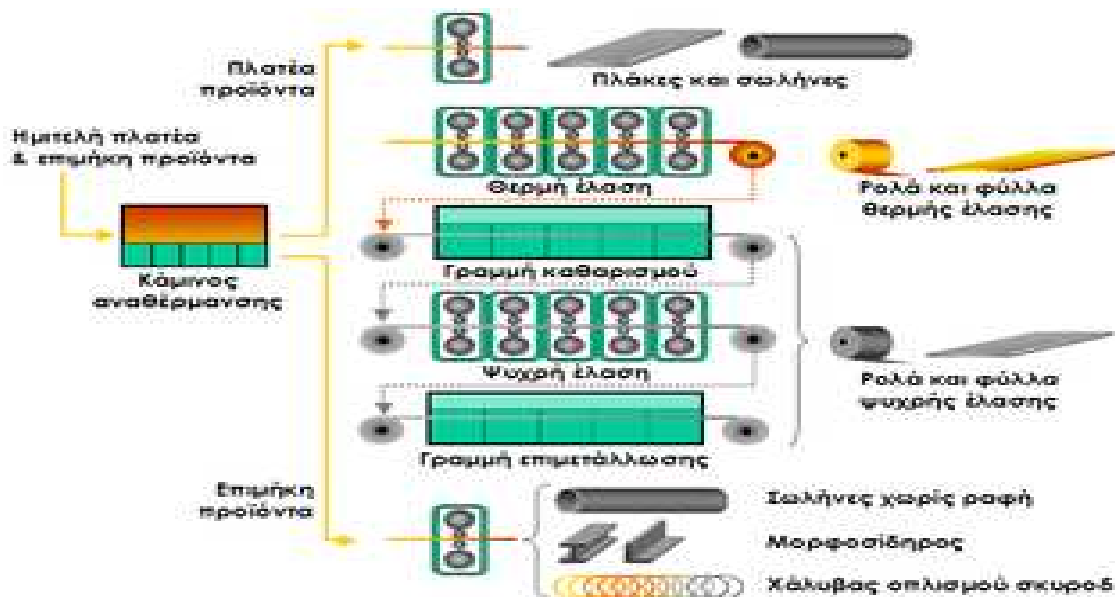
Η σύγχρονη ιστορία του χάλυβα αρχίζει στα μέσα του 19ου αι., όταν ο Άγγλος εφευρέτης Χένρι Μπέσσεμερ, ανακάλυψε πως να μετατρέπει τον τηγμένο χυτοσίδηρο σε χάλυβα με εμφύσηση οξυγόνου σε έναν κάδο («μεταλλάκτη») επενδυμένο με βασικά πυρίμαχα τούβλα. Την ίδια εποχή ανακαλύφθηκε η μετατροπή του χυτοσιδήρου σε χάλυβα σε καμίνους ανοικτής εστίας (κάμιнос Siemens-Martin). Σήμερα, η ανακάλυψη του Μπέσσεμερ χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά για την απανθράκωση του χυτοσιδήρου. Η κάμιнос Siemens-Martin εγκαταλείφθηκε ως πιο ενεργοβόρος και λιγότερο φιλική προς το περιβάλλον.

Ο χάλυβας παράγεται με τρεις βασικές μεθόδους:

1. με αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων σε υψικάμινο για την παραγωγή χυτοσιδήρου, και την μετατροπή του χυτοσιδήρου σε χάλυβα μέσα σε μεταλλάκτη με εμφύσηση οξυγόνου.
2. με την άμεση αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων (δηλ. αναγωγή σε στερεά κατάσταση) σε φρεατώδη κάμινο για την παραγωγή σπογγώδους σιδήρου, και την μετατροπή του σπογγώδους σιδήρου σε χάλυβα μέσα σε κάμινο (κλίβανο) ηλεκτρικού τόξου
3. με την ανάτηξη παλαιοσιδήρου (σκραπ) σε κάμινο (κλίβανο) ηλεκτρικού τόξου (Electric Arc Furnace - EAF).



Εικόνα 54: Σχηματικό διάγραμμα της παραγωγής χυτοσιδήρου και ημιτελών προϊόντων χάλυβα

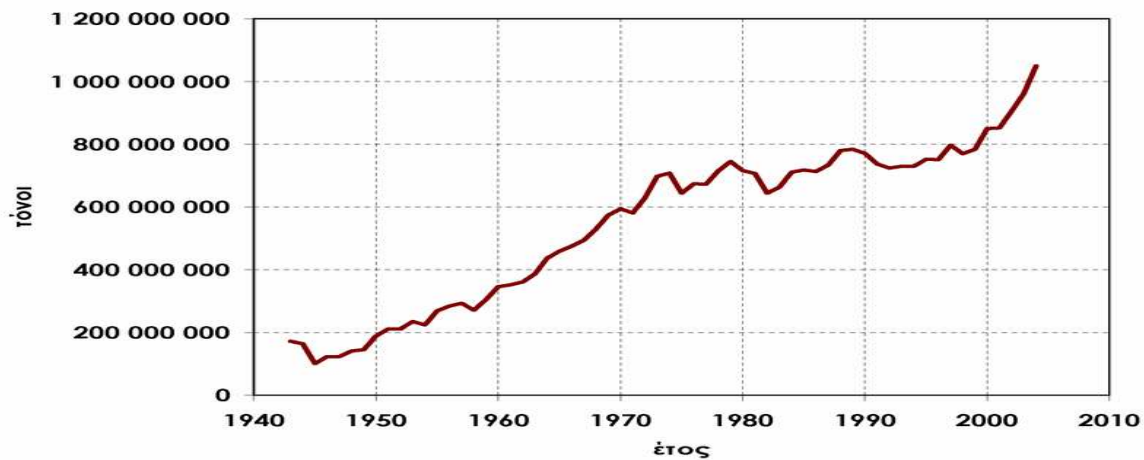


Εικόνα 55: Σχηματικό διάγραμμα της παραγωγής τελικών προϊόντων χάλυβα

Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία του 2005, το 65,4% της παγκόσμιας παραγωγής χάλυβα προέρχεται από τις δύο πρώτες καθετοποιημένες μεθόδους και το 31,7% από την ανάτξη παλαιοσιδήρων και σπογγώδους σιδήρου σε κλιβάνους ηλεκτρικού τόξου. Ένα μικρό ποσοστό της παγκόσμιας παραγωγής χάλυβα (2,9% για το 2005) προέρχεται από την μετατροπή χυτοσιδήρου σε κάμινους ανοικτής εστίας ή άλλες μεθόδους.

Στην Ελλάδα, όλη η παραγωγή χάλυβα (περίπου 2,5 εκατ. τόνοι ετησίως) προέρχεται από την ανάτξη παλαιοσιδήρου και προορίζεται κυρίως για την παραγωγή μετόβεργας. Από το 1998, η πρώτη χώρα σε παραγωγή χάλυβα είναι η Κίνα. Μάλιστα, μέσα στην δεκαετία 1997–2006, η Κίνα αύξησε την παραγωγή της σε χάλυβα κατά πέντε φορές,

ενώ στον δυτικό κόσμο, στην Ιαπωνία, στην Νότιο Κορέα και στην Ινδία, ο ρυθμός αύξησης της παραγωγής χάλυβα ήταν κατά πολύ μικρότερος.



Εικόνα 56: Η παγκόσμια παραγωγή χάλυβα από το 1943 έως το 2004

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η ελληνική παραγωγή χάλυβα η οποία μετά το 2000 παρατηρούμε ότι σημείωσε σημαντική άνοδο.

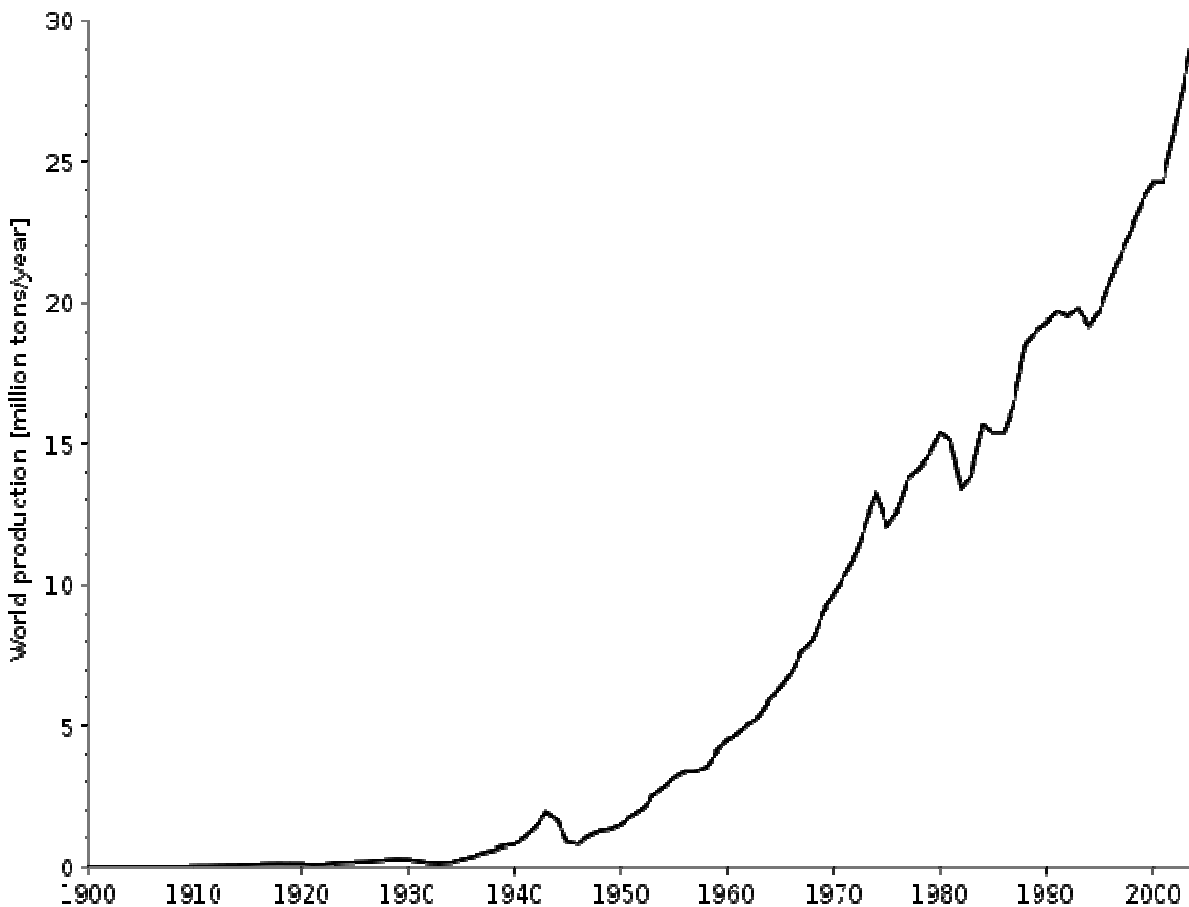


Εικόνα 57: Το σχήμα δίνει την ετήσια παραγωγή χάλυβα στην Ελλάδα από το 1990 έως και το 2007

Αναλόγως της περιεκτικότητας του χάλυβα σε άνθρακα μεταβάλλονται οι μηχανικές ιδιότητες του. Γενικά οι χάλυβες με μεγάλη περιεκτικότητα σε άνθρακα παρουσιάζουν μεγαλύτερο σημείο θραύσεως και σκληρότητα, αλλά μικρότερη αντοχή σε κρουστικά φορτία. Οι μηχανικές ιδιότητες των χαλύβων είναι δυνατό να βελτιωθούν με διάφορες μηχανικές κατεργασίες, όπως η σφυρηλάτηση ή η έλαση καθώς και με διάφορες θερμικές κατεργασίες όπως η ανόπτηση, η αναθέρμανση και η βαφή. Επίσης είναι δυνατή η επιφανειακή χημική επεξεργασία του χάλυβα για την βελτίωση τοπικά των ιδιοτήτων του. Παρόμοιες επεξεργασίες είναι η εναθράκωση, η εναζώτωση για την αύξηση της επιφανειακής σκληρότητας του μετάλλου καθώς και οι διάφορες επιμεταλλώσεις. Οι κατεργασίες αυτές δεν είναι ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των χαλύβων άνθρακα αλλά χρησιμοποιούνται κατα κόρον και στα λοιπά είδη χάλυβα.

3.1.3 Αλουμίνιο

Είναι το δεύτερο μέταλλο σε αφθονία, μετά το πυρίτιο, στον φλοιό της Γης. Παρόλο που αρχικά κατασκευάστηκε σε εργαστήριο το 1825, λόγω του υψηλού κόστους παραγωγής του, έγινε ευρέως γνωστό το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα. Η παραγωγή- και ταυτόχρονα η ζήτηση- του αλουμινίου σε παγκόσμιο επίπεδο αυξάνει χρόνο με το χρόνο, λόγω του ότι είναι ένα υλικό που μορφοποιείται πολύ εύκολα (μεταλλικά φύλλα, πλάκες, σωλήνες, χύτευση, σφυρηλάτηση) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλούς τομείς όπως για μηχανικό εξοπλισμό, ηλεκτρικές γραμμές μεταφοράς, κατασκευές (παράθυρα, πόρτες), στην μεταφορά (αυτοκίνητα, αεροπλάνα, φορτηγά) αλλά και ως πρώτη ύλη σε παρασκευή υλικών πακεταρίσματος (δοχεία, κουτιά). Μόνο το 2006 η παγκόσμια παραγωγή αλουμινίου ανερχόταν σε 34.000 τόνους (International Aluminum Institute)



Εικόνα 58: Παγκόσμια παραγωγή αλουμινίου σε τόνους από το 1900 έως το 2000

Όσον αφορά τις φυσικές του ιδιότητες, είναι ελαφρύ υλικό, καλός αγωγός της θερμότητας και του ηλεκτρισμού και παρουσιάζει επίσης εξαιρετική αντίσταση στην διάβρωση είτε από νερό είτε από ελαφρά οξέα. Είναι πολύ ανθεκτικό, εύκαμπτο και 100% ανακυκλώσιμο υλικό. Ο λόγος Poisson του είναι 0,35 και το μέτρο ελαστικότητας του είναι 70 GPa. Το αλουμίνιο σαν μέταλλο έχει μεγαλύτερες αντοχές σε σχέση με το πλαστικό.

Τα προφίλ του αλουμινίου παρουσιάζουν μεγάλη ακρίβεια διαστάσεων και έτσι επιτυγχάνεται στεγανότητα των στοιχείων κουφωμάτων που εφάπτονται μεταξύ τους. Η ακρίβεια των διαστάσεων παραμένει αναλλοίωτη με την πάροδο του χρόνου.

Χαρακτηριστικά η κάμψη ενός προφίλ από PVC σε όμοιες συνθήκες είναι 23 φορές

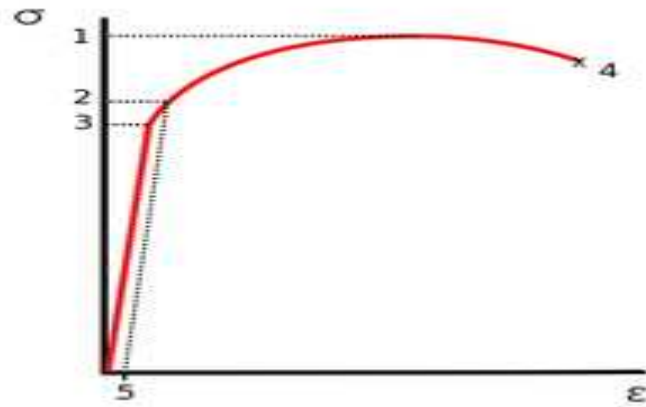
μεγαλύτερη από εκείνη του προφίλ αλουμινίου και γι αυτό το λόγο προσφεύγουν σε εσωτερικές μεταλλικές ενισχύσεις.

Παρατηρούμε λοιπόν ότι σε μεγάλα κατασκευαστικά έργα με υψηλές προδιαγραφές δεν προτιμάται το πλαστικό ως υλικό.

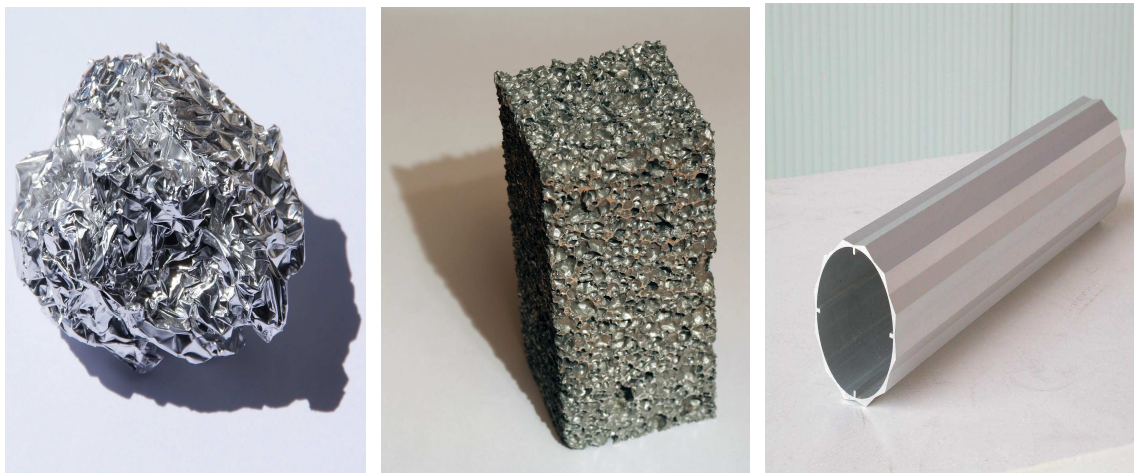
Παρακάτω παρουσιάζεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας με τις ιδιότητες του αλουμινίου:

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ
Αντοχή στον εφελκυσμό	Πολύ καλές μηχανικές ιδιότητες
Πυκνότητα	Ελαφρύ (περίπου το 1/3 του χαλκού ή του χάλυβα)
Ανθεκτικότητα στη διάβρωση	Άριστη
Λόγος αντίστασης/βάρους	Πολύ καλή
Διαμορφωτική ικανότητα	Μορφοποιείται εύκολα και μορφοποιείται κυρίως μέσω της διεργασίας της διέλασης σε μεγάλη ποικιλία διατομών. Η μέθοδος της διέλασης προσφέρει το πλεονέκτημα της τοποθέτησης του μετάλλου ακριβώς εκεί που χρειάζεται.
Ηλεκτρική αγωγιμότητα	Άριστη
Θερμική αγωγιμότητα	Άριστο ιδανικό υλικό για εναλλάκτες θερμότητας
Εξοικονόμηση ενέργειας/θερμική ανακλαστικότητα	Άριστη ανακλαστικότητα. Το αλουμίνιο μπορεί να προσφέρει εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη.
Φινίρισμα	Απεριόριστες δυνατότητες επιφανειακού φινιρίσματος, συμπεριλαμβανομένων μηχανικών και χημικών προεργασιών, ανοδίωση, βαφή και ηλεκτρολυτική επιμετάλλωση
Ανακύκλωση	Υψηλή αξία scrap. Επαναχυτεύεται δίνοντας ίδια προϊόντα
Δυνατότητα καύσης	Δεν καίγεται. Δεν εκπέμπει τοξικά αέρια όταν εκτίθεται σε υψηλές θερμοκρασίες

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η χαρακτηριστική καμπύλη τάσης-παραμόρφωσης για το αλουμίνιο. Στη θέση 1 είναι η μέγιστη τάση, στη θέση 2 η τάση διαρροής, στη θέση 3 το όριο ελαστικότητας, στη θέση 4 είναι η τάση θραύσης και στην θέση 5 είναι η παραμένουσα παραμόρφωση.



Εικόνα 59: Καμπύλη τάσης παραμόρφωσης για το αλουμίνιο



Εικόνα 60: Μορφές αλουμινίου

Κεφάλαιο 4°

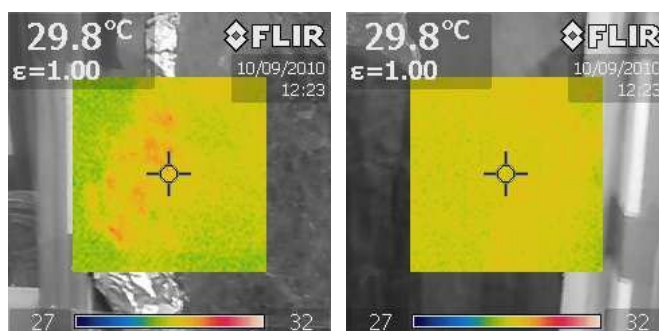
4.1 Συγκριτική μελέτη θερμικών κατόπτρων με επιφάνειες κατασκευασμένες από διαφορετική υφή υλικών

4.1.1 Εισαγωγή

Σκοπός των πειραμάτων, που θα αναλύσουμε παρακάτω, ήταν η παρατήρηση των θερμοκρασιών που αναπτύσσονται σε επιφάνειες κατασκευασμένες από αλουμίνιο και χάλυβα διαφορετική υφή, τοποθετημένες σε κατάλληλες διατάξεις, με απώτερο στόχο την παρατήρηση στο κατά πόσο οι επιφάνειες αυτές μπορούν να απορροφούν την ηλιακή ενέργεια καθώς και σύγκριση της αποδοσής τους. Το πείραμα εκτελέστηκε στο ισόγειο του κτιρίου Αντοχής όπου οι επιφάνειες εκτέθηκαν στην ηλιακή ακτινοβολία και οι θερμοκρασίες μετρήθηκαν με μια κάμερα υπερύθρου (FLIR 640).

Για την πραγματοποίηση αυτής της σύγκρισης θα πρέπει οι δυο επιφάνειες να βρίσκονται σε συνθήκες θερμικής ισορροπίας, ελαχιστοποιώντας τις θερμικές απώλειες, γεγονός που ήταν αρκετά δύσκολο να επιτευχθεί λόγω δυο σημαντικών παραγόντων. Καταρχήν η πηγή ακτινοβολίας που είχαμε στην διάθεση μας, ο ήλιος δηλαδή, δεν ήταν σταθερή, είτε γιατί με την πάροδο του χρόνου η θέση του ηλίου άλλαζε συνεχώς, είτε λόγω συννεφιάς που μπορεί να παρουσιαζόταν κατά την διάρκεια των μετρήσεων. Ο δεύτερος φυσικός παράγοντας που επηρέαζε τις μετρήσεις μας ήταν η επίδραση του αέρα. Η εισχώρηση του αέρα αλλά και η αλλαγή της έντασής του έψυχε τις διατάξεις μας με αποτέλεσμα να μην μπορούμε να επιτύχουμε θερμοδυναμική ισορροπία του συστήματος και να έχουμε αλλοίωση των αποτελεσμάτων.

Οι διατάξεις που κατασκευάστηκαν, αρχικά, ήταν δυο ανοιχτά στις άκρες κουτιά από φελιζόλ, σχήματος ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου, τα οποία ήταν κλεισμένα από την πάνω πλευρά με μια διαφανή μεμβράνη. Στο εσωτερικό του ενός τοποθετήθηκε μια μαύρη από αλουμίνιο επιφάνεια που κάλυπτε όλη την διάταξη, ενώ στο άλλο μια αντίστοιχη από ίνες χάλυβα που διαμορφώνουν αφρώδες υλικό χρώματος γκρι.



Εικόνα 15: Οι δυο επιφάνειες σε θερμοκρασία δωματίου (αριστερά ο αφρώδης χάλυβας). Έλεγχος της ισορροπίας σε κλειστό χώρο

Στη συνέχεια οι ανοιχτές πλευρές των διατάξεων μας κλείστηκαν με μια ξύλινη σανίδα έτσι ώστε να εμποδιστεί η επίδραση του αέρα και να ελαχιστοποιηθούν οι θερμικές απώλειες. Έγινε επίσης σύγκριση του γκρι αφρώδους πλέγματος χάλυβα που είχαμε στη διάθεση μας, με

αντίστοιχου μαύρου για να παρατηρήσουμε το αν και κατά πόσο επιδρά το χρώμα στις μετρήσεις μας.

Επειδή οι διατάξεις από θερμομονωτικό φελιζόλ στις οποίες είχαμε τα υλικά μας, είχαν αρκετές δομικές ατέλειες και δεν μπορούσαμε να οδηγηθούμε σε ασφαλή συμπεράσματα, τα υλικά μας τοποθετήθηκαν σε δυο χάρτινα κουτιά ίδιων διαστάσεων τα οποία ήταν ενωμένα μεταξύ τους και έτσι οι διατάξεις μας λειτουργούσαν πλέον σαν ενιαίο σύστημα. Τα κουτιά σφραγίστηκαν με διαφανή μεμβράνη έτσι ώστε να εμποδίσουμε την επίδραση του αέρα κατά την διάρκεια των μετρήσεων. Τα υλικά μας, στη συνέχεια βάφτηκαν ομοιόμορφα με μαύρο χρώμα έτσι ώστε να καλύψουμε οποιεσδήποτε επιφανειακές χρωματικές ατέλειες υπήρχαν.

Προκειμένου να εξακριβώσουμε την αποτελεσματικότητα καθώς και την ακρίβεια της θερμοκάμερας, στο συγκεκριμένο πείραμα οι δυο ακροδέκτες ενός θερμοζεύγους τοποθετήθηκαν στο κουτί με την πλάκα και το αλουμίνιο ο ένας, και στο κουτί που περιείχε τον αφρώδη μαλακό χάλυβα ο άλλος. Η διαφορά του θερμοζεύγους και της θερμοκάμερας είναι ότι με το πρώτο μπορούμε να μετρήσουμε και την θερμοκρασία του αέρα που βρίσκεται εγκλωβισμένος στο κάθε κουτί, ενώ με την κάμερα υπερύθρου παίρνουμε μόνο την επιφανειακή θερμοκρασία των δυο υλικών.

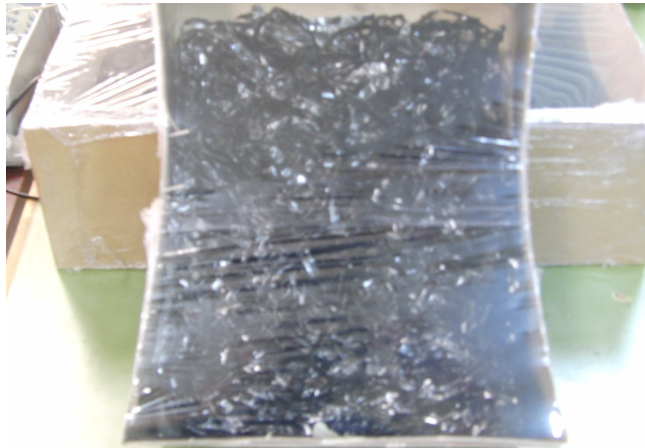


Εικόνα 16: Το θερμοζεύγος που χρησιμοποιήθηκε



Εικόνα 17: Αριστερά το μεταλλικό αλουμίνιο και δεξιά ο αφρώδης χάλυβας

Στο τελευταίο πείραμα, έγινε σύγκριση μεταξύ τριών διαφορετικών υλικών ως προς την θερμοκρασία που αναπτύσσουν υπό την επίδραση των ηλιακών ακτινών. Η πρώτη διάταξη περιείχε τον μαύρο αφρώδες μαλακό χάλυβα του προηγούμενου πειράματος, η δεύτερη τον μαύρο αφρό αλουμινίου, έτσι ώστε να είμαστε σε θέση να παρατηρήσουμε διαφορές του αφρώδους και του μεταλλικού αλουμινίου, και τέλος η τρίτη την μαύρη σιδερένια πλάκα μαζί με το μαύρο μεταλλικό αλουμίνιο του προηγούμενου πειράματος. Και οι τρεις διατάξεις τοποθετήθηκαν σε ένα μεγάλο χάρτινο κουτί το οποίο κλείστηκε με μεμβράνη για την προστασία του από τον εξωτερικό αέρα και την ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών. Στο κέντρο του κουτιού τοποθετήθηκε η διάταξη με τον μαύρο αφρώδη μαλακό χάλυβα, στην οποία ενσωματώθηκε το ένα άκρο από ένα θερμοζεύγος. Το άλλο άκρο του θερμοζεύγους ενσωματώθηκε στη διάταξη με την σιδερένια πλάκα.



Εικόνα 18: Αφρώδες αλουμίνιο

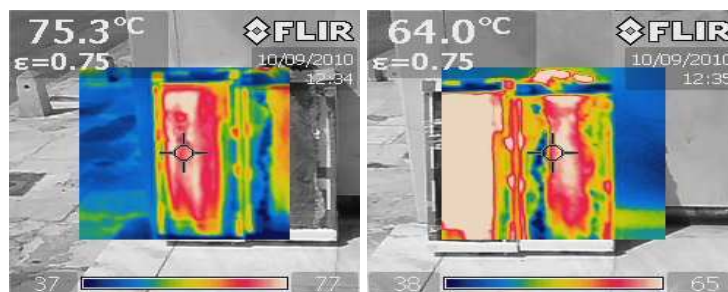


Εικόνα 19: Το σύστημα των τριών διατάξεων (αριστερά ο αφρός αλουμινίου, στο κέντρο το μεταλλικό αλουμίνιο και δεξιά αφρώδης χάλυβας)

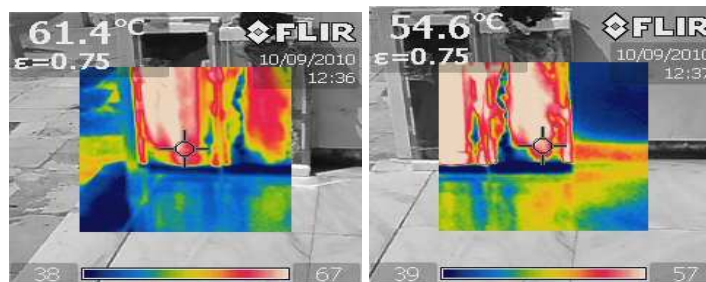
4.1.2 Εκτέλεση πειραμάτων

Οι συνθήκες των πειραμάτων που έγιναν, καθώς και τα αποτελέσματα τους παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες καθώς και στις αντίστοιχες φωτογραφίες.

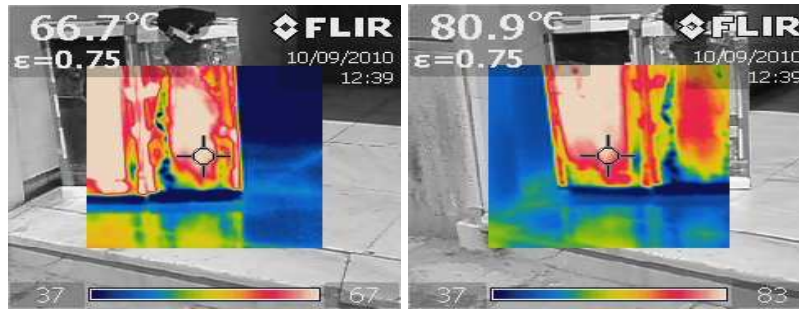
Συγκριτική μελέτη μεταλλικού αλουμινίου χρώματος μαύρου (Al) και αφρώδη χάλυβα χρώματος γκρι(Fe)	
Ημερομηνία	Παρασκευή 10/09/2010
Συνθήκες	Σταθερή ηλιοφάνεια
Παρατηρήσεις	Τα κουτιά ήταν ανοιχτά στις πάνω και κάτω πλευρές τους και είχαμε την επίδραση του αέρα στις μετρήσεις μας
Μέθοδος	Οι διατάξεις τοποθετήθηκαν αρχικά παράλληλα με τον τοίχο, 90° δηλαδή ως προς την διεύθυνση των ηλιακών ακτίνων (θέση A) και στη συνέχεια με στροφή 45° (θέση B)
Αποτελέσματα	Θέση A: στο κέντρο των δυο επιφανειών η θερμοκρασία του Al ήταν περίπου 10°C παραπάνω από τον Fe, ενώ στα άκρα η διαφορά αυτή ήταν πιο μικρή και έφτανε στους 5° C Θέση B: σε αυτή την θέση η θερμοκρασία του Al ήταν μέχρι και 15° C μεγαλύτερη απ' ότι του Fe



Εικόνα 20: Οι διατάξεις παράλληλα στον τοίχο και μέτρηση των θερμοκρασιών στα κέντρα τους (αριστερά απεικονίζεται το Al και δεξιά ο αφρώδης χάλυβας)

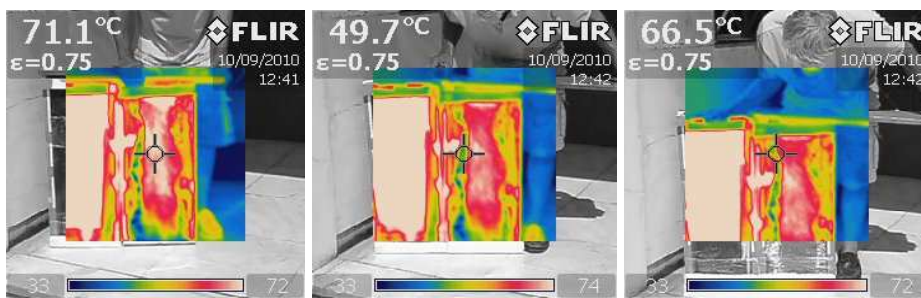


Εικόνα 21: Μέτρηση των θερμοκρασιών των προηγούμενων διατάξεων στα άκρα τους



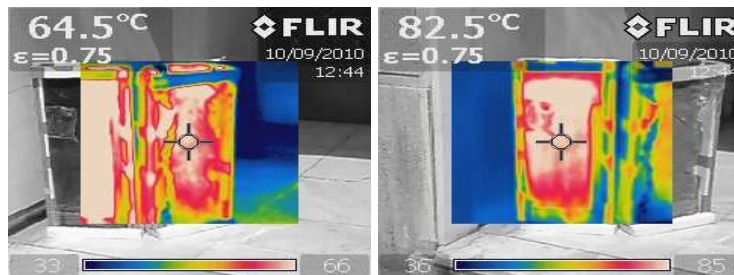
Εικόνα 22: Οι διατάξεις σε στροφή 45° μοιρών σε σχέση με πριν

Στη συνέχεια οι δυο διατάξεις κλείστηκαν με μια σανίδα η οποία κάλυπτε τις πάνω ανοιχτές επιφάνειες τους, έτσι ώστε να εμποδιστεί η επίδραση της ροής του αέρα, αλλά η διαφορά στην θερμοκρασία ήταν σχεδόν αμελητέα.



Εικόνα 23: Κλείσιμο των διατάξεων με ξύλινη σανίδα

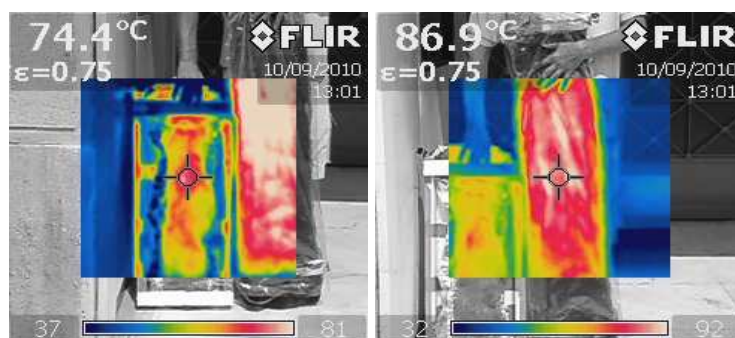
Η μεγαλύτερη απόκλιση στην θερμοκρασία που αναπτύχθηκε στα κέντρα των δυο επιφανειών ήταν όταν η επιφάνεια του γκριζου αφρώδη χάλυβα παρέμεινε στην ίδια θέση ενώ η μαύρη αλουμινένια τοποθετήθηκε ως προς μια γωνία λίγο μεγαλύτερη των 90° μοιρών ως προς την γκρι. Η θερμοκρασιακή διαφορά τους ήταν περίπου 20° C.



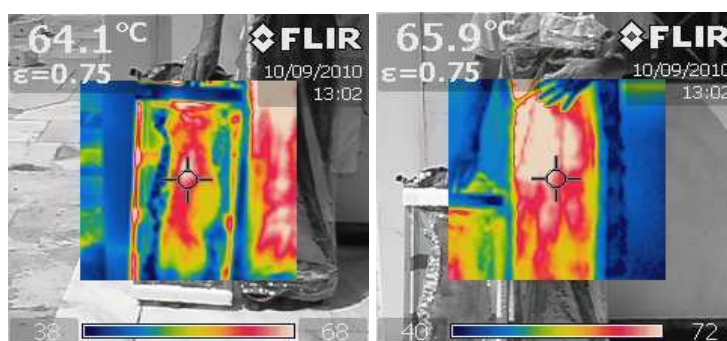
Εικόνα 24: Αλλαγή θέσης της διάταξης με το μαύρο αλουμίνιο

Συγκριτική μελέτη αφρώδη χάλυβα χρώματος γκρι και αφρώδη χάλυβα χρώματος μαύρου (επίδραση του χρώματος στο υλικό μας)

Ημερομηνία	Παρασκευή 10/09/2010
Συνθήκες	Σταθερή ηλιοφάνεια
Παρατηρήσεις	Τα κουτιά ήταν ανοιχτά στις πάνω και κάτω πλευρές τους και είχαμε την επίδραση του αέρα στις μετρήσεις μας
Μέθοδος	Οι διατάξεις τοποθετήθηκαν αρχικά παράλληλα με τον τοίχο (θέση A) και στη συνέχεια με κάθετα ως προς αυτόν, στην διεύθυνση των ηλιακών ακτίνων(θέση B)
Αποτελέσματα	Θέση A: η θερμοκρασία των δυο επιφανειών ήταν περίπου η ίδια, με την μαύρη να είναι λίγο πιο θερμή όπως απεικονίζεται και στις φωτογραφίες Θέση B: σε αυτή την θέση η απόκλιση στην θερμοκρασία των δυο διατάξεων ήταν αρκετά μεγάλη. Μέχρι και 13° C ήταν πιο θερμή η διάταξη με τον μαύρο μαλακό χάλυβα



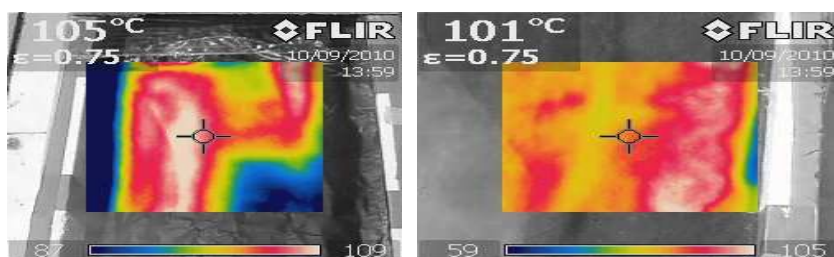
Εικόνα 25: Αριστερά ο γκριζος αφρώδης χάλυβας και δεξιά ο αντίστοιχος μαύρος (θέση B)



Εικόνα 26: Οι προηγούμενες διατάξεις παράλληλα στον τοίχο (θέση A)

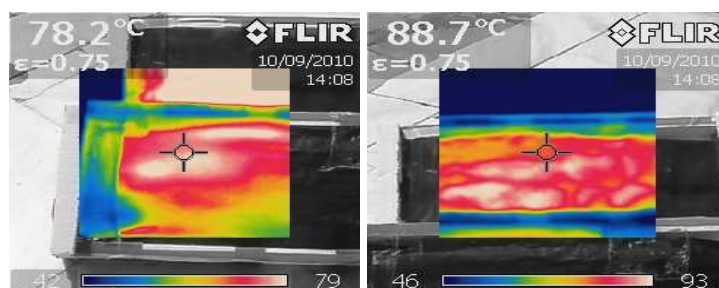
Συγκριτική μελέτη αλουμινίου χρώματος μαύρου και αφρώδη χάλυβα χρώματος μαύρου

Ημερομηνία	Παρασκευή 10/09/2010
Συνθήκες	Σταθερή ηλιοφάνεια
Παρατηρήσεις	Τα κουτιά ήταν κλειστά στις πάνω και κάτω πλευρές τους με φελιζόλ έτσι ώστε να ελαχιστοποιήσουμε την επίδραση του αέρα
Μέθοδος	Οι διατάξεις τοποθετήθηκαν αρχικά στο έδαφος (θέση A) και στη συνέχεια με κλίση 45° ως προς αυτό (θέση B)
Αποτελέσματα	Θέση A: Ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών στις δυο διατάξεις (>100°C). Μικρή απόκλιση στην μεταξύ τους θερμοκρασιακή διαφορά. Θέση B: Ο μαύρος αφρώδης χάλυβας ανέπτυξε θερμοκρασίες αρκετά μεγαλύτερες (της τάξης 10°-15° C) σε σχέση με το μαύρο αλουμίνιο

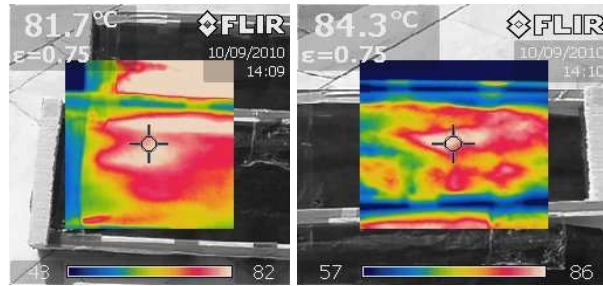


Εικόνα 27: Αριστερά απεικονίζεται το μαύρο αλουμίνιο ενώ δεξιά ο μαύρος χάλυβας

Στη συνέχεια οι δυο επιφάνειες τοποθετήθηκαν υπό γωνία 45° μοιρών ως προς το έδαφος, όπου μπροστά ήταν η μαύρη αλουμινένια. Παρατηρήθηκε, λοιπόν, ότι η μαύρη συρμάτινη υπό αυτή την κλίση ανέπτυξε θερμοκρασίες αρκετά μεγαλύτερες (της τάξης 10°-15° C) από την μαύρη αλουμινένια.



Εικόνα 28: Οι δυο διατάξεις με κλίση 45° ως προς το έδαφος. Μπροστά είναι η επιφάνεια του μαύρου αλουμινίου



Συγκριτική μελέτη μαύρου αλουμινίου και μαύρου αφρώδη χάλυβα, όπου και τα δυο είναι τοποθετημένα σε κουτιά από φελιζόλ

Ημερομηνία
Συνθήκες

Τρίτη 21/09/2010

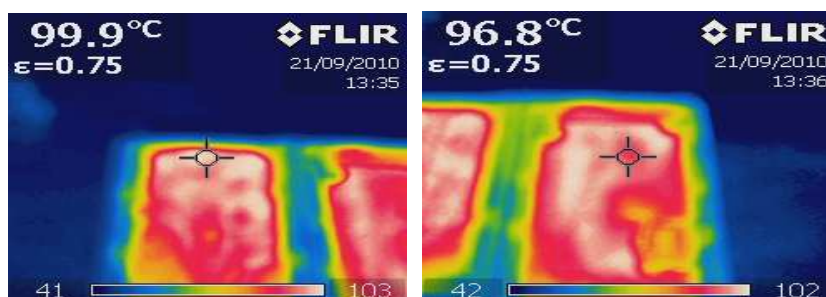
Ηλιοφάνεια με σταδιακές στιγμές συννεφιάς

Παρατηρήσεις

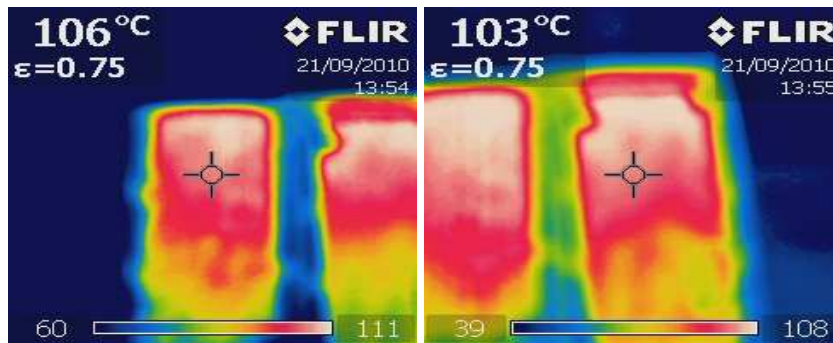
Και οι δυο διατάξεις ήταν κλειστές και από την πάνω αλλά και από την κάτω πλευρά για να μην έχουμε επίδραση του αέρα

Μέθοδος
Αποτελέσματα

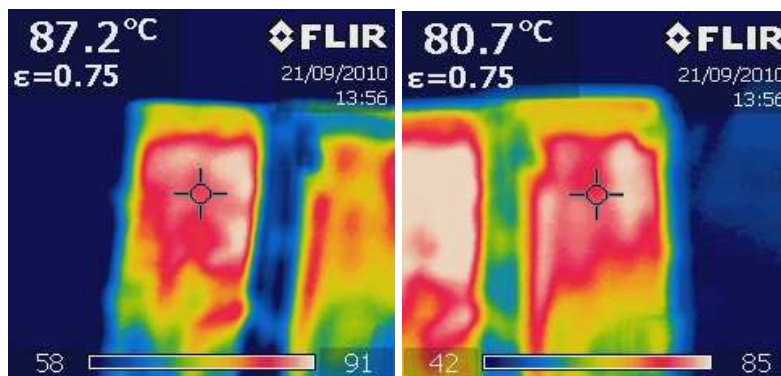
Οι διατάξεις τοποθετήθηκαν στο έδαφος. Στην αριστερή πλευρά υπήρχε ο μαύρος αφρώδης χάλυβας ο οποίος ανέπτυξε μεγαλύτερες θερμοκρασίες (κατά 1,5 – 2° C) σε σχέση με το αλουμίνιο. Επίσης όταν δημιουργήθηκαν συνθήκες συννεφιάς παρατηρήσαμε ότι το αλουμίνιο ψυχόταν πολύ πιο γρήγορα σε σχέση με το σύρμα, απέδιδε δηλαδή στο εξωτερικό περιβάλλον πιο γρήγορα την θερμότητα, ενώ όταν είχαμε συνθήκες ηλιοφάνειας ξανά τότε το αλουμίνιο ανέβαζε την θερμοκρασία του σχεδόν αστραπιαία ενώ το σύρμα αρκετά πιο αργά.



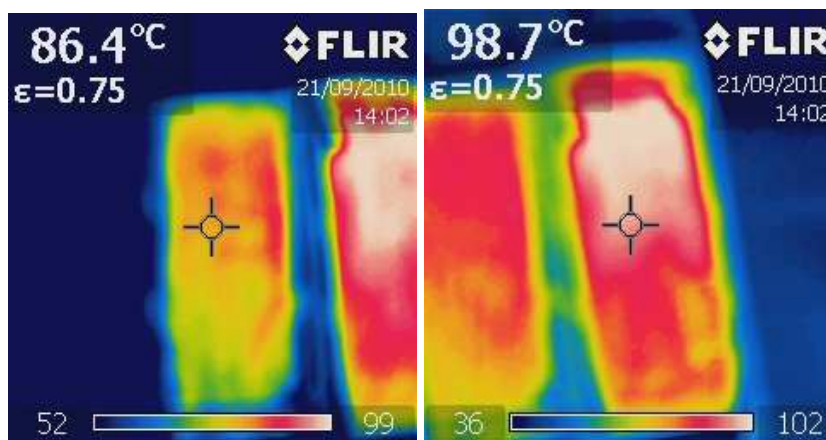
Εικόνα 29: Αριστερά ο χάλυβας και δεξιά το αλουμίνιο. Οι διατάξεις είναι στο έδαφος



Εικόνα 30: Οι διατάξεις 20 λεπτά περίπου μετά



Εικόνα 31: Οι δυο διατάξεις όταν παρουσιάστηκαν συνθήκες συννεφιάς



Εικόνα 32: Οι δυο διατάξεις όταν παρουσιάστηκαν συνθήκες ηλιοφάνειας ξανά

Συγκριτική μελέτη αλουμινίου χρώματος μαύρου και αφρώδη χάλυβα χρώματος μαύρου, όπου και τα δυο είναι τοποθετημένα σε χάρτινα κουτιά τα οποία ήταν συνδεδεμένα μεταξύ τους

Ημερομηνία
Συνθήκες
Παρατηρήσεις

Πέμπτη 23/09/2010

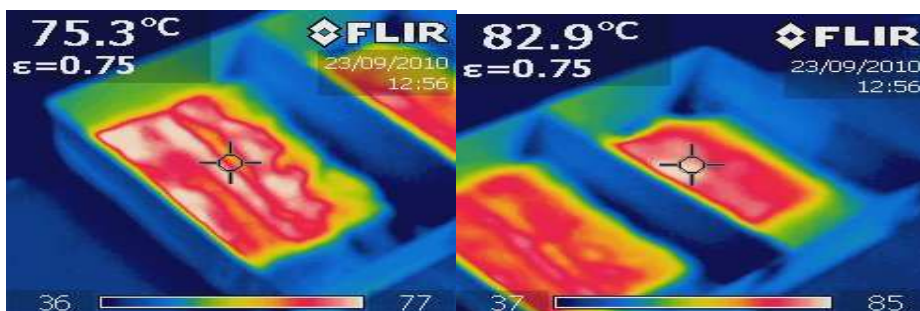
Σταθερή ηλιοφάνεια

Και οι δυο διατάξεις ήταν κλειστές με διάφανη μεμβράνη για την προστασία από τον αέρα. Επίσης τα δυο κουτιά ήταν ενωμένα μεταξύ τους και έτσι οι διατάξεις λειτουργούσαν σαν ενιαίο σύστημα

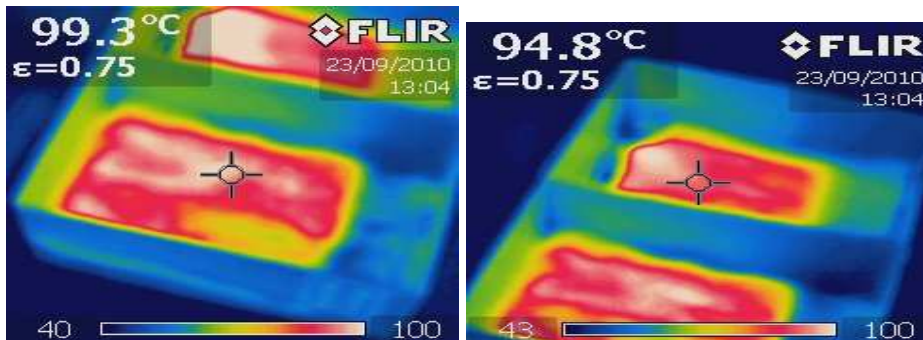
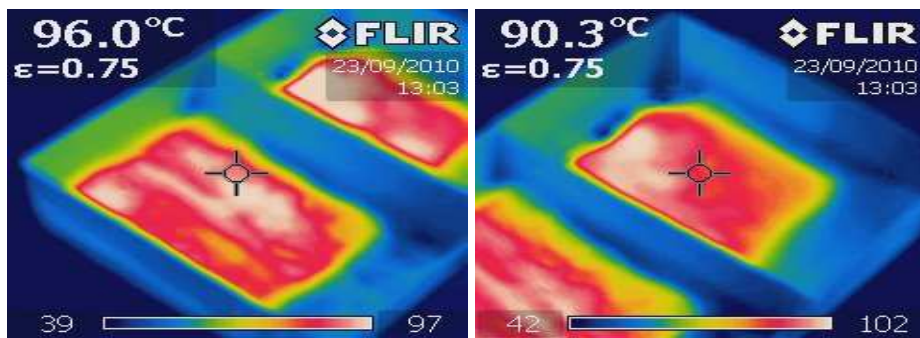
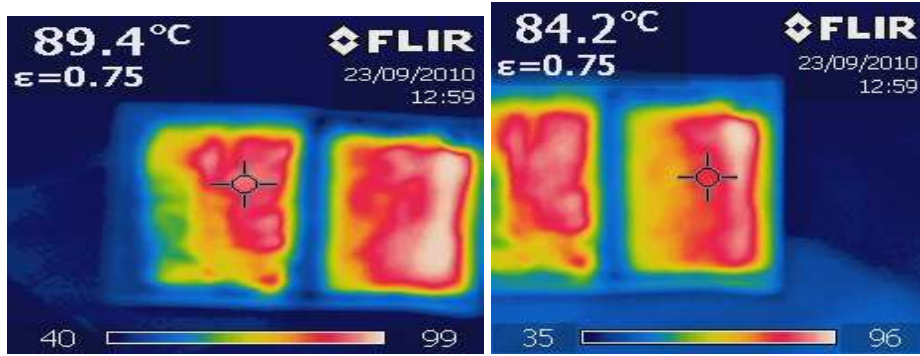
Μέθοδος
Αποτελέσματα

Το σύστημα τοποθετήθηκε στο έδαφος

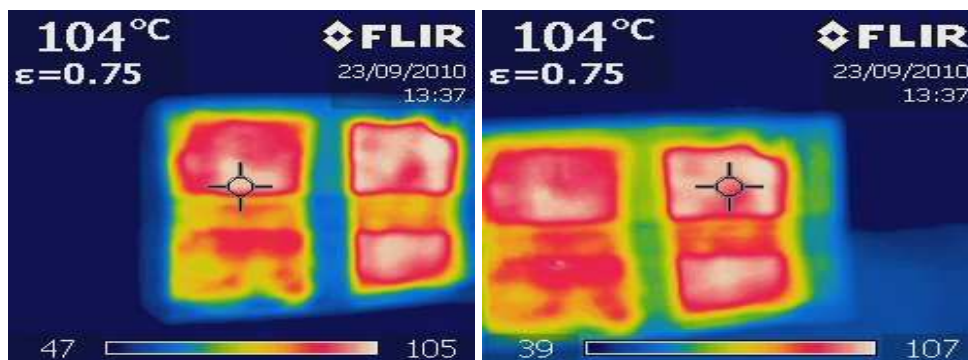
Στην αριστερή πλευρά υπήρχε ο μαύρος αφρώδης χάλυβας. Αρχικά με την επίδραση του ήλιου το αλουμίνιο άρχισε να ανεβάζει πιο γρήγορα την θερμοκρασία του σε σχέση με τον χάλυβα. Σταδιακά όμως το σύρμα άρχισε να ανεβάζει την επιφανειακή θερμοκρασία του ενώ το αλουμίνιο είχε φτάσει σε μια κατάσταση θερμοδυναμικής ισορροπίας και η θερμοκρασία του παρέμενε σταθερή. Τελικά μετά την αποκατάσταση της θερμοδυναμικής ισορροπίας στις δυο επιφάνειες οι αντίστοιχες θερμοκρασίες αποκτούν την ίδια τιμή. Επίσης μετρήθηκαν οι θερμοκρασίες στις μπροστινές επιφάνειες των δυο κουτιών και η θερμοκρασία στο αριστερό κουτί (χάλυβας) ήταν περίπου 3° C υψηλότερη σε σχέση με την αντίστοιχη του αλουμινίου. Μια ερμηνεία γι' αυτήν την απόκλιση είναι ότι το κουτί που περιέχει τον χάλυβα αργεί να αποδώσει την θερμότητα που εσωκλείει, ψύχεται δηλαδή αρκετά αργά γι' αυτό το λόγο η θερμοκρασία είναι πιο μεγάλη συγκριτικά με το κουτί του αλουμινίου.



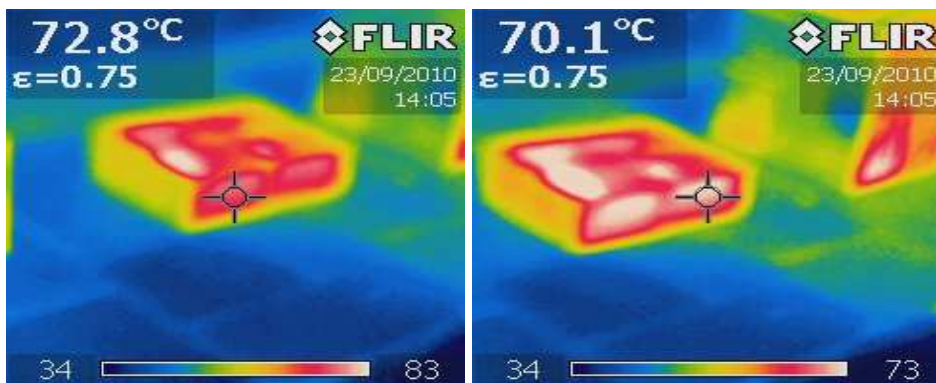
Εικόνα 33: Το σύστημα μας την στιγμή που αρχίζει και θερμαίνεται



Εικόνα 34: Με την πάροδο του χρόνου η θερμοκρασία του χάλυβα αυξανόταν και ήταν μεγαλύτερη από το αλουμίνιο



Εικόνα 35: Το σύστημα μας μετά την αποκατάσταση της θερμοδυναμικής ισορροπίας



Εικόνα 36: Θερμοκρασίες στις μπροστινές επιφάνειες των δυο κουτιών

Συγκριτική μελέτη αλουμινίου χρώματος μαύρου και αφρώδη χάλυβα χρώματος μαύρου, όπου και τα δυο είναι τοποθετημένα σε χάρτινα κουτιά τα οποία ήταν συνδεδεμένα μεταξύ τους

Ημερομηνία
Συνθήκες
Παρατηρήσεις

Τρίτη 28/09/2010

Μηδενική ηλιοφάνεια, απόλυτη συννεφιά

Και οι δυο διατάξεις ήταν κλειστές με διάφανη μεμβράνη για την προστασία από τον αέρα. Επίσης τα δυο κουτιά ήταν ενωμένα μεταξύ τους και έτσι οι διατάξεις λειτουργούσαν σαν ενιαίο σύστημα. Σκοπός μας ήταν η παρατήρηση της συμπεριφοράς των δυο υλικών όταν δεν έχουμε ηλιακή ακτινοβολία

Μέθοδος

Το σύστημα τοποθετήθηκε αρχικά στο έδαφος (θέση Α), κατόπιν κάθετα ως προς το έδαφος (θέση Β) και τέλος με 45° κλίση ως προς τον τοίχο (θέση Γ).

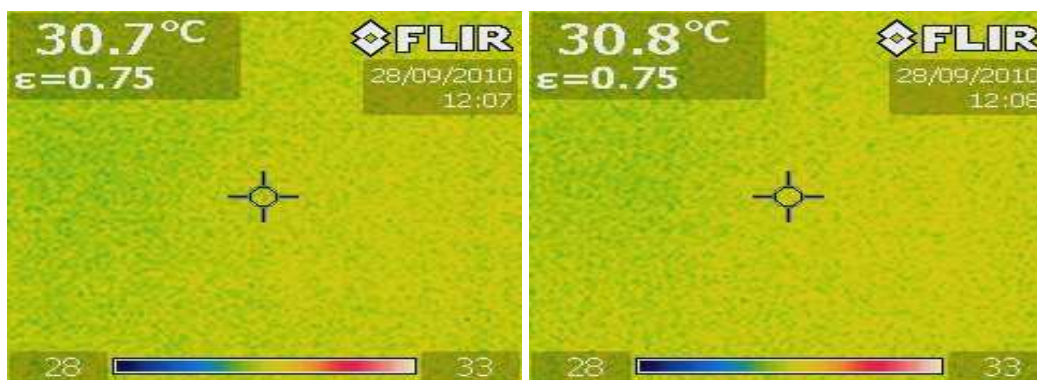
Αποτελέσματα

Στην αριστερή πλευρά υπήρχε ο μαύρος αφρώδης χάλυβας. Μετρήθηκαν οι θερμοκρασίες των δυο επιφανειών, των μπροστινών πλευρών των κουτιών καθώς και των αντίστοιχων πίσω.

Θέση Α: Οι επιφανειακές θερμοκρασίες ήταν ίδιες (30°C), όπως και των μπροστινών πλευρών (31°C), όπως τέλος και των πίσω (31,5°C)

Θέση Β: μετρήθηκαν μόνο οι επιφανειακές θερμοκρασίες όπου και σε αυτή την θέση ήταν ίδιες (32° C)

Θέση Γ: τέλος και σε αυτή την θέση μετρήθηκαν μόνο οι επιφανειακές θερμοκρασίες που ήταν και πάλι ίδιες (33° C)



Εικόνα 37: Μέτρηση θερμοκρασίας μπροστινών επιφανειών του συστήματος μας (αριστερά ο χάλυβας και δεξιά το αλουμίνιο)

Συγκριτική μελέτη βαμμένου αλουμινίου χρώματος μαύρου και βαμμένου αφρώδη χάλυβα χρώματος μαύρου, όπου και τα δυο είναι τοποθετημένα σε χάρτινα κουτιά τα οποία ήταν συνδεδεμένα μεταξύ τους

Ημερομηνία
Συνθήκες
Παρατηρήσεις

Τετάρτη 29/09/2010

Ηλιοφάνεια

Και οι δυο διατάξεις ήταν κλειστές με διάφανη μεμβράνη για την προστασία από τον αέρα. Επίσης τα δυο κουτιά ήταν ενωμένα μεταξύ τους και έτσι οι διατάξεις λειτουργούσαν σαν ενιαίο σύστημα. Και τα δυο υλικά βάφτηκαν με μαύρο σπρέι για κάλυψη τυχόν επιφανειακών τους ατελειών.

Μέθοδος

Το σύστημα τοποθετήθηκε αρχικά στο έδαφος (θέση Α), κατόπιν κάθετα ως προς το έδαφος (θέση Β) και τέλος με 45° κλίση ως προς τον τοίχο (θέση Γ).

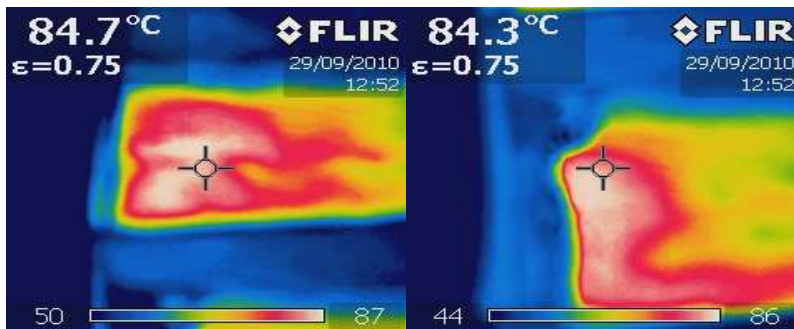
Αποτελέσματα

Στην δεξιά πλευρά υπήρχε ο μαύρος αφρώδης χάλυβας. Μετρήθηκαν μόνο οι επιφανειακές θερμοκρασίες των κουτιών

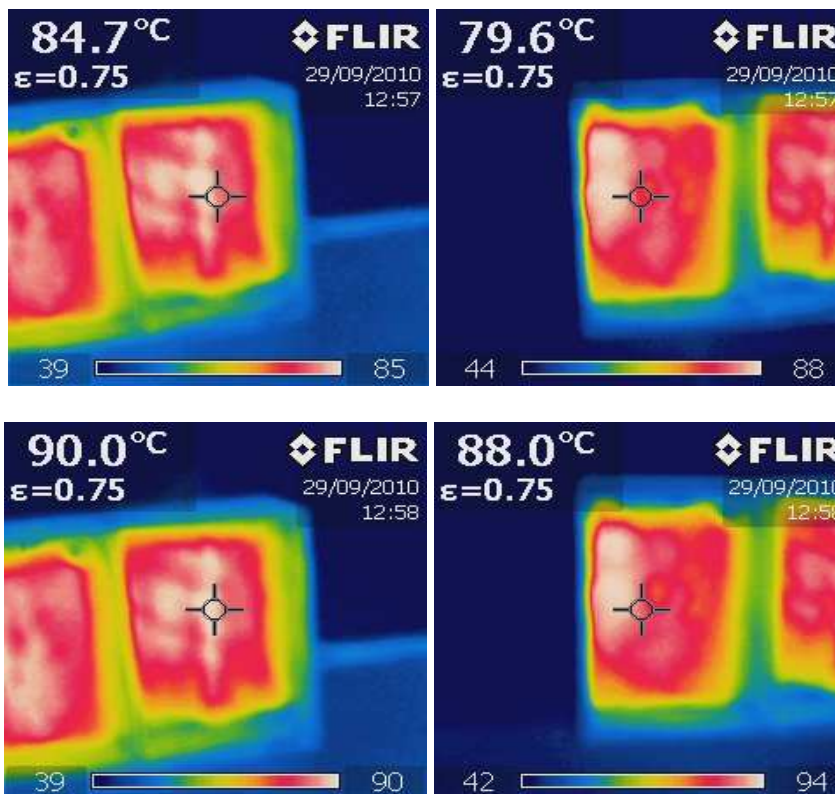
Θέση Α: Οι θερμοκρασίες των υλικών στις επιφάνειες τους ήταν περίπου ίδιες, με τον μαλακό χάλυβα να είναι λίγο πιο θερμός

Θέση Β: Σε αυτή την θέση η θερμοκρασία του χάλυβα ήταν σταθερά πιο μεγάλη από του αλουμινίου

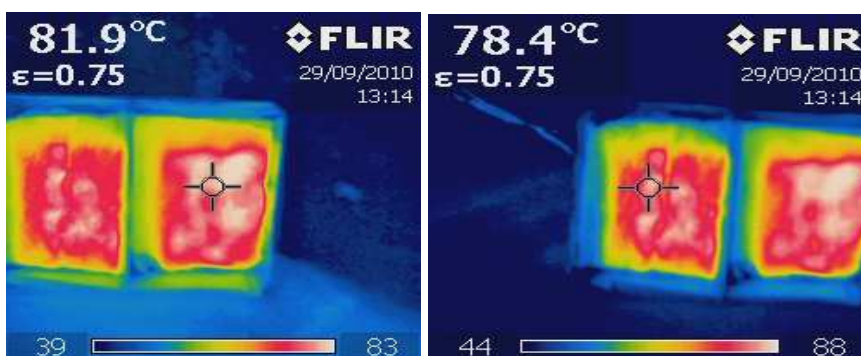
Θέση Γ: τέλος και σε αυτή την θέση μετρήθηκαν οι επιφανειακές θερμοκρασίες και ο χάλυβας ήταν πιο θερμός



Εικόνα 38: Το σύστημα μας στο έδαφος. Ο χάλυβας είναι λίγο πιο θερμός



Εικόνα 39: Το σύστημα μας κάθετα στο έδαφος. Αριστερά απεικονίζεται ο χάλυβας, ο οποίος είναι σταθερά πιο θερμός σε σχέση με το αλουμίνιο



Εικόνα 40: Το σύστημα μας με κλίση 45° ως προς τον τοίχο. Ο χάλυβας είναι και σε αυτή την περίπτωση πιο θερμός

Συγκριτική μελέτη βαμμένου αλουμινίου χρώματος μαύρου και βαμμένου αφρώδη χάλυβα χρώματος μαύρου, όπου και τα δυο είναι τοποθετημένα σε χάρτινα κουτιά τα οποία ήταν συνδεδεμένα μεταξύ τους

Ημερομηνία
Συνθήκες

Πέμπτη 30/09/2010

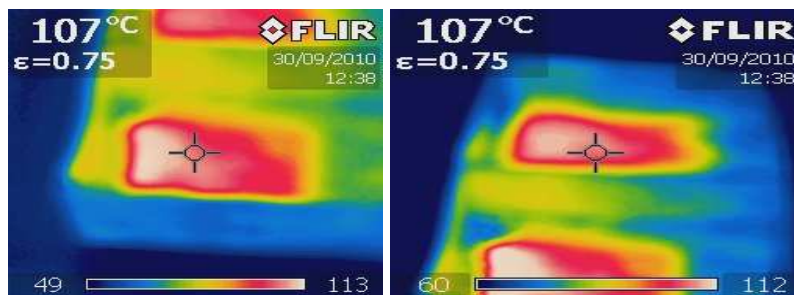
Σταθερή και δυνατή ηλιοφάνεια. Κάτω από αυτές τις συνθήκες ήταν δυνατή η επίτευξη της θερμικής ισορροπίας του συστήματος

Παρατηρήσεις

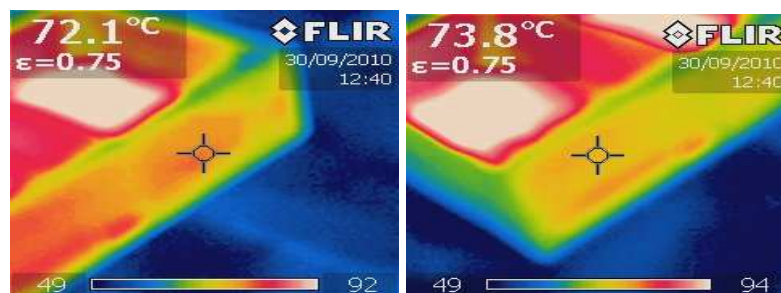
Και οι δυο διατάξεις ήταν κλειστές με διάφανη μεμβράνη για την προστασία από τον αέρα. Επίσης τα δυο κουτιά ήταν ενωμένα μεταξύ τους και έτσι οι διατάξεις λειτουργούσαν σαν ενιαίο σύστημα.

Μέθοδος
Αποτελέσματα

Το σύστημα τοποθετήθηκε στο έδαφος. Στην δεξιά πλευρά υπήρχε ο μαύρος αφρώδης χάλυβας. Μετρήθηκαν οι θερμοκρασίες των επιφανειών καθώς και των μπροστινών πλευρών των κουτιών. Μετά την αποκατάσταση της θερμοδυναμικής ισορροπίας στο σύστημα και οι δυο επιφάνειες είχαν την ίδια θερμοκρασία (107°C) ενώ η θερμοκρασία της μπροστινής επιφάνειας του κουτιού που περιείχε το αλουμίνιο ήταν περίπου $1,5 - 2^{\circ}\text{C}$ μεγαλύτερη από ότι η αντίστοιχη του χάλυβα



Εικόνα 41: Το σύστημα μας μετά την αποκατάσταση της θερμοδυναμικής ισορροπίας όταν και οι δυο διατάξεις είναι στο έδαφος



Εικόνα 42: Μέτρηση των θερμοκρασιών των μπροστινών επιφανειών των δυο κουτιών

Συγκριτική μελέτη βαμμένου αλουμινίου χρώματος μαύρου ενσωματωμένου με βαμμένη πλάκα χάλυβα χρώματος μαύρης και βαμμένου αφρώδη χάλυβα χρώματος μαύρου , όπου και τα δυο είναι τοποθετημένα σε χάρτινα κουτιά τα οποία ήταν συνδεδεμένα μεταξύ τους

Ημερομηνία
Συνθήκες

Πέμπτη 30/09/2010

Σταθερή και δυνατή ηλιοφάνεια. Κάτω από αυτές τις συνθήκες ήταν δυνατή η επίτευξη της θερμικής ισορροπίας του συστήματος

Παρατηρήσεις

Και οι δυο διατάξεις ήταν κλειστές με διάφανη μεμβράνη για την προστασία από τον αέρα. Επίσης τα δυο κουτιά ήταν ενωμένα μεταξύ τους και έτσι οι διατάξεις λειτουργούσαν σαν ενιαίο σύστημα. Στο κουτί με το αλουμίνιο ενσωματώθηκε μια μαύρη βαμμένη σιδερένια πλάκα κομμένη στις διαστάσεις του κουτιού όπου γύρω από το πάνω μέρος της πλάκας αυτής τυλίχτηκε το αλουμίνιο. Ο στόχος μας ήταν να παρατηρήσουμε τυχόν διαφορές στην ανάπτυξη της θερμοκρασίας του αλουμινίου κατά την επαφή του με την πλάκα

Μέθοδος

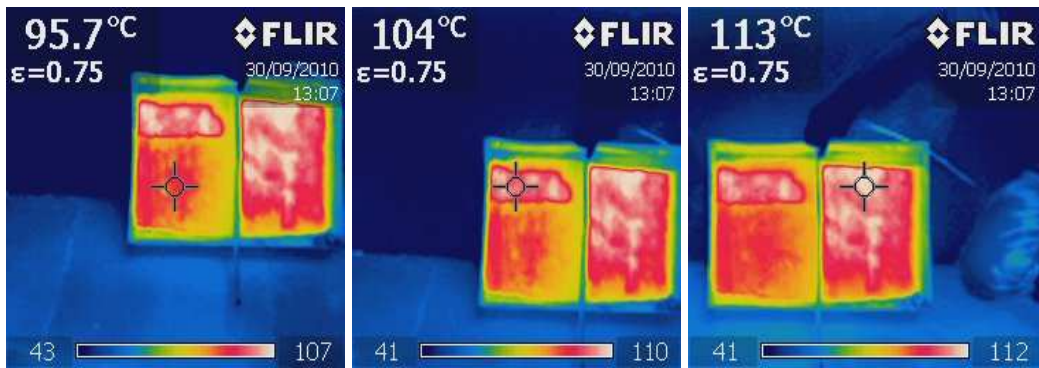
Το σύστημα τοποθετήθηκε κάθετα στο έδαφος (θέση Α) και σε κλίση 45° ως προς τον τοίχο (θέση Β)

Αποτελέσματα

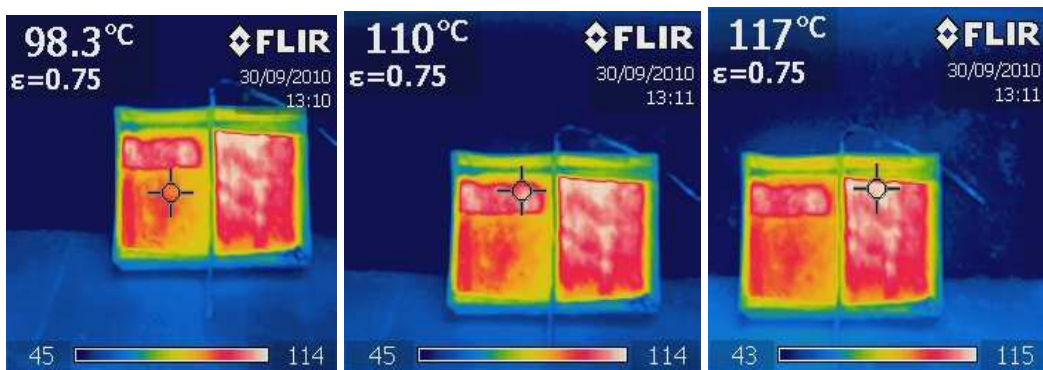
Στην δεξιά πλευρά υπήρχε ο μαύρος αφρώδης χάλυβας.

Θέση Α: Παρατηρήσαμε ότι η θερμοκρασία της σιδερένιας πλάκας παρέμενε αισθητά πιο μικρή σε σχέση με τον αφρώδη χάλυβα και το αλουμίνιο ενώ επίσης η θερμοκρασία του αλουμινίου αυξανόταν με πιο αργό ρυθμό από ότι προηγουμένως και έτσι ο αφρώδης χάλυβας ήταν σταθερά ο πιο θερμός. Το κουτί με τον αφρώδη χάλυβα σε αυτή την περίπτωση ανέπτυξε μεγαλύτερη κατά 7-9°C σε σχέση με το αντίστοιχο του αλουμινίου και περίπου 18-19°C σε σχέση με την πλάκα

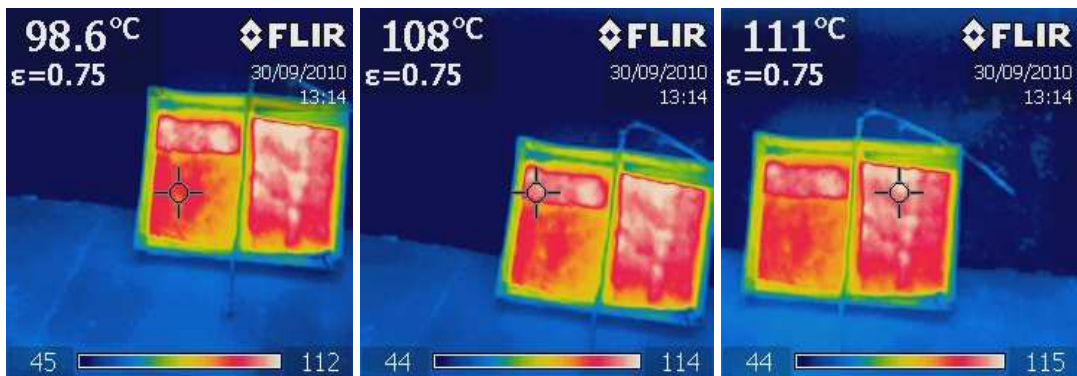
Θέση Β: Η παρατήρηση ήταν για ακόμα μια φορά η ίδια αφού ο αφρώδης χάλυβας παρουσίασε μια θερμοκρασία περίπου 3°C παραπάνω απ' ότι το αλουμίνιο ενώ η σιδερένια πλάκα ήταν ξανά αρκετά πιο ψυχρή με την διαφορά θερμοκρασίας από τον αφρώδη χάλυβα να είναι στους 13° C



Εικόνα 43: Το σύστημα μας κάθετα στο έδαφος. Αριστερά απεικονίζεται η πλάκα, στο κέντρο το αλουμίνιο και δεξιά ο αφρώδης χάλυβας



Εικόνα 44: Το σύστημα μας μετά από μικρό χρονικό διάστημα



Εικόνα 45: Το σύστημα μας με κλίση 45° ως προς τον τοίχο

Συγκριτική μελέτη βαμμένου αλουμινίου χρώματος μαύρου ενσωματωμένου με βαμμένη μαύρη πλάκα χάλυβα και βαμμένου αφρώδη χάλυβα χρώματος μαύρου, όπου και τα δύο είναι τοποθετημένα σε χάρτινα κουτιά τα οποία ήταν συνδεδεμένα μεταξύ τους και σε καθένα από αυτά έχουν μπει οι ακροδέκτες ενός θερμοζεύγους

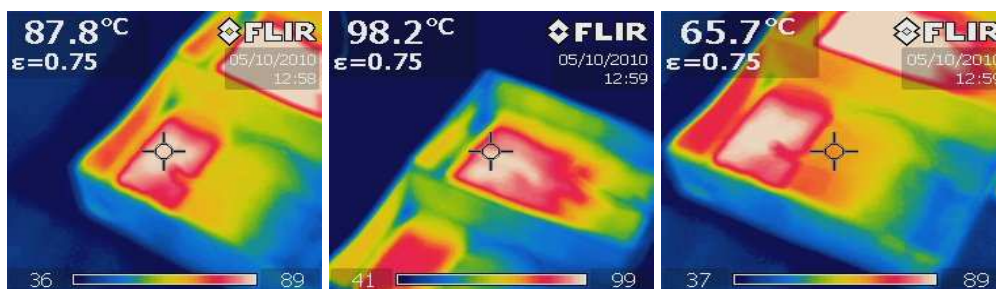
Ημερομηνία
Συνθήκες
Παρατηρήσεις

Τρίτη 05/10/2010
Ηλιοφάνεια

Και οι δυο διατάξεις ήταν κλειστές με διάφανη μεμβράνη για την προστασία από τον αέρα. Επίσης τα δυο κουτιά ήταν ενωμένα μεταξύ τους και έτσι οι διατάξεις λειτουργούσαν σαν ενιαίο σύστημα. Στο συγκεκριμένο πείραμα χρησιμοποιήθηκε θερμοζεύγος, προκειμένου να εξακριβώσουμε την αποτελεσματικότητα καθώς και την ακρίβεια της θερμοκάμερας. Οι δυο ακροδέκτες του θερμοζεύγους τοποθετήθηκαν στο κουτί με την πλάκα και το αλουμίνιο ο ένας, και στο κουτί που περιείχε τον αφρώδη χάλυβα ο άλλος.

Μέθοδος
Αποτελέσματα

Το σύστημα τοποθετήθηκε στο έδαφος. Στην δεξιά πλευρά υπήρχε ο μαύρος αφρώδης χάλυβας. Πριν από την θέρμανση της διάταξης μας, η διαφορά θερμοκρασίας (ΔT) μεταξύ των δυο κουτιών ήταν $2,6-2,8^\circ\text{C}$ (πιο θερμό το αλουμίνιο με την πλάκα). Σταδιακά όμως καθώς η διάταξη θερμαινόταν το ΔT συνεχώς μειωνόταν, καθώς το αλουμίνιο ψύχονταν από την σιδερένια πλάκα και η θερμοκρασία του αυξανόταν με αργό ρυθμό. Μετά την αποκατάσταση της θερμικής ισορροπίας οι θερμοκρασίες που πήραμε για τα υλικά μας στην οθόνη του θερμοζεύγους ήταν οι εξής: $T_{\alpha\lambda} = 74,7^\circ\text{C}$, $T_{\chi\alpha\lambda} = 75,6^\circ\text{C}$ και $T_{\pi\lambda} = 66,2^\circ\text{C}$. Οι ενδείξεις της θερμοκάμερας την ίδια χρονική στιγμή αντίστοιχα ήταν αυτές που φαίνονται στις παρακάτω εικόνες. Παρατηρούμε λοιπόν ότι ανάμεσα στη θερμοκάμερα και το θερμοζεύγος υπάρχει συμφωνία ως πιο από τα υλικά έχει αναπτύξει την μεγαλύτερη θερμοκρασία και αυτό φυσικά είναι ο αφρώδης χάλυβας



Εικόνα 46: Αριστερά απεικονίζεται το αλουμίνιο, στο κέντρο ο αφρώδης χάλυβας και δεξιά η πλάκα

Συγκριτική μελέτη βαμμένου αλουμινίου χρώματος μαύρου ενσωματωμένου με βαμμένη μαύρη πλάκα χάλυβα και βαμμένου αφρώδη χάλυβα χρώματος μαύρου, όπου και τα δυο είναι τοποθετημένα σε χάρτινα κουτιά τα οποία ήταν συνδεδεμένα μεταξύ τους και σε καθένα από αυτά έχουν μπει οι ακροδέκτες ενός θερμοζεύγους

Ημερομηνία
Συνθήκες
Παρατηρήσεις

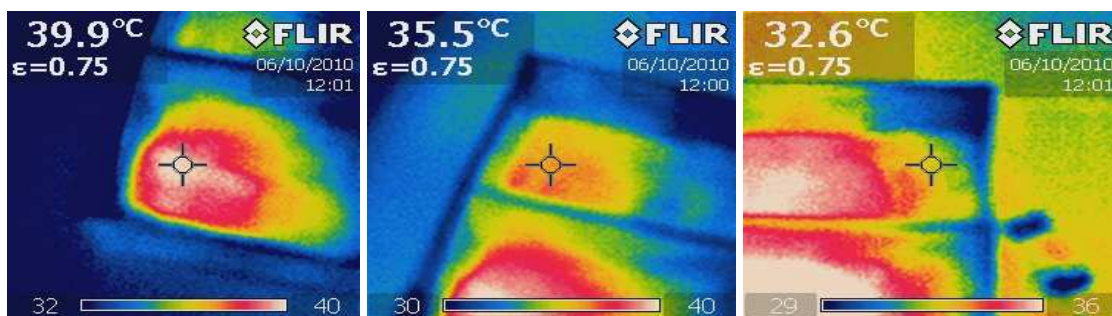
Τετάρτη 06/10/2010
Συνθήκες συννεφιάς

Και οι δυο διατάξεις ήταν κλειστές με διάφανη μεμβράνη για την προστασία από τον αέρα. Επίσης τα δυο κουτιά ήταν ενωμένα μεταξύ τους και έτσι οι διατάξεις λειτουργούσαν σαν ενιαίο σύστημα. Εκτελέστηκε το ίδιο πείραμα ακριβώς με την προηγούμενη ημέρα με την μόνη διαφορά ότι επικρατούν συνθήκες συννεφιάς. Θέλαμε να παρατηρήσουμε αν η θερμική συμπεριφορά των υλικών εξακολουθούσε να παραμένει η ίδια

Μέθοδος
Αποτελέσματα

Το σύστημα τοποθετήθηκε στο έδαφος

Στην δεξιά πλευρά υπήρχε ο μαύρος αφρώδης χάλυβας. Αρχικά η ένδειξη του θερμοζεύγους έδειχνε το αλουμίνιο κατά $1,6-1,8^{\circ}\text{C}$ πιο θερμό σε σχέση με τον αφρώδη χάλυβα, ενώ η θερμοκάμερα έδειχνε το σύρμα 4°C πιο θερμό από την σιδερένια πλάκα και 6°C πιο θερμό από το αλουμίνιο. Με την πάροδο του χρόνου, και συγκεκριμένα μετά από 15 λεπτά, η ένδειξη στην οθόνη του θερμοζεύγους αντιστράφηκε, δείχνοντας τον αφρώδη χάλυβα κατά 2°C πιο θερμό συγκριτικά με το κουτί της πλάκας και του αλουμινίου. Η θερμοκρασία του χάλυβα ανέβαινε συνεχώς μέχρι και την αποκατάσταση της θερμικής ισορροπίας όπου η θερμοκάμερα έδειχνε το αλουμίνιο και η πλάκα να βρίσκονται περίπου στην ίδια θερμοκρασία (46°C) ενώ ο χάλυβας βρισκόταν στους 66°C , και το θερμοζεύγος έδειχνε 7°C πιο θερμό το κουτί με το σύρμα ($51,4^{\circ}\text{C}$) σε σχέση με το κουτί που περιείχε την πλάκα και το αλουμίνιο ($44,4^{\circ}\text{C}$).



Εικόνα 47: Αριστερά απεικονίζεται ο αφρώδης χάλυβας, στο κέντρο το αλουμίνιο ενώ δεξιά η πλάκα

Συγκριτική μελέτη βαμμένου αλουμινίου χρώματος μαύρου ενσωματωμένου με βαμμένη μαύρη πλάκα χάλυβα, μαύρου αφρού αλουμινίου, και βαμμένου αφρώδη χάλυβα χρώματος μαύρου, όπου και τα τρία είναι τοποθετημένα σε χάρτινη διάταξη και στη διάταξη που περιέχει την πλάκα καθώς και στον αφρώδη χάλυβα έχουν μπει οι ακροδέκτες ενός θερμοζεύγους

Ημερομηνία
Συνθήκες
Παρατηρήσεις

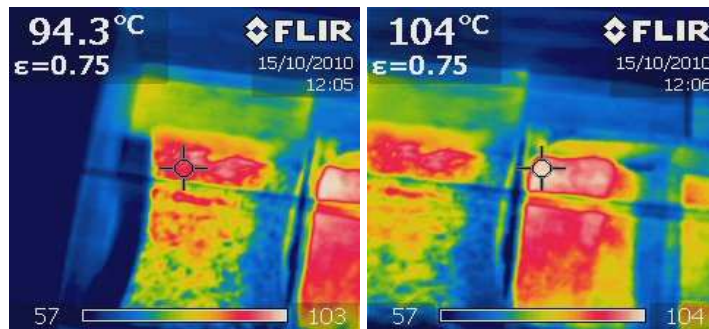
Παρασκευή 15/10/2010
Ηλιοφάνεια

Οι τρεις διατάξεις τοποθετήθηκαν σε ένα μεγάλο χάρτινο κουτί, το οποίο κλείστηκε από πάνω με μια μεμβράνη για την προστασία από τον εξωτερικό αέρα. Στο κέντρο του κουτιού τοποθετήθηκε η διάταξη με τον μαύρο αφρώδη μαλακό χάλυβα, στην οποία ενσωματώθηκε το ένα άκρο από ένα θερμοζεύγος. Το άλλο άκρο του θερμοζεύγους ενσωματώθηκε στη διάταξη με την πλάκα και το μεταλλικό αλουμίνιο. Σκοπός της χρήσης του θερμοζεύγους ήταν να μετρήσουμε την επιφανειακή θερμοκρασία των υλικών αλλά και του αέρα στο εσωτερικό των δυο διατάξεων και να δούμε το αν κατά πόσο υπήρχε συμφωνία του θερμοζεύγους με την θερμοκάμερα.

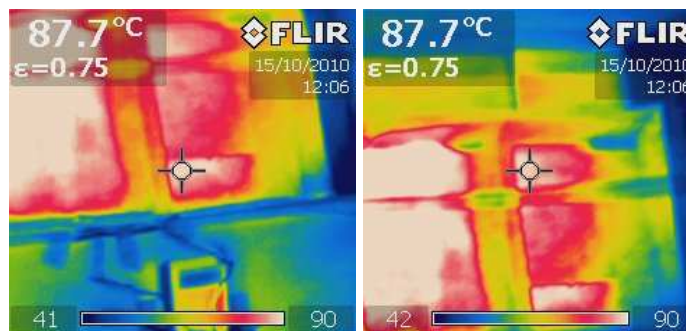
Μέθοδος
Αποτελέσματα

Το σύστημα τοποθετήθηκε στο έδαφος

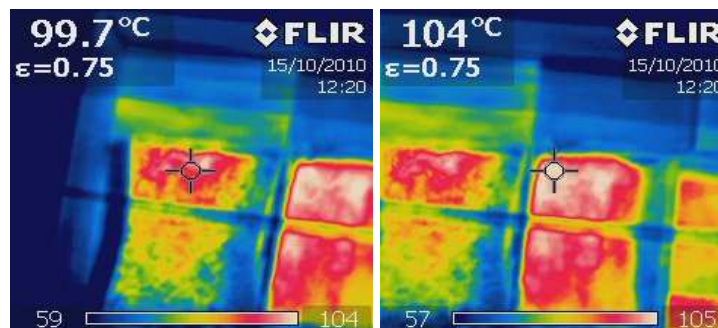
Αρχικά, με την θέρμανση του συστήματος, ο αφρώδης χάλυβας είχε περίπου ίδια θερμοκρασία με την διάταξη που είχε τον αφρό αλουμινίου, ενώ ήταν περίπου $2,8^{\circ}\text{C}$ πιο θερμός σε σχέση με την πλάκα και το μεταλλικό αλουμίνιο, σύμφωνα με την ένδειξη του θερμοζεύγους. Μετά από περίπου 15 λεπτά, και την αποκατάσταση της θερμικής ισορροπίας στο σύστημα, η κατάσταση έμεινε αμετάβλητη με την διάταξη που περιείχε τον αφρώδη μαλακό χάλυβα να είναι συνεχώς θερμότερη από τις άλλες. Η θερμοκρασιακή της διαφορά ήταν περίπου 5°C από τον αφρό αλουμινίου, 10°C από το μεταλλικό αλουμίνιο και 15°C από την σιδερένια πλάκα. Παρατηρήσαμε λοιπόν ότι η διάταξη που περιείχε τον χάλυβα ανέπτυξε μεγαλύτερες θερμοκρασίες σε σχέση με τα άλλα δυο κουτιά. Επίσης η θερμοκρασία του αφρού αλουμινίου ήταν σταθερά πιο υψηλή από το αντίστοιχο μεταλλικό, εξαιτίας της ύπαρξης της σιδερένιας πλάκας η οποία δεν επέτρεπε στο μεταλλικό αλουμίνιο να ανεβάσει γρήγορα την θερμοκρασία του.



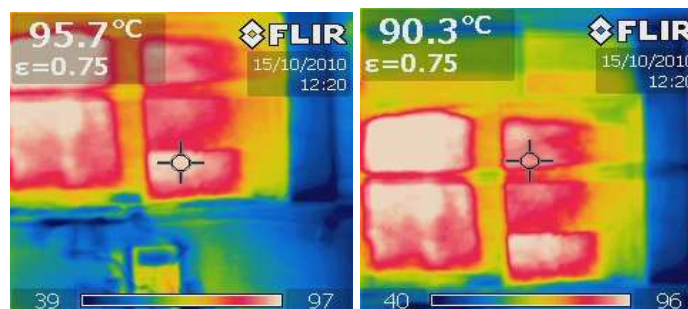
Εικόνα 48: Αριστερά απεικονίζεται ο αφρός αλουμινίου και δεξιά ο μαύρος αφρώδης χάλυβας



Εικόνα 49: Αριστερά απεικονίζεται η θερμοκρασία του μεταλλικού αλουμινίου ενώ δεξιά η θερμοκρασία της σιδερένιας πλάκας

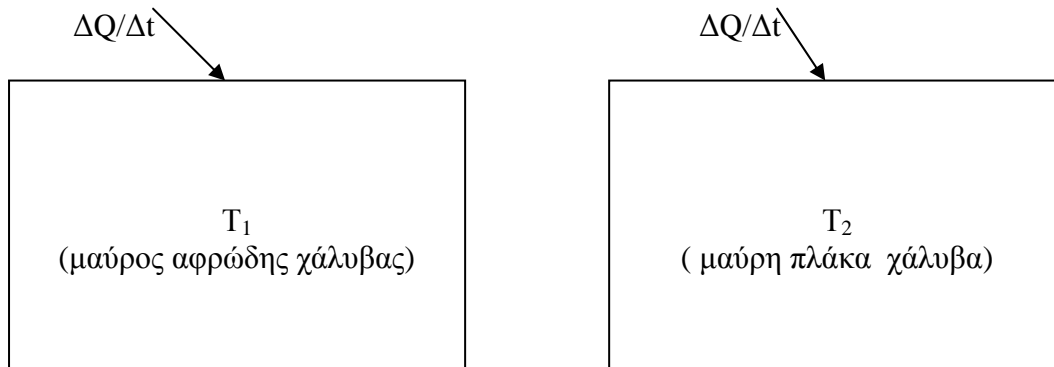


Εικόνα 50: Ο αφρός αλουμινίου (αριστερά) και ο αφρώδης χάλυβας (δεξιά) μετά την αποκατάσταση της θερμικής ισορροπίας



Εικόνα 51: Το μεταλλικό αλουμίνιο (αριστερά) και η σιδερένια πλάκα (δεξιά) μετά την αποκατάσταση της θερμοδυναμικής ισορροπίας

4.1.3 Απόδειξη διαφοράς ροής θερμότητας στα υλικά μας



Αν θεωρήσουμε ότι οι διατάξεις μας στις οποίες περιέχονταν τα υλικά μας, είναι τα δυο σχεδιασμένα παραπάνω κουτιά, μπορούμε να αποδείξουμε για ποιο λόγο η ροή θερμότητας ($\Delta Q/\Delta t$ ισχύς θερμότητας ή θερμότητα ανά μονάδα χρόνου) στο κουτί θερμοκρασίας T_1 (κουτί που περιέχει τον μαύρο αφρώδη μαλακό χάλυβα) είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη στο κουτί θερμοκρασίας T_2 , (κουτί που περιέχει την μαύρη πλάκα χάλυβα) καθώς επίσης και να δικαιολογήσουμε γιατί η θερμοκρασία T_1 είναι μεγαλύτερη από την θερμοκρασία T_2 στηριζόμενοι σε αρχές της Φυσικής. Ο ρυθμός μετάδοσης θερμότητας που εισέρχεται στις δυο διατάξεις μας μπορεί να υπολογιστεί από τον νόμο του Fourier:

$$\Delta Q/\Delta t = k \cdot A \cdot \Delta T/x$$

όπου $\Delta Q/\Delta t$ = ρυθμός μετάδοσης θερμότητας

k = θερμική αγωγιμότητα της διάταξης μας

A = εμβαδό διάταξης

ΔT = διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού χώρου της επιφάνειας

x = πάχος υλικού

Οι δυο διατάξεις μας είναι από το ίδιο υλικό κατασκευασμένες ενώ έχουν και τις ίδιες διαστάσεις άρα και το ίδιο εμβαδό καθώς και το ίδιο πάχος. Άρα σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση ο ρυθμός μετάδοσης θερμότητας για κάθε υλικό θα εξαρτάται από την διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού χώρου κάθε υλικού. Έτσι για κάθε υλικό θα έχουμε:

$$\Delta Q_1/\Delta t = k \cdot A \cdot \Delta T/x = k \cdot A/x \cdot (T_1 - T_\pi) \text{ όπου } T_\pi \text{ η θερμοκρασία περιβάλλοντος}$$

$$\Delta Q_2/\Delta t = k \cdot A \cdot \Delta T/x = k \cdot A/x \cdot (T_2 - T_\pi)$$

Παρατηρούμε λοιπόν ότι λόγω του ότι $T_1 > T_2$ από τις παραπάνω εξισώσεις έχουμε ότι $\Delta Q_1/\Delta t > \Delta Q_2/\Delta t$, δηλαδή ο ρυθμός θερμότητας για τον μαύρο μαλακό αφρώδη χάλυβα είναι μεγαλύτερος σε σχέση με τον αντίστοιχο για την μαύρη πλάκα χάλυβα.

Βασιζόμενοι λοιπόν στον νόμο των Stefan- Boltzmann, μπορούμε να δικαιολογήσουμε για ποιο λόγο η θερμοκρασία του αφρώδους χάλυβα είναι μεγαλύτερη σε σχέση με την αντίστοιχη της χαλύβδινης πλάκας.

Για τα δυο υλικά των διατάξεων μας, από τον παραπάνω νόμο, έχουμε τις εξής μαθηματικές σχέσεις:

$$q_1 = \sigma T_1^4 A \text{ (αφρώδης χάλυβας)}$$

$$q_2 = \sigma T_2^4 A \text{ (μαύρη πλάκα χάλυβα)}$$

Επειδή η σταθερά σ των παραπάνω σχέσεων είναι η ίδια, αλλά και το εμβαδό των δυο διατάξεων είναι το ίδιο, συμπεραίνουμε ότι η θερμότητα που εκπέμπεται από τα υλικά μας, έχει ανάλογη σχέση με την τετάρτη δύναμη της θερμοκρασίας και εξαρτάται προφανώς μόνο απ' αυτή.

Όπως όμως δείξαμε πριν η θερμότητα που εκπέμπεται απ' τον αφρώδη χάλυβα είναι μεγαλύτερη σε σχέση με την αντίστοιχη της πλάκας, άρα και η θερμοκρασία του αφρώδη χάλυβα θα είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη της μαύρης πλάκας.

$$q_1 > q_2 \Rightarrow T_1^4 > T_2^4 \Rightarrow T_1 > T_2 \text{ (}\sigma_1=\sigma_2=\sigma, A_1=A_2=A\text{)}$$

4.1.4 Συμπεράσματα

Τα παραπάνω πειράματα έλαβαν μέρος στο ισόγειο του κτιρίου Αντοχής Υλικών και είχαν ως απώτερο στόχο την σύγκριση του αφρώδη χάλυβα καθώς και του αλουμινίου ως προς τις θερμοκρασίες που αναπτύσσουν στις επιφάνειες τους. Η σύγκριση αυτή έγινε υπό διαφορετικές γωνίες κλίσης ως προς τον ήλιο για τις διατάξεις που περιείχαν τα παραπάνω υλικά. Τα υλικά που τέθηκαν υπό σύγκριση ήταν ένα μεταλλικό αλουμίνιο με ένα αντίστοιχο αφρώδες, καθώς και αφρώδης χάλυβας σε σύγκριση με πλάκα κατασκευασμένη από το ίδιο υλικό. Η παραπάνω σύγκριση έγινε με σκοπό να παρατηρήσουμε το αν και κατά πόσο η διαφορετική υφή και δομή του ίδιου υλικού επηρεάζει την θερμότητα που απορροφά η επιφάνεια του. Όλα τα παραπάνω υλικά είχαν βαφτεί μαύρα έτσι ώστε να απορροφούν την μέγιστη δυνατή ακτινοβολία του ήλιου και είχαν τοποθετηθεί σε τρία χάρτινα κουτιά ίδιων διαστάσεων (η χαλύβδινη πλάκα και το μεταλλικό αλουμίνιο ήταν στο ίδιο κουτί) , και με τη σειρά τους αυτά τα τρία σε ένα μεγαλύτερο, χάρτινο επίσης κουτί.

Η μέτρηση των επιφανειακών θερμοκρασιών των υλικών, έγινε με χρήση κάμερας υπερύθρου (θερμοκάμερα) μεγάλης ακρίβειας και μικρής ευαισθησίας (0,1). Για την επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων της θερμοκάμερας χρησιμοποιήθηκε ένα θερμοζεύγος. Οι ακροδέκτες του θερμοζεύγους συνδέθηκαν ο ένας με την διάταξη που περιείχε τον αφρώδη μαλακό χάλυβα, ενώ ο άλλος στη διάταξη που περιείχε την πλάκα και το μεταλλικό αλουμίνιο. Η συμφωνία της θερμοκάμερας και του θερμοζεύγους ήταν στο γεγονός ότι και τα δυο έδειχναν ως πιο θερμό υλικό τον αφρώδη μαλακό χάλυβα. Η διαφορά που παρουσίαζαν ήταν στις απόλυτες τιμές των θερμοκρασιών, γεγονός που οφείλεται στο ότι το θερμοζεύγος μετρούσε και τον αέρα που εσώκλειε το κάθε κουτί σε αντίθεση με την κάμερα υπερύθρου, οι ενδείξεις της οποίας αφορούσαν μόνο την επιφανειακή θερμοκρασία των υλικών.

Συμπερασματικά, καταλήξαμε στο γεγονός ότι ο μαύρος αφρώδης χάλυβας απορροφούσε μεγαλύτερη θερμότητα υπό την επίδραση των ηλιακών ακτινών σε σχέση με τα άλλα υλικά. Ειδικότερα σε κλίση 45° , που είναι και η βέλτιστη κλίση των ηλιακών θερμικών συστημάτων, ανέπτυξε πολύ μεγαλύτερες θερμοκρασίες συγκριτικά με το αλουμίνιο. Όσον αφορά το τελευταίο, παρατηρήσαμε ότι η επαφή του με την χαλύβδινη πλάκα το έβυχε και το εμπόδιζε να αναπτύξει μεγάλες θερμοκρασίες. Ένα επίσης σημαντικό πλεονέκτημα του αφρώδη χάλυβα είναι το γεγονός ότι παρόλο που η θερμοκρασία στην επιφάνεια του αυξανόταν με πολύ πιο αργό ρυθμό σε σχέση με το αλουμίνιο, (λόγω της μεγαλύτερης θερμικής αγωγιμότητας του αλουμινίου), όταν επικρατούσαν συνθήκες συννεφιάς το αλουμίνιο έχανε πολύ γρήγορα την θερμότητα του, ενώ ο χάλυβας παρουσίαζε καλύτερη θερμοχωρητικότητα και η θερμοκρασία του έπεφτε με αρκετά πιο αργό ρυθμό.

Σύμφωνα με τα παραπάνω πειραματικά δεδομένα λοιπόν, βλέπουμε ότι ίσως μελλοντικά θα μπορούσαμε να αντικαταστήσουμε το αλουμίνιο και τον χαλκό στην χρήση τους ως βασικά υλικά των ηλιακών θερμικών συστημάτων και γενικότερα κάθε τύπου ηλιακού συλλέκτη, με ένα φθηνότερο υλικό, που να παρουσιάζει εξίσου καλές θερμικές ιδιότητες με αυτά, όπως είναι ο αφρώδης χάλυβας. Έτσι λοιπόν θα μπορούσαμε να ικανοποιήσουμε τις θερμικές μας ανάγκες, με ένα υλικό το οποίο χρησιμοποιούμε κατά κόρον στην καθημερινή μας ζωή ακόμα και υπό συνθήκες συννεφιάς.

2^ο ΜΕΡΟΣ

Το δεύτερο μέρος της παρούσας διπλωματικής ασχολείται καθαρά με μηχανική και πιο συγκεκριμένα με τις μηχανικές ιδιότητες του πολυαιθυλενίου. Δοκίμια πολυαιθυλενίου χρησιμοποιήθηκαν σε θάλαμο επιταχυνόμενης γήρανσης και ενώ πριν και μετά απο την εισαγωγή τους στο θάλαμο δοκιμάστηκε η μηχανική τους αντοχή σε πείραμα εφελκυσμού. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων και τα συμπεράσματα που προκύπτουν απο την σύγκριση αυτή παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω

Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί, καθώς γίνεται και μια θεωρητική προσέγγιση του φαινομένου της γήρανσης.

Κεφάλαιο 5°

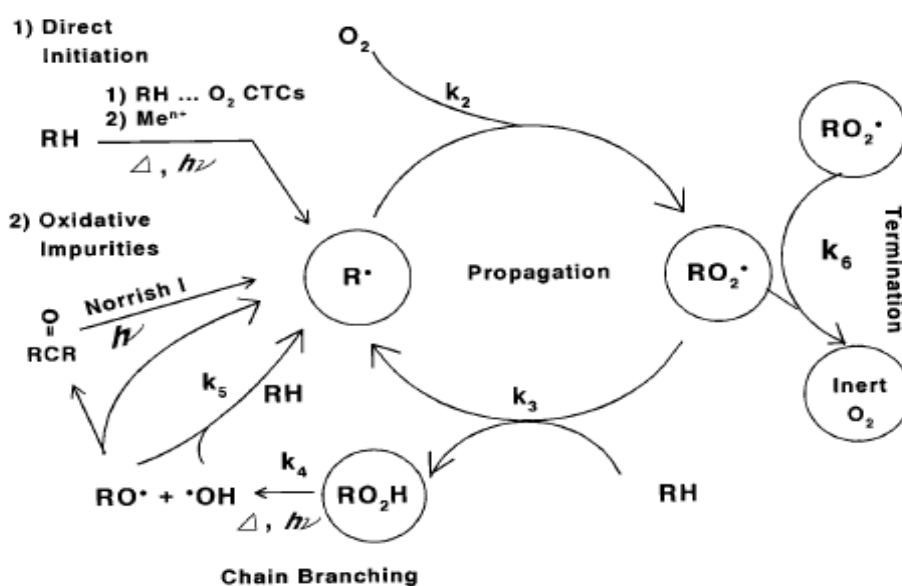
5.1 Γήρανση υλικών

5.1.1 Φυσική γήρανση υλικών

Είναι γνωστό εδώ και αρκετά χρόνια ότι τα άμορφα υλικά δεν βρίσκονται σε θερμοδυναμική ισορροπία σε θερμοκρασίες χαμηλότερες από την θερμοκρασία υαλώδους μετάβασης. Ως σταθεροποιημένα υγρά έχουν υψηλότερη εντροπία, όγκο κτλ από ότι έχουν στην κατάσταση ισορροπίας. Διάφορες μελέτες έχουν δείξει ότι κάτω από την θερμοκρασία υαλώδους μετάβασης η μοριακή κινητικότητα δεν είναι μηδέν αλλά υπάρχει μια σταδιακή και βαθμιαία προσέγγιση στην ισορροπία. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται φυσική γήρανση και αλλάζει αρκετές από τις ιδιότητες του υλικού.

Στην πραγματικότητα η φυσική γήρανση είναι μια συνέχεια της υαλοποίησης σε θερμοκρασίες κοντά στην θερμοκρασία της υαλώδους μετάβασης. Επομένως θα επηρεάζει όλες εκείνες τις ιδιότητες που εξαρτώνται από την θερμοκρασία και υφίστανται δραματικές αλλαγές στην θερμοκρασία υαλώδους μετάβασης. Κατά την διάρκεια της γήρανσης το υλικό υαλοποιείται, γίνεται πιο δύσκαμπτο και εύθραυστο, και μειώνονται σταδιακά οι τάσεις ερπυσμού, χαλάρωσης καθώς και οι διηλεκτρικές σταθερές.

Στις μέρες μας γίνεται ευρεία χρήση πολυμερών υλικών σε πληθώρα κατασκευών, οι οποίες είναι εκτιθέμενες στο φυσικό περιβάλλον. Η μακροπρόθεσμη έκθεση ενός πολυμερούς ή σύνθετου υλικού στο περιβάλλον οδηγεί στην αλλαγή των αρχικών του ιδιοτήτων. Η διαδικασία αυτή της υποβάθμισης – γήρανσης των υλικών μπορεί να εμφανιστεί με διάφορους μηχανισμούς και μορφές [Gijisman 1999]. Οι μηχανισμοί αυτοί μπορεί να δρουν ταυτόχρονα, ανταγωνιστικά ή συνεργατικά, γεγονός που εξαρτάται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες και τα μηχανικά φορτία που ασκούνται στο υλικό.



Εικόνα 61: Ο μηχανισμός της φωτοξειδωτικής υποβάθμισης για τα περισσότερα πολυμερή (R = η πολυμερική αλυσίδα, H = αποσπώμενα υδρογόνα, R[□] = ελεύθερες ρίζες)

Από τους πιο βασικούς περιβαλλοντικούς παράγοντες υποβάθμισης είναι η έκθεση στην υπεριώδη ακτινοβολία, τη θερμότητα και το νερό. Οι συντελεστές αυτοί προκαλούν μεταβολές στις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των υλικών.

5.1.1.1 Υπεριώδης ακτινοβολία

Το φως προκαλεί χαρακτηριστικές μεταβολές τόσο στις οπτικές ιδιότητες των χρωστικών, που τα πολυμερή περιέχουν, όσο και στις φυσικοχημικές ιδιότητες των ίδιων των πολυμερών [Hamid 1992]. Ως πηγή φωτός χρησιμοποιούνται λάμπες που φθορίζουν υπεριώδη ακτινοβολία (200-400 nm). Η κατασκευή των συγκεκριμένων λαμπτήρων δε καθιστά δυνατό για αυτούς να προσομοιάσουν όλο το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας, παρά μόνο τη βλαβερή υπεριώδη περιοχή του ηλιακού φάσματος. Παρόλο που μόνο το 5 % της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στη γη αποτελεί την υπεριώδη ακτινοβολία, αυτή και μόνο είναι υπεύθυνη για τις αξιοσημείωτες αλλαγές που προκαλούνται στα πολυμερή.

Υπάρχουν τριών ειδών λαμπτήρων που φθορίζουν υπεριώδη ακτινοβολία: οι λάμπες FS-40 και UVB-313 που παράγουν φως με μέγιστη απόδοση τα 313 nm και οι λάμπες UVA-340, που παράγουν φάσμα αρκετά όμοιο με αυτό του φυσικού φωτός μιας και διαμορφώνεται από μήκη κύματος της περιοχής UVA, αλλά και μία μικρή ποσότητα μηκών κύματος της περιοχής UVB. Συνήθως γίνεται επιλογή των 300 nm ως ελάχιστο μήκος κύματος της ακτινοβολίας και αυτό επειδή η υπεριώδης ακτινοβολία μικρότερου μήκους κύματος (UVC) απορροφάται από το όζον της ατμόσφαιρας και δε φτάνει στη γη ή φτάνει σε πολύ μικρό ποσοστό.

Η ενέργεια των φωτονίων της υπεριώδους ακτινοβολίας είναι ανάλογη με την ενέργεια των ομοιοπολικών δεσμών των πολυμερών (290-460 KJ/mol). Έτσι τα υπεριώδη φωτόνια που απορροφώνται από τα πολυμερή οδηγούν σε φωτοξειδωτικές αντιδράσεις που προκαλούν την υποβάθμιση του υλικού [Springer 1984]. Οι διαδικασίες αυτές ουσιαστικά μπορεί να προκαλέσουν είτε σχάση της μοριακής αλυσίδας είτε περαιτέρω πολυμερισμό. Και στις δυο περιπτώσεις παρατηρείται υποβάθμιση του υλικού.

5.1.1.2 Υγρασία

Μία άλλη σημαντική παράμετρος που είναι δυνατόν να επιδράσει δυσμενώς στις ιδιότητες των χρωμάτων είναι η υγρασία. Το νερό στην ατμόσφαιρα οφείλεται στους υδρατμούς, τη βροχή ή το λιώσιμο των πάγων και του χιονιού. Με αυτό το τρόπο, το νερό αυτό είναι πιθανό να απορροφηθεί ή να διαπεράσει το στρώμα της πολυμερικής επιφάνειας [Ζωγά 2003, 2004]. Η υγρασία μπορεί να προσομοιωθεί με ψεκασμό νερού, συμπύκνωμα, ομίχλη ή εμφάνιση. Εκτός, όμως από την διαδικασία της ύγρανσης πραγματοποιείται και η αντίστροφη διαδικασία, η ξήρανση.

Η τελευταία επιτυγχάνεται με εξάτμιση του νερού, που υπάρχει στο θάλαμο σε μορφή υδρατμών, γεγονός που οδηγεί στην συρρίκνωση της πολυμερικής επιφάνειας. Η διεργασία της υποβάθμισης που λαμβάνει χώρα στην επιφάνεια των δειγμάτων εξαρτάται από τη διαπερατότητά της, καθώς και από τον χρόνο επαφής που απαιτείται για να αρχίσει η διείσδυση του νερού. Ανάλογα με την συσκευή της επιταχυνόμενης γήρανσης που χρησιμοποιείται μπορεί να αυξηθεί η έκθεση σε υγρασία, είτε αυξάνοντας τον αριθμό των ξηρών/υγρών κύκλων, είτε αυξάνοντας τον χρόνο έκθεσης στην υγρασία.

5.1.1.3 Θερμότητα

Στη υποβάθμιση λόγω φωτοχημικών μηχανισμών σημαντικό ρόλο παίζει η θερμοκρασία και το θερμικό περιβάλλον. Το θερμικό περιβάλλον περιλαμβάνει εξωτερικούς παράγοντες όπως είναι η περιβάλλουσα θερμοκρασία, οι καταστάσεις σκιάς, η κάλυψη των σύννεφων, η συμπύκνωση και οι καταστάσεις του ανέμου. Η υποβάθμιση των επικαλυπτικών (επιφανειακών στρωμάτων όπως για παράδειγμα χρωστικές ουσίες) συμβαίνει ταχύτερα σε αυξημένες θερμοκρασίες [Βασιλειάδη 2005], ενώ η διακύμανση της θερμοκρασίας οδηγεί στην άσκηση δυνάμεων διαστολής και συστολής σε αυτά. Ως επακόλουθο είναι η δημιουργία ρωγμών, ξεφλούδισμα ακόμα και απώλεια πρόσφυσης στην επιφάνεια του επικαλυπτικού. Επιπλέον, η αυξημένη θερμοκρασία επιπλέον επιταχύνει τη δράση των υπόλοιπων παραμέτρων της επιταχυνόμενης γήρανσης (υπεριώδη ακτινοβολία και υγρασία).

5.1.2 Τεχνητή γήρανση υλικών

Η τεχνητή γήρανση των υλικών είναι η διαδικασία κατά την οποία δημιουργούνται εικονικές συνθήκες θέρμανσης, κραδασμών και φωτισμού με σκοπό να επιταχύνουμε την φυσική γήρανση των υλικών. Η χρησιμοποίηση αυτής της μεθόδου γίνεται με σκοπό να καθοριστούν οι αλλαγές των ιδιοτήτων των υλικών και οποιεσδήποτε δομικές αλλαγές σε συντομότερο χρονικό διάστημα σε σχέση με την φυσική γήρανση, συνήθως σε εργαστήρια κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της διάρκειας ζωής ενός υλικού όταν δεν είναι διαθέσιμα τα δεδομένα για τον χρόνο ζωής του. Για την παρακολούθηση των παραπάνω αλλαγών κατά την διάρκεια της τεχνητής γήρανσης, το υλικό υφίσταται είτε αντιπροσωπευτικά επίπεδα τάσης για μακροχρόνια περίοδο, είτε ασυνήθιστα υψηλές τάσεις με σκοπό την επιτάχυνση των φαινομένων της φυσικής γήρανσης, είτε τάσεις που εκ προθέσεως προκαλούν αστοχίες στο υλικό. Τα πολυμερή υλικά για παράδειγμα συνήθως υφίστανται αυξημένες θερμοκρασίες έτσι ώστε να προκαλέσουμε την διάσπαση των χημικών τους δεσμών.

Επίσης το υλικό αλλά και η διάταξη που χρησιμοποιούμε για τα πειράματα της τεχνητής γήρανσης μπορούν να εκτεθούν σε γρήγορες αλλά ελεγχόμενες αλλαγές θερμοκρασίας, πίεσης και υγρασίας, όπως για παράδειγμα συνθήκες θέρμανσης ή ψύξης μπορούν να προσομοιώσουν την επίδραση της μέρας ή της νύχτας για κάποιο χρονικό διάστημα.

5.2 Πολυαιθυλένιο

5.2.1 Εισαγωγή

Το πολυαιθυλένιο ή αλλιώς πολυαιθένιο είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο πλαστικό παγκοσμίως, με την ετήσια παραγωγή του ανα τον κόσμο να φτάνει τους 80 μετρικούς τόνους. Η κύρια χρήση του είναι για πακετάρισμα ηλεκτρικών συσκευών.

Πρόκειται για ένα θερμοπλαστικό πολυμερές που προέρχεται από τον πολυμερισμό του αιθυλενίου (μονομερές) το οποίο έχει μοριακό τύπο C_2H_4 . Κάθε μόριο αιθυλενίου (ή αιθενίου) αποτελείται από δυο ρίζες μεθυλίου (CH_2) που συνδέονται με έναν διπλό δεσμό όπως φαίνεται στην εικόνα (σε δυο διαφορετικές αναπαραστάσεις):



Εικόνα 66: Προσομοίωμα πολυαιθυλενίου

Στο εμπόριο ο αριθμός των μονομερών επαναλαμβανόμενων μονάδων του πολυμερούς είναι από 1000 – 10000. Ανάλογα με την διαδικασία πολυμερισμού που χρησιμοποιείται, διάφορα είδη πολυαιθυλενίου με διαφορετικές ιδιότητες μπορούν να αποκτηθούν.

Η κατηγοριοποίηση τους γίνεται με βάση την πυκνότητα τους, την σχετική μοριακή τους μάζα, και τις διακλαδώσεις που παρουσιάζει η δομή τους.

Το πολυαιθυλένιο διατίθεται στο εμπόριο σε πέντε μορφές: πολύ χαμηλής πυκνότητας (VLDPE), γραμμικό χαμηλής πυκνότητας (LLDPE), χαμηλής πυκνότητας (LDPE), υψηλής πυκνότητας (HDPE) και υπερυψηλής πυκνότητας (UHMWPE).

Στην περίπτωση που ο πολυμερισμός του αιθυλενίου γίνεται σε θερμοκρασία 60-80°C και πίεση $\sim 10\text{kg/cm}^2$ με τη βοήθεια μεταλλικών καταλυτών, λαμβάνεται το πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας που είναι γραμμικό, έχει μοριακό βάρος της τάξεως του ενός εκατομμυρίου, παρουσιάζει αυξημένη κρυσταλλικότητα, έχει σημείο τήξεως 135°C και πυκνότητα που κυμαίνεται στο εύρος 0,94-0,965 g/cm^3 .

Το πολυμερές που λαμβάνεται έπειτα από πολυμερισμό του αιθυλενίου σε υψηλή θερμοκρασία (150-300°C) και πίεση 1.000-3.000 kg/cm^2 με τη βοήθεια ελευθέρων ριζών ονομάζεται πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας. Εμφανίζει μεγάλο βαθμό διακλαδώσεως στις αλυσίδες, πυκνότητα στο εύρος 0,915-0,935 g/cm^3 και χαμηλότερο σημείο τήξεως (110-115°C) καθώς και ασθενείς ενδομοριακές δυνάμεις, χαμηλή αντοχή στον εφελκυσμό και αυξημένη ελαστικότητα. Το γραμμικό χαμηλής πυκνότητας (πυκνότητα 0,91-0,94 g/cm^3) και πολύ χαμηλής πυκνότητας (πυκνότητα 0,88-0,89 g/cm^3), τα οποία επίσης είναι γραμμικά πολυμερή, προκύπτουν από πολυμερισμό σε χαμηλή πίεση και θερμοκρασία με τη χρήση μεταλλικών καταλυτών.

Το πολυαιθυλένιο υπερυψηλού μοριακού βάρους (UHDPE) είναι ένα γραμμικό πολυμερές με μοριακό βάρος μέχρι και $4 \times 10^6 \text{g/mol}$. Εμφανίζει εξαιρετικά υψηλή αντίσταση στην κρούση, αντίσταση στη φθορά από το περιβάλλον και την τριβή, έχει χαμηλό συντελεστή τριβής και καλή χημική αντίσταση στους κοινούς διαλύτες. Αυτός ο ασυνήθιστος συνδυασμός ιδιοτήτων οδηγεί αυτό το υλικό σε πολυάριθμες και ποικίλες εφαρμογές μεταξύ των οποίων και η κατασκευή ορθοπεδικών εμφυτευμάτων, ειδικά για

εφαρμογές που φέρουν φορτία όπως είναι στο κυπέλλιο της κοτύλης για τις περιπτώσεις αρθροπλαστικής ισχίου ή τις επιγονατιδικές επιφάνειες στην αρθροπλαστική γόνατος. [Callister,1999]

5.2.1.1 Φυσικές ιδιότητες πολυαιθυλενίου

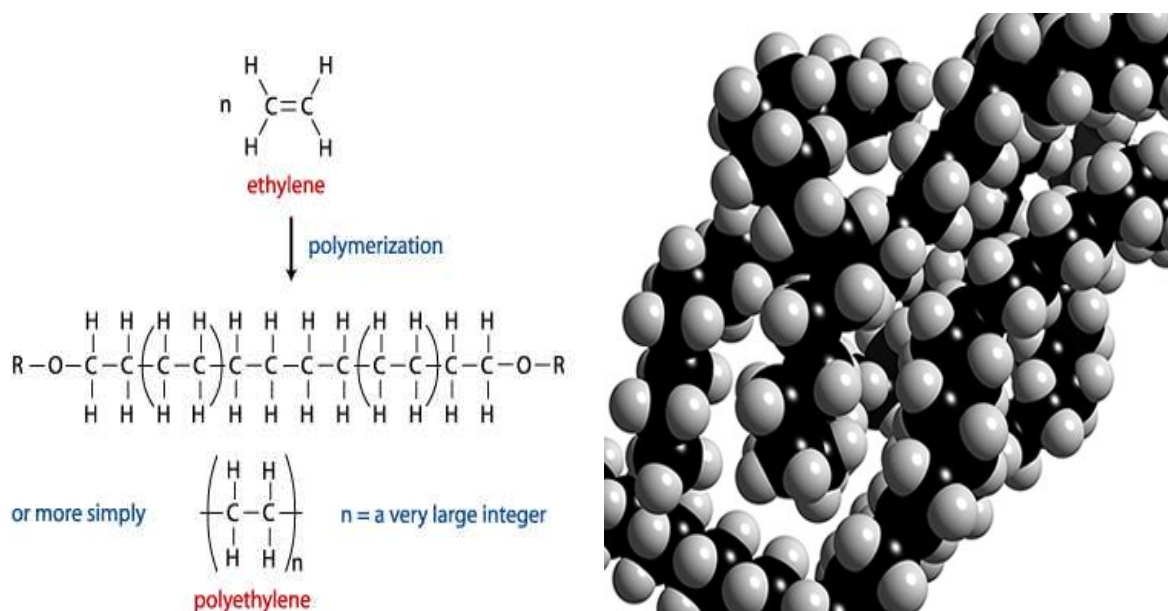
Το αν θα παρατηρήσουμε ή όχι το σημείο τήξης ή την υαλώδη μετάβαση του πολυαιθυλενίου εξαρτάται από την κρυσταλλικότητα του και την σχετική μοριακή του μάζα. Η θερμοκρασία υαλώδους μετάβασης εξαρτάται άμεσα από τον τύπο του πολυμερούς. Για τα μεσαίας και υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένια το σημείο τήξης είναι 120-130° C ενώ για τα αντίστοιχα χαμηλής πυκνότητας είναι 105-115° C.

Γενικά το πολυαιθυλένιο εμφανίζει υψηλή χημική αντοχή, δεν είναι ηλεκτρικά αγώγιμο και δεν διαλύεται σε θερμοκρασία δωματίου λόγω της κρυσταλλικότητας του. Συνήθως διαλύεται σε συγκεκριμένες θερμοκρασίες σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες ή χλωριομένους διαλύτες.

Τέλος όταν αποτεφρώνεται, καίγεται παράγοντας μια χαρακτηριστική μπλε φλόγα και έχει χαρακτηριστική οσμή παραφίνης.

5.2.1.2 Ανακύκλωση πολυαιθυλενίου

Αν και το πολυαιθυλένιο μπορεί να ανακυκλωθεί το μεγαλύτερο του μέρος καταλήγει στους ωκεανούς. Δεν θεωρείται βιοδιασπώμενο υλικό γιατί χρειάζεται αιώνες μέχρι να υποβαθμιστεί αποτελεσματικά εκτός και αν είναι εκτεθειμένο στην υπεριώδη ακτινοβολία του ήλιου. Τον Μάιο του 2008, ο Ντάνιελ Μπερντ, канаδικής καταγωγής απέδειξε ότι δυο είδη βακτηρίων μπορούν να υποβαθμίσουν μέχρι και 40% του βάρους από τις πλαστικές σακούλες σε λιγότερο από τρεις μήνες.



Εικόνα 67: Δομή του πολυαιθυλενίου

5.2.2 Γήρανση του πολυαιθυλενίου

Τα πολυμερή σώματα είναι ευαίσθητα σε διάφορους τύπους ακτινοβολιών όπως οι υπεριώδους ακτίνες, ακτινοβολία γάμμα, ακτίνες ηλεκτρονίων και νετρονίων, ιόντα, και άλλα . Αυτοί οι εξωτερικοί παράγοντες σήνηθως έχουν επιπτώσεις στην επιφάνεια σε υψηλά επίπεδα, αλλά εντούτοις μπορεί να έχουν μεγάλη επιρροή στη γενική απόδοση αυτών των υλικών, ανάλογα με τις εφαρμογές τους. Διαδικασίες γήρανσης λόγω της έκθεσης τους σε υπαίθριους χώρους (φυσική γήρανση) αλλά και σε ειδικούς διατάξεις (τεχνητή γήρανση) είναι από τις σημαντικότερες διαδικασίες που οδηγούν στην τροποποίηση της επιφάνειας τους.

Το πολυαιθυλένιο χρησιμοποιείται ευρέως ως μονωτής σε υψηλής τάσης καλώδια λόγω των διηλεκτρικών ιδιοτήτων του και του χαμηλού του κόστους. Στις περισσότερες εφαρμογές τους τα καλώδια υψηλής τάσης είναι εκτεθειμένα σε έναν συνδυασμό περιβαλλοντικών παραγόντων όπως οι ακτινοβολίες (κυρίως υπεριώδεις-UV), οι μεταβολές της θερμοκρασίας, τα ξηρά και υγρά αλατούχα περιβάλλοντα. Το αποτέλεσμα των επιδράσεων από αυτούς τους παράγοντες είναι οι αντιδράσεις οξειδωσης, διακλάδωση και υποβάθμιση των πολυμερών αλυσίδων, με την ανάπτυξη εσωτερικών πιέσεων, και το ράγισμα επιφάνειας. Αυτό στη συνέχεια επιτρέπει στο νερό και το οξυγόνο από τον αέρα να διαπεράσει βαθύτερα το δείγμα και η επίδραση της γήρανσης ενισχύεται

Μια κατάλληλη αξιολόγηση των συνεπειών της γήρανσης, θα πρέπει να συσχετίζει τις διάφορες μορφολογικές και χημικές τροποποιήσεις που συμβαίνουν στο πολυαιθυλένιο με τις φυσικές ιδιότητες του. Οι πειραματικές μέθοδοι και τα τεστ μηχανικής που εφαρμόζονται στα πολυμερή, όπως το πείραμα του εφελκυσμού, περιγράφουν επαρκώς τα συνδυαστικά φαινόμενα αυτά που συμβαίνουν στην επιφάνεια και στη μάζα του υλικού, αλλά μόνο τα πολύ γηρασμένα υλικά μπορούν να δώσουν σημαντικές πληροφορίες στην επέκταση της γήρανσης.

Η μελέτη των διαδικασιών γήρανσης στο πολυαιθυλένιο έχει μεγάλο ενδιαφέρον τόσο για την ανάπτυξη ανθεκτικότερων υλικών από αυτά που ήδη υπάρχουν, όσο και για να είμαστε σε θέση να προβλέψουμε το όριο χρήσης τους. Για να χρησιμοποιηθεί το πολυαιθυλένιο ως μονωτικό υλικό στα καλώδια υψηλής τάσης, υποβάλλεται σε ηλεκτρικές, θερμικές και μηχανικές τάσεις.

Ιδιαίτερη έμφαση έχει δοθεί στην ποσοτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων γήρανσης. Θερμιδρομετρικές, μικροσκοπικές, φασματοσκοπικές τεχνικές πολλές φορές σε συνδυασμό μεταξύ τους είναι οι κυριότερες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση της επίδρασης της γήρανσης στο πολυαιθυλένιο.

5.3 Εφελκυσμός

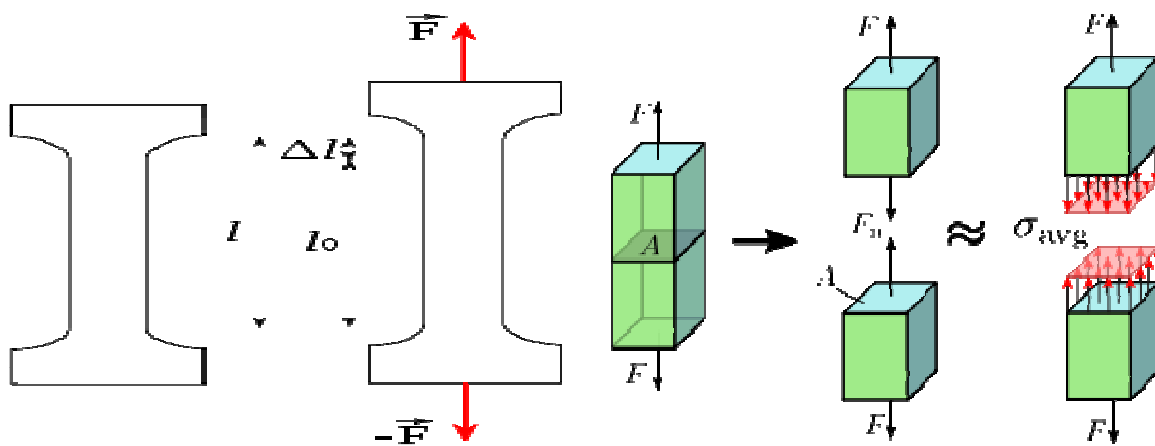
5.3.1 Εισαγωγή

Εφελκυσμός είναι το φαινόμενο εκείνο που το δοκίμιο τείνει αρχικά να μηκυνθεί (αυξήσει το μήκος του) και μετά πιθανώς να διασπαστεί (υποστεί θραύση) υπό την επενέργεια δυο ίσων και αντίθετων δυνάμεων που δρουν στα αντίθετα άκρα του ή υπό την επενέργεια μιας δύναμης που επενεργεί στο ένα άκρο όταν το άλλο άκρο είναι πακτωμένο (σταθερά συνδεδεμένο) με κάποιο σώμα.

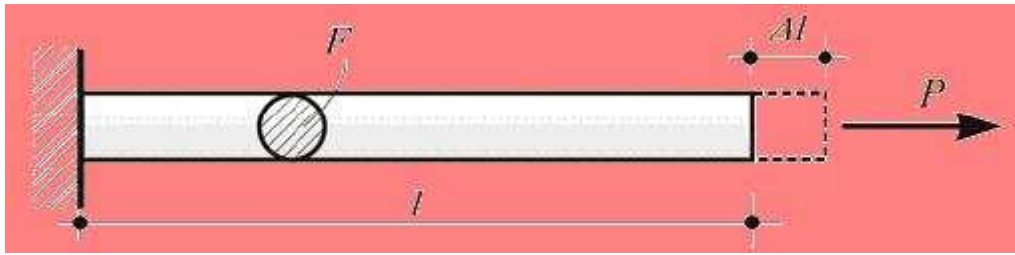
Με την επενέργεια της εφελκυστικής δύναμης η ράβδος θα επιμηκυνθεί κατά Δl και τελικά το σημείο εφαρμογής της δύναμης θα μετατοπιστεί δεξιότερα, οπότε και το τελικό μήκος της ράβδου θα γίνει $(l+\Delta l)$, όπως φαίνεται και στις παρακάτω εικόνες του αξονικού εφελκυσμού.

Οι δοκιμές εφελκυσμού είναι ο πιο ευρέως εφαρμοζόμενος τρόπος εξέτασης των πολυμερών υλικών. Ως αποτέλεσμα αυτών των δοκιμών είναι εξαγωγή της καμπύλης τάσης-παραμόρφωσης. Ωστόσο, λόγω της ιξωδοελαστικής φύσης των πολυμερών, η καμπύλη αυτή είναι συνήθως μία πρώτη εκτίμηση της μηχανικής απόκρισης του εξεταζόμενου υλικού. Για τον σχεδιασμό ενός υλικού συνήθως απαιτείται η δοκιμή σε διάφορες θερμοκρασίες, ρυθμούς επιβολής φορτίου και συνθήκες, πράγμα που απαιτεί πολύ χρόνο και ποσότητα υλικού. Για τον λόγο αυτό χρειάζεται αρκετές φορές να χρησιμοποιηθούν δεδομένα από παλαιότερες έρευνες, προκειμένου να εκτιμηθούν τα εξαγόμενα δεδομένα.

Οι καμπύλες τάσης-παραμόρφωσης δίνουν στοιχεία όχι μόνο για το μέτρο ελαστικότητας και για την αντοχή του υλικού, αλλά και για την ανθεκτικότητά του. Η τελευταία έχει να κάνει με την ενέργεια που μπορεί να απορροφήσει ένα υλικό προτού αστοχήσει.



Εικόνα 62: Εφελκυσμός και κατανομή των τάσεων



Εικόνα 63: Εφελκυσμός δοκιμίου

Για την πραγματοποίηση ενός πειράματος εφελκυσμού απαιτούνται ένα δοκίμιο το οποίο έχει ένα ενδιάμεσο τμήμα με μικρότερη διάμετρο σε σχέση με τα άκρα του, μια μηχανή εφελκυσμού για την καταγραφή της επιμήκυνσης και του ασκούμενου φορτίου καθώς και ένα κατάλληλο ζεύγος αρπάγων που θα συγκρατούν το δοκίμιο σταθερό.

Ο ρόλος των αρπάγων είναι να μεταδίδουν ομοιόμορφα φορτίο στο δοκίμιο χωρίς να προκαλούν τοπικές συγκεντρώσεις τάσεων. Οι άκρες του δοκιμίου συνήθως μεγεθύνονται με αργό ρυθμό έτσι ώστε αν υπάρχουν μικρές συγκεντρώσεις τάσεων να μεταβιβάζονται απευθείας στο ενδιάμεσο τμήμα και οι αστοχίες θα εμφανιστούν μόνο στο σημείο όπου παίρνουμε τις μετρήσεις.

Έκκεντρη (ή ανομοιόμορφη φόρτιση) προκαλεί την κάμψη του δοκιμίου γεγονός που σημαίνει ότι η τάση που εφαρμόζεται δεν θα είναι ομοιόμορφη. Για την αποφυγή της έκκεντρης φόρτισης, οι περισσότερες αρπάγες ενσωματώνουν ένα ή δύο περιστρεφόμενους συνδέσμους στην ένωση που φέρνει το φορτίο στο δοκίμιο. Οι σύνδεσμοι αυτοί βοηθούν στην διόρθωση προβλημάτων μη ευθυγράμμισης των δοκιμίων. Ένα δείγμα αρπάγης με περιστρεφόμενο σύνδεσμο απεικονίζεται παρακάτω.



Εικόνα 64: Αρπάγη που συγκρατά το δοκίμιο σε πείραμα εφελκυσμού

5.3.1.1 Μηχανή εφελκυσμού Instron

Η μηχανή εφελκυσμού Instron χρησιμοποιείται για την δοκιμή ενός μεγάλου εύρους υλικών στον εφελκυσμό ή στην θλίψη, μετακινώντας τις αρπάγες της μηχανής σε ανοδική ή καθοδική κατεύθυνση μέσω ενός συστήματος κίνησης. Η προστασία του δοκιμίου εξασφαλίζεται, λόγω του άκαμπτου πλαισίου που χρησιμοποιείται ως βάση και των κινούμενων αρπάγων. Μέσω της ηλεκτρονικής οθόνης που διαθέτει η μηχανή μπορούμε να παρατηρήσουμε το φορτίο που εφαρμόζεται στιγμιαία στο δοκίμιο καθώς και το φορτίο στο οποίο γίνεται η θραύση του υλικού αλλά και την επιπλέον επιμήκυνση που έχει υποστεί το δοκίμιο.



Εικόνα 65: Μηχανή εφελκυσμού Instron

Κεφάλαιο 6°

6.1 Πειραματική επεξεργασία

Προκειμένου να παρατηρηθούν οποιεσδήποτε αλλαγές στα εξεταζόμενα υλικά χρησιμοποιήθηκε θάλαμος επιταχυνόμενης γήρανσης, με την βοήθεια του οποίου προσομοιάζονται οι πραγματικές περιβαλλοντικές συνθήκες.

Το πείραμα μας αρχικά περιελάμβανε την τοποθέτηση δοκιμίων πολυαιθυλενίου στο φούρνο γήρανσης Suntest CPS. Πριν την έναρξη του πειράματος, η διάταξη μας τοποθετήθηκε κοντά στο νεροχύτη του εργαστηρίου και συνδέθηκε με αυτόν. Ο φούρνος είχε δυο σωλήνες εκ των οποίων ο ένας συνδέθηκε με την βρύση έτσι ώστε να παρέχεται νερό στο σύστημα μας για την αποφυγή υπερθέρμανσης του, ενώ ο άλλος σωλήνας ήταν μέσα στο νεροχύτη και απέβαλλε το νερό που έψυχε την διάταξη.

Σκοπός του πειράματος ήταν να παρατηρήσουμε τυχόν δομικές αλλαγές των δοκιμίων μας καθώς και αλλαγές στις μηχανικές τους ιδιότητες, ύστερα από πολύωρη έκθεση τους στο εσωτερικό του φούρνου γήρανσης.

Η διάταξη στην οποία έγιναν τα πειράματα της τεχνητής γήρανσης για τα υλικά μας ήταν ένας φούρνος γήρανσης Suntest CPS ο οποίος λειτουργεί με λάμπα xenon. Η διάταξη μας είχε επίσης ελεγχόμενη ακτινοβολία που κυμαινόταν στα 300-800 nm, η οποία ρυθμιζόταν χειροκίνητα, αλλά και ενσωματωμένο μετρητή ώρας για να παρατηρούμε το συνολικό χρόνο έκθεσης. Τα υπόλοιπα τεχνικά χαρακτηριστικά παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΑΤΑΞΗΣ SUNTEST CPS

Τάση λειτουργίας	200 – 240 V
Ένταση ρεύματος	14,5 A (μέγιστη τιμή)
Ηλεκτρική ασφάλεια	16 A
Ενεργειακή κατανάλωση	2,1 kVA (μέγιστη τιμή)
Ισχύς λάμπας ξένου	1,5 kW (μέγιστη τιμή)
Ψύχος λάμπας	150 m ³ /h
Επιφάνεια έκθεσης	560 cm ²
Εύρος θερμοκρασίας	35° C – 100° C
Διαστάσεις	78 X 35 X 35
Βάρος	30 kg
Επίπεδο θορύβου	70 dB (μέγιστη τιμή)



Εικόνα 66: Ο θάλαμος επιταχυνόμενης γήρανσης Suntest cps

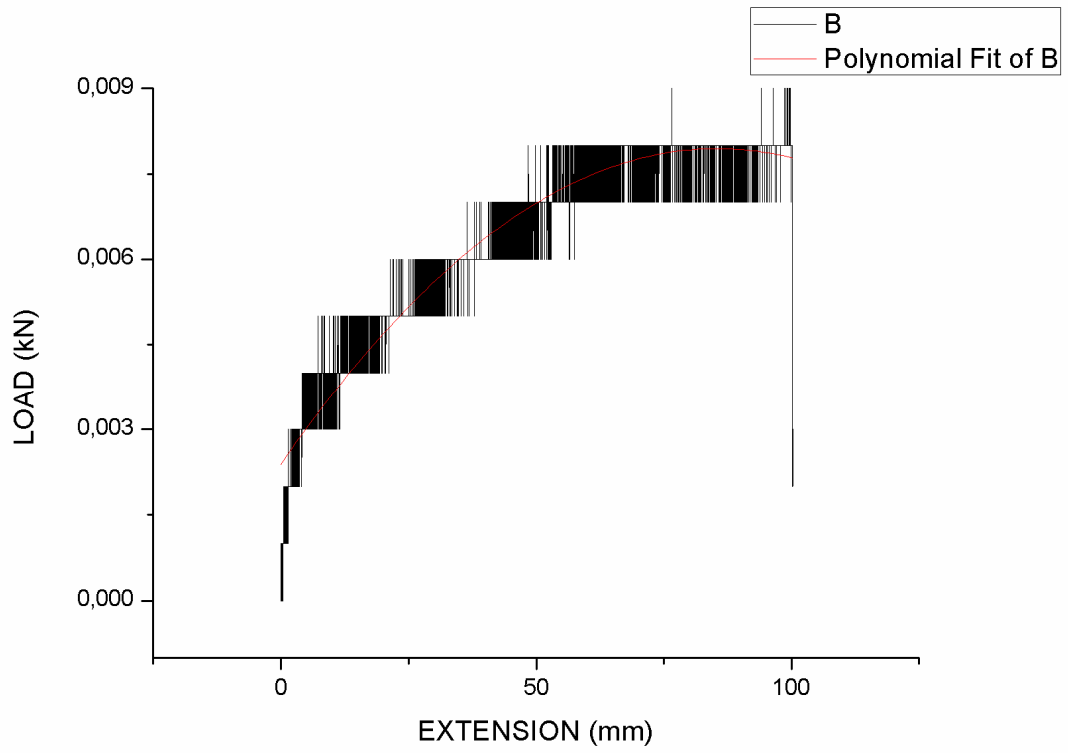
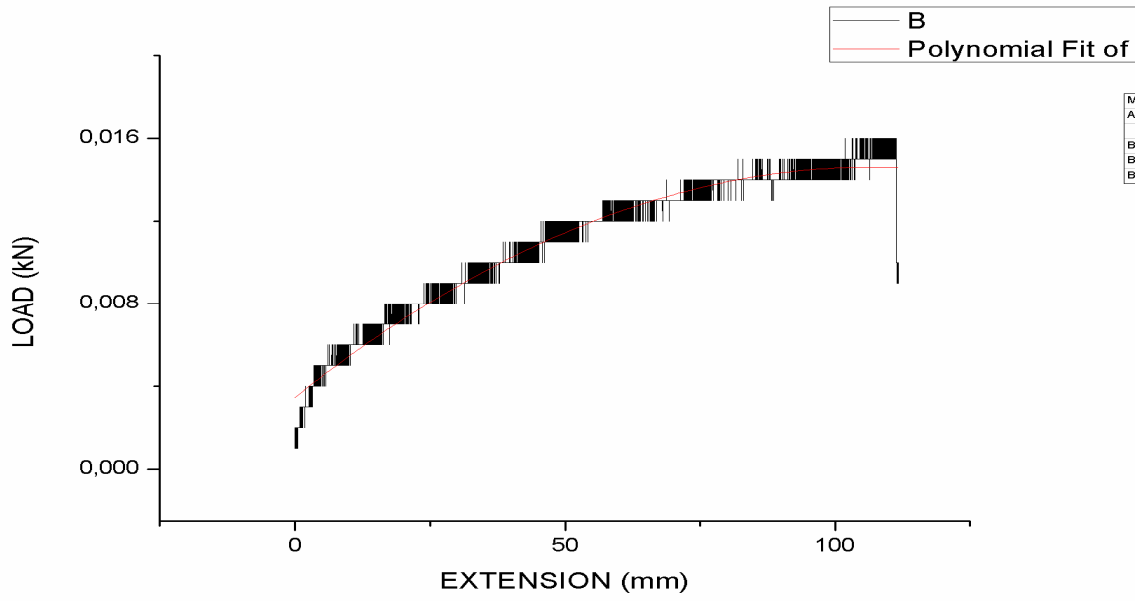
6.2 Πείραμα με δοκίμια πολυαιθυλενίου σε θάλαμο επιταχυνόμενης γήρανσης

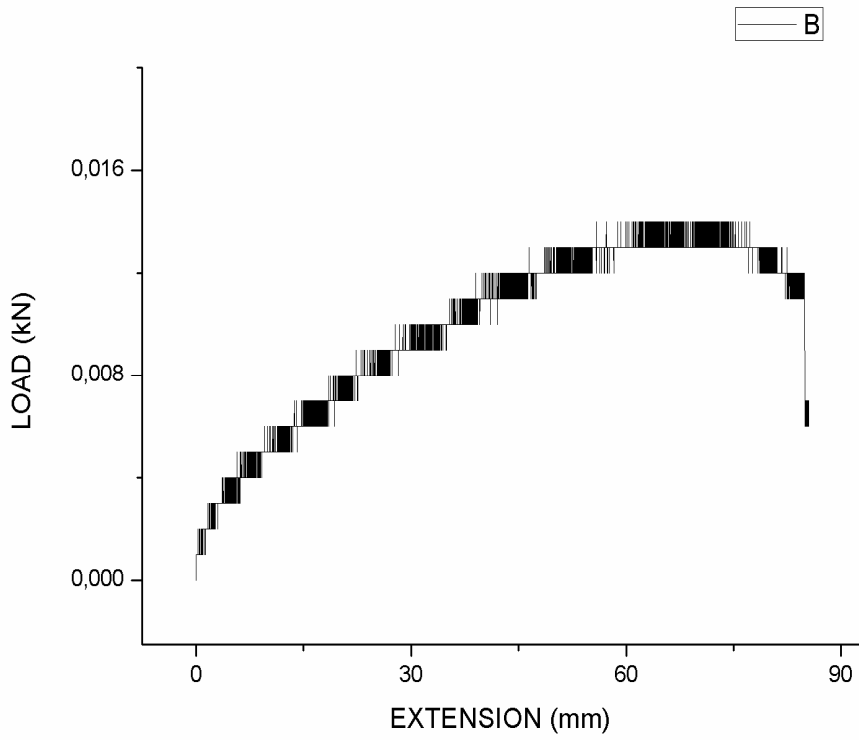
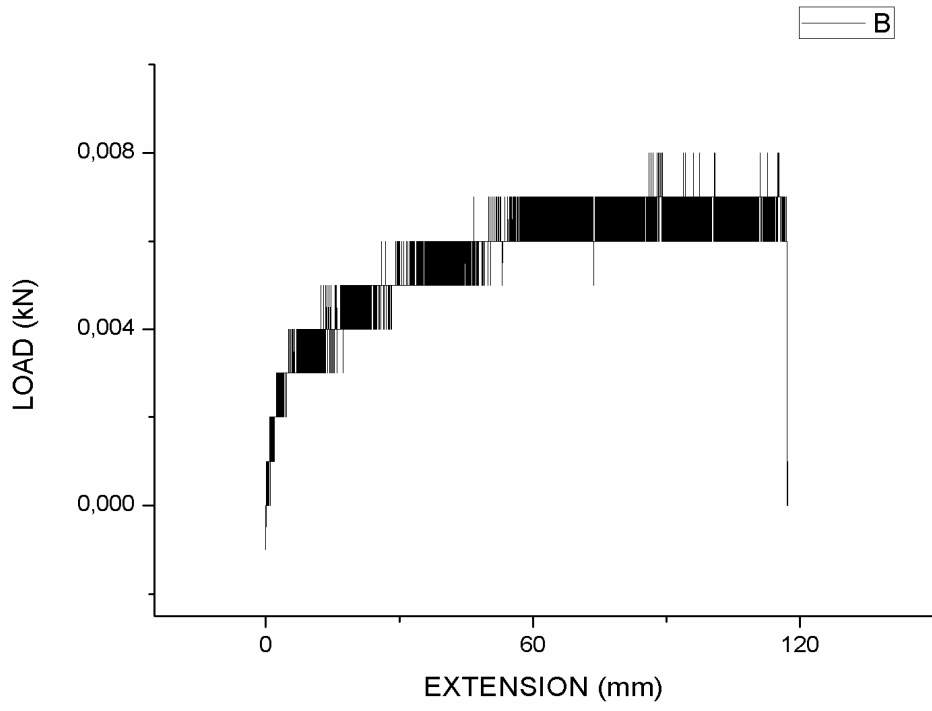
Σκοπός του πειράματος ήταν να παρατηρήσουμε το κατά πόσο η γήρανση σε δοκίμια πολυαιθυλενίου τα οποία ήταν τοποθετημένα στον θάλαμο επιταχυνόμενης γήρανσης Suntest CPS θα επηρεάσει την αντοχή τους υπό την επίδραση εφελκυστικής καταπόνησης. Τα δοκίμια πριν εισαχθούν στο εσωτερικό του φούρνου γήρανσης, καταπονήθηκαν σε μονοαξονικό εφελκυσμό, στην μηχανή εφελκυσμού Instron για να δούμε το αν και κατά πόσο παρουσιάζουν ομοιόμορφη συμπεριφορά σε αυτή την καταπόνηση, μελετώντας την τάση θραύσης τους καθώς και την επιπλέον επιμήκυνση, σε σχέση με το φυσικό τους μήκος, που είχαν υποστεί.

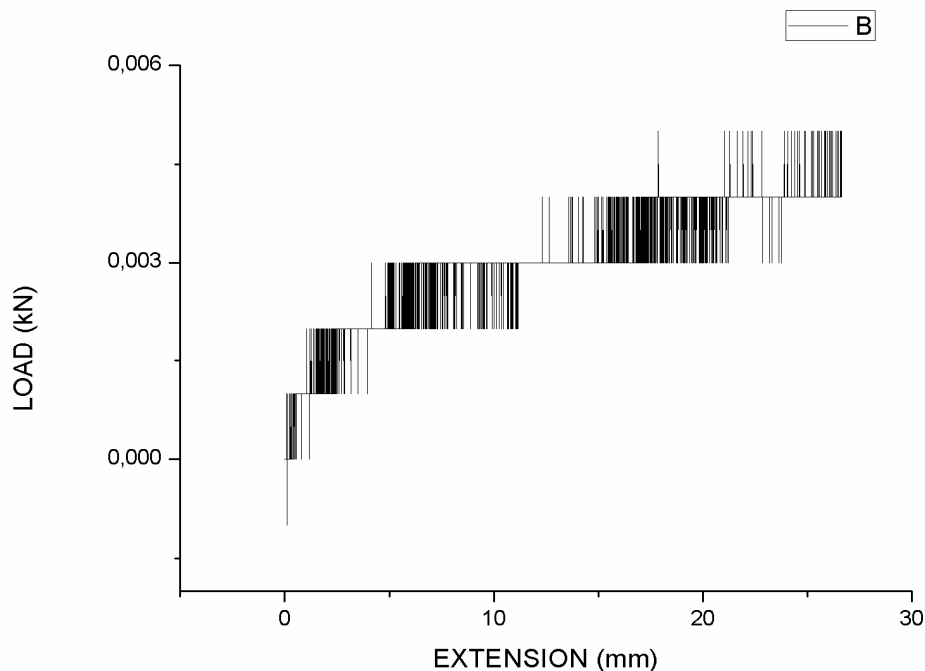
Το πείραμα εφελκυσμού έγινε ενδεικτικά για πέντε δοκίμια με μήκος 13,5 cm και πλάτος 1,5 cm το καθένα, ενώ η ταχύτητα ήταν 5 mm/min, και τα αποτελέσματα που πήραμε ήταν τα εξής:

Πείραμα εφελκυσμού πέντε μη γηρασμένων δοκιμίων πολυαιθυλενίου στη μηχανή Instron		
Αριθμός δοκιμίου	Φορτίο θραύσης (N)	Επιμήκυνση (mm)
1 ^ο δοκίμιο	16	111,4
2 ^ο δοκίμιο	8	100,2
3 ^ο δοκίμιο	7	117,1
4 ^ο δοκίμιο	14	84,91
5 ^ο δοκίμιο	6	75,8

Με το πρόγραμμα LabView πήραμε τα δεδομένα από το πείραμα του εφελκυσμού για τα δοκίμια μας που έγινε με την μηχανή Instron. Τα δεδομένα αυτά εισήχθησαν στο λογισμικό Origin και προέκυψαν οι παρακάτω γραφικές παραστάσεις:







Στο φούρνο γήρανσης τοποθετήθηκαν 12 δοκίμια πολυαιθυλενίου ίδιων διαστάσεων με αυτά που δοκιμάστηκαν στο πείραμα του μονοαξονικού εφελκυσμού. Ο φούρνος περιείχε δυο σωληνάρια όπου το ένα ήταν συνδεδεμένο με την βρύση, έτσι ώστε να παρέχεται νερό στο σύστημα μας και να έχουμε την αποφυγή ανάπτυξης μεγάλων θερμοκρασιών, ενώ το άλλο έριχνε το νερό στο νεροχύτη για να ολοκληρωθεί η διαδικασία ψύξης. Τα δοκίμια έμειναν συνολικά 25 ώρες σε διάστημα 6 ημερών (10/03/2011 – 18/03/2011) διάρκεια που αντιστοιχεί σε 30 ημέρες κανονικό χρόνο έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία (4-8 μέρες έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία αντιστοιχούν σε 5 ώρες στο φούρνο γήρανσης)

Από τα δώδεκα συνολικά δοκίμια που βρίσκονταν στον φούρνο γήρανσης, τα πέντε από αυτά δοκιμάστηκαν σε πείραμα εφελκυσμού και τα δεδομένα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πείραμα εφελκυσμού πέντε γηρασμένων δοκιμίων (για χρονική διάρκεια ενός μήνα) πολυαιθυλενίου στη μηχανή Instron		
Αριθμός γηρασμένου δοκιμίου	Φορτίο θραυσσης (N)	Επιμήκυνση (mm)
1 ^ο δοκιμιο	12	95,5
2 ^ο δοκιμιο	10	95,1
3 ^ο δοκιμιο	7	77,9
4 ^ο δοκιμιο	9	126,7
5 ^ο δοκιμιο	10	102,9

Παρατηρούμε, σε σύγκριση με τον προηγούμενο πίνακα για τα μη γηρασμένα δοκίμια, ότι η επιμήκυνση των γηρασμένων δοκιμίων πολυαιθυλενίου είναι μικρότερη. Η γήρανση επέδρασε στην δομή τους και επηρέασε την συνοχή των ενδομοριακών δεσμών στο εσωτερικό τους έχοντας ως αποτέλεσμα την μείωση της αντοχής τους στον εφελκυσμό.

Η παρατήρηση που μπορούμε να κάνουμε όσον αφορά και τους δυο προηγούμενους πίνακες είναι η απόκλιση στο φορτίο θραύσης για το κάθε δοκίμιο ξεχωριστά. Αυτό οφείλεται στην ανομοιομορφία του υλικού λόγω της δομής του και στο ότι η θραύση κάθε δοκιμίου συνέβαινε σε διαφορετικό σημείο του υλικού κάθε φορά. Όσα δοκίμια έσπαγαν στις άκρες δεχόντουσαν μικρό φορτίο, ενώ όσα έσπαγαν στο κέντρο το φορτίο θραύσης τους ήταν αρκετά μεγαλύτερο.

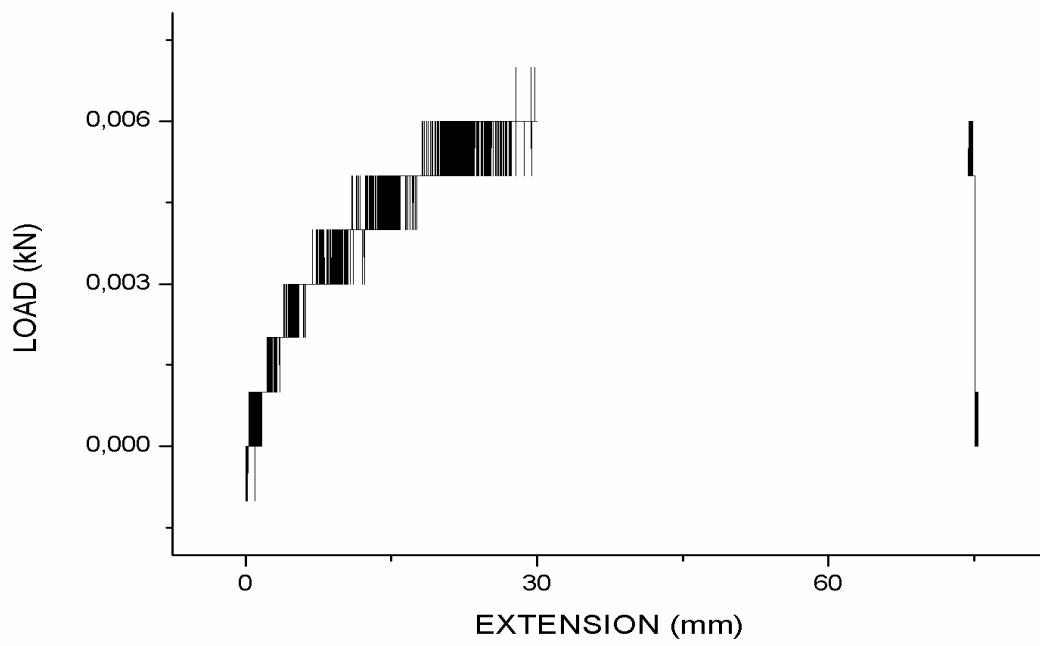
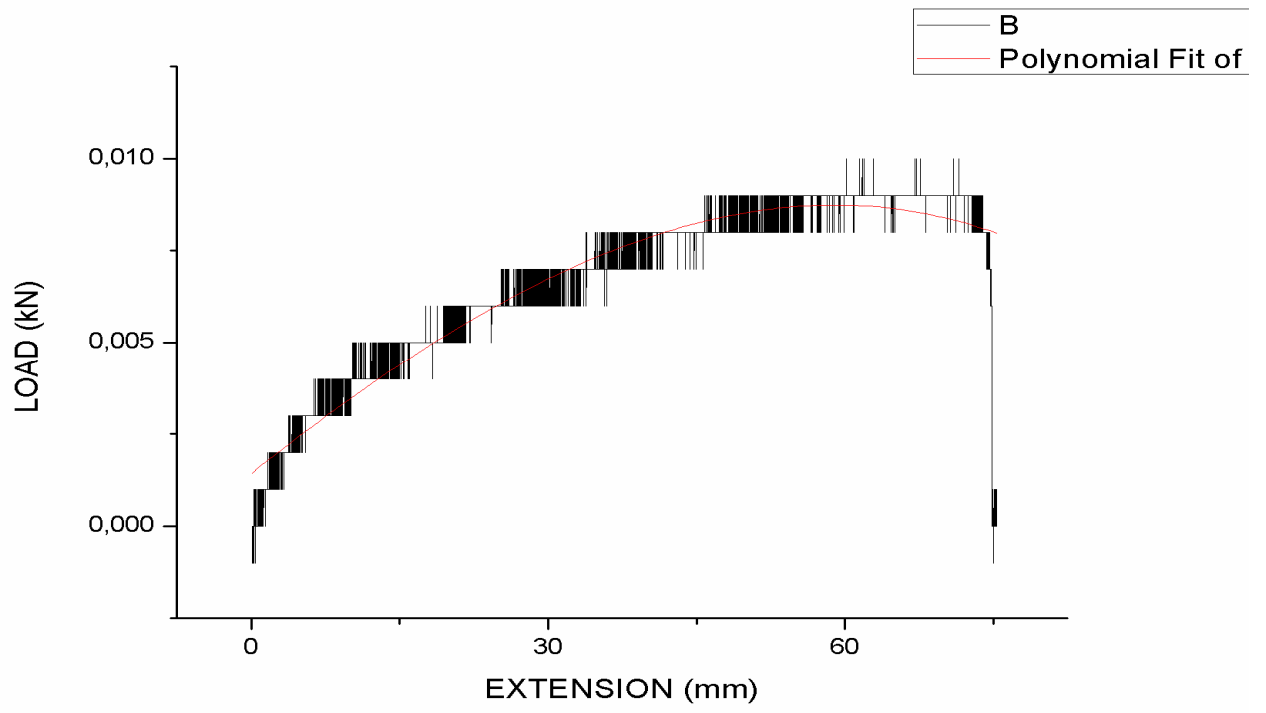
Για να παρατηρήσουμε το αν η διάρκεια της γήρανσης παίζει ρόλο στην αντοχή των δοκιμίων σε εφελκυσμό, έξι από τα δώδεκα προηγούμενα γηρασμένα δοκίμια εισήχθησαν στον θάλαμο και υπέστησαν γήρανση για πραγματικό χρονικό διάστημα μισού μήνα (δηλαδή 12,5 ώρες κλεισμένα στον θάλαμο).

Στη συνέχεια δύο από τα έξι συνολικά, γηρασκόμενα δοκίμια για ενάμισι μήνα, δοκιμάστηκαν σε πείραμα αντοχής σε μονοαξονικό εφελκυσμό με την μηχανή Instron. Σκοπός μας ήταν η σύγκριση των γηρασκόμενων δοκιμίων με των προηγούμενων για να παρατηρήσουμε τυχόν αλλαγές στην συμπεριφορά τους στην καταπόνηση του εφελκυσμού. Τα αποτελέσματα που πήραμε ήταν τα εξής :

Πείραμα εφελκυσμού δύο γηρασμένων δοκιμίων (για χρονική διάρκεια ενάμισι μήνα) πολυαιθυλενίου στη μηχανή Instron		
Αριθμός γηρασκόμενου δοκιμίου	Φορτίο θραύσης (N)	Επιμήκυνση (mm)
1 ^ο δοκίμιο	9	74,8
2 ^ο δοκίμιο	9	75

Παρατηρούμε ότι η ποσοστιαία αλλαγή των δοκιμίων στην αντοχή τους στον εφελκυσμό μετά από την γήρανση ενάμισι μήνα σε σχέση με τα αρχικά είναι 24,7% ενώ σε σχέση με τα γηρασμένα για διάρκεια ενάμισι μήνα είναι περίπου 23%.

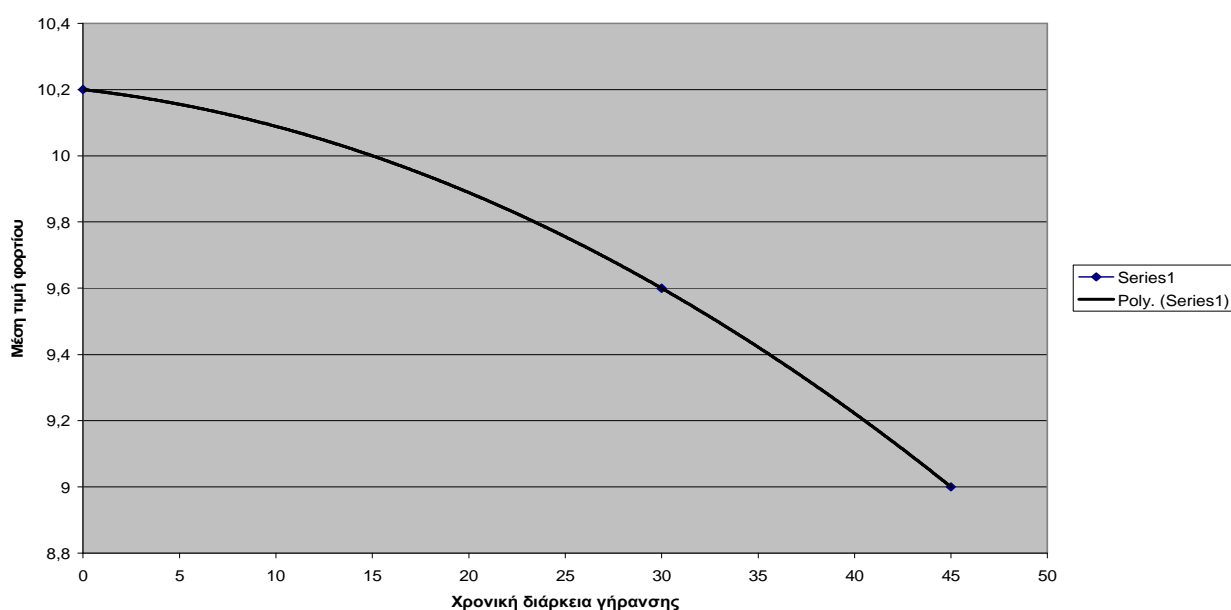
Στα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζονται οι γραφικές παραστάσεις φορτίου σε συνάρτηση με την επιμήκυνση για κάθε γηρασμένο για ενάμισι μήνα δοκίμιο, οι οποίες έγιναν με την βοήθεια του λογισμικού Origin.



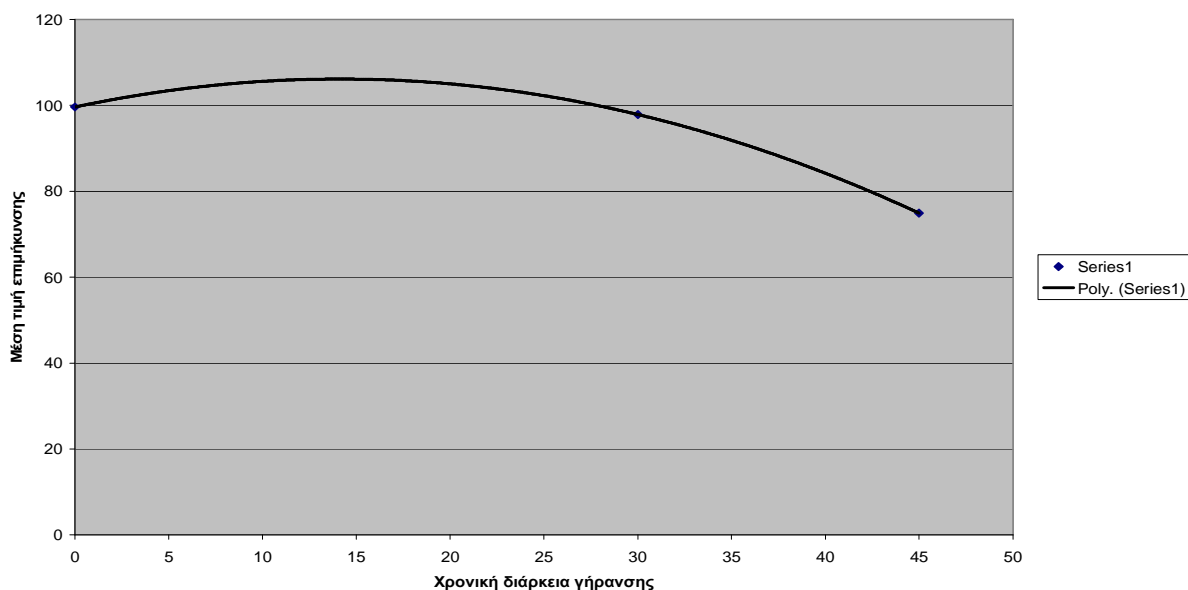
Τέλος με την βοήθεια του Excel γίνανε οι γραφικές παραστάσεις για τις μέσες τιμές του φορτίου και της επιμήκυνσης συναρτήσει της χρονικής διάρκειας της γήρανσης. Οι τιμές αυτές παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί και κατόπιν οι γραφικές παραστάσεις:

Χρονική διάρκεια γήρανσης (μέρες real time)	Μέση τιμή φορτίου (N)	Μέση επιμήκυνση (mm)
0	10,2	99,62
30	9,6	97,88
45	9	74,9

Μέση τιμή φορτίου συναρτήσει χρονικής διάρκειας γήρανσης



Μέση επιμήκυνση συναρτήσει χρονικής διάρκειας γήρανσης



Συμπεράσματα

Το συμπέρασμα που προκύπτει από τα παραπάνω πειράματα εφελκυσμού που έγιναν με τα δοκίμια πολυαιθυλενίου πριν και μετά την γήρανση τους είναι η μειωμένη αντοχή τους στον εφελκυσμό. Η γήρανση που υφίστανται τα δοκίμια επηρεάζει την δομή τους και εξασθενεί τις ενδομοριακές δυνάμεις που συγκρατούν τα μόρια του πολυαιθυλενίου μεταξύ τους.

Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα δοκίμια να επιμηκύνονται λιγότερο, μέχρι να υποστούν θραύση. Όσο πιο γηρασμένο είναι το δοκίμιο τόσο μικρότερη είναι η αντοχή του στην εφελκυστική καταπόνηση που δέχεται. Τα δύο δοκίμια που υπέστησαν γήρανση για ενάμισι μήνα παρουσίασαν αισθητά μειωμένη αντοχή με τα αντίστοιχα γηρασμένα για ένα μήνα, καθώς και με τα μη γηρασμένα. Η ποσοστιαία μεταβολή για την αντοχή τους στον εφελκυσμό που υπολογίστηκε παραπάνω είναι αρκετά σημαντική, γεγονός που δείχνει την επίδραση της θερμότητας, της ακτινοβολίας, της υγρασίας και άλλων περιβαλλοντικών παραγόντων σε υλικά κατασκευασμένα από πολυαιθυλένιο. Άρα μπορούμε να καταλάβουμε ότι γήρανση και αντοχή σε εφελκυσμό, και γενικότερα σε μηχανικές καταπονήσεις, είναι δυο μεγέθη που συνδέονται ανάλογα.

Τέλος από τις προσεγγίσεις με πολυώνυμα που φαίνονται στις γραφικές παραστάσεις παρατηρούμε ότι η κλίση της καμπύλης στα γηρασμένα για ένα μήνα δοκίμια πολυαιθυλενίου είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τα αντίστοιχα γηρασμένα για ενάμιση μήνα. Η κλίση της καμπύλης στα διαγράμματα αυτά μας δείχνει το μέτρο ελαστικότητας του υλικού, συνεπώς καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι τα δοκίμια που ήταν περισσότερο γηρασμένα παρουσίασαν μείωση στο μέτρο ελαστικότητας τους.

Βιβλιογραφία

1. Μετάδοση Θερμότητας με Φυσική Μεταφορά και με Ακτινοβολία, Π. Μαύρος
2. The effect of accelerated aging on the surface mechanical properties of polyethylene, Andreia C. Tavares, Joseane V. Gulmine, Carlos M. Lepienski, Leni Akcelrud
3. The photoaging of polyethylene and its effect of polyethylene adhesion to steel, V. L. Vakula and E. B. Orlov
4. Ανάκλαση και Διάθλαση φωτός, Παναγιώτης Μοίρας
5. Αλουμίνιο και ανταγωνιστικά υλικά, Ελληνική Ένωση Αλουμινίου
6. Ανάκλαση και Διάχυση του φωτός, ΕΚΦΕ Χανίων
7. Natural vs Artificial aging : use of diffusion theory to model asphalt and fiberglass-reinforced shingle performance, Louis Terrenzio, John Harrison, David Nester
8. Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Μετάδοση Θερμότητας, Ιωάννης Νικολός Χανιά 2007
9. Aging problems of plastics V. T Wallder
10. Πανεπιστήμιο Αιγαίου, τμήμα περιβάλλοντος, Ηλιακή Ενέργεια, Δίας Χαραλαμπίδης
11. The cross-linked ultra high molecular weight polyethylene, Fu-Wen Shen, Harry McKellop
12. en.wikipedia.org/
13. www.physics4u.gr/
14. www.testedandproven.com/
15. ieeexplore.ieee.org > [Browse](#) > [Conferences](#) > [Electrical Insulation and Diel](#)

16. <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=909>
17. [www.fibtex.lodz.pl/file-Fibtex_\(onzjm1yz63uoo81\).pdf-FTEE_84_60.pdf](http://www.fibtex.lodz.pl/file-Fibtex_(onzjm1yz63uoo81).pdf-FTEE_84_60.pdf)
18. www.pslc.ws/macrog/pe.htm
19. www.wisegeek.com
20. www.naa.gov.au/images/batterham-rai_tcm2-13043.pdf
21. onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/app.11613/pdf
22. www.ehow.com/about_4614878_what-lig..
23. <http://www.owl.net.rice.edu/~dodds/Files332/diffusion.pdf>