



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΨΥΚΤΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
ΑΠΑΓΩΓΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ Η/Υ



Φοιτητές: Τσερέπας Στυλιανός
Χριστοδουλάκης Δημήτριος

Επιβλέπων καθηγητής: Κουριδάκης Στυλιανός

Χανιά, Απρίλιος 2011

Πρόλογος

Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του 20ου αιώνα είναι αναμφισβήτητη η εμφάνιση και η τεράστια ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών (Η/Υ). Σήμερα υπάρχουν εκατομμύρια υπολογιστές σε όλο τον κόσμο παρόλο που δεν έχουν περάσει ούτε 50 χρόνια από την ημέρα που βγήκε στο εμπόριο ο πρώτος ηλεκτρονικός υπολογιστής (1951). Από την ημέρα αυτή έχει αναπτυχθεί μια τεράστια βιομηχανία υπολογιστών, η οποία μπορεί πλέον να συναγωνισθεί αυτή των αυτοκινήτων. Οι επιπτώσεις αυτού του φαινομένου στον οικονομικό, κοινωνικό και πολιτικό τομέα είναι σημαντικές και αποτελούν αντικείμενο πολλών ερευνών στις μέρες μας.

Πώς όμως ξεκίνησε αυτή η επανάσταση και πώς έφτασε σ' αυτό το τεράστιο σημείο ανάπτυξης; Η ιστορία των υπολογιστικών μηχανών μπορεί να χωριστεί σε τρεις μεγάλες περιόδους: αυτή των μηχανικών κατασκευών, αυτή των αυτόματων υπολογιστικών μηχανών και αυτή των ηλεκτρονικών υπολογιστών εγγεγραμμένου προγράμματος. Οι δύο πρώτες περιόδους αποτελούν κατά κάποιο τρόπο την «προϊστορία», ενώ η τρίτη αναφέρεται στην εξέλιξη των υπολογιστών όπως τους γνωρίζουμε σήμερα.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αναφέρεται στη συναρμολόγηση μιας τέτοιας σύγχρονης μονάδας ηλεκτρονικού υπολογιστή, όπου παράλληλα εγκαταστάθηκε αυτοσχέδιο σύστημα υδρόψυξης και ενός ηλεκτρονικού κυκλώματος ελέγχου για την ασφάλεια του συστήματος.

Τις θερμές μας ευχαριστίες οφείλουμε σε δύο κυρίως άτομα, τον Γρυλλάκη Μανώλη και τον Τσιτσιλώνη Σωτήρη, χωρίς τη συμβολή των οποίων η πτυχιακή αυτή δε θα μπορούσε να φτάσει σε τέτοιο επίπεδο.

Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον επιβλέπων καθηγητή κ. Κουριδάκη Στυλιανό, τόσο για την ανάθεση του θέματος της εργασίας, όσο και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια αυτής.

Τέλος, ευχαριστούμε τις οικογένειες μας για την στήριξη τους καθ' όλη την διάρκεια της φοιτητικής μας πορείας.

Περιεχόμενα

Πρόλογος	i
Πίνακας Εικόνων	iii
Περίληψη	1
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή και γενικά χαρακτηριστικά διαφόρων τύπων ψύξης H/Y	2
1.1 Εισαγωγή	2
1.2 Γενικά για την ψύξη ενός H/Y	2
1.3 Τύποι ψύξεων	3
1.3.1 Αερόψυξη (air-cooling)	3
1.3.2 Υδρόψυξη (Water Cooling)	12
1.3.3 Ακραίοι τρόποι ψύξης (Extreme Cooling).....	20
Κεφάλαιο 2: Υλικό H/Y & Υδρόψυξης – Διαδικασία Κατασκευής	38
2.1 Υλικό (hardware) H/Y.....	38
2.2 Υλικά Υδρόψυξης	52
2.3 Στάδια κατασκευής	62
Κεφάλαιο 3: Αποτελέσματα Μετρήσεων	73
3.1 Ψύξη με χρήση εργοστασιακής ψύκτρας	74
3.2 Ψύξη με χρήση βελτιωμένης ψύκτρας	75
3.3 Ψύξη με χρήση συστήματος υδρόψυξης.....	76
3.4 Σύγκριση μεθόδων ψύξης	77
Κεφάλαιο 4: Συμπεράσματα και Προτάσεις	79
Βιβλιογραφία	80

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1.1 : Τυπική ψύκτρα του εμπορίου από χαλκό	4
Εικόνα 1.2 : Θερμοαγώγιμη πάστα της Arctic Silver	5
Εικόνα 1.3 : Ανεμιστήρας επεξεργαστή.....	9
Εικόνα 1.4 : Ανεμιστήρας κάρτας γραφικών	9
Εικόνα 1.5 : Ανεμιστήρας chipset.....	9
Εικόνα 1.6 : Ανεμιστήρας σκληρού δίσκου.....	10
Εικόνα 1.7 : Ανεμιστήρας μνήμης	10
Εικόνα 1.8 : α) Sleeve bearing, β) Rifle bearing, γ) Fluid bearing δ) Ball bearing	11
Εικόνα 1.9 : Υδρόψυξη ηλεκτρονικού υπολογιστή (Water Cooling).....	14
Εικόνα 1.10 : α) Koolance Exos, β) Corsair HydroCool 200, γ) Thermaltake Aquarius 3, δ) Corsair H70	15
Εικόνα 1.11 : Άλατα πάνω σε μπλοκ λόγω χρήσης μη-αποσταγμένου νερού.....	16
Εικόνα 1.12 : Bong.....	17
Εικόνα 1.13 : Thermo-Electric Cooler (Πελτιέρ)	19
Εικόνα 1.14 : Thermoelectric Cooler (Πελτιέρ)	20
Εικόνα 1.15 : Τρίμματα ξηρού πάγου 3mm (αριστερά) και 16mm (δεξιά).....	21
Εικόνα 1.16 : Διάγραμμα αλλαγής φάσεων του CO ₂ συναρτήσει της πίεσης και της θερμοκρασίας.....	21
Εικόνα 1.17 : Ολοκληρωμένο κάνιστρο για το CPU και τη VGA.	22
Εικόνα 1.18 : Βάση κάνιστρου από χαλκό.....	22
Εικόνα 1.19 : Υποδοχή socket, όπου διακρίνονται και τα pins (τρύπες).....	24
Εικόνα 1.20 : Μονωτική τσίχλα (sealing string).....	25
Εικόνα 1.21 : Μόνωση της περιοχής γύρω από το socket	25
Εικόνα 1.22 : Στεγανοποίηση του κανίστρου	26
Εικόνα 1.23 : Φυσητήρας (blower) Hitachi.	26
Εικόνα 1.24 : Στεγανοποίηση της μητρικής με αυτοκόλλητο armafex	27
Εικόνα 1.25 : Υλικά κατασκευής ενός Phase Change	29
Εικόνα 1.26 : Τοποθέτηση και στήριξη πάνω στον επεξεργαστή.....	29
Εικόνα 1.27 : Συμβατικός συμπιεστής.....	30
Εικόνα 1.28 : Συμπιεστής Rotary.....	30
Εικόνα 1.29 : Φίλτρο λαδιού (Oil Filter)	30
Εικόνα 1.30 : Συμπυκνωτές (Condenser).....	31
Εικόνα 1.31 : Εσωτερική δομή εξατμιστή	31
Εικόνα 1.32 : Σωληνώσεις από χαλκό	32
Εικόνα 1.33 : Τριχοειδής σωλήνες.....	32
Εικόνα 1.34 : Εύκαμπτος σωλήνας (flexible pipe)	32
Εικόνα 1.35 : Armafex τυποποιημένο σε διάφορα προϊόντα.....	33
Εικόνα 1.36 : Κύκλος ψύξης του συστήματος Phase – Change	34
Εικόνα 1.37 : Υλοποίηση κατασκευής Phase-Change.....	35

Εικόνα 1.38 : Γέμισμα του κάνιστρου με LN ₂ για την ψύξη ενός επεξεργαστή	36
Εικόνα 2.1 : Μέρη από τα οποία απαρτίζεται ένας H/Y	39
Εικόνα 2.2 : Η μητρική πλακέτα του H/Y μας.....	40
Εικόνα 2.3 : Ο επεξεργαστής του H/Y μας.....	41
Εικόνα 2.4 : Οι μνήμες RAM του H/Y μας	43
Εικόνα 2.5 : Η κάρτα γραφικών του H/Y μας.....	44
Εικόνα 2.6 : Το τροφοδοτικό του H/Y μας	46
Εικόνα 2.7 : Ο σκληρός δίσκος του H/Y μας (εμπρός και πίσω όψη).....	47
Εικόνα 2.8 : Το εσωτερικό ενός τυπικού σκληρού δίσκου	48
Εικόνα 2.9 : α) Συνολική άποψη και β) Εσωτερικό μιας συσκευής CD-DVD.....	50
Εικόνα 2.10 : Ο ελεγκτής ψύξης t-Balancer big NG.....	51
Εικόνα 2.11 : Το extension set analog sensor hub που χρησιμοποιήθηκε	52
Εικόνα 2.12 : Απλοποιημένη συνδεσμολογία συστήματος υδρόψυξης.....	53
Εικόνα 2.13 : Ψυγείο που χρησιμοποιήθηκε στην υδρόψυξη.....	54
Εικόνα 2.14 : Διάταξη ανεμιστήρων ψυγείου που χρησιμοποιήθηκαν	55
Εικόνα 2.15 : Συνήθη λάστιχα και σωληνώσεις μιας τυπικής υδρόψυξης	55
Εικόνα 2.16 : Το tank που χρησιμοποιήθηκε στην υδρόψυξη.....	56
Εικόνα 2.17 : Η αντλία που χρησιμοποιήθηκε στην υδρόψυξη.....	57
Εικόνα 2.18 : Επιμέρους κομμάτια ενός waterblock	58
Εικόνα 2.19 : Κυρίαρχοι τύποι εσωτερικού σχεδιασμού waterblocks.....	59
Εικόνα 2.20 : Το μπλοκ που χρησιμοποιήθηκε στην υδρόψυξη.....	59
Εικόνα 2.21 : Μετρητής ροής (T-Flow) που χρησιμοποιήθηκε.....	60
Εικόνα 2.22 : Ο αισθητήρας θερμοκρασίας νερού που χρησιμοποιήθηκε	60
Εικόνα 2.23 : Το κουτί που χρησιμοποιήθηκε από διάφορες οπτικές γωνίες.....	62
Εικόνα 2.24 : Το ψυγείο υδρόψυξης του H/Y μας.....	62
Εικόνα 2.25 : Το τανκ και η αντλία του H/Y μας	63
Εικόνα 2.26 : Το ρελέ του H/Y μας.....	63
Εικόνα 2.27 : Το τανκ, η αντλία και το μπλοκ του H/Y μας	64
Εικόνα 2.28 : Εγκατάσταση της μητρικής πλακέτας στο κουτί.....	64
Εικόνα 2.29 : Εγκατάσταση του επεξεργαστή πάνω στη μητρική πλακέτα	65
Εικόνα 2.30 : Στάδια εγκατάστασης μνημών RAM στη μητρική πλακέτα	65
Εικόνα 2.31 : Εγκατάσταση της κάρτας γραφικών στη μητρική πλακέτα	66
Εικόνα 2.32 : Εγκατάσταση του τροφοδοτικού στο κουτί.....	66
Εικόνα 2.33 : Εγκατάσταση του οπτικού μέσου αποθήκευσης στο κουτί.....	67
Εικόνα 2.34 : Εγκατάσταση του σκληρού δίσκου στο κουτί.....	67
Εικόνα 2.35 : Εφαρμογή της θερμοαγώγιμης πάστας πάνω στον επεξεργαστή	68
Εικόνα 2.36 : Τοποθέτηση της εργοστασιακής ψύκτρας πάνω στον επεξεργαστή	68
Εικόνα 2.37 : Εγκατάσταση-τοποθέτηση του συστήματος υδρόψυξης.....	69
Εικόνα 2.38 : Ενσωμάτωση του μετρητή ροής στο κύκλωμα υδρόψυξης.....	69
Εικόνα 2.39 : Ενσωμάτωση αισθητήρα θερμοκρασίας νερού στο κύκλωμα υδρόψυξης.....	70
Εικόνα 2.40 : Εγκατάσταση του t-Balancer στο σύστημά μας.....	70

Εικόνα 2.41 : Συνολική άποψη όπου φαίνονται: 1) ο ελεγκτής ψύξεως, 2) το t-Balancer και 3) ο μετρητής ροής.....	71
Εικόνα 2.42 : Τελική μορφή της κατασκευής.....	72
Εικόνα 3.1 : Λογότυπο προγράμματος OCCT	73
Εικόνα 3.2 : Διακύμανση θερμοκρασίας CPU με την εργοστασιακή ψύκτρα	74
Εικόνα 3.3 : Διακύμανση θερμοκρασίας CPU με χρήση της χάλκινης ψύκτρας ...	75
Εικόνα 3.4 : Διακύμανση θερμοκρασίας CPU με χρήση υδρόψυξης.....	76
Εικόνα 3.5 : Διάγραμμα σύγκρισης μεθόδων ψύξης	77

Περίληψη

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη εισαγωγή και έπειτα παρουσιάζονται τα γενικά και ειδικά χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπων ψύξης ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή (H/Y). Πιο συγκεκριμένα, αναλύονται: α) η αερόψυξη, β) η υδρόψυξη και γ) άλλοι τρόποι ακραίας ψύξης.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται το υλικό (hardware) που χρησιμοποιήθηκε για την όλη κατασκευή (συμπεριλαμβανομένου και των εξαρτημάτων του συστήματος υδρόψυξης), καθώς επίσης και τα στάδια κατασκευής-στησίματος του όλου εγχειρήματος.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα των διαφόρων μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν με τα διαφορετικά είδη ψύξης (εργοστασιακή αερόψυξη, βελτιωμένη αερόψυξη, υδρόψυξη) σε συνθήκες 100% στρεσαρίσματος του επεξεργαστή (CPU) με τη χρήση του ελεύθερου λογισμικού OCCT v3.1.0. Επίσης, γίνεται μια σύγκριση κόστους – αποδοτικότητας κάθε μίας εκ των τριών λύσεων που δοκιμάστηκαν.

Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο αναπτύσσονται συγκεντρωτικά κάποια συμπεράσματα γύρω από τα διάφορα είδη ψύξης που συναντώνται σε έναν H/Y.

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή και γενικά χαρακτηριστικά διαφόρων τύπων ψύξης Η/Υ

1.1 Εισαγωγή

Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής είναι μια μηχανή κατασκευασμένη κυρίως από ηλεκτρονικά κυκλώματα και δευτερευόντως από ηλεκτρικά και μηχανικά συστήματα, και έχει ως σκοπό να επεξεργάζεται πληροφορίες. Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής είναι ένα αυτοματοποιημένο, ηλεκτρονικό, ψηφιακό επαναπρογραμματιζόμενο σύστημα γενικής χρήσης το οποίο μπορεί να επεξεργάζεται δεδομένα βάσει ενός συνόλου προκαθορισμένων οδηγιών, των εντολών που συνολικά ονομάζονται πρόγραμμα.

Η τεχνολογία των ηλεκτρονικών υπολογιστών έχει αναπτυχθεί ραγδαία τα τελευταία εβδομήντα χρόνια. Από τις αρχές της δεκαετίας του 1940 μέχρι και σήμερα, βλέπουμε την αλματώδη ανάπτυξή τους, πράγμα που δικαιολογεί τη χρησιμότητα και αναγκαιότητα που έχει η συγκεκριμένη τεχνολογία στην ανθρωπότητα.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι υπολογιστών οι οποίοι διαφέρουν κατά το μέγεθος, τις δυνατότητες (επεξεργαστική ισχύς) και την αρχιτεκτονική τους, δηλαδή τον τρόπο που τα βασικά τους μέρη συνδέονται και συνεργάζονται μεταξύ τους. Στην πιο διαδεδομένη κατηγορία υπολογιστών ανήκουν οι μικροϋπολογιστές.

1.2 Γενικά για την ψύξη ενός Η/Υ

Όπως είναι φυσικό, οι υπολογιστές ακόμη και στη σημερινή «τελειοποιημένη» μορφή τους, έχουν κάποια αδύνατα σημεία. Αυτές οι αδυναμίες εντοπίζονται κυρίως στα εξαρτήματα που αποτελούν έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή και ειδικότερα στη θερμότητα που εκλύουν αυτά κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους. Το φαινόμενο εντοπίζεται εντονότερα στους επεξεργαστές και στις κάρτες γραφικών (που αποτελούν τα πιο ενεργοβόρα μέρη ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή), ενώ ακολουθούν

τα chipsets, οι μνήμες και οι σκληροί δίσκοι, αναλόγως τη σύνθεση του εκάστοτε ηλεκτρονικού υπολογιστή (H/Y).

Οι επιπτώσεις αυτού του φαινομένου στην εύρυθμη λειτουργία του υπολογιστή είναι σημαντικές. Η απόδοση του επεξεργαστή και όλου του συστήματος μειώνεται αισθητά και σε ακραίες περιπτώσεις μπορεί να έχουμε και καταστροφή αυτού. Η αντιμετώπιση λοιπόν αυτού του προβλήματος έρχεται με την εφαρμογή κάποιων συστημάτων ψύξης, ώστε τα εξαρτήματα να διατηρούνται σε μια ικανή θερμοκρασία αποδοτικής λειτουργίας.

Το ερέθισμα για την εκπόνηση της εργασίας αυτής, προέρχεται από την ανάγκη για αποτελεσματικότερη ψύξη της ολοένα και αυξανόμενης θερμότητας που εκλύουν οι σημερινοί επεξεργαστές. Η ανάγκη αυτή, πριν λίγα χρόνια δεν υπήρχε, αφού οι συχνότητες λειτουργίας των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων διατηρούνταν σε χαμηλά επίπεδα (μερικές εκατοντάδες MHz). Λόγω αυτού, τα συστήματα ψύξης με νερό, έκαναν την πρώτη τους εμφάνιση μόλις πριν λίγα χρόνια.

Η καλύτερη ψύξη των ολοκληρωμένων, οδηγεί στην πιο σταθερή λειτουργία τους, στην παράταση του κύκλου ζωής τους και στην ικανότητα να αυξάνουν την συχνότητα λειτουργίας τους. Μάλιστα, πολλές φορές η βελτίωση της υπάρχουσας ψύξης, πέρα από τη μείωση της θερμοκρασίας, μπορεί να επιφέρει και ελαχιστοποίηση του παραγόμενου θορύβου που προέρχεται από τον H/Y μας.

1.3 Τύποι ψύξεων

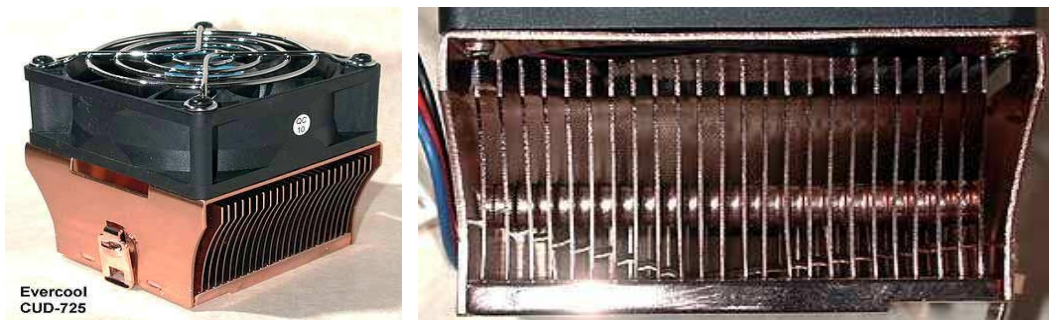
Στις επόμενες σελίδες, θα παρουσιάσουμε τις κατηγορίες ψύξης με σειρά από την παλαιότερη, στη νεότερη και από την απλούστερη, στην πιο σύνθετη. Η σειρά αυτή είναι: η ψύξη μέσω αέρα, η ψύξη μέσω νερού και τελικά οι ψύξεις που χρησιμοποιούν υλικά όπως ξηρό πάγο, φρέον και υγρό άζωτο (LN₂).

1.3.1 Αερόψυξη (air-cooling)

Έχοντας υπ' όψιν λοιπόν το φαινόμενο της υπερθέρμανσης των εξαρτημάτων ενός υπολογιστή και της μειωμένης απόδοσης που αυτή επιφέρει, αναζητήθηκε η εξεύρεση μιας λύσης που, αν δεν έλυne το πρόβλημα, τουλάχιστον βελτίωνε σε μεγάλο βαθμό τη λειτουργία και απόδοση του υπολογιστή.

Η λύση ήρθε με τη χρησιμοποίηση ψύκτρας, ενός θερμοαγωγίμου υλικού που έχει την ιδιότητα να απάγει τη θερμότητα από τα εξαρτήματα στα οποία εφάπτεται. Οι ψύκτρες λοιπόν είναι ειδικές κατασκευές που εφάπτονται στην εξωτερική επιφάνεια των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων με σκοπό την απομάκρυνση της εκλυόμενης από αυτά θερμότητας. Το υλικό και το σχήμα τους αλλάζει ανάλογα με τη χρήση και το κόστος. Αν γενικεύσουμε λίγο, θα μπορούσαμε να πούμε ότι όλες οι σημερινές ψύκτρες είναι κατασκευασμένες είτε από χαλκό, είτε από αλουμίνιο ή από μίγμα των δυο προηγούμενων υλικών. Επίσης, άλλη μια γενίκευση είναι ότι όλες έχουν τέτοιο σχήμα ώστε να μπορεί ο αέρας να περνά από μέσα του.

Στην Εικόνα 1.1 υπάρχει μια ψύκτρα κατασκευασμένη από χαλκό. Έχει δοθεί αρκετά μεγάλη σημασία στην λείανση των επιφανειών ώστε να μην υπάρχουν σημαντικές τριβές στην κίνηση του αέρα. Επίσης βλέπουμε ότι τα κενά μεταξύ των fins είναι αρκετά μεγάλα εξυπηρετώντας έτσι την ομαλότερη και καλύτερη ροή του αέρα.



Εικόνα 1.1 : Τυπική ψύκτρα του εμπορίου από χαλκό

Μεταξύ της ψύκτρας και του ολοκληρωμένου κυκλώματος που επιθυμούμε να ψύξουμε, μπαίνει ένα «κολλώδες» υλικό που ονομάζεται θερμοαγωγίμη πάστα (thermal compound). Σκοπός αυτού του υλικού είναι η καλύτερη και πιο σταθερή επαφή μεταξύ των δυο υλικών και η διευκόλυνση της μεταγωγής θερμότητας από το ολοκληρωμένο κύκλωμα στην ψύκτρα. Το μέγιστο πόσο θερμικής ενέργειας που μπορεί να μεταφερθεί από τον επεξεργαστή (ή γενικότερα το ολοκληρωμένο κύκλωμα) προς την ψύκτρα, επιτυγχάνεται όταν υπάρχει τέλεια επαφή μεταξύ των δυο επιφανειών. Όποτε η θερμοαγωγίμη πάστα έχει σαν στόχο να γεμίσει τα κενά που υπάρχουν στην επιφάνεια κάθε υλικού, καθώς οι επιφάνειες είναι τραχείς και δεν είναι τελείως λείες από την φύση τους. Αυτό συμβαίνει λόγω των ατελειών που δημιουργούνται κατά την κατασκευή των επιφανειών. Ανάμεσα σ' αυτά τα κενά που

δημιουργούνται υπάρχει αέρας, ο οποίος δεν είναι και το καλύτερο υλικό για τη μεταφορά της θερμότητας από τη μια επιφάνεια στην άλλη. Αυτό ακριβώς το ρόλο έχει η θερμοαγώγιμη πάστα. Προσπαθεί να γεμίσει τα κενά των δυο επιφανειών έτσι ώστε η εφαρμογή τους να είναι όσο το δυνατόν καλύτερη.

Παρακάτω στην Εικόνα 1.2 φαίνεται ένα σωληνάριο θερμοαγώγιμης πάστας ευρέως χρησιμοποιούμενο στην αγορά.



Εικόνα 1.2 : Θερμοαγώγιμη πάστα της Arctic Silver

Το βασικό συμπέρασμα λοιπόν έως τώρα, είναι ότι όσο καλύτερη ροή αέρα έχουμε στο εσωτερικό του κουτιού μας και όσο καλύτερη επαφή μεταξύ της ψύκτρας και του εκάστοτε ολοκληρωμένου έχουμε, τόσο μεγαλύτερη απαγωγή θερμότητας μπορούμε να επιτύχουμε, που σαν αποτέλεσμα έχει χαμηλότερες θερμοκρασίες των διαφόρων εξαρτημάτων και κατά συνέπεια καλύτερη απόδοση και μεγιστοποίηση του χρόνου ζωής αυτών. Τον πιο σημαντικό βέβαια ρόλο τον έχει η κατασκευή της ψύκτρας, που εξαρτάται από το σχήμα της, το οποίο ποικίλλει ανάλογα με τον κατασκευαστή και το ολοκληρωμένο για το οποίο προορίζεται, όσο και από το υλικό της.

Εδώ μπορούμε να διακρίνουμε τους δύο τρόπους με τους οποίους γίνεται η απαγωγή της θερμότητας από τα διάφορα εξαρτήματα:

- α) την παθητική ψύξη και
- β) την ενεργητική ψύξη

Παθητική ψύξη ονομάζουμε την ψύξη στην οποία η αποβολή της θερμότητας γίνεται μόνο με την ψύκτρα, χωρίς δηλαδή τη βοήθεια κάποιου ανεμιστήρα. Αυτού του είδους η ψύξη χαρακτηρίζεται από τις κακές επιδόσεις, αλλά από μηδενικά

επίπεδα θορύβου. Τέλος, αυτή η ψύξη έχει εφαρμογή συχνότερα σε μνήμες, σκληρούς δίσκους, παλιούς επεξεργαστές και κάρτες γραφικών (μιας και οι καινούργιες γενιές εκλύουν πολλά watt θερμότητας και αυτός ο τρόπος ψύξης δεν είναι σε θέση να αντεπεξέλθει), chipsets και τώρα τελευταία ακόμα και σε τροφοδοτικά.

Ενεργητική ψύξη ονομάζουμε τον τρόπο ψύξης στον οποίο εκτός από την ψύκτρα χρησιμοποιείται ένας ή περισσότεροι ανεμιστήρες να παρέχουν αέρα, ώστε η απαγωγή της θερμότητας να γίνεται με πολύ ταχύτερους ρυθμούς. Αυτός ο τρόπος ψύξης είναι ο πιο διαδεδομένος μιας και είναι αποδοτικός, φτηνός και καθόλου επικίνδυνος ταυτόχρονα. Ακόμα, ένας λόγος όμως που οι χρήστες επιλέγουν αυτόν τον τρόπο είναι ότι στην αγορά υπάρχουν δεκάδες λύσεις ανάλογα με τις ανάγκες και την τσέπη του καθενός. Βέβαια, εκτός από όλα αυτά τα θετικά έχει και ένα αρνητικό, τα υψηλά επίπεδα θορύβου όταν οι ανεμιστήρες λειτουργούν σε υψηλές στροφές.

Οι ανεμιστήρες ενός υπολογιστή χρησιμοποιούνται για ψυκτικούς σκοπούς, κυρίως σε συνδυασμό με ψύκτρες, για την ταχύτερη απαγωγή θερμότητας από τα ολοκληρωμένα που χρειάζονται ψύξη. Ανάλογα με την τοποθέτησή τους, οι ανεμιστήρες μπορούν είτε να εισάγουν ψυχρό αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον, είτε να εξάγουν τον ζεστό αέρα μέσα από το κουτί του υπολογιστή, είτε τέλος να προωθούν τον αέρα διαμέσου μιας ψύκτρας ώστε να «κρυώσει» γρηγορότερα και περισσότερο ένα συγκεκριμένο εξάρτημα του συστήματος. Η χρήση των ανεμιστήρων για την ψύξη του υπολογιστή είναι ένα παράδειγμα της ενεργού ψύξης.

Σε εξαρτήματα υπολογιστών όπως επεξεργαστές (CPU), κάρτες γραφικών (VGA), μνήμες (RAM), έχει αυξηθεί σημαντικά η απόδοσή τους καθώς επίσης και η κατανάλωση ενέργειας. Το ποσό της θερμότητας που παράγεται από αυτά τα εξαρτήματα ως παρενέργεια της λειτουργίας τους έχει επίσης αυξηθεί.. Αυτά τα εξαρτήματα πρέπει να διατηρούνται μέσα σε ένα καθορισμένο εύρος θερμοκρασίας, έτσι ώστε να αποφευχθεί η υπερθέρμανση, που σαν αποτέλεσμα μπορεί να έχει την αστάθεια λειτουργίας και διάφορες άλλες βλάβες (αναστρέψιμες και μη) που οδηγούν σε συντομότερη διάρκεια ζωής των εξαρτημάτων.

Ενώ σε παλαιότερους προσωπικούς υπολογιστές (PC) ήταν δυνατό στα περισσότερα (ή και σε όλα) τα εξαρτήματα να χρησιμοποιηθεί παθητική ψύξη, στα σύγχρονα pc, όλα σχεδόν τα εξαρτήματα απαιτούν ενεργητική ψύξη. Για το σκοπό

αυτό χρησιμοποιούνται ανεμιστήρες για την απομάκρυνση του θερμού αέρα και την εφαρμογή πιο δροσερού αέρα πάνω τους..

Το ενεργητικό σύστημα ψύξης για τους επεξεργαστές άρχισε να εμφανίζεται στον Intel 80486 και από το 1997 και μετά ήταν πρότυπο για όλους τους επεξεργαστές των επιτραπέζιων υπολογιστών. Η ύπαρξη ενός ανεμιστήρα που να απομακρύνει το θερμό αέρα από πίσω καθώς επίσης και η ύπαρξη ενός ακόμα που να επιβάλλει ψυχρό αέρα από το μπροστινό μέρος έγινε συνώνυμο με την έλευση του Intel Pentium® 4 στα τέλη του 2000. Ένας τρίτος ανεμιστήρας που συνήθως εφαρμόζεται στον επεξεργαστή είναι επίσης κοινό στοιχείο. Η μονάδα επεξεργασίας γραφικών (GPU – ο πυρήνας της κάρτας γραφικών) σε πολλές σύγχρονες κάρτες γραφικών απαιτεί επίσης την εφαρμογή ενεργητικής ψύξης, καθώς τα Watt που εκλύονται είναι αρκετά. Το northbridge chip που βρίσκεται ενσωματωμένο στη μητρική πλακέτα (motherboard) έχει είτε παθητική, είτε ενεργητική ψύξη. Όσο αφορά το τροφοδοτικό (PSU) ενός pc, σε αυτό χρησιμοποιείται σχεδόν πάντα ένας ανεμιστήρας για τη δημιουργία ρεύματος αέρα με σκοπό την αφαίρεση του θερμού αέρα από το εσωτερικό του. Άλλα εξαρτήματα, όπως οι σκληροί δίσκοι (HDD) και οι μνήμες (RAM), μπορεί επίσης να χρειάζονται ενεργή ψύξη, αν και από το 2007 και έπειτα αυτό άρχισε να θεωρείται ασυνήθιστο. Έτσι, ο συνολικός αριθμός ανεμιστήρων μέσα στο κουτί, μπορεί να κυμαίνεται από 0 έως και περίπου 8, ανάλογα με το υλικό και τις προτεραιότητες του εκάστοτε χρήστη.

Εφαρμογές ανεμιστήρα ψύξης

Τα εξαρτήματα στο εσωτερικό του κουτιού, δε μπορούν να διαλύσουν τη θερμότητα αποτελεσματικά αν ο περιβάλλοντας αέρας είναι πολύ ζεστός. Οι ανεμιστήρες ψύξης μεταφέρουν κρύο αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον, συνήθως από το μπροστινό μέρος του κουτιού και αφού ζεσταθεί από τη θερμότητα που εκλύεται εντός του κουτιού από τα διάφορα εξαρτήματα, τον αποβάλλουν από το πίσω μέσω του. Οι τυπικές διαστάσεις ενός ανεμιστήρα για H/Y, είναι συνήθως 80 mm, 92 mm ή 120 mm σε κάθε πλευρά. Πολύ συχνά χρησιμοποιούνται και ειδικά πορώδη φίλτρα αέρα μαζί με τους ανεμιστήρες για τη μη εισαγωγή σκόνης κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του.

Είδη ανεμιστήρων που χρησιμοποιούνται σε έναν Η/Υ:

- **CPU fan** (Ανεμιστήρας επεξεργαστή): Χρησιμοποιείται για την ψύξη της CPU (κεντρική μονάδα επεξεργασίας)
- **VGA fan** (Ανεμιστήρας κάρτας γραφικών): Χρησιμοποιείται για την ψύξη της μονάδας επεξεργασίας γραφικών ή τη μνήμη της κάρτας γραφικών. Στις παλαιότερες κάρτες γραφικών δεν ήταν απαραίτητοι λόγω της χαμηλής κατανάλωσης ισχύος τους. Οι πιο σύγχρονες κάρτες όμως χρειάζονται τον δικό τους ανεμιστήρα ψύξης. Μερικές από τις κάρτες με μεγάλη ισχύ είναι δυνατόν να παράγουν περισσότερη θερμότητα και από έναν επεξεργαστή (μέχρι και 300 Watt σε πλήρες φορτίο).
- **Chipset fan** (Ανεμιστήρας chipset): Χρησιμοποιείται για την ψύξη του northbridge μιας μητρικής πλακέτας.
- **Hard Disk Drive fan** (Ανεμιστήρας σκληρού δίσκου): Τοποθετείται συνήθως δίπλα σε ένα σκληρό δίσκο, διοχετεύοντας αέρα προς αυτόν, για να μην υπερθερμαίνεται. Αυτός ο ανεμιστήρας είναι αναγκαίος κυρίως σε δίσκους οι οποίοι δουλεύουν σε πολλές στροφές ανά λεπτό (rpm) ή είναι παλιάς τεχνολογίας και είναι ενεργοβόροι.
- **RAM fan** (Ανεμιστήρας μνημών): Χρησιμοποιείται κυρίως σε μνήμες οι οποίες δουλεύουν υπό την εφαρμογή αρκετής τροφοδοσίας ρεύματος (Volts) είτε για την επίτευξη υψηλής συχνότητας λειτουργίας (MHz) είτε χαμηλών χρονισμών (timings).
- **PSU fan** (Ανεμιστήρας τροφοδοτικού): Χρησιμοποιείται στα περισσότερα τροφοδοτικά που κυκλοφορούν σήμερα στο εμπόριο, από ένας μέχρι και δύο ανεμιστήρες για την όσο το δυνατόν ταχύτερη απομάκρυνση του θερμού αέρα από το εσωτερικό του τροφοδοτικού.



Εικόνα 1.3 : Ανεμιστήρας επεξεργαστή



Εικόνα 1.4 : Ανεμιστήρας κάρτας γραφικών



Εικόνα 1.5 : Ανεμιστήρας chipset



Εικόνα 1.6 : Ανεμιστήρας σκληρού δίσκου



Εικόνα 1.7 : Ανεμιστήρας μνήμης

Χαρακτηριστικά ανεμιστήρων

Το πλάτος και το ύψος των ανεμιστήρων (που κατά τη συντριπτική τους πλειοψηφία είναι τετράγωνοι) μετριέται σε χιλιοστά. Τα συνηθέστερα μεγέθη είναι: 60 mm, 80 mm, 92 mm και 120 mm.

Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός ανεμιστήρα, είναι η ροή αέρα που παράγουν, η οποία μετράται σε **κυβικά πόδια ανά λεπτό (cfm)** και η ταχύτητα περιστροφής τους σε **στροφές ανά λεπτό (rpm)**. Βέλτιστη λύση αποτελούν οι ανεμιστήρες οι οποίοι

πετυχαίνουν μεγάλη ροή αέρα, αλλά παράγουν λιγότερο θόρυβο (που μετράται σε ντεσιμπέλ, ή dB). Κάποιες φορές επιλέγονται οι ανεμιστήρες με ρυθμιζόμενη ταχύτητα (μέσω ενός ποτενσιόμετρου), οι οποίοι παράγουν λιγότερο θόρυβο όταν δεν απαιτείται επιπλέον ροή αέρα μειώνοντας το ρυθμό περιστροφής τους.

Η ταχύτητα του ανεμιστήρα μπορεί να ελέγχεται και να αυξομειώνεται με το χέρι (π.χ. με ένα απλό ποτενσιόμετρο ελέγχου), θερμικά μέσω του BIOS της μητρικής ή με ειδικό λογισμικό του υπολογιστή (software). Είναι δυνατό επίσης, ανεμιστήρες των 12V να λειτουργήσουν στα 5V, εις βάρος της ροής του αέρα, αλλά με πολύ μειωμένα επίπεδα θορύβου. Το είδος του στηρίγματος που χρησιμοποιείται σε έναν ανεμιστήρα μπορεί να επηρεάσει την απόδοσή του και την παραγωγή θορύβου.

Οι περισσότεροι ανεμιστήρες ενός Η/Υ ανήκουν σε έναν από τους παρακάτω τύπους:

- Οι ανεμιστήρες με **εξωτερικό δακτύλιο (sleeve bearing)**
- Οι ανεμιστήρες τύπου **Rifle bearing**
- Ανεμιστήρες **Fluid bearing**
- Ανεμιστήρες που χρησιμοποιούν ρουλεμάν (**Ball bearing**) και
- Ανεμιστήρες **Magnetic bearing**.



Εικόνα 1.8 : α) Sleeve bearing, β) Rifle bearing, γ) Fluid bearing δ) Ball bearing

Εναλλακτικές λύσεις

Αν ένας ανεμιστήρας δεν είναι επιθυμητός λόγω του θορύβου, της αξιοπιστίας, ή λόγω των περιβαλλοντικών ανησυχιών, υπάρχουν ορισμένες εναλλακτικές λύσεις:

- Πολλοί υπολογιστές, όπως οι απλοί προσωπικοί υπολογιστές, μπορούν να στηριχτούν μόνο στην παθητική ψύξη, χωρίς να απαιτηθεί η συνδρομή ενός ανεμιστήρα, ώστε να κρατηθούν τα εξαρτήματα σε συνήθεις θερμοκρασίες λειτουργίας.
- Χρησιμοποίηση μεγαλύτερων ψυκτρών.
- Φυσική ψύξη, η οποία αν σχεδιαστεί προσεκτικά, είναι σωστά προσανατολισμένη και γίνεται χρήση μεγάλων ψυκτρών στον επεξεργαστή μπορεί να εξαλείψει μέχρι και 100W θερμότητας.
- Η βύθιση της μητρικής πλακέτας σε λάδι παρέχει εξαιρετική φυσική ψύξη καθώς επίσης την προστατεύει από την υγρασία, χωρίς να υπάρχει η ανάγκη για ψύκτρες και ανεμιστήρες.

1.3.2 Υδρόψυξη (Water Cooling)

Τα τελευταία χρόνια, η χρήση της υδρόψυξης για την ψύξη διαφόρων μερών ενός Η/Υ γίνεται ολοένα και πιο δημοφιλής. Εφόσον υπάρξει σωστή εγκατάσταση και ο εξοπλισμός δεν είναι ελαττωματικός, ο συντελεστής επικινδυνότητας που διατρέχει η υλοποίηση ενός συστήματος υδρόψυξης είναι πολύ μικρός. Άλλωστε ακόμη και η χρήση συμβατικής αερόψυξης εγκυμονεί κινδύνους όπως για παράδειγμα βλάβη του ανεμιστήρα ή λανθασμένη τοποθέτηση ψύκτρας.

Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα Υδρόψυξης

Αξιοσημείωτα πλεονεκτήματα της υδρόψυξης σε σχέση με την συμβατική αερόψυξη είναι τα εξής:

1. Το νερό είναι πολύ καλύτερος αγωγός της θερμότητας σε αντίθεση με τον αέρα. Αυτό σημαίνει ότι η απορρόφηση καθώς επίσης και η έκλυση της θερμότητας επιτυγχάνεται με πιο γρήγορους ρυθμούς.
2. Στην υδρόψυξη η θερμότητα εκτελεί την διαδρομή από τα εξαρτήματα στο ψυγείο (radiator) και εν συνεχεία στο περιβάλλον. Αντίθετα στην διαδικασία της αερόψυξης η θερμότητα απελευθερώνεται απευθείας στον αέρα στο εσωτερικό

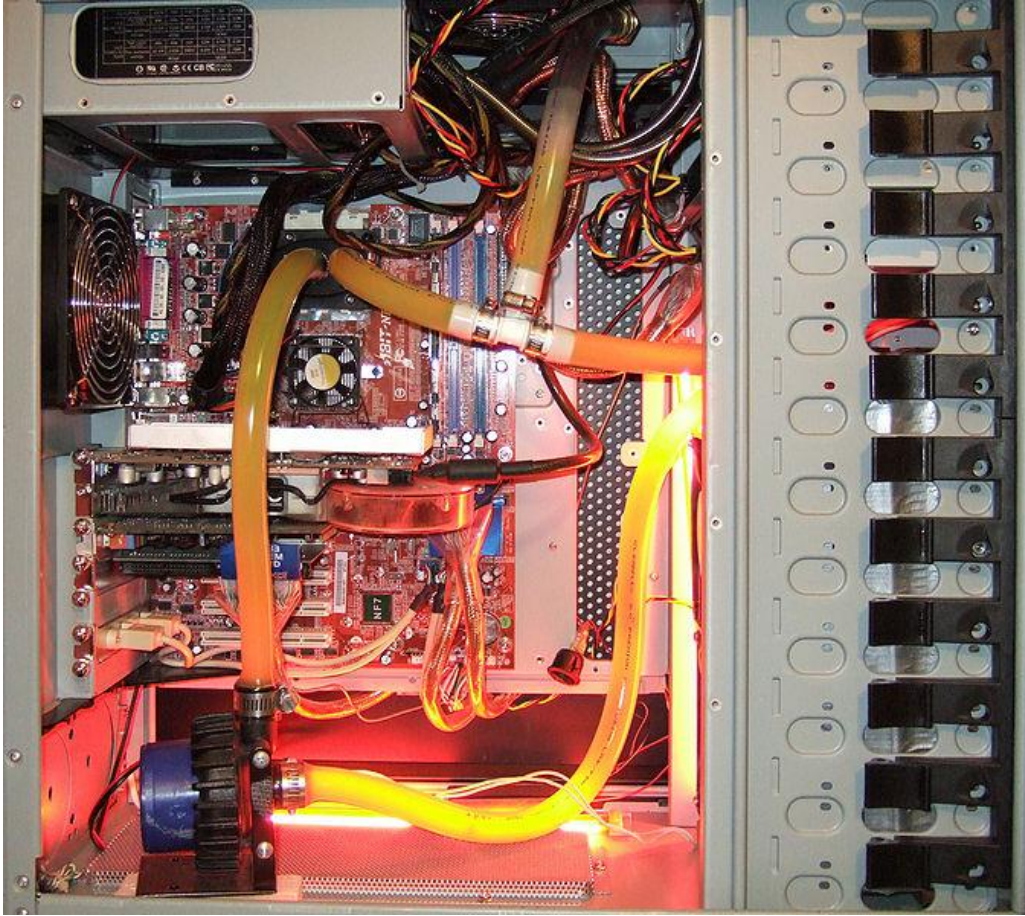
του κουτιού. Έτσι ειδικότερα σε κουτιά Η/Υ χωρίς σωστή ροή αέρα τα εξαρτήματα θερμαίνονται περισσότερο.

3. Στα περισσότερα υδρόψυκτα συστήματα δεν απαιτείται η χρήση πολύστροφων ανεμιστήρων. Επίσης υπάρχουν υλοποιήσεις υδροψύξεων όπου δεν χρησιμοποιούνται καθόλου ανεμιστήρες (αν και δεν είναι το ίδιο αποδοτικές). Έτσι επιτυγχάνεται η μείωση του θορύβου στο ελάχιστο.

Αξιοσημείωτα μειονεκτήματα της υδρόψυξης σε σχέση με την συμβατική αερόψυξη είναι τα εξής:

1. Οι διαστάσεις ενός συστήματος υδρόψυξης είναι αρκετά μεγαλύτερες σε σχέση με τις διαστάσεις των συστημάτων αερόψυξης καθώς επίσης αρκετά κουτιά χρειάζονται τροποποίηση ώστε να είναι κατάλληλα για την εγκατάσταση μιας υδρόψυξης.
2. Η διαδικασία επίτευξης ενός συστήματος υδρόψυξης είναι αρκετά πολύπλοκη και απαιτούνται βασικές γνώσεις και τεχνικές συντήρησης. Αντιθέτως, η εγκατάσταση της ψύκτρας είναι σαφώς πιο εύκολη.
3. Το κόστος της υδρόψυξης είναι αρκετά μεγαλύτερο σε σχέση με το κόστος της αερόψυξης. Αυτό όμως καθορίζεται από τις ανάγκες και τις ανάλογες επιλογές εξαρτημάτων των ενδιαφερόμενων.
4. Υπάρχει η πιθανότητα μιας ενδεχόμενης διαρροής νερού. Σε αυτή την περίπτωση μπορεί να καταστραφεί οποιοδήποτε ηλεκτρονικό εξάρτημα που απαρτίζει τον Η/Υ, εφόσον έρθει σε επαφή μαζί του.

Ως γενικό συμπέρασμα, ένα σύστημα υδρόψυξης επιτυγχάνει χαμηλές θερμοκρασίες και χαμηλό επίπεδο θορύβου.



Εικόνα 1.9 : Υδρόψυξη ηλεκτρονικού υπολογιστή (Water Cooling)

Ολοκληρωμένα Κιτ Υδρόψυξης

Στην αγορά υπάρχουν αρκετές έτοιμες ολοκληρωμένες λύσεις υδρόψυξης. Δυστυχώς όμως η πλειοψηφία των συστημάτων αυτών είναι ή υπερτιμημένα ή αναποτελεσματικά. Το βασικότερο πλεονέκτημα των έτοιμων αυτών λύσεων είναι η απαίτηση πολύ λιγότερου χρόνου και τεχνικών γνώσεων για την εγκατάστασή τους. Επίσης, οι ανάγκες από χρήστη σε χρήστη ποικίλουν καθώς αυτές καθορίζονται αναλόγως με το κόστος και τον στόχο επίτευξης. Επομένως, υπάρχουν έτοιμα κιτ υδρόψυξης τα οποία καλύπτουν ένα ποσοστό χρηστών.

Παρακάτω παρουσιάζονται μερικά από τα πιο γνωστά ολοκληρωμένα κιτ υδρόψυξης που κυκλοφορούν στην αγορά:



Εικόνα 1.10 : α) Koolance Exos, β) Corsair HydroCool 200, γ) Thermaltake Aquarius 3, δ) Corsair H70

Υγρά που χρησιμοποιούνται σε συστήματα Υδρόψυξης

Υπάρχουν διάφοροι τύποι υγρών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα σύστημα υδρόψυξης. Κάθε τύπος υγρού επιδρά διαφορετικά στην απόδοση ενός Η/Υ.

Μια από τις καλύτερες επιλογές υγρού (αν όχι η καλύτερη) για την χρησιμοποίηση σε σύστημα υδρόψυξης είναι το **αποσταγμένο νερό**. Το αποσταγμένο νερό όπως και τα περισσότερα προσθετικά δεν είναι αγώγιμο. Έτσι σε περίπτωση διαρροής δεν υπάρχει περίπτωση καταστροφής των εξαρτημάτων του υπολογιστή, τουλάχιστον όχι μόνιμα. Συνήθως όμως χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με κάποιο προσθετικό υγρό. Το προσθετικό υγρό συμβάλει στην καταπολέμηση της διάβρωσης και της ανάπτυξης βακτηρίων. Αυτοί είναι δύο βασικοί λόγοι οι οποίοι μπορούν να προκαλέσουν την καταστροφή του συστήματος. Η διάβρωση προκαλείται στην περίπτωση όπου δύο διαφορετικά μέταλλα έρχονται σε επαφή μέσω υγρού. Η αναλογία αυτών των υγρών

δεν πρέπει να ξεπερνά το 5% της συνολικής μάζας υγρού διότι έτσι μπορεί να προκληθεί μεγαλύτερο πρόβλημα από αυτό που επιθυμούμε να καταπολεμήσουμε.

Μια δεύτερη λύση είναι το **αντιψυκτικό** υψηλών επιδόσεων αυτοκινήτων. Με αυτό τον τρόπο προστατεύεται το σύστημα χωρίς άλλα πρόσθετα. Επιπλέον μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε περιπτώσεις ακραίου τύπου ψύξης (έως -25°C).

Σε ακραίες λύσεις ψύξεων όπου η θερμοκρασία του υγρού παραμένει κάτω από 0°C χρησιμοποιείται 1 προς 3 μείγμα μεθανόλης – νερού, λόγω του ότι το νερό μετατρέπεται σε πάγο σε αυτές τις θερμοκρασίες.

Γενικά **δεν** προτείνεται να χρησιμοποιηθεί νερό βρύσης διότι περιέχουν σωματίδια (άλατα κατά κύριο λόγο), τα οποία ενδέχεται να καταστρέψουν το σύστημα υδρόψυξης ή να μειώσουν την απόδοσή του. Αντιθέτως συστήνεται να χρησιμοποιούνται σχεδόν πάντα προστατευτικά προσθετικά ή αντιδιαβρωτικά για την καλύτερη συντήρηση του ψυγείου, του μπλοκ και της αντλίας.



Εικόνα 1.11 : Άλατα πάνω σε μπλοκ λόγω χρήσης μη-αποσταγμένου νερού

Προχωρημένοι - Ακραίοι τρόποι Υδρόψυξης

Κατά την υλοποίηση «ακραίων» ψύξεων, όπως παρατηρείται παρακάτω, υπάρχει ο κίνδυνος της **υγροποίησης**. Η υγροποίηση συμβαίνει όταν ο περιβάλλον αέρας έρθει σε επαφή με κάποιο σώμα που είναι σε χαμηλότερη θερμοκρασία από την θερμοκρασία δρόσου. Η θερμοκρασία αυτή κυμαίνεται μεταξύ 7°C και 20°C και εξαρτάται από την υγρασία του αέρα και άλλες παραμέτρους. Κατά την υγροποίηση, ο αέρας μετατρέπεται με χαμηλό ρυθμό σε υγρασία και μετέπειτα σε νερό. Το φαινόμενο αυτό σε περίπτωση που παρουσιαστεί στο εσωτερικό του κουτιού ενός

Η/Υ θεωρείται άκρως επικίνδυνο, καθώς μπορεί να οδηγήσει στην καταστροφή οποιουδήποτε εξαρτήματος με το οποίο έρθει σε επαφή εν ώρα λειτουργίας. Για την αποφυγή της υγροποίησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατάλληλα υλικά μόνωσης.

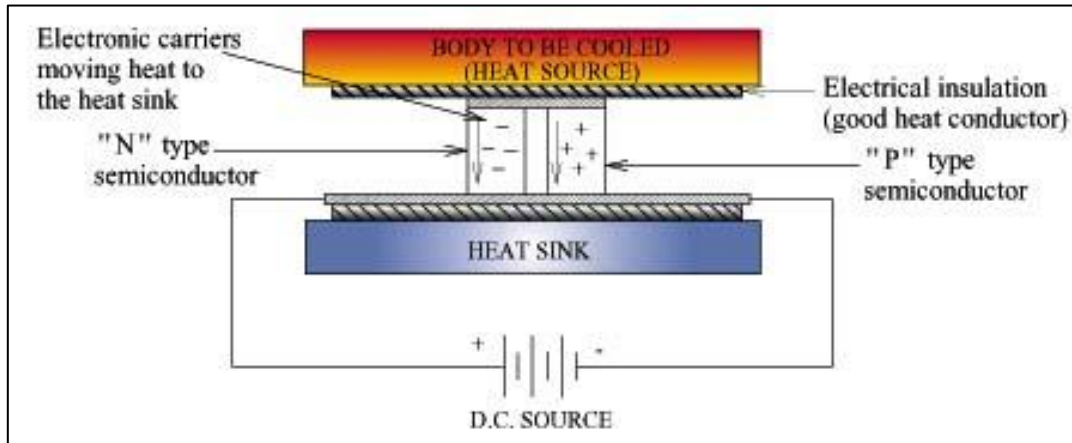
Παρακάτω παρουσιάζονται μερικοί από τους πιο ακραίους τρόπους υδρόψυξης:

- 1) Με χρήση Bongs:** Τα Bongs είναι μια εναλλακτική λύση ψυγείου (radiator) τα οποία διαθέτουν καλύτερη απόδοση. Στα Bongs το νερό εισέρχεται από την κορυφή τους μέσω ενός ψεκαστήρα. Παράλληλα έρχεται σε επαφή με τον αέρα συνήθως με τη βοήθεια ανεμιστήρα. Κατά την διάρκεια της πτώσης του προς την δεξαμενή η οποία τοποθετείται στον πάτο των Bongs παρατηρείται μείωση της θερμοκρασίας του νερού. Βασικό μειονέκτημα είναι η απαίτηση συχνής συμπλήρωσης νερού λόγω της εξάτμισης που προκύπτει από την άμεση επαφή με τον αέρα. Επίσης ο όγκος, καθώς επίσης και το κόστος τους είναι δύο επιπλέον λόγοι που τα κάνει απρόσιτα στους περισσότερους ενδιαφερόμενους.



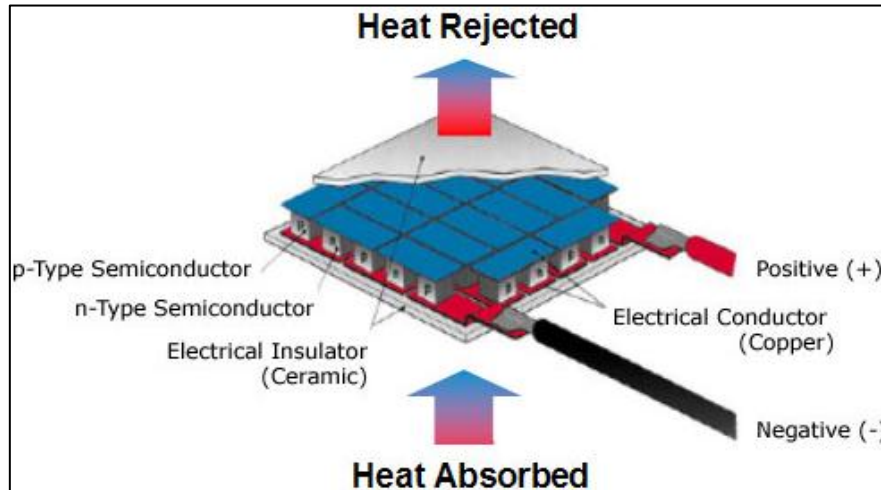
Εικόνα 1.12 : Bong

- 2) **Με χρήση κλιματιστικού:** Μια απλή και εύχρηστη μέθοδος μείωσης της θερμοκρασίας νερού κάτω από την θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι η χρησιμοποίηση κλιματιστικού. Το κλιματιστικό είναι κατασκευασμένο έτσι ώστε να ρυθμίζει την θερμοκρασία χώρου. Παράλληλα το ψυγείο το οποίο χρησιμοποιείται στο σύστημα υδρόψυξης έχει ως σκοπό την μείωση της θερμοκρασίας του νερού σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Επομένως σε περίπτωση όπου το κλιματιστικό μεταφέρει κρύο αέρα απευθείας στο ψυγείο της υδρόψυξης επιτυγχάνεται αισθητή μείωση της θερμοκρασίας νερού. Το βασικότερο μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η πιθανότητα υγραποίησης του συστήματος.
- 3) **Με χρήση ψύκτη:** Μια άλλη απλή μέθοδος παρόμοια με την μέθοδο της χρήσης κλιματιστικού είναι η μέθοδος υδρόψυξης σε συνδυασμό με ψύκτη. Η μεθοδολογία είναι παρόμοια με την μεθοδολογία με χρήση κλιματιστικού. Το ψυγείο του συστήματος τοποθετείται σε ένα μικρό ψύκτη ο οποίος διαθέτει αντιψυκτικό. Έτσι το ψυγείο θα ρίξει την θερμοκρασία νερού στην θερμοκρασία όπου διατηρείται το αντιψυκτικό η οποία είναι συνήθως κοντά στους 0°C. Επίσης και σε αυτή την μέθοδο το βασικότερο μειονέκτημα είναι η πιθανότητα υγραποίησης του συστήματος.
- 4) **Με χρήση Water chillers:** Τα water chillers είναι συσκευές οι οποίες αντικαθιστούν το ψυγείο του συστήματος υδρόψυξης. Οι αρχές λειτουργίας τους είναι παρόμοιες με την διαφορά ότι τα water chillers επιτυγχάνουν τη μείωση της θερμοκρασίας του νερού κάτω από την θερμοκρασία περιβάλλοντος. Βασικό μειονέκτημα και σε αυτή την μέθοδο είναι ο κίνδυνος υγραποίησης του συστήματος.
- 5) **TEC (Thermo-Electric Cooler) (Πελτιέρ):** Τα TEC συχνά αναφέρονται και ως πελτιέρ. Τα πελτιέρ είναι ένας από τους 3 τύπους των διαθέσιμων TEC. Το TEC αποτελείται από δύο μικρές πλάκες οι οποίες βρίσκονται σε πολύ μικρή απόσταση μεταξύ τους.



Εικόνα 1.13 : Thermo-Electric Cooler (Πελτιέρ)

Καθώς αναπτύσσεται πολύ μεγάλη τάση στα άκρα τους, ταυτόχρονα αναπτύσσεται και μία τεράστια διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των πλακών με αποτέλεσμα η μία εκ των δύο να παγώσει και αντίστοιχα η άλλη να υπερθερμανθεί. Το TEC τοποθετείται ανάμεσα από το μπλοκ και το εξάρτημα που προορίζεται για ψύξη. Όση περισσότερη ψύξη δεχθεί η θερμή πλάκα τόσο χαμηλότερες θερμοκρασίες θα αναπτυχθούν στην ψυχρή. Επίσης όσο δυνατότερο είναι το πελτιέρ τόσο μεγαλύτερη μεταφορά ισχύος (θερμότητα) παρουσιάζεται ανάμεσα στις δύο πλάκες. Αυτό σημαίνει ότι η ψυχρή πλευρά θα παγώσει περισσότερο ενώ αντίθετα η θερμή πλευρά θα θερμανθεί περισσότερο. Ο συνδυασμός της συγκεκριμένης μεθόδου με την χρήση υδρόψυξης καθίσταται αναγκαίος λόγω της μεγάλης θερμότητας που αναπτύσσεται στη ζεστή πλευρά. Επίσης υπάρχουν λύσεις TEC με αερόψυξη αλλά με τον συγκεκριμένο συνδυασμό απαιτείται ιδιαίτερα θορυβώδης ανεμιστήρας ή η χρησιμοποίηση πελτιέρ μικρής ισχύος όπου η ψύξη επεξεργαστών μεγάλης ισχύος είναι σε μη ικανοποιητικό βαθμό. Αντιθέτως, ένα καλό σύστημα υδρόψυξης σε συνδυασμό με ισχυρό πελτιέρ μπορεί να δώσει θερμοκρασίες της τάξεως των 0oC ή και χαμηλότερες. Βασικό μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η μεγάλη κατανάλωση ισχύος και αυτό καθιστά αναγκαία την χρήση ενός δεύτερου ειδικά σχεδιασμένου τροφοδοτικού για TEC. Επίσης λόγω της υπερβολικής διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ των δύο πλακών, η υγραποίηση είναι αναπόφευκτη. Επομένως απαιτείται πολύ καλή μόνωση με κατάλληλα υλικά στην περιοχή του socket/chipset.



Εικόνα 1.14 : Thermoelectric Cooler (Πελτιέρ)

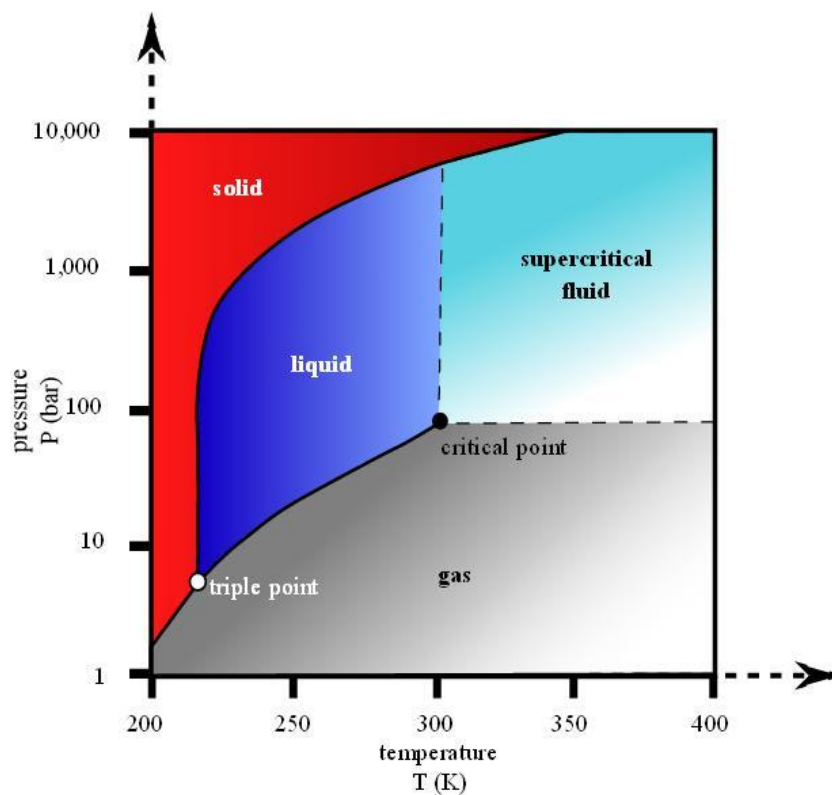
1.3.3 Ακραίοι τρόποι ψύξης (Extreme Cooling)

A) Ψύξη με ξηρό πάγο (Dry Ice)

Ο ξηρός πάγος, όπως και τα υπόλοιπα είδη ακραίας ψύξης (φρέον, υγρό άζωτο) χρησιμοποιείται για την επίτευξη υπερχρονισμού (overclocking) του Η/Υ με στόχο την αύξηση της απόδοσης. Η μέθοδος ψύξης με ξηρό πάγο (Dry Ice) ανήκει στην κατηγορία Extreme Cooling. Ο ξηρός πάγος είναι παγωμένο διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) ο οποίος έχει θερμοκρασία βρασμού στους -109 F/-78.5 C. Παράγεται με τη γρήγορη εκτόνωση υγρού διοξειδίου του άνθρακα. Σε θερμοκρασίες υψηλότερες από -56.4 °C και πίεση μικρότερη από 5.13 atm (το λεγόμενο triple point), το CO₂ μετατρέπεται από στερεό απευθείας σε αέριο (εξάχνωση – sublimation). Η αντίστροφη διαδικασία ονομάζεται εναπόθεση (deposition), όπου το CO₂ μετατρέπεται από αέριο σε στερεό κι έτσι έχουμε τη δημιουργία του ξηρού πάγου (dry ice). Υπό συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης, αυτό το φαινόμενο συμβαίνει σε θερμοκρασία -78.5°C. Άρα οι θερμοκρασίες που μπορούμε να επιτύχουμε με τη χρήση ξηρού πάγου ως ψυκτικό μέσο, κυμαίνονται λίγο κάτω από 0°C και θεωρητικά έως -78°C. Συνήθως πωλείται σε μορφή “ρυζιού” (Εικόνα 1.15) ή μεγάλων πλακών οι οποίες μπορούν εύκολα να διασπαστούν σε μικρότερες.



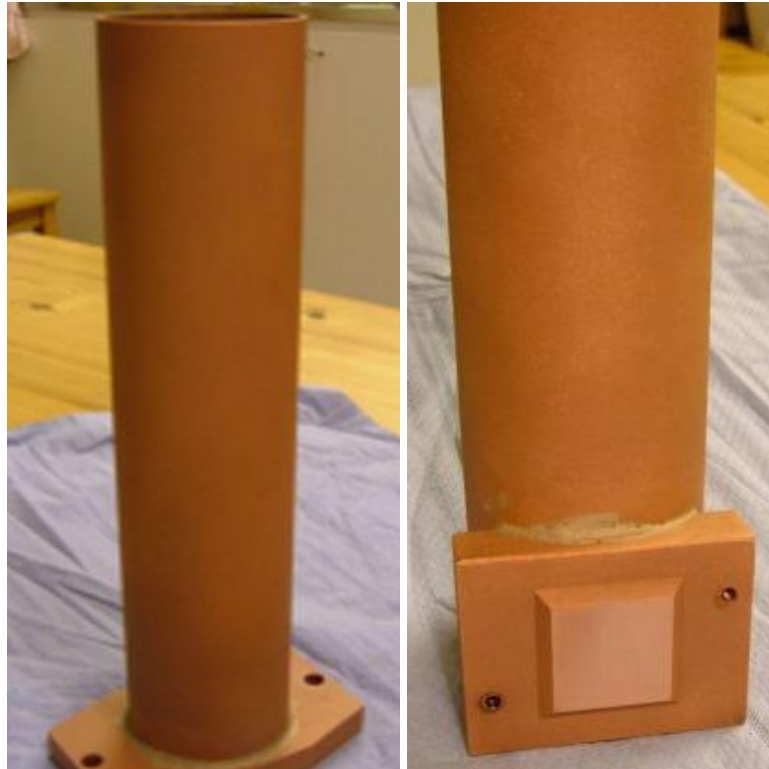
Εικόνα 1.15 : Τρίμματα ξηρού πάγου 3mm (αριστερά) και 16mm (δεξιά)



Εικόνα 1.16 : Διάγραμμα αλλαγής φάσεων του CO₂ συναρτήσει της πίεσης και της θερμοκρασίας

Η χρήση του δεν είναι εφικτή επί συνεχόμενης καθημερινής βάσεως, διότι ο ξηρός πάγος δε μπορεί να διατηρηθεί πάνω από δύο μέρες μετά την αγορά του, παρόλα αυτά δεν παρουσιάζει ιδιαίτερες δυσκολίες. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω οι μορφές του είναι δύο. Εάν είναι στην επιθυμητή μορφή ρυζιού, τότε είναι έτοιμος για χρήση. Στην περίπτωση που είναι στην μορφή πλακών, τότε θα πρέπει να κοπεί σε μικρά κομμάτια, σε τέτοιο μέγεθος ώστε να χωράει στο κάνιστρο (δοχείο το οποίο αποτελείται από ένα σωλήνα κολλημένο πάνω σε μία χάλκινη βάση – Εικόνα 1.17

και Εικόνα 1.18. Στη συνέχεια, για την επίτευξη της πτώσης του σημείου βρασμού του, τοποθετείται καθαρό οινόπνευμα μέσα στο κάνιστρο πριν την εισχώρησή του. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται περισσότερος χρόνος διατήρησης του πάγου με αποτέλεσμα να μην χρειάζεται συνεχής ανανέωσή του. Η τοποθέτηση οινοπνεύματος στο κάνιστρο γίνεται μόνο την πρώτη φορά της επίτευξης της διαδικασίας.



Εικόνα 1.17 : Ολοκληρωμένο κάνιστρο για το CPU και τη VGA.



Εικόνα 1.18 : Βάση κάνιστρου από χαλκό

Για την ασφαλή χρήση και συνύπαρξή του με τα ηλεκτρονικά κυκλώματα του Η/Υ θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κάποιοι παράγοντες. Βασικότερος όλων είναι η μόνωση της περιοχής γύρω από το socket. Το socket (Εικόνα 1.19), είναι μια υποδοχή κατάλληλα διαμορφωμένη πάνω στη μητρική πλακέτα (motherboard), με συγκεκριμένο αριθμό τρυπών (pins), έτσι ώστε να κουμπώσει πάνω του ο κατάλληλος επεξεργαστής (CPU).

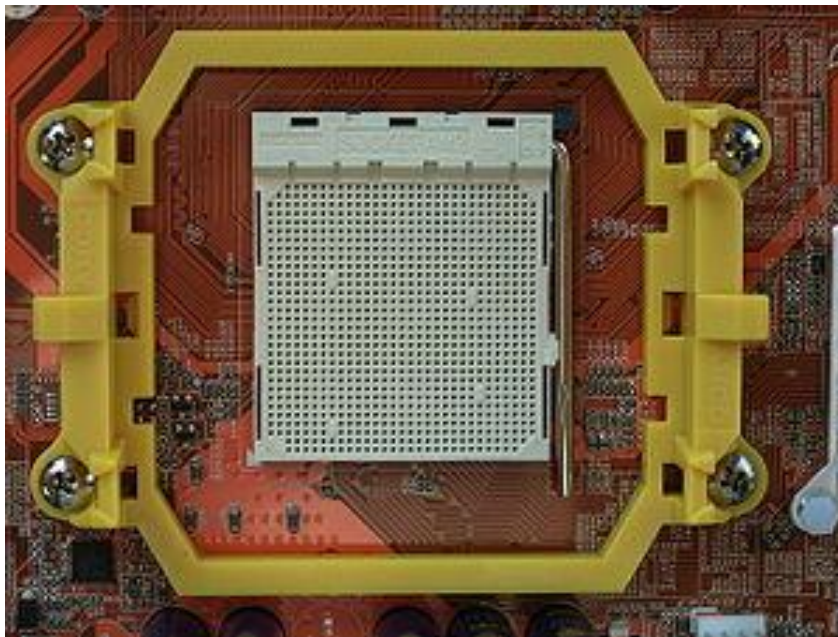
Η μόνωση του socket επιτυγχάνεται με τη χρήση μονωτικής τσίχλας (sealing string) (Εικόνα 1.20 και Εικόνα 1.21) κάθε φορά πριν τη χρήση. Επίσης, απαραίτητη είναι και η μόνωση των κανίστρων με armaflex (εύκαμπτη ελαστομερής μόνωση σε σωλήνες για συστήματα ψύξης και θέρμανσης) (Εικόνα 1.24). Λόγω της μεγάλης διαφοράς θερμοκρασίας του περιβάλλοντος με το κάνιστρο που περιέχει τον ξηρό πάγο, παρατηρείται υγροποίηση, κάτι το οποίο μπορεί να αποβεί μοιραίο για τα ηλεκτρονικά κυκλώματα του Η/Υ. Αυτό το φαινόμενο εμφανίζεται σε κάθε προσπάθεια επίτευξης της διαδικασίας αυτής, ανεξαρτήτου χρησιμοποιούμενης ποσότητας μονωτικού υλικού στις απαραίτητες περιοχές ή ξηρού πάγου στο κάνιστρο. Για την ελαχιστοποίηση, έως αποφυγή της υγροποίησης, συνίσταται η χρήση ενός ανεμιστήρα με κατεύθυνση προς τη μονωμένη βάση του κάνιστρου και το σωλήνα. Η διαδικασία της συγκεκριμένης ψύξης απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή σε όλα τα μέρη από τα οποία απαρτίζεται ένας Η/Υ, κυρίως όμως στην περιοχή της μητρικής γύρω από το socket και το κάνιστρο. Στο τέλος, κατά τη μετάβαση από την ψύξη με ξηρό πάγο στην καθημερινή μας ψύξη, πρέπει να δοθεί προσοχή στη διαδικασία αφαίρεσης του κάνιστρου από την CPU, καθώς λόγω των πολύ χαμηλών θερμοκρασιών παρατηρείται ορισμένες φορές συγκόλληση μεταξύ τους και σε τυχόν απότομη αφαίρεση υπάρχει η πιθανότητα σοβαρής βλάβης της CPU. Δύο είναι οι τρόποι που συνιστανται για την αποφυγή τέτοιου ατυχήματος:

- 1) Να δοθεί χρόνος στο σύστημα ώστε η θερμοκρασία να επανέλθει όσο το δυνατόν πιο κοντά στη θερμοκρασία περιβάλλοντος
- 2) Η χρήση φυσητήρα blower (Εικόνα 1.23) για την ταχύτερη απομάκρυνση της υγρασίας.

Ο ξηρός πάγος, λόγω του ότι βρίσκεται σε πολύ χαμηλή θερμοκρασία, τυχόν επαφή μαζί του μπορεί πολύ εύκολα να προκαλέσει ψυχρό έγκαυμα στο δέρμα. Για την αποφυγή τέτοιου φαινομένου συνίσταται κατά τη χρήση του η χρησιμοποίηση

καλά μονωμένων γαντιών. Επιπλέον, απαγορεύεται η κατάποσή του και η απευθείας επαφή με τα μάτια. Επιπλέον, πολύ κρίσιμο και απαραίτητο είναι ο χώρος στον οποίο χρησιμοποιείται να είναι πολύ καλά αεριζόμενος, καθώς ο ξηρός πάγος έχει την ιδιότητα να εξαχνώνεται κι έτσι κατά την εξάχνωσή του παράγονται αναθυμιάσεις. Ο αέρας που εισπνέεται περιέχει 78% άζωτο, 21% οξυγόνο και μόνο 0.035% διοξείδιο του άνθρακα. Σε χώρο όπου υπάρχει συμπύκνωση διοξειδίου του άνθρακα 5%, η ατμόσφαιρα κρίνεται τοξική και επικίνδυνη για τον ανθρώπινο οργανισμό.

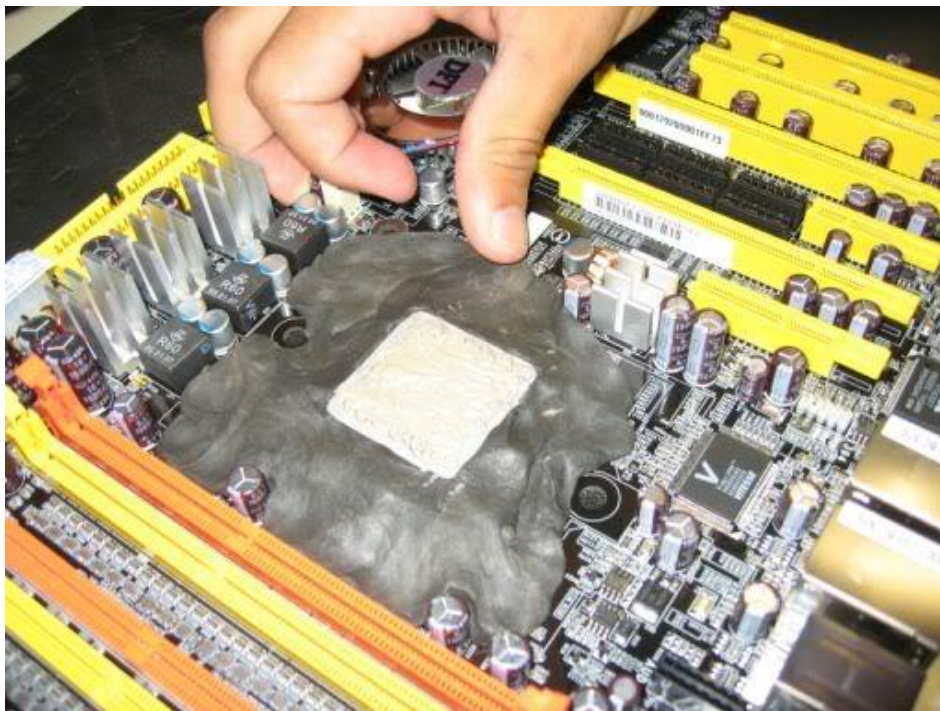
Ως μέθοδος ψύξης, ο ξηρός πάγος είναι σαφώς αποδοτικότερη από την ψύξη με αέρα (air-cooling) καθώς επίσης και από την υδρόψυξη (water-cooling). Επίσης, είναι πιο εύχρηστος και λιγότερο επικίνδυνος από τη μέθοδο ψύξης με υγρό άζωτο (LN₂), η οποία αναλύεται εκτενέστερα παρακάτω. Τέλος, στα πλεονεκτήματά του ο ξηρός πάγος είναι πιο οικονομικός και με λιγότερες κατασκευαστικές τεχνικές - χρηστικές λεπτομέρειες σε σχέση με άλλες ψυκτικές συσκευές όπως phase change, cascade κτλ.



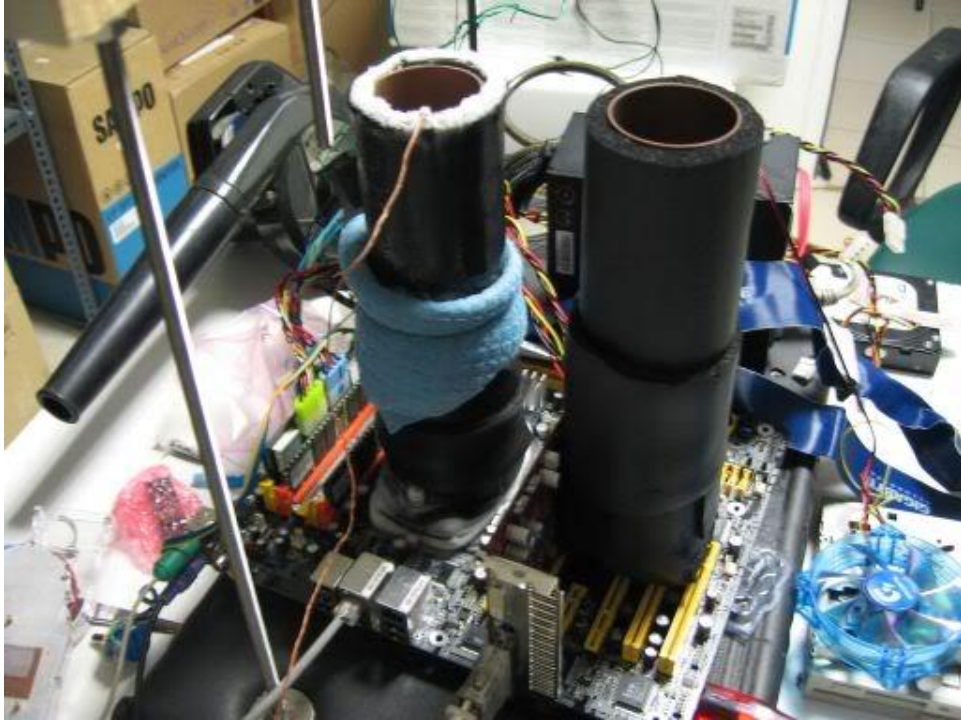
Εικόνα 1.19 : Υποδοχή socket, όπου διακρίνονται και τα pins (τρύπες).



Εικόνα 1.20 : Μονωτική τσίγλα (sealing string)



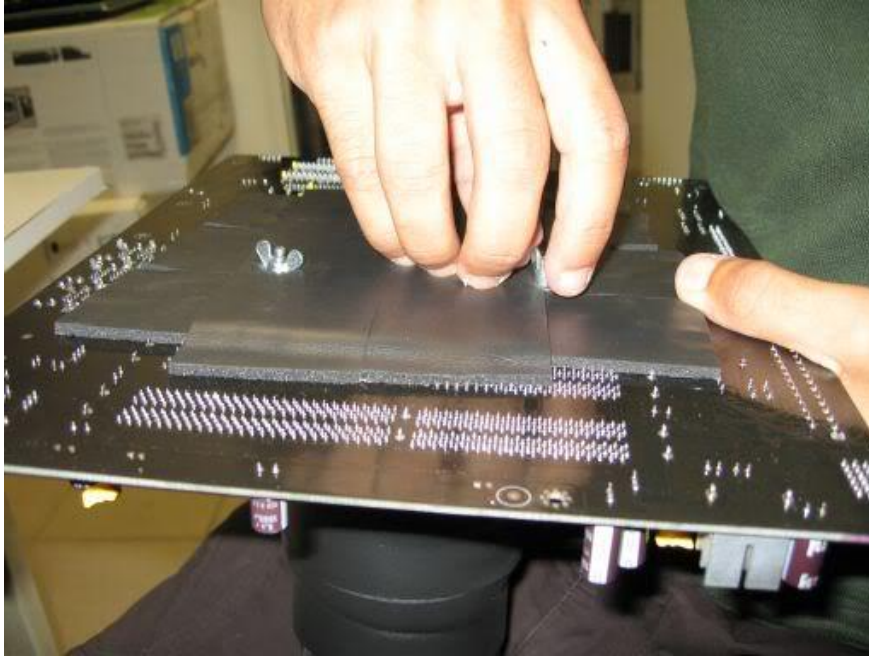
Εικόνα 1.21 : Μόνωση της περιοχής γύρω από το socket



Εικόνα 1.22 : Στεγανοποίηση του κανίστρου



Εικόνα 1.23 : Φυσητήρας (blower) Hitachi.



Εικόνα 1.24 : Στεγανοποίηση της μητρικής με αυτοκόλλητο armaflex

B) Μέσο απαγωγής το αέριο (Phase Change)

Σε αυτήν την κατηγορία περιγράφεται η μέθοδος με την οποία η θερμοκρασία των εξαρτημάτων που ψύχονται μπορεί να μειωθεί πολύ περισσότερο από τη θερμοκρασία χώρου. Με την έννοια θερμοκρασία χώρου εννοείται η θερμοκρασία περιβάλλοντος στην οποία βρίσκεται ο Η/Υ. Με αυτόν τον τρόπο ψύξης μπορούμε να δούμε στον επεξεργαστή θερμοκρασίες που κυμαίνονται από -15 έως -150°C , ανάλογα με το φορτίο του επεξεργαστή (τα Watt που καταναλώνει), το σύστημα ψύξης και το μίγμα αερίου που χρησιμοποιείται.

Η τεχνογνωσία που απαιτείται για την κατασκευή αυτής της υλοποίησης προέρχεται από τα οικιακά ψυγεία τα οποία χρησιμοποιούν αέρια για να επιτύχουν την επιθυμητή ψύξη. Μέσω της ηλεκτρικής ενέργειας τα αέρια αυτά κινούνται μέσα στο χώρο ψύξης όπου έτσι επιτυγχάνεται και διατηρείται η επιθυμητή θερμοκρασία. Το μέγεθος του χώρου που ψύχεται κυμαίνεται από μερικά τετραγωνικά δεκατόμετρα έως πολύ μεγαλύτερους χώρους, όπως για παράδειγμα είναι τα επαγγελματικά ψυγεία. Αν ο χώρος αυτός περιοριστεί στα μερικά εκατοστά που αποτελούν την επιφάνεια ενός ολοκληρωμένου που θέλουμε να ψύξουμε τότε επιτυγχάνεται η επιθυμητή ψύξη. Η νέα αυτή τεχνοτροπία συνήθως συναντάται με την ορολογία Αλλαγή Φάσης (Phase - Change) και παρακάτω θα εξηγηθεί καλύτερα ο λόγος.

Ταυτόχρονα όμως με αυτήν την πρωτοποριακή ιδέα παρουσιάστηκαν και κάποια μειονεκτήματα κατά την διάδοση της:

- Η τιμή πώλησης του προϊόντος χαρακτηρίστηκε εξωπραγματική αφού προσέγγιζε τα 1500\$.
- Η πώληση του προϊόντος ήταν εφικτή μόνο στις Η.Π.Α.
- Μεγάλη καθυστέρηση στην παροχή συμβατότητας του συστήματος με τα νέα sockets των επεξεργαστών.

Λόγω των παραπάνω μειονεκτημάτων άρχισε η κατασκευή αυτοσχέδιων παρόμοιων συστημάτων. Για την υλοποίηση αυτών των συστημάτων χρησιμοποιήθηκαν καλύτερης ποιότητας υλικά με αποτέλεσμα να επιτευχθούν καλύτερες επιδόσεις. Παράλληλα η υλοποίηση της κατασκευής τους έγινε με πιο σωστές και ασφαλείς μεθόδους, καθώς επίσης εξελίχθηκαν τα συστήματα αυτά τόσο σε συμβατότητα όσο και σε απόδοση.

Η φιλοσοφία κατασκευής ενός Phase – Change δεν διαφέρει από αυτή της κατασκευής ενός κοινού οικιακού ψυγείου.

Τα υλικά κατασκευής ενός Phase Change (Εικόνα 1.25) είναι τα εξής:

1. Συμπιεστής (Compressor)
2. Φίλτρο λαδιού (Oil Filter)
3. Συμπυκνωτής (Condenser)
4. Εξατμιστής (Evaporator)
5. Σωληνώσεις (Pipes)
6. Μόνωση (Insulation)
7. Αέριο (Gas)



Εικόνα 1.25 : Υλικά κατασκευής ενός Phase Change

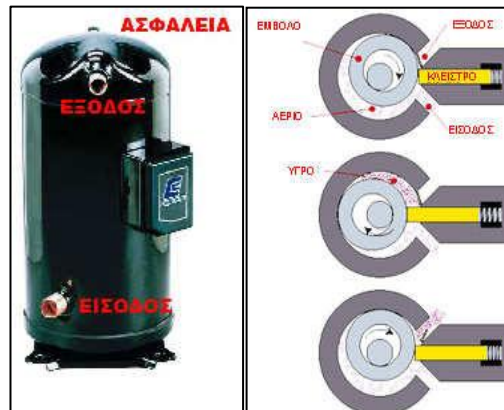


Εικόνα 1.26 : Τοποθέτηση και στήριξη πάνω στον επεξεργαστή

1. **Συμπιεστής (Compressor):** Είναι το μέσο με το οποίο αλλάζουμε τη φάση του αερίου μας, δηλαδή το μετατρέπουμε από αέριο σε υγρό.

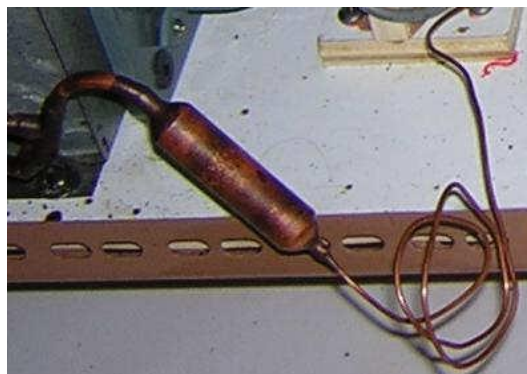


Εικόνα 1.27 : Συμβατικός συμπιεστής



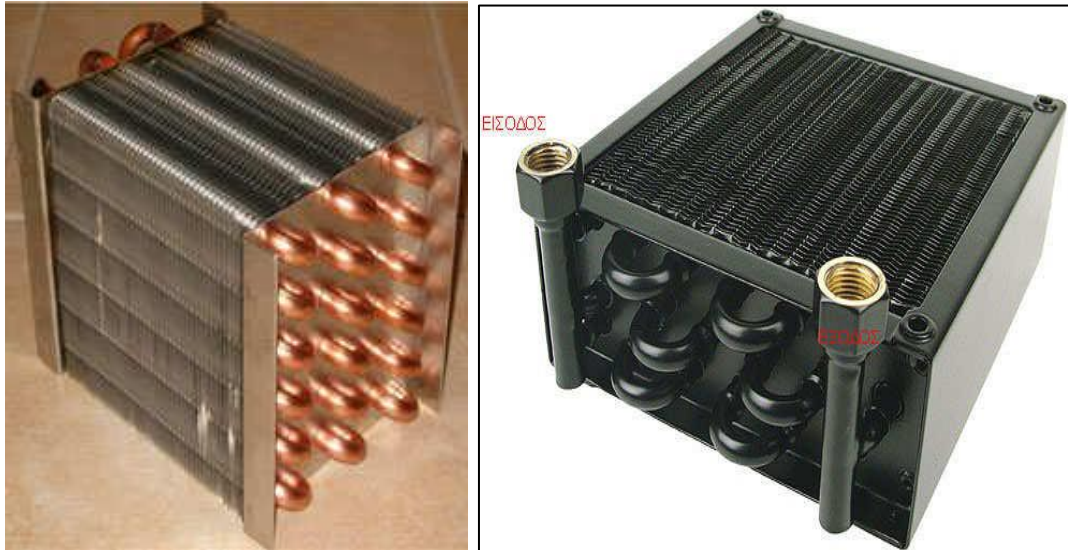
Εικόνα 1.28 : Συμπιεστής Rotary

2. **Φίλτρο λαδιού (Oil Filter):** Είναι ο μηχανισμός ο οποίος απομακρύνει από το υγρό τις τυχόν προσμίξεις που προήλθαν από την συμπίεσή του.



Εικόνα 1.29 : Φίλτρο λαδιού (Oil Filter)

3. **Συμπυκνωτής (Condenser):** Είναι μία διάταξη από σωληνώσεις ίδιας διαμέτρου, με μεγάλη αντοχή στις υψηλές πιέσεις, οι οποίες διαπερνούν κάθετα τοποθετημένα fins.



Εικόνα 1.30 : Συμπυκνωτές (Condenser)

4. **Εξατμιστής (evaporator):** Είναι το εξάρτημα στο οποίο γίνεται η αλλαγή της φάσης του υγρού σε αέριο. Εφάπτεται με το ολοκληρωμένο που χρειάζεται ψύξη. Σε αντιστοιχία με την υδρόψυξη, μπορεί να παρομοιαστεί με το waterblock.



Εικόνα 1.31 : Εσωτερική δομή εξατμιστή

5. Σωληνώσεις

- a) **Απλές σωληνώσεις:** Κατασκευασμένες από χαλκό λόγω αντοχής σε υψηλές πιέσεις.



Εικόνα 1.32 : Σωληνώσεις από χαλκό

- b) **Τριχοειδής σωλήνας (capillary line):** Αναλαμβάνει τη μεταφορά του υγρού από την έξοδο του συμπυκνωτή στον εξατμιστή.



Εικόνα 1.33 : Τριχοειδής σωλήνες

- c) **Εύκαμπτος σωλήνας (flexible pipe):** Χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση του εξατμιστή με την είσοδο του συμπιεστή.



Εικόνα 1.34 : Εύκαμπτος σωλήνας (flexible pipe)

- 6. Μόνωση:** Λόγω του ότι το Phase - Change πρόκειται για ένα πολύ ευαίσθητο σύστημα που χρησιμοποιεί ασταθή υλικά επιτυγχάνοντας θερμοκρασίες πολύ μικρότερες του μηδενός, η ανάγκη για σωστή μόνωση προς αποφυγή του φαινομένου της υγροποίησης είναι επιτακτική. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο ένα υλικό, το οποίο στο εμπόριο είναι γνωστό ως Armaflex.



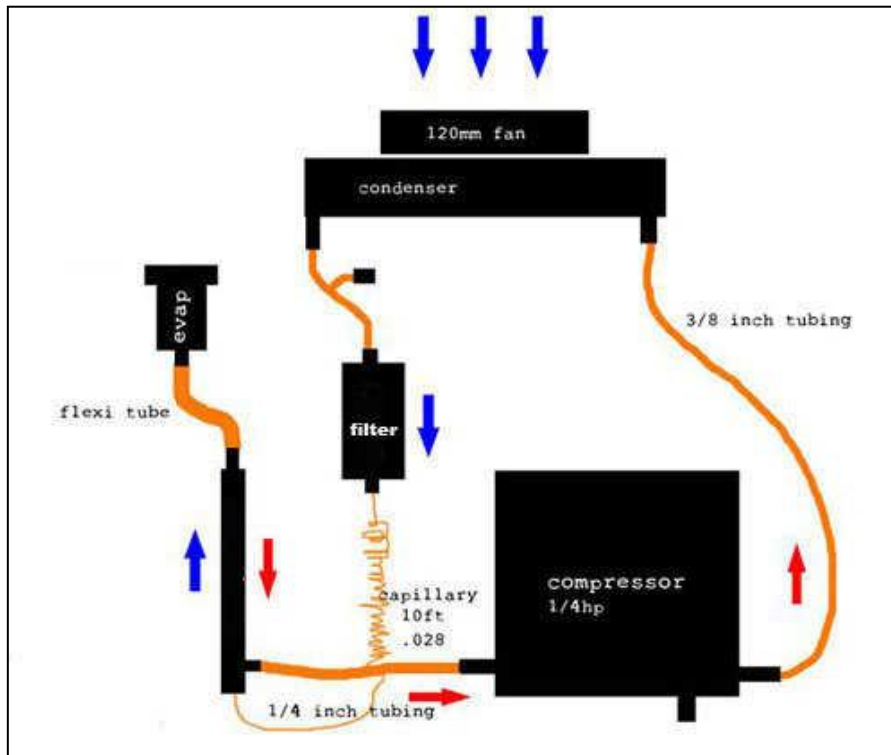
Εικόνα 1.35 : Armaflex τυποποιημένο σε διάφορα προϊόντα

- 7. Αέριο:** Είναι το υλικό που εισάγεται στο σύστημα για να λειτουργήσει. Στην ουσία μέσω αυτού επιτυγχάνεται η ψύξη καθώς σε αυτό προκαλούνται οι διαδοχικές αλλαγές φάσης. Το αέριο αυτό είναι γνωστό και με την ορολογία *φρέον*. Καθόσον είναι λογικό να μην είναι δυνατή η χρήση όλων των τύπων αερίων (δεν υπάρχει πρόσβαση σε αυτά από την αγορά), τα αέρια που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι τα εξής: R134, R134a, R413, R404a, R507, R410, R402, R290 και R600.

Λειτουργία Phase - Change

Στην Εικόνα 1.36. παρουσιάζεται ο κύκλος ψύξης του συστήματος. Θεωρώντας ότι το σύστημα είναι γεμάτο με αέριο, ο κύκλος λειτουργίας ξεκινά από τον συμπιεστή. Ο συμπιεστής μετατρέπει το αέριο σε υγρό έχοντας ως αποτέλεσμα την αύξηση θερμοκρασίας του. Στη συνέχεια υπό υγρή μορφή οδηγείται στο συμπυκνωτή, όπου παίρνει μέρος η ψύξη του. Ο αμέσως επόμενος σταθμός είναι το

φίλτρο λαδιού. Η λειτουργία του είναι η κατακράτηση τυχόν υπολειμμάτων λαδιού τα οποία έχουν μείνει στο υγρό από τον συμπιεστή. Ακολούθως το υγρό περνά από τον τριχοειδή σωλήνα και καταλήγει στον εξατμιστή. Σε εκείνο το σημείο αλλάζει η φάση του και στη συνέχεια επιστρέφει με την μορφή αερίου. Η αλλαγή αυτή φέρει ως αποτέλεσμα την απορρόφηση θερμότητας από το περιβάλλον. Στη συγκεκριμένη περίπτωση απορροφά τη θερμότητα από το ολοκληρωμένο στο οποίο επιθυμείται να εφαρμοστεί ψύξη. Τέλος, το αέριο επιστρέφει στο συμπιεστή μέσω του εύκαμπτου σωλήνα, εσωτερικά του οποίου διαπερνά και ο τριχοειδής και ξαναρχίζει από την αρχή ο θερμοδυναμικός κύκλος λειτουργίας με τον συμπιεστή να ξαναμετατρέπει το αέριο σε υγρό.



Εικόνα 1.36 : Κύκλος ψύξης του συστήματος Phase – Change

Η ποσότητα της θερμότητας που διαχέεται στο περιβάλλον όταν το αέριο υγροποιείται, λόγω συμπίεσής του, είναι άμεσα εξαρτώμενη από την ποσότητα που απορροφά κατά την αντίστροφη διαδικασία, δηλαδή όταν το υγρό επιστρέφει στην αέρια μορφή του.

Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα της χρήσης Phase-Change

Το βασικότερο πλεονέκτημα της χρήσης Phase-Change είναι η επίτευξη των πολύ χαμηλών θερμοκρασιών. Ως αποτέλεσμα, οι επιδόσεις του Η/Υ των οποίων τα ολοκληρωμένα ψύχονται με την συγκεκριμένη μέθοδο, είναι θαυμαστικές.

Αν και η συγκεκριμένη μέθοδος είναι από τις πιο αποδοτικές από άποψη θερμοκρασιών και επιδόσεων, παρατηρούνται κάποια βασικά μειονεκτήματα. Γενικά ως σύστημα χαρακτηρίζεται αρκετά δύσχρηστο. Παράλληλα, τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι αρκετά ασταθή και υπάρχει μεγάλη πιθανότητα διαρροής αν η κατασκευή δεν έχει γίνει με μεγάλη προσοχή και λεπτομέρεια. Τέλος, τα υλικά που απαρτίζουν την κατασκευή είναι δυσεύρετα, καθώς επίσης και το κόστος είναι αρκετά μεγαλύτερο σε σχέση με τις μεθόδους ψύξης που προαναφέρθηκαν (αερόψυξη και υδρόψυξη).



Εικόνα 1.37 : Υλοποίηση κατασκευής Phase-Change

Γ) Ψύξη με υγρό άζωτο (Liquid Nitrogen – LN₂)

Το υγρό άζωτο, όπως δηλώνει και το όνομά του, είναι άζωτο σε υγρή μορφή, το οποίο βρίσκεται σε πολύ χαμηλή θερμοκρασία. Παράγεται σε βιομηχανική κλίμακα με κλασματική απόσταξη του υγρού αέρα. Είναι άχρωμο διαυγές υγρό με πυκνότητα 0.807g/mL στο σημείο βρασμού του και διηλεκτρική σταθερά 1.4. Συχνά αναφέρεται με την συντομογραφία LN₂ ή LIN.

Η χρήση του υγρού αζώτου ως ψυκτικό μέσο σε έναν Η/Υ μπορεί να αποφέρει θερμοκρασίες από -100 έως και -195°C, καθώς το άζωτο έχει σημείο βρασμού στους -195.8°C κάτω από ατμοσφαιρική πίεση. Για να υγροποιηθεί το άζωτο πρέπει να προϋπάρξουν συγκεκριμένες συνθήκες (θερμοκρασία -146.9°C και πίεση 33.5 atm). Αυτό είναι και το λεγόμενο critical point του αζώτου. Επίσης, στους -210°C το υγρό άζωτο στερεοποιείται.

Πρόκειται για την πιο extreme μέθοδο ψύξης (μετά το υγρό ήλιο He, το οποίο είναι αρκετά επικίνδυνο και για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται σπάνια από πολύ έμπειρα άτομα), αφού έχει θερμοκρασία βρασμού -196 °C και κατά συνέπεια, όποιο εξάρτημα έρθει σε επαφή μαζί του, η θερμοκρασία του πέφτει κατακόρυφα και παγώνει. Για το λόγο αυτό το χρησιμοποιούν κατά κόρον οι computer enthusiasts και απανταχού overclockers ανά την υφήλιο, καθώς με τη χρήση του LN₂ μπορούν να επιτύχουν πολύ υψηλό υπερχρονισμό (overclocking).



Εικόνα 1.38 : Γέμισμα του κάνιστρου με LN₂ για την ψύξη ενός επεξεργαστή

Σε ατμοσφαιρική πίεση το υγρό άζωτο βράζει στους -196°C και είναι ένα κρυογενικό υγρό το οποίο μπορεί να προκαλέσει ταχεία ψύξη. Αντιθέτως παγώνει στους -210°C . Η αποτελεσματικότητά του όμως ως ψυκτικό μέσο περιορίζεται από το γεγονός ότι βράζει αμέσως σε επαφή με ένα θερμότερο αντικείμενο. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό με την ονομασία Leidenfrost και αναφέρεται σε κάθε υγρό το οποίο έρχεται σε επαφή με κάποιο αντικείμενο με υψηλότερη θερμοκρασία από το σημείο βρασμού του. Περαιτέρω, η ικανότητά του να διατηρεί θερμοκρασίες πολύ κάτω από το σημείο πήξης του νερού το καθιστά εξαιρετικά χρήσιμο σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών.

Μερικές συνήθεις εφαρμογές του είναι οι εξής:

- Ως ψυκτικό υγρό για κάμερες CCD στην αστρονομία
- Για αποθήκευση κυττάρων σε χαμηλή θερμοκρασία για εργασίες εργαστηρίου
- Ως ψυκτικό υγρό για τους υπολογιστές

Κεφάλαιο 2: Υλικό Η/Υ & Υδρόψυξης – Διαδικασία Κατασκευής

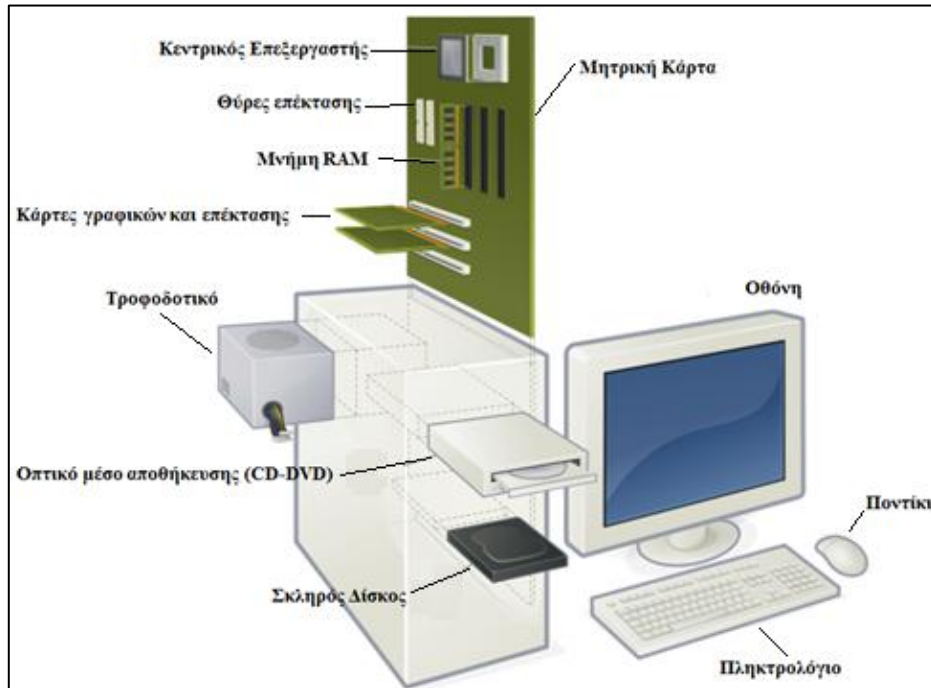
2.1 Υλικό (hardware) Η/Υ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται το υλικό (hardware) που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση του συστήματος υδρόψυξης, καθώς επίσης και τα στάδια της κατασκευής. Αρχικά θα παρουσιαστεί το υλικό hardware που χρησιμοποιήθηκε κατά την διάρκεια της συναρμολόγησης του υπολογιστή μας, πριν εφαρμοστεί πάνω του το σύστημα της υδρόψυξης.

Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής είναι μια μηχανή κατασκευασμένη από ηλεκτρονικά κυκλώματα και ηλεκτρικά μηχανικά συστήματα που έχει ως σκοπό την επεξεργασία πληροφοριών. Κάθε υπολογιστικό σύστημα αποτελείται από το υλικό μέρος (hardware) καθώς επίσης και το λογισμικό μέρος (software).

Τα βασικά στοιχεία που απαρτίζουν το υλικό μέρος του υπολογιστή είναι:

1. *Η μητρική πλακέτα (motherboard),*
2. *Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας (Central Processing Unit - CPU),*
3. *Η μνήμη (RAM),*
4. *Η κάρτα γραφικών (VGA),*
5. *Το τροφοδοτικό (Power Supply - PSU)*
6. *Ο σκληρός δίσκος (Hard Disk Drive – HDD) και*
7. *Το οπτικό μέσο αποθήκευσης (CD-DVD)*



Εικόνα 2.1 : Μέρη από τα οποία απαρτίζεται ένας Η/Υ

1. Μητρική πλακέτα (Motherboard)

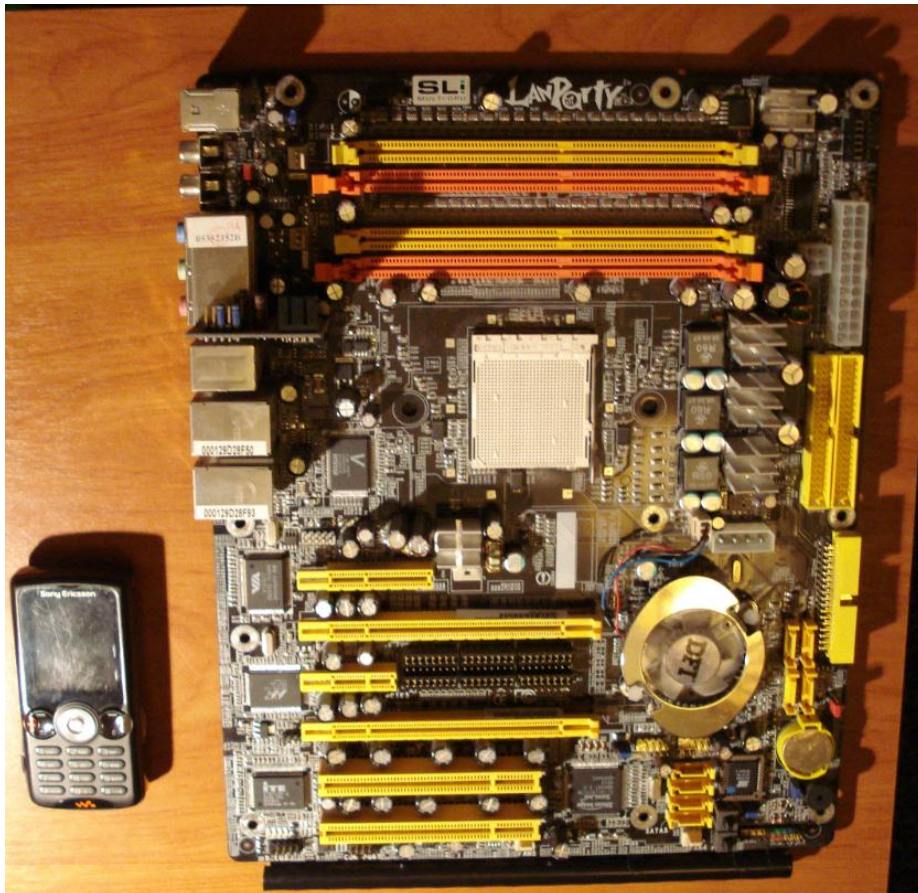
Η μητρική πλακέτα είναι το κεντρικό τυπωμένο κύκλωμα (PCB) των ηλεκτρονικών υπολογιστών και διαθέτει πολλές από τις βασικές συνιστώσες του συστήματος, παρέχοντας παράλληλα συνδέσεις για άλλα περιφερειακά. Στην ουσία, είναι η ραχοκοκαλιά του ηλεκτρονικού υπολογιστή, καθώς πάνω σε αυτή συνδέονται όλα τα βασικά εξαρτήματά του. Θεωρείται το βασικότερο εξάρτημα διότι είναι το εξάρτημα που καθορίζει:

- τον τύπο και την ταχύτητα του επεξεργαστή που μπορεί να εγκατασταθεί πάνω στο σύστημά μας
- τον τύπο και την ταχύτητα της μνήμης που μπορούμε να εγκαταστήσουμε
- το μέγεθος του κουτιού που χρειάζεται και
- την επεκτασιμότητα του συστήματος, δηλαδή πόσες κάρτες επέκτασης μπορεί να δεχτεί το σύστημά μας (π.χ. κάρτες γραφικών και κάρτες τηλεόρασης).

Η μητρική πλακέτα είναι υπεύθυνη για την επικοινωνία μεταξύ όλων των συσκευών και ορίζει την απόδοση που έχει το σύστημά μας. Είναι εναλλακτικά γνωστή ως main board και system board ή αλλιώς με τη συντομογραφία mobo.

Τα κύρια μέρη που απαρτίζουν μια μητρική πλακέτα είναι τα εξής:

- Υποδοχή κεντρικού επεξεργαστή (CPU socket)
- Υποδοχές καρτών επέκτασης (AGP, PCI-e, PCI slots)
- Υποδοχές μνήμης RAM (memory slots)
- Υποδοχές τροφοδοσίας (Power plugs)
- Υποδοχές καλωδίων σκληρών δίσκων (IDE ή/και SATA connector)
- Υποδοχή καλωδίου συσκευής δισκέτας (Floppy connector)
- Θύρες για ποντίκι και πληκτρολόγιο
- Θύρες για περιφερειακές συσκευές (COM, LTP, USB, ηχεία)
- Northbridge chip
- Southbridge chip
- BIOS chip
- Μπαταρία



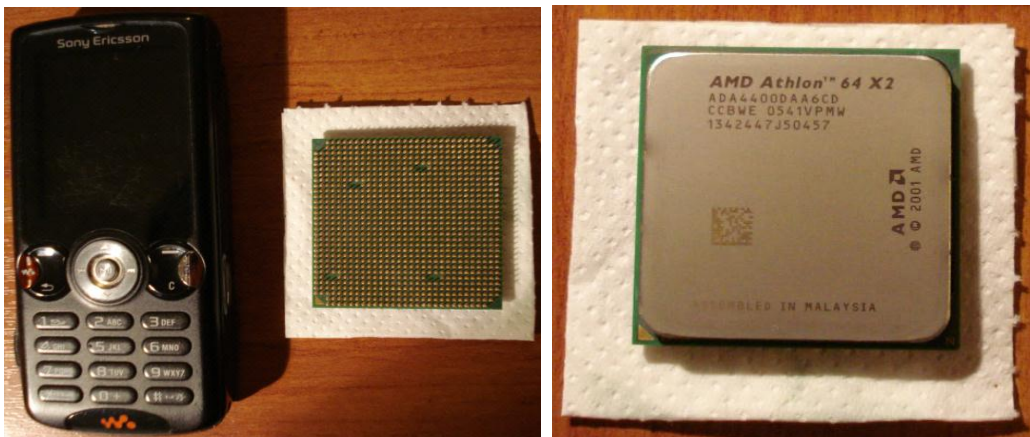
Εικόνα 2.2 : Η μητρική πλακέτα του Η/Υ μας

2. Κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU)

Η **Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας - ΚΜΕ** (Central Processing Unit - CPU) είναι η καρδιά ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή και συχνά αναφέρεται απλά ως επεξεργαστής. Ελέγχει τη λειτουργία του υπολογιστή και εκτελεί τις λειτουργίες επεξεργασίας δεδομένων. Αν η ΚΜΕ αποτελείται από ένα μόνο ολοκληρωμένο κύκλωμα τότε ονομάζεται μικροεπεξεργαστής (microprocessor).

Ο επεξεργαστής αποτελείται από τρία κύρια τμήματα:

- **Καταχωρητές (Registers):** Μικρά κύτταρα μνήμης στο εσωτερικό του επεξεργαστή τα οποία χρησιμοποιούνται για την προσωρινή αποθήκευση των δεδομένων καθώς αυτά υφίστανται επεξεργασία. Μερικοί καταχωρητές έχουν ειδική λειτουργία. Ως απαριθμητές προγράμματος (program counter) όπου περιέχουν την διεύθυνση της επόμενης εντολής που θα ανακτηθεί από την μνήμη για να εκτελεστεί. Ως καταχωρητές εντολών (Instruction Register) όπου αποθηκεύουν τον κώδικα λειτουργίας της εντολής πριν αποκωδικοποιηθεί από τον επεξεργαστή. Είτε ως συσσωρευτές (accumulator) δηλαδή ως καταχωρητές που συνήθως χρησιμοποιούνται για τις απαριθμητικές και λογικές πράξεις.
- **Αριθμητική και Λογική Μονάδα (Arithmetic and Logical Unit, ALU):** Εκτελεί αριθμητικές και λογικές πράξεις.
- **Μονάδα Ελέγχου (Control Unit):** Ελέγχει τη ροή δεδομένων από και προς τον επεξεργαστή, τους καταχωρητές, τη μνήμη και τις περιφερειακές μονάδες εισόδου/εξόδου.



Εικόνα 2.3 : Ο επεξεργαστής του Η/Υ μας

3. Μνήμη (RAM)

Μνήμη τυχαίας προσπέλασης (Random Access Memory - RAM) είναι όρος που χρησιμοποιούμε για ηλεκτρονικές διατάξεις προσωρινής αποθήκευσης ψηφιακών δεδομένων, οι οποίες επιτρέπουν πρόσβαση στα αποθηκευμένα δεδομένα στον ίδιο χρόνο οπουδήποτε και αν βρίσκονται αυτά, δηλαδή με «τυχαία πρόσβαση». Σε αντιδιαστολή βρίσκονται συσκευές αποθήκευσης δεδομένων, όπως οι μαγνητικές ταινίες, οι μαγνητικοί δίσκοι («σκληροί» ή «εύκαμπτοι»), στα οποία η πρόσβαση στα δεδομένα μπορεί να γίνει μόνο με κάποιον προκαθορισμένο τρόπο, συνήθως σειριακά, λόγω του τρόπου κατασκευής τους.

Στην επιστήμη των υπολογιστών, με τον όρο RAM αναφερόμαστε στην κύρια ή κεντρική μνήμη ενός υπολογιστικού συστήματος, δηλαδή τη μνήμη στην οποία αποθηκεύονται προγράμματα και δεδομένα προκειμένου είτε να εκτελεστούν είτε να υποστούν επεξεργασία αντίστοιχα.

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι RAM: η δυναμική RAM (DRAM) και η στατική RAM (SRAM). Η DRAM είναι η πιο κοινή μορφή αλλά πρέπει να «ανανεώνεται» (refresh) χιλιάδες φορές ανά δευτερόλεπτο, ενώ η SRAM δεν χρειάζεται κάτι τέτοιο. Η SRAM, ως διάταξη, είναι πιο δαπανηρή στην κατασκευή της - και επομένως στην αγορά της - σε σχέση με την DRAM.

Τμήμα επίσης της κεντρικής μνήμης είναι και η Μνήμη Μόνο Ανάγνωσης (Read Only Memory - ROM), η οποία επίσης επιτρέπει την τυχαία προσπέλαση. Η βασική διαφορά των δύο τύπων μνήμης είναι ότι η RAM διατηρεί τα περιεχόμενα της μόνο όσο της επιτρέπει ο χρήστης ή το λογισμικό που εκτελείται και μόνο εφόσον το υπολογιστικό σύστημα τροφοδοτείται με ηλεκτρική ενέργεια.

Η χωρητικότητα της μνήμης RAM μετράται σε Kilobytes (KB), Megabytes (MB) και Gigabytes (GB) και είναι αποφασιστικός παράγοντας για την ταχύτητα εκτέλεσης υπολογισμών από ένα υπολογιστικό σύστημα. Επίσης, καθορίζει το λογισμικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί καθώς και τη σταθερότητα και την ομαλή λειτουργία ενός υπολογιστικού συστήματος.



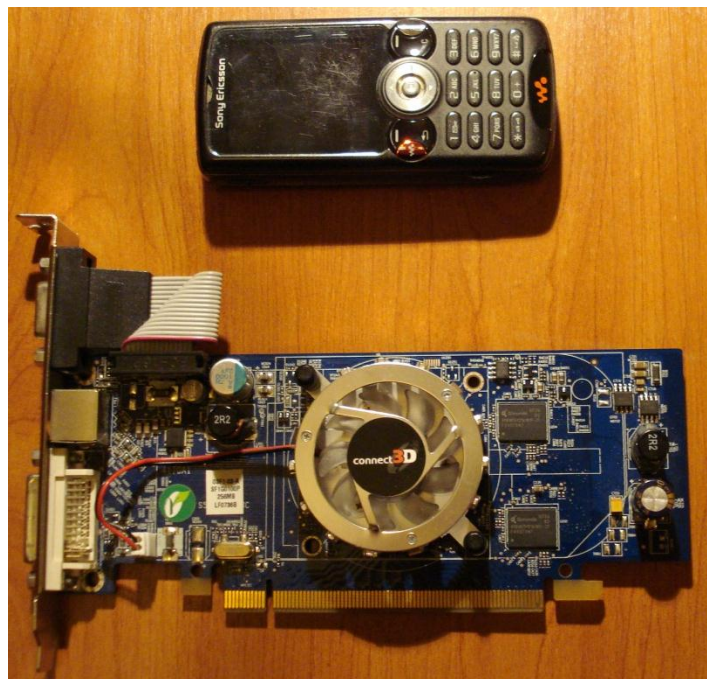
Εικόνα 2.4 : Οι μνήμες RAM του Η/Υ μας

4. Κάρτα γραφικών (VGA)

Η κάρτα γραφικών είναι τμήμα ενός υπολογιστή το οποίο λαμβάνει δεδομένα από την Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (CPU) για να τα μετατρέψει σε εικόνα η οποία θα προβληθεί στην οθόνη. Ουσιαστικά είναι μια πλακέτα κυκλωμάτων η οποία περιλαμβάνει έναν επεξεργαστή και κυκλώματα μνήμης RAM. Επίσης διαθέτει ένα μικροκύκλωμα (chip) εισόδου/εξόδου (BIOS) το οποίο αποθηκεύει τις ρυθμίσεις της κάρτας και εκτελεί διαγνωστικά για τη μνήμη στην είσοδο και την έξοδο κατά την εκκίνηση του συστήματος. Ο επεξεργαστής γραφικών της κάρτας, που ονομάζεται μονάδα επεξεργασίας γραφικών (Graphics Processing Unit - GPU), είναι παρόμοιος με τον επεξεργαστή ενός υπολογιστή. Ένας GPU, ωστόσο, έχει σχεδιαστεί ειδικά για την εκτέλεση των πολύπλοκων μαθηματικών και γεωμετρικών υπολογισμών που είναι απαραίτητοι για την απόδοση γραφικών. Μερικές από τις ταχύτερες GPUs διαθέτουν περισσότερα τρανζίστορ από το μέσο όρο του CPU. Ένας GPU παράγει πολλή θερμότητα. Κατά συνέπεια, στη συντριπτική πλειοψηφία από αυτές, είναι απαραίτητη η χρήση ενός ανεμιστήρα σε συνδυασμό με την ψύκτρα.

Οι κάρτες γραφικών μπορούν να χρησιμοποιήσουν σημαντική ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας, μέρος της οποίας χάνεται σε θερμότητα. Στην περίπτωση όπου η θερμότητα αυτή δεν απάγεται, ο GPU μπορεί να υπερθερμανθεί και να προκληθεί βλάβη. Επομένως, οι κατασκευαστές τοποθετούν πάντοτε κάποιο σύστημα απαγωγής της θερμότητας. Αυτά τα συστήματα συνήθως είναι τα εξής:

- **Παθητική ψύξη (ψύκτρα):** Πάνω στον επεξεργαστή γραφικών τοποθετείται απλή ψύκτρα από αλουμίνιο ή χαλκό. Το πλεονέκτημά της είναι η αθόρυβη λειτουργία. Το μειονέκτημα όμως είναι ότι στις πιο ισχυρές κάρτες δεν παρέχει επαρκή απαγωγή θερμότητας.
- **Ενεργητική Ψύξη (ψύκτρα σε συνδυασμό με ανεμιστήρα):** Η ταχύτητα περιστροφής του ανεμιστήρα μπορεί να ελέγχεται αυτόματα από τον επεξεργαστή γραφικών ή την μητρική κάρτα για πιο αποτελεσματική ή πιο ήσυχη λειτουργία, ανάλογα τις εκάστοτε συνθήκες και τις απαιτήσεις του χρήστη.
- **Υδρόψυξη:** Το σύστημα υδρόψυξης χρησιμοποιεί νερό αντί για αέρα. Ως μέσο απομάκρυνσης της θερμότητας από την ψύκτρα προς το περιβάλλον, το νερό κυκλοφορεί μέσα στην ψύκτρα και με εξωτερικές σωληνώσεις μεταφέρει την εκλυόμενη θερμότητα σε εναλλάκτη θερμότητας (ψυγείο) (μακριά από την GPU και μερικές φορές εκτός του κουτιού).



Εικόνα 2.5 : Η κάρτα γραφικών του Η/Υ μας

5. Τροφοδοτικό (PSU)

Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής ως ηλεκτρική συσκευή απαιτεί ρεύμα για τη σωστή λειτουργία όλων των εξαρτημάτων που τον απαρτίζουν. Υπεύθυνη συσκευή για την τροφοδοσία ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή είναι το τροφοδοτικό. Ουσιαστικά το

τροφοδοτικό μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) σε συνεχές (DC) για την τροφοδότηση ψηφιακών κυκλωμάτων. Πιο συγκεκριμένα, το τροφοδοτικό μετατρέπει την εναλλασσόμενη τάση 220V του τοπικού δικτύου τροφοδότησης σε συνεχή τάση τιμών +3.3V, +5V, +12V.

Τα τροφοδοτικά χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Γραμμικά τροφοδοτικά (Linear)
- Switching power supply

Τα γραμμικά τροφοδοτικά δεν είναι κατάλληλα για χρήση στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές λόγω του μεγέθους τους. Το μέγεθος αυτών των τροφοδοτικών είναι αντιστρόφως ανάλογο με τη συχνότητα του ρεύματος δικτύου η οποία κυμαίνεται από 50Hz έως 60Hz. Επομένως σε αυτήν την περίπτωση, όσο χαμηλότερη είναι η συχνότητα του ρεύματος που εισέρχεται στο τροφοδοτικό τόσο μεγαλύτερες πρέπει να είναι οι διαστάσεις του.

Στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές χρησιμοποιούνται υψηλής συχνότητας Switching τροφοδοτικά. Σε αυτά τα τροφοδοτικά η συχνότητα εισόδου αυξάνεται από τα 50-60Hz σε τάξεις των λίγων KHz. Αυτό σημαίνει σημαντική μείωση του μεγέθους και του βάρους αυτών των τροφοδοτικών. Ο όρος switching αναφέρεται στην διαδικασία της εναλλαγής της συχνότητας από χαμηλή σε υψηλή.

Γενικά τα τροφοδοτικά που χρησιμοποιούνται στους σημερινούς υπολογιστές αξιοποιούν μια καλύτερη προσέγγιση. Είναι συστήματα "κλειστού κύκλου". Αυτό σημαίνει ότι το τρανζίστορ εναλλαγής, το οποίο είναι υπεύθυνο για τη διαμόρφωση της συχνότητας του ρεύματος εισόδου, δέχεται συνεχώς μηνύματα από τις εξόδους του τροφοδοτικού και μεταβάλλει τον κύκλο λειτουργίας του ανάλογα με την κατανάλωση του υπολογιστή. Αυτή η προσέγγιση ονομάζεται PWM – Pulse Width Modulation. Με αυτόν τον τρόπο το τροφοδοτικό μπορεί και προσαρμόζεται στις εκάστοτε συνθήκες λειτουργίας και ανάλογα με τις συσκευές που είναι συνδεδεμένες σε αυτό. Για παράδειγμα, όταν ο υπολογιστής βρίσκεται σε κατάσταση στασιμότητας (idle) το τροφοδοτικό αναπροσαρμόζεται ώστε να μεταδίδει λιγότερο ρεύμα, κάνοντας τον μετασχηματιστή καθώς και όλα τα εξαρτήματα να αποβάλλουν λιγότερη θερμότητα επομένως και λιγότερη κατανάλωση. Επομένως ένα καλό τροφοδοτικό μπορεί να αυξήσει την ζωή των εξαρτημάτων του υπολογιστή.

Τα συνηθέστερα τροφοδοτικά για υπολογιστές υπακούουν στο πρότυπο ATX. Αυτό δίνει τη δυνατότητα ώστε διαφορετικά τροφοδοτικά να μπορούν να

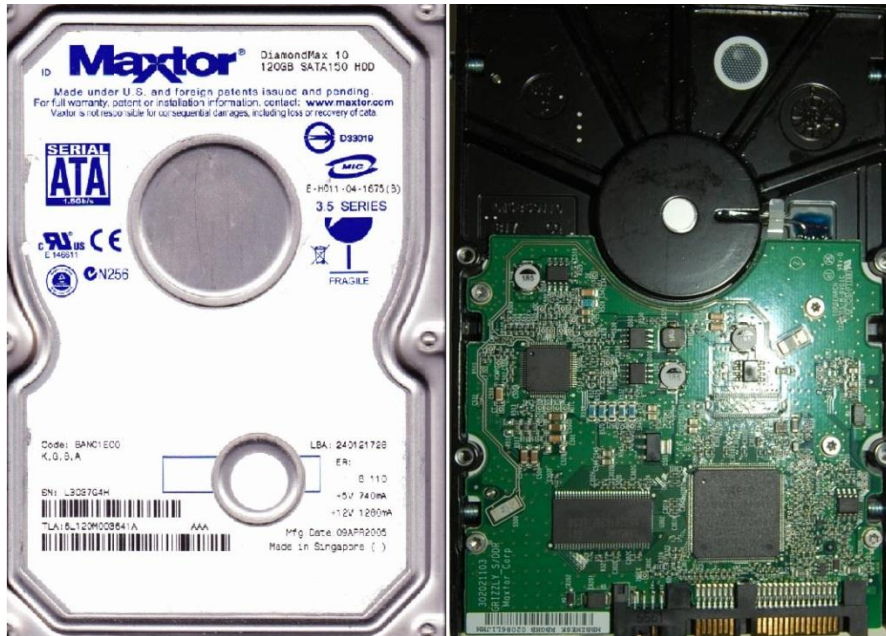
ικανοποιήσουν διαφορετικά εξαρτήματα μέσα στον υπολογιστή. Η πιο πρόσφατη προδιαγραφή του προτύπου ATX PSU από τα μέσα του 2008 είναι η έκδοση 2.31.



Εικόνα 2.6 : Το τροφοδοτικό του Η/Υ μας

6. Σκληρός δίσκος (HDD)

Ο σκληρός δίσκος είναι ένα μαγνητικό αποθηκευτικό μέσο - συσκευή που χρησιμοποιείται στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Ένας σκληρός δίσκος αποθηκεύει μεγάλες ποσότητες δεδομένων και η συνήθης χωρητικότητα των σκληρών δίσκων που κυκλοφορούν στο εμπόριο σήμερα είναι από 80 GB έως 3 TB (terabytes). Για μεγαλύτερες χωρητικότητες, χρησιμοποιούνται κυκλώματα πολλαπλών σκληρών δίσκων, με τη μορφή συρταρωτής διάταξης (racks). Η ταχύτητα προσπέλασης των δεδομένων είναι ταχύτερη από το DVD/R/RW αλλά πολύ πιο αργή από την μνήμη RAM του υπολογιστή. Οι σκληροί δίσκοι χρησιμοποιούνται στους υπολογιστές για την αποθήκευση δεδομένων, κυρίως προγραμμάτων και αρχείων που είναι απαραίτητο να διατηρηθούν, σε αντίθεση με την μνήμη RAM όπου τα δεδομένα διαγράφονται με την διακοπή τροφοδοσίας ηλεκτρικού ρεύματος. Επίσης, όλοι οι σκληροί δίσκοι πλέον, έχουν ενσωματωμένη μνήμη (Cache RAM) για προσωρινή αποθήκευση που η χωρητικότητα της ξεκινά από 8MB και φτάνει τα 64MB.



Εικόνα 2.7 : Ο σκληρός δίσκος του Η/Υ μας (εμπρός και πίσω όψη)

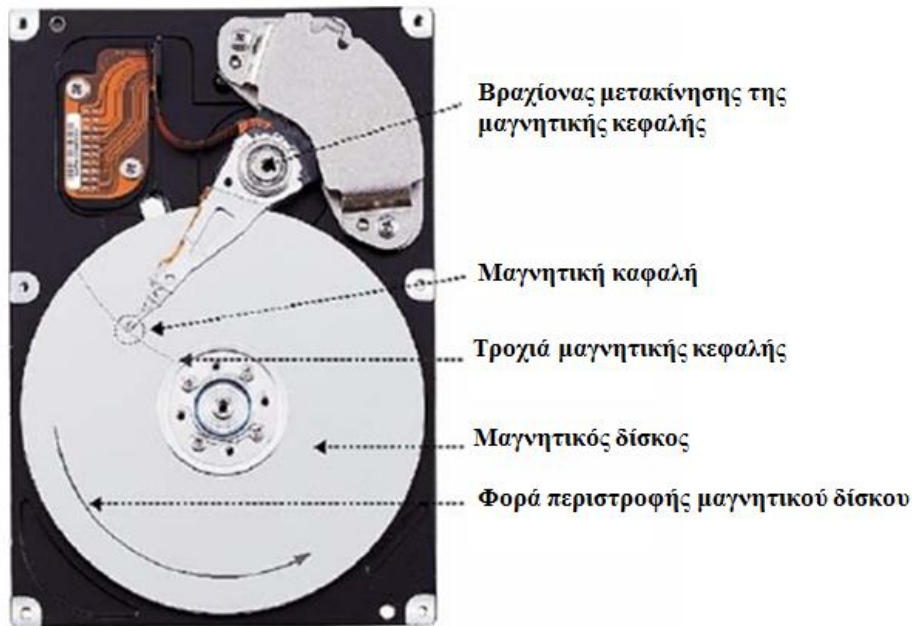
Τα ευαίσθητα και ευπαθή μέρη του σκληρού δίσκου προστατεύονται από σκληρό μεταλλικό περίβλημα που υπηρετεί ταυτόχρονα πολλαπλούς σκοπούς :

1. Μηχανική προστασία από χτυπήματα και πίεση που μπορεί να αναπτυχθεί στο εσωτερικό ενός κουτιού υπολογιστή.
2. Ηλεκτρομαγνητική θωράκιση από ηλεκτρομαγνητικά πεδία που υπάρχουν στο χώρο αποθήκευσης ή / και λειτουργίας του.
3. Θερμική μόνωση για την ευκολότερη απαγωγή της θερμότητας από το εσωτερικό του δίσκου ώστε το μαγνητικό υλικό να λειτουργεί σε θερμοκρασίες εντός των προδιαγραφών του.
4. Ατμοσφαιρική απομόνωση: οι κεφαλές εγγραφής / ανάγνωσης βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη από τη διάμετρο μιας ανθρώπινης τρίχας από την ή τις μαγνητικές επιφάνειες, με αποτέλεσμα ο παραμικρός κόκκος σκόνης να καταστρέψει την ακεραιότητα του συστήματος.

Ένας σκληρός δίσκος αποτελείται από:

- **μαγνητικούς δίσκους** κατασκευασμένους από μέταλλο ή πλαστικό και επικαλυμμένους από ένα λεπτό στρώμα οξειδίου του σιδήρου ή άλλο μαγνητικό υλικό.

- **άξονα κίνησης** γύρω από τον οποίο περιστρέφονται οι μαγνητικοί δίσκοι με την ίδια ταχύτητα.
- **κεφαλές ανάγνωσης/εγγραφής** επάνω σε βραχίονες πάνω και κάτω από κάθε επιφάνεια δίσκου, που μετακινούνται εμπρός-πίσω. Ο συνδυασμός της κίνησης των βραχιόνων με την κίνηση των δίσκων, επιτρέπουν στις κεφαλές να έχουν πρόσβαση σε όλα τα σημεία των δίσκων.
- **βηματικό ηλεκτροκινητήρα** που είναι υπεύθυνος για την ακριβή τοποθέτηση των κεφαλών ανάγνωσης/εγγραφής στο σωστό σημείο έτσι ώστε να είναι εφικτή η εγγραφή ή/και η ανάγνωση των δεδομένων από τις κεφαλές.
- **ηλεκτρονικά εξαρτήματα** που εξυπηρετούν την λειτουργία του σκληρού δίσκου, επικοινωνώντας με τον υπολογιστή και αναλαμβάνοντας την κίνηση των κεφαλών και τη μεταφορά των δεδομένων.



Εικόνα 2.8 : Το εσωτερικό ενός τυπικού σκληρού δίσκου

Τα δεδομένα αποθηκεύονται στο σκληρό δίσκο ως ακολουθίες bit (αφού οι υπολογιστές λειτουργούν με το δυαδικό σύστημα). Οι κεφαλές γράφουν κάθε bit αλλάζοντας το μαγνητικό πεδίο στην επιφάνεια των μαγνητικών δίσκων και το διαβάζουν απλώς αναγνωρίζοντας το μαγνητικό πεδίο. Κάθε bit δεδομένων καταλαμβάνει τον δικό του χώρο στην επιφάνεια του δίσκου, ωστόσο οι ακολουθίες bit που αποτελούν τα δεδομένα, δεν είναι απαραίτητο να εγγράφονται σειριακά στον δίσκο, αλλά είναι δυνατό να κατακερματιστούν και να εγγραφούν σε διάφορες θέσεις.

Η οργάνωση των δεδομένων σε ένα σκληρό δίσκο γίνεται μέσω ενός συστήματος ανάγνωσης, ταξινόμησης και εγγραφής το οποίο καλείται σύστημα αρχείων. Υπάρχουν πολλών ειδών τέτοια συστήματα, τα οποία εξυπηρετούν διαφορετικούς σκοπούς και πληρούν διαφορετικές προδιαγραφές το καθένα. Ενδεικτικά στα pc, υπάρχει το σύστημα NTFS, το οποίο χρησιμοποιείται στην σειρά λειτουργικών συστημάτων Windows από την έκδοση XP και έπειτα, και τα ext2 και ext3, τα οποία αποτελούν συνήθη επιλογή σε λειτουργικά συστήματα με τον πυρήνα Linux.

7. Οπτικό μέσο αποθήκευσης (CD-DVD)

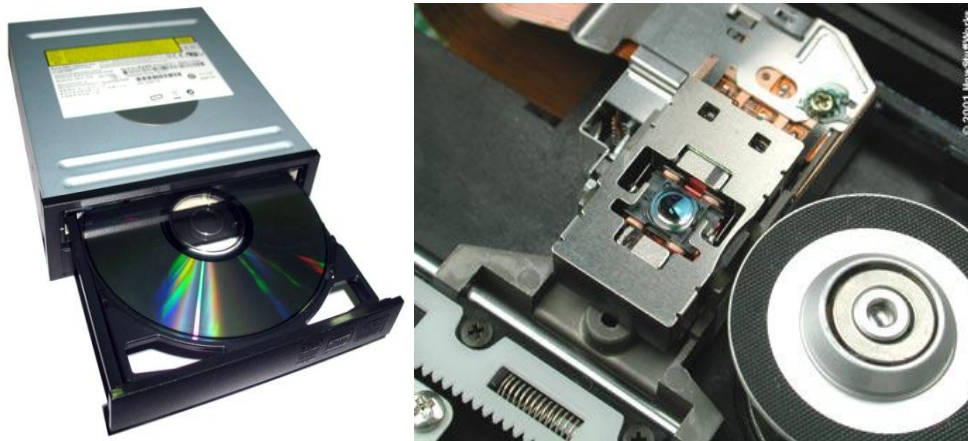
Η αρχή λειτουργίας των σύγχρονων συστημάτων οπτικής αποθήκευσης και ανάγνωσης ψηφιακών δεδομένων, βασίζεται στον τρόπο με τον οποίο αντανακλάται μια τεχνητή ακτίνα φωτός από την επιφάνεια του μέσου αποθήκευσης. Ως πηγή φωτός χρησιμοποιούνται συσκευές εκπομπής ακτινών λέιζερ που είναι γνωστές ως δίοδοι λέιζερ. Η ακτινοβολία λέιζερ είναι η πλέον κατάλληλη για την οπτική αναγνώριση και εγγραφή δεδομένων, για το λόγο ότι παρουσιάζει χαρακτηριστικά τα οποία ακτινοβολίες από φυσικές ή άλλου τύπου τεχνικές πηγές εκπομπής στερούνται.

Η ακτινοβολία λέιζερ είναι μια δέσμη φωτός μονοχρωματική, δηλαδή εκπέμπεται σε σταθερό μήκος κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, το οποίο μπορεί να ποικίλει, ανάλογα με την τεχνολογία της πηγής εκπομπής, από 300 μέχρι 2000 νανόμετρα και συντονισμένη, γεγονός που δικαιολογεί την υψηλή ενέργεια που φέρει η ακτίνα λέιζερ. Η δίοδος λέιζερ είναι η τεχνολογία που επέτρεψε την εμπορική εκμετάλλευση της τεχνολογίας οπτικής αποθήκευσης δεδομένων. Τα πλεονεκτήματα των δίοδων εκπομπής ακτινών λέιζερ είναι πολλά, τα σημαντικότερα από αυτά είναι το πολύ χαμηλό κόστος κατασκευής τους, οι χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις τους και το πολύ μικρό τους μέγεθος.

Η τυπική διάταξη οπτικής εγγραφής και ανάγνωσης ψηφιακών δεδομένων, που συναντάται στις σύγχρονες συσκευές οπτικής αποθήκευσης, δηλαδή στις συσκευές εγγραφής και ανάγνωσης οπτικών δίσκων, αποτελείται από:

- Την πηγή ακτινοβολίας λέιζερ μεταβλητής ισχύος, η οποία είναι ικανή να επιφέρει, στη μέγιστη ισχύ λειτουργίας της, αλλαγές στη δομή του μέσου αποθήκευσης για την εγγραφή των δεδομένων, όπως επίσης την ικανότητα παροχής ακτινοβολίας συνεχόμενης ροής χαμηλής ισχύος, για την ανάγνωση των δεδομένων από το μέσο χωρίς όμως να προκαλεί τη μεταβολή του.

- Τα κατάλληλα οπτικά για την εστίαση της δέσμης σε όσο το δυνατό μικρότερη περιοχή της επιφάνειας του μέσου αποθήκευσης.
- Τον οπτικό αισθητήρα ανίχνευσης του ποσού της ακτινοβολίας που αντανακλάται από την επιφάνεια του μέσου, για την ανάγνωση των αποθηκευμένων δεδομένων.
- Την κατάλληλη διάταξη μετακίνησης των παραπάνω (που σχηματίζουν την κεφαλή οπτικής εγγραφής και ανάγνωσης), ώστε να υπάρχει πλήρη εκμετάλλευση της επιφάνειας του μέσου αποθήκευσης.
- Το μηχανισμό περιστροφής του μέσου, αφού όλες οι συσκευές οπτικής αποθήκευσης δεδομένων που έχουν παρουσιαστεί μέχρι σήμερα βασίζονται στην αρχιτεκτονική του περιστρεφόμενου δίσκου.
- Το ηλεκτρονικό υποσύστημα διασύνδεσης της συσκευής με άλλες συσκευές (interface), όπως για παράδειγμα ηλεκτρονικούς υπολογιστές, εγγραφείς βίντεο ή δεδομένων κ.α.



Εικόνα 2.9 : α) Συνολική άποψη και β) Εσωτερικό μιας συσκευής CD-DVD

➤ *Ελεγκτής ψύξης (t-Balancer big NG)*

Το t-Balancer big NG είναι ο πρώτος ελεγκτής 4 καναλιών για ψύξη με αέρα και υδρόψυξη με την κατοχυρωμένη με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας τεχνολογία Dual Mode (DMT). Υπάρχει επιλογή τροφοδοσίας κάθε καναλιού αναλογικά ή με PWM.

Προσφέρει αναλογική τάση μέχρι 20W ανά κανάλι (40W με PWM). Με αυτό τον τρόπο υπάρχει η επιλογή σύνδεσης ακόμα και υδραντλίας ή Peltiers. Έχει ενσωματωμένα ψύκτρα εξασφαλίζοντας καλύτερη λειτουργία. Διαθέτει επίσης standar 4 λεπτούς αναλογικούς αισθητήρες και 2 ψηφιακούς ακριβείας.

Χρησιμοποιώντας κάθε διαθέσιμη επέκταση υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου μέχρι και 10 αναλογικών αισθητήρων, 8 ψηφιακών και 2 μετρητών ροής καθώς επίσης και την ταχύτητα 4 ανεμιστήρων. Η σύνδεση του με το υπόλοιπο σύστημα επιτυγχάνεται μέσω usb. Επίσης διαθέτει ένα ολοκληρωμένο σύστημα προστασίας το οποίο διαθέτει προστασία υπερθέρμανσης, ακουστικό συναγερμό, οπτικό συναγερμό, συναγερμούς λογισμικού, έλεγχο απώλειας αισθητήρων, αναγνώριση παρεμπόδισης, καθώς επίσης και σύστημα αυτοσυντήρησης. Μέγιστη ένταση ρεύματος είναι στα 7A ενώ η μέγιστη ισχύς κατανάλωσης είναι 80W για τα PWM και 20W για τους αναλογικούς.

Αντίστοιχα, η ισχύς ανά κανάλι είναι 40W για τα PWM και 20W για τους αναλογικούς. Τέλος οι διαστάσεις του είναι 88mm x 88mm x 16mm ενώ το βάρος του ανέρχεται στα 150g.

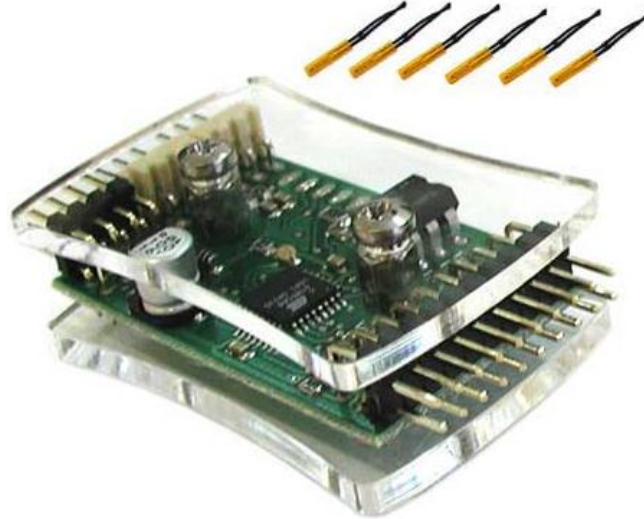


Εικόνα 2.10 : Ο ελεγκτής ψύξης t-Balancer big NG

➤ **Επέκταση ελεγκτή ψύξης (*extension set analog sensor hub*)**

Το analog sensor hub επιτρέπει τον έλεγχο των θερμοκρασιών έως και σε 6 σημεία στο σύστημά μας διαθέτοντας 6 αναλογικούς αισθητήρες, καθώς επίσης και δυνατότητα σύνδεσης μέχρι 2 μετρητών ροής. Με αυτόν τον τρόπο υπάρχει η δυνατότητα επίβλεψης αν σε κάποιο σημείο η θερμοκρασία υπερβεί το επιτρεπτό όριο ή σταματήσει η κανονική ροή του νερού στο σύστημα υδρόψυξης. Σε κάποια από τις παραπάνω περιπτώσεις, το σύστημα διαθέτει ένα διακόπτη ασφαλείας ο οποίος ενεργοποιείται και πραγματοποιείται ένα software shut-down, δηλαδή τερματισμός των Windows έτσι ώστε να αποφευχθεί πιθανή βλάβη στον Η/Υ μας και έπειτα ακολουθεί το hardware shut-down το οποίο ουσιαστικά κλείνει τις συσκευές

του συστήματός μας. Διαθέτει μικροεπεξεργαστή που καθιστά τις μετρήσεις και ενδείξεις ακόμη πιο ακριβείς, αισθητήρα I2C-SMBus, ο οποίος συνδέεται όπως οι ψηφιακοί αισθητήρες πάνω στο t-Balancer και ο οποίος μπορεί να διαχειριστεί μέχρι και 14 αισθητήρες θερμοκρασίας. Οι διαστάσεις του είναι 60mm x 35mm x 20mm ενώ αναγκαίο υλικό για τη σωστή λειτουργία του είναι το t-Balancer big NG.

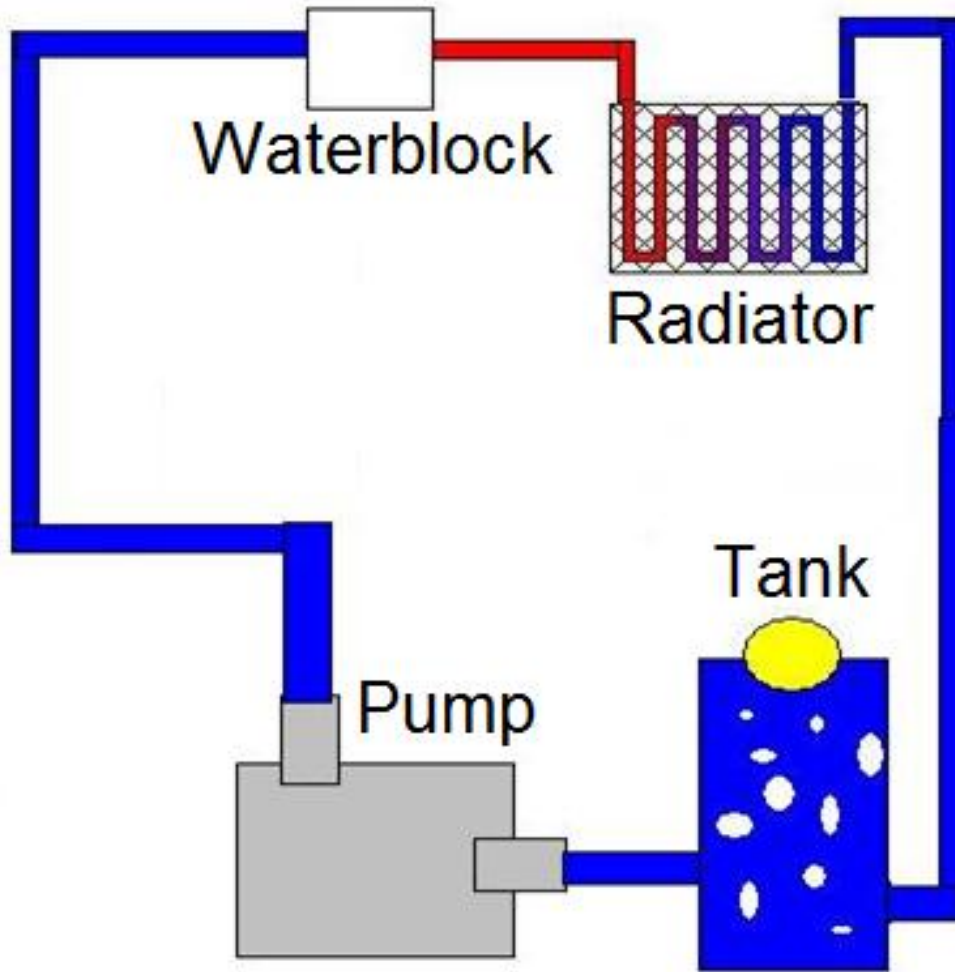


Εικόνα 2.11 : Το extension set analog sensor hub που χρησιμοποιήθηκε

2.2 Υλικά Υδρόψυξης

Τα υλικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στο σύστημα υδρόψυξης μας είναι τα εξής:

1. *Ψυγείο (radiator)*
2. *Ανεμιστήρες ψυγείου (radiator fans)*
3. *Σωληνώσεις – Λάστιχα (tubing)*
4. *Δεξαμενή (tank)*
5. *Αντλία (pump)*
6. *Waterblock*
7. *Μετρητής ροής (T-Flow)*
8. *Αισθητήρας θερμοκρασίας νερού*
9. *Υγρό υδρόψυξης (νερό)*



Εικόνα 2.12 : Απλοποιημένη συνδεσμολογία συστήματος υδρόψυξης

1. Ψυγείο

Το ψυγείο (radiator) είναι η συσκευή η οποία είναι υπεύθυνη για την ψύξη του νερού καθώς επίσης και για τη μεταφορά της θερμότητάς του στο περιβάλλον. Η ψύξη αυτή ενισχύεται με τη χρήση ανεμιστήρων (radiator fans).

Τα βασικά δομικά στοιχεία ενός ψυγείου υδρόψυξης είναι τα εξής:

- **Είσοδος – Έξοδος:** Είναι οι οπές από τις οποίες εισέρχεται και εξέρχεται το νερό (ή το εκάστοτε υγρό) στο ψυγείο.
- **Κυψέλες:** Είναι οι διαδρομές μέσα από τις οποίες κυκλοφορεί το νερό στο ψυγείο.
- **Σερπαντίνια:** Είναι λεπτά φύλλα χαλκού (ή αλουμινίου) σε κυματοειδή μορφή που εφάπτονται στις κυψέλες με σκοπό την καλύτερη απαγωγή της θερμότητας στο περιβάλλον.

Το συγκεκριμένο ψυγείο που χρησιμοποιήθηκε είχε διαστάσεις: 26 cm μήκος, 15 cm πλάτος και 4 cm ύψος.



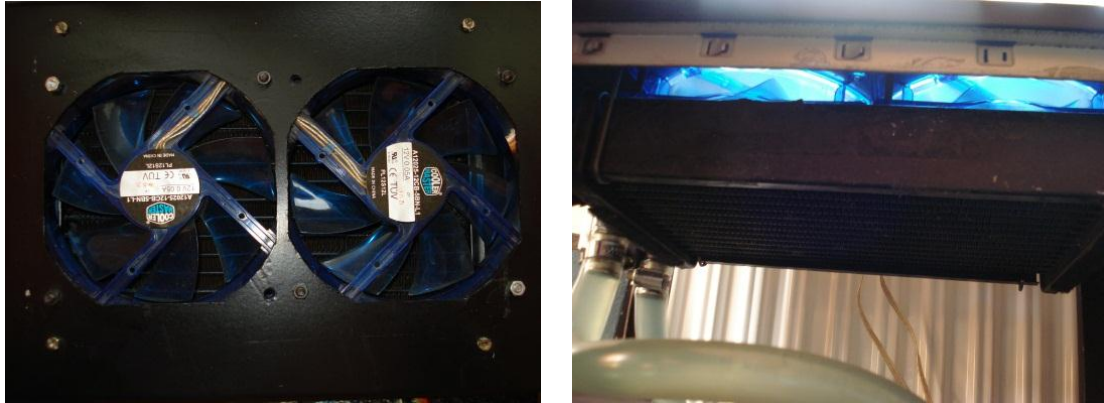
Εικόνα 2.13 : Ψυγείο που χρησιμοποιήθηκε στην υδρόψυξη

2. *Ανεμιστήρες ψυγείου*

Πάνω στο ψυγείο τοποθετήθηκαν δύο ανεμιστήρες οι οποίοι έχουν σκοπό την ταχύτερη απαγωγή της θερμότητας μέσα από αυτό. Στις περισσότερες υλοποιήσεις υδροψύξεων Η/Υ, οι ανεμιστήρες αυτοί δουλεύουν σε τέτοιες στροφές (RPM) έτσι ώστε να μην ακούγονται και να διατηρείται με αυτόν τον τρόπο το πλεονέκτημα της «ησυχίας» που έχει ένας Η/Υ με υδρόψυξη. Βέβαια, αυτό εξαρτάται από τις εκάστοτε συνθήκες και προτιμήσεις κάθε χρήστη.

Η τοποθέτηση των ανεμιστήρων στο ψυγείο επιτυγχάνεται με τρεις διαφορετικούς τρόπους:

- **Push:** Σε αυτήν τη διάταξη, οι ανεμιστήρες τοποθετούνται έτσι ώστε να σπρώχνουν τον αέρα διαμέσω της επιφάνειας του ψυγείου
- **Pull:** Σε αυτήν τη διάταξη, οι ανεμιστήρες είναι τοποθετημένοι πάνω στο ψυγείο έτσι ώστε να τραβούν τον θερμό αέρα μέσα από αυτό με κατεύθυνση στο περιβάλλον και
- **Push - pull:** Είναι ο συνδυασμός των δύο παραπάνω τρόπων (πιο αποδοτικός, αλλά παράλληλα ακριβότερος ή/και πιο θορυβώδης).



Εικόνα 2.14 : Διάταξη ανεμιστήρων ψυγείου που χρησιμοποιήθηκαν

3. Σωληνώσεις – Λάστιχα

Οι διάφορες σωληνώσεις και τα λάστιχα είναι το υλικό το οποίο δημιουργεί το κλειστό κύκλωμα μεταξύ των υλικών που απαρτίζουν την υδρόψυξη, μέσω του οποίου κυκλοφορεί το νερό (ή το εκάστοτε υγρό). Τα βασικά χαρακτηριστικά μέτρησής τους είναι η εσωτερική και η εξωτερική διάμετρος. Όσο πιο λεπτή είναι η εσωτερική διάμετρος τόσο αυξάνεται η πίεση του νερού, αλλά παράλληλα μειώνεται η ροή του λόγω απωλειών.

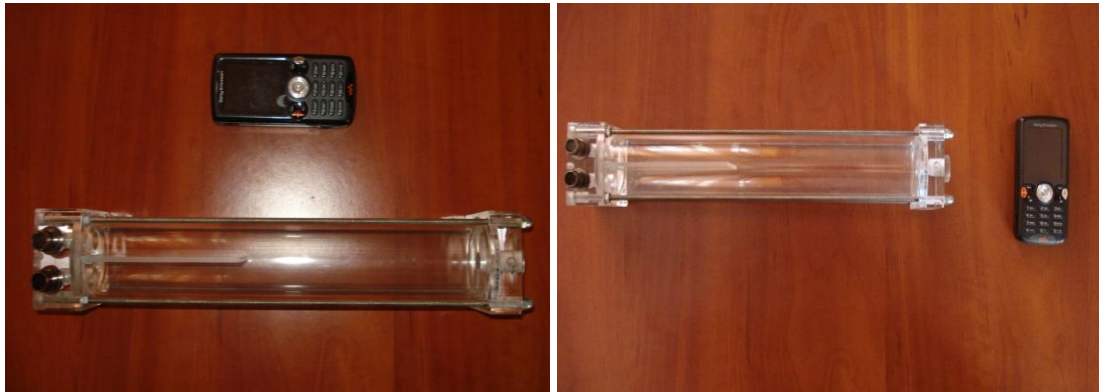


Εικόνα 2.15 : Συνήθη λάστιχα και σωληνώσεις μιας τυπικής υδρόψυξης

4. Δεξαμενή (Tank)

Οι δεξαμενές είναι δοχεία που επιτρέπουν την εύκολη εξαέρωση και τη γρήγορη συμπλήρωση του κυκλώματος. Επιπλέον, η ύπαρξή τους στο κύκλωμα αυξάνει την ποσότητα νερού με αποτέλεσμα να χρειάζεται περισσότερος χρόνος για την επαναφορά της θερμικής ισορροπίας στο νερό.

Στη συγκεκριμένη υλοποίηση χρησιμοποιήθηκε tank εξωτερικού τύπου όπου η δεξαμενή συμπληρώνεται με νερό και η είσοδος της αντλίας συνδέεται μέσω σωλήνα στη βάση της δεξαμενής. Βέβαια, το tank δεν είναι κάτι το απαραίτητο μιας και μπορεί να παραληφθεί και το κύκλωμα να γίνει κλειστού τύπου. Στην αγορά κυκλοφορούν πολλά είδη tank, αλλά όλα τους χαρακτηρίζονται από τις υψηλές τιμές. Γενικά, είναι μια αρκετά εύκολη κατασκευή που μπορεί να κατασκευαστεί από τον κάθε χρήστη με ελάχιστο κόστος και κόπο.



Εικόνα 2.16 : Το tank που χρησιμοποιήθηκε στην υδρόψυξη

5. Αντλία (Pump)

Η “καρδιά” ενός συστήματος υδρόψυξης, είναι η αντλία. Είναι το εξάρτημα το οποίο κυκλοφορεί το νερό μέσα στο σύστημα έτσι ώστε να απάγει τη θερμότητα από τα εξαρτήματα που επιθυμούμε. Η απόδοση των αντλιών μετριέται με βάση την απόδοση ροής σε λίτρα ανά ώρα και του μανομετρικού σε μέτρα (δηλαδή πόσο ψηλά μπορεί να στείλει το υγρό η αντλία). Στη συγκεκριμένη υλοποίηση, χρησιμοποιήθηκε αντλία Hydor L30 η οποία λειτουργεί με τάση 220v και έχει απόδοση 1200L/h.

Οι κυριότεροι/συνηθέστεροι τύποι αντλιών είναι οι φυγοκεντρικές αντλίες και οι αντλίες θετικής εκτόπισης. Οι φυγοκεντρικές μπορεί να είναι αξονικές, ακτινικές ή μικτού τύπου. Επίσης διακρίνονται σε διάφορους τύπους ανάλογα με τον αριθμό των διαδοχικών φτερωτών, τη μέθοδο στεγανοποίησης μεταξύ άξονα και κελύφους, και πολλά άλλα στοιχεία της κατασκευαστικής διαμόρφωσης. Κάποιοι συνηθισμένοι τύποι αντλιών θετικής εκτόπισης είναι: παλινδρομική με έμβολο, περιστροφική με λοβούς, περιστροφική με γρανάζια.

Η αντλία που χρησιμοποιήθηκε στην ιδιοκατασκευή αυτή, είναι *φυγόκεντρική*. Αυτό σημαίνει ότι η κίνηση των πτερυγίων αντλεί το υγρό από το κέντρο της αντλίας και με τη βοήθεια της φυγόκεντρου το εκτινάσσει με δύναμη.

Κάτι που πρέπει να σημειωθεί είναι ότι όσο μεγαλύτερο ψυγείο χρησιμοποιείται τόσο πιο δυνατή αντλία χρειάζεται το σύστημα υδρόψυξης. Κάτι παρόμοιο ισχύει και στα μπλοκ. Αναλόγως με τη δύναμη της αντλίας υπάρχει και η αντίστοιχη απόδοση των block που χρησιμοποιούνται.

Βασικό επίσης χαρακτηριστικό είναι η τροφοδοσία. Στην αγορά κυκλοφορούν δύο τύποι αντλιών, αυτές που λειτουργούν στα 12V και είναι κατασκευασμένες ειδικά για τέτοια συστήματα και αυτές στα 220V που είναι κυρίως για χρήση σε ενυδρεία.



Εικόνα 2.17 : Η αντλία που χρησιμοποιήθηκε στην υδρόψυξη

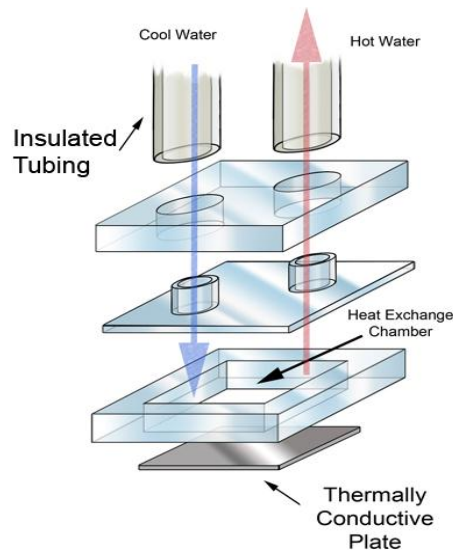
6. Μπλοκ (Waterblock)

Το μπλοκ είναι ένα ειδικά διαμορφωμένο “κομμάτι μετάλλου” (συνήθως χάλκινο) του οποίου σκοπός είναι η απαγωγή θερμότητας. Πιο συγκεκριμένα, το μπλοκ παίρνει το ρόλο της ψύκτρας με τη διαφορά ότι εδώ δεν υπάρχει συνεργασία μετάλλου και αέρα αλλά μετάλλου και νερού. Η απόδοσή τους επηρεάζεται κυρίως από το πάχος τους, το εσωτερικό σκάψιμό τους και την ταχύτητα διέλευσης του νερού στο εσωτερικό τους. Έχουν εφαρμογή σε επεξεργαστές, κάρτες γραφικών, chipset ακόμα και σε σκληρούς δίσκους.

Το μπλοκ αποτελείται από τα εξής μέρη:

- **Upperplate:** Αποτελεί την είσοδο και την έξοδο του μπλοκ σε συνδυασμό με τα ρακόρ όπου και εφάπτεται με το innerplate.

- **Innerplate:** Είναι ο κενός χώρος μέσα στον οποίο εισέρχεται το νερό κατά την λειτουργία του κυκλώματος όπου στην συνέχεια εφάπτεται με το bottomplate.
- **Bottomplate:** Έχει διπλό ρόλο στην λειτουργία του μπλοκ. Η εσωτερική του πλευρά βρέχεται από το νερό το οποίο υπάρχει μέσα στο innerplate, ενώ η εξωτερική του πλευρά εφάπτεται στο ολοκληρωμένο με σκοπό την απορρόφηση της θερμότητας.

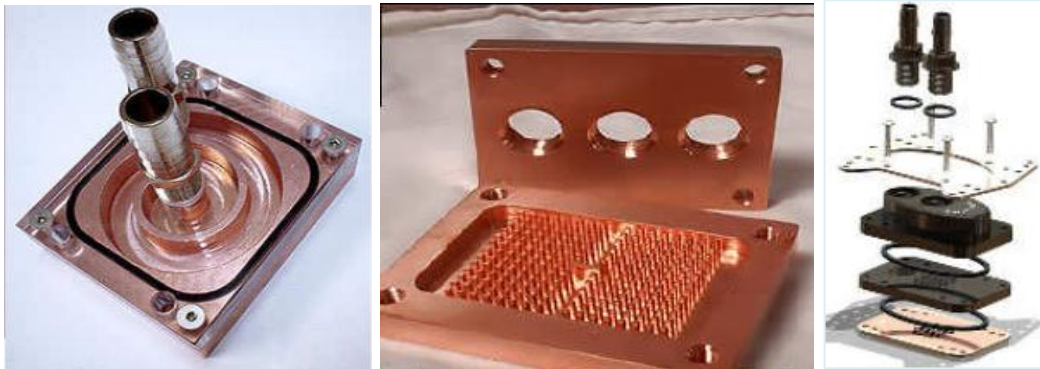


Εικόνα 2.18 : Επιμέρους κομμάτια ενός waterblock

Ο εσωτερικός σχεδιασμός των διαφόρων μπλοκ ποικίλει. Τρεις τρόποι εσωτερικού σχεδιασμού έχουν κυριαρχήσει:

- Ο σπειροειδής, όπου η πορεία του νερού μέσω αυτού είναι προκαθορισμένη και όσο μεγαλύτερη είναι η διαδρομή αυτή τόσο μεγαλύτερα ποσά θερμότητας απορροφά το νερό. Μειονέκτημα αυτής της σχεδίασης είναι ο μικρός αριθμός ακμών όπου αυτό έχει ως αποτέλεσμα το bottomplate να μην είναι σε θέση να μεταδώσει τη θερμότητα που απορροφά από το νερό.
- Ο δεύτερος τρόπος βασίζεται στη θεωρία της αερόψυκτρας. Αυτή η σχεδίαση διαθέτει μεγάλο αριθμό ακμών και σε συνδυασμό με την ταχύτερη διέλευση του νερού έχει ως αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη απορρόφηση θερμότητας. Μειονέκτημα σε αυτήν την περίπτωση είναι η δυσκολία κατασκευής καθώς επίσης και η ανάγκη χρήσης αντλίας με μεγάλη ροή.

- Ο ψεκασμός του νερού πάνω στο bottomplate. Αυτός ο σχεδιασμός επιτυγχάνεται με την δημιουργία πολύ μικρών τρυπών ακριβώς στην είσοδο του νερού στο innerplate. Το νερό διερχόμενο από αυτές τις τρύπες αυξάνει την ταχύτητά του προτού έρθει σε επαφή με το bottomplate. Αντίστοιχα, το bottomplate διαθέτει κεντρικά μικρές εσοχές όπου και καταλήγει το νερό. Μειονεκτήματα αυτής της σχεδίασης είναι η ανάγκη χρήσης υπερβολικά δυνατής αντλίας, η δυσκολία κατασκευής της, όπως επίσης η φραγή των τρυπών λόγω των αλάτων νερού.



Εικόνα 2.19 : Κυρίαρχοι τύποι εσωτερικού σχεδιασμού waterblocks.

Στη συγκεκριμένη υλοποίηση υδρόψυξης, χρησιμοποιήθηκε μπλοκ του δεύτερου τύπου.



Εικόνα 2.20 : Το μπλοκ που χρησιμοποιήθηκε στην υδρόψυξη

7. Μετρητής ροής (T-Flow)

Για την ασφάλεια του συστήματος υδρόψυξης και του επεξεργαστή, χρησιμοποιήθηκε ένας μετρητής ροής ο οποίος σε συνδιασμό με το t-balancer είναι

υπεύθυνος για τον έλεγχο της ροής του νερού στο κύκλωμα. Διαθέτει εύρος θερμοκρασιών από -10 °C έως +65 °C με μέγιστη ροή στα 171 l/min.



Εικόνα 2.21 : Μετρητής ροής (T-Flow) που χρησιμοποιήθηκε

8. Αισθητήρας θερμοκρασίας νερού (water temp probe)

Στο κύκλωμα υδρόψυξης χρησιμοποιήθηκε ένας αισθητήρας θερμοκρασίας νερού, ο οποίος είναι κατασκευασμένος από αλουμίνιο. Έχει διάμετρο 10 mm ενώ συνοδεύεται από καλώδιο 80 cm.



Εικόνα 2.22 : Ο αισθητήρας θερμοκρασίας νερού που χρησιμοποιήθηκε

9. Υγρά συστημάτων υδρόψυξης

Υπάρχουν διάφορα υγρά συστημάτων υδρόψυξης. Τα συνηθέστερα είναι:

- Απιονισμένο νερό
- Αντιψυκτικό υψηλών επιδόσεων αυτοκινήτων (paraflu)
- 1 προς 3 μείγμα Μεθανόλης – Νερού

Το απιονισμένο νερό αποτελεί την καλύτερη και συνηθέστερη λύση για ένα τυπικό σύστημα υδρόψυξης. Προτιμότερο είναι να χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με κάποιο πρόσθετο με σκοπό την παρεμπόδιση της διάβρωσης και της ανάπτυξης βακτηρίων που προκαλούν καταστροφή του συστήματος. Η διάβρωση προκαλείται όταν δύο διαφορετικά μέταλλα έρχονται σε επαφή μέσω υγρού. Επειδή στις υλοποιήσεις υδροψύξεων υπάρχουν περισσότερα από ενός τύπου μέταλλα, η χρήση προσθετικών κρίνεται απαραίτητη. Τα προσθετικά αυτά μπορεί να είναι ειδικά για υδρόψυκτα συστήματα ή να είναι κάτι άλλο όπως αντιδιαβρωτικά για ψυγεία αυτοκινήτου. Η αναλογία τους δεν πρέπει να ξεπερνά το 5% της συνολικής μάζας του υγρού.

Το αντιψυκτικό υψηλών επιδόσεων αυτοκινήτων δε χρειάζεται άλλα πρόσθετα καθώς επίσης δεν παγώνει σε περίπτωση χρησιμοποίησης ακραίων τρόπων ψύξης (έως τους $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$). Η απόδοση του όμως δεν είναι πολύ καλή σε σχέση με το καθαρό νερό. Γενικά πρέπει να είναι πολύ καλής ποιότητας επειδή τα φθηνά εναλλακτικά δεν κάνουν για υδρόψυκτα συστήματα διότι είτε έχουν μεγάλη πυκνότητα και δυσκολεύουν την λειτουργία της αντλίας είτε αφήνουν κατάλοιπα.

Η τρίτη λύση είναι το 1 προς 3 μείγμα μεθανόλης – νερού. Αυτό το μείγμα χρησιμοποιείται σε ακραίες λύσεις ψύξεων όπου η θερμοκρασία του υγρού παραμένει σε θερμοκρασίες κάτω των $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Δεν είναι τόσο καλή λύση όσο το απιονισμένο νερό αλλά δυστυχώς σε αυτές τις θερμοκρασίες το νερό γίνεται πάγος. Η απόδοσή του όμως είναι αρκετά καλή καθώς επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε θερμοκρασίες έως και $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Γενικά η πιο εύκολη και αποδοτική λύση είναι το απιονισμένο νερό με ένα μικρό ποσοστό προσθετικού. Επειδή το απιονισμένο νερό (όπως και η συντριπτική πλειοψηφία των πρόσθετων) δεν είναι αγώγιμο (καθώς δεν έχει ιόντα), σε περίπτωση διαρροής δεν υπάρχει ο κίνδυνος καταστροφής των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων του υπολογιστή μας.

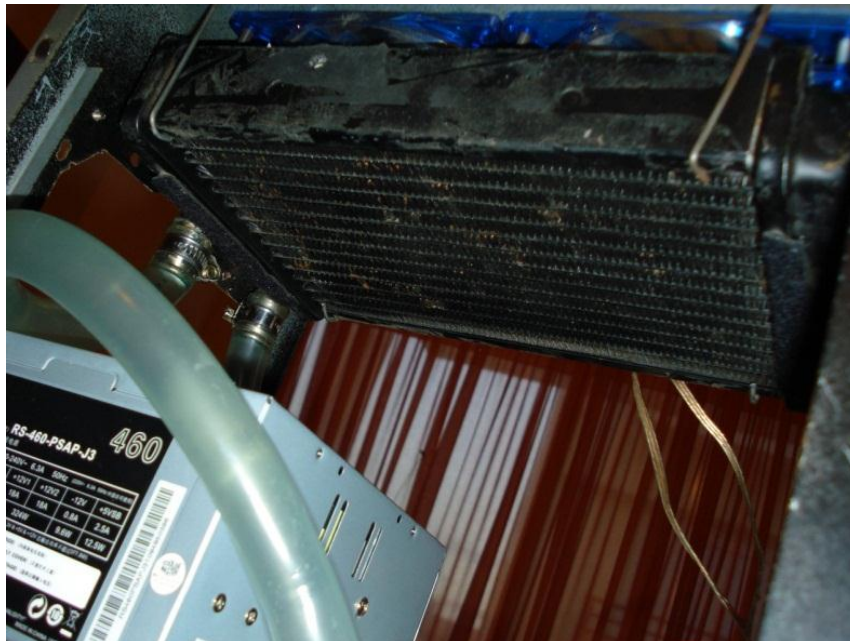
2.3 Στάδια κατασκευής

Στάδιο 1: Αρχικά έγινε η επιλογή του κουτιού του ηλεκτρονικού υπολογιστή για την υλοποίηση του συστήματος. Η επιλογή έγινε με βάση τον εσωτερικό χώρο λόγω των πολλών εξαρτημάτων. Οι διαστάσεις του είναι 44εκ. x 20εκ. x 65εκ (ΒxΠxΥ).



Εικόνα 2.23 : Το κουτί που χρησιμοποιήθηκε από διάφορες οπτικές γωνίες

Στάδιο 2: Στη συνέχεια εγκαταστάθηκαν τα εξαρτήματα που απαρτίζουν το σύστημα υδρόψυξης με πρώτο εξάρτημα το ψυγείο.



Εικόνα 2.24 : Το ψυγείο υδρόψυξης του Η/Υ μας

Στάδιο 3: Ακολούθως, εγκαταστάθηκε το τανκ και η αντλία μαζί με τις σωληνώσεις.



Εικόνα 2.25 : Το τανκ και η αντλία του Η/Υ μας

Στάδιο 4: Το επόμενο βήμα στο στήσιμο της υδρόψυξης ήταν η τοποθέτηση και η σύνδεση του ρελέ πάνω στο κουτί. Το ρελέ είναι ένα ηλεκτρολογικό εξάρτημα το οποίο δεν είναι απαραίτητο, καθώς ο σκοπός του είναι το ταυτόχρονο άνοιγμα και κλείσιμο του Η/Υ και της αντλίας.



Εικόνα Εικόνα 2.26 : Το ρελέ του Η/Υ μας

Στάδιο 5: Το τελευταίο εξάρτημα όσο αφορά το σύστημα υδρόψυξης που προστέθηκε στο κύκλωμα, ήταν το μπλοκ. Έπειτα, τέθηκε σε λειτουργία το σύστημα υδρόψυξης ώστε να διαπιστωθούν τυχόν διαρροές καθώς επίσης και η σωστή

λειτουργία του κυκλώματος. Η βασική αρχή λειτουργίας ενός συστήματος υδρόψυξης φαίνεται συνοπτικά στο ακόλουθο βίντεο:
http://www.youtube.com/watch?v=KIFG6T_68e8



Εικόνα 2.27 : Το τανκ, η αντλία και το μπλοκ του Η/Υ μας

Στάδιο 6: Μετά τον έλεγχο της ομαλής λειτουργίας του συστήματος υδρόψυξης, απεγκαταστάθηκαν τα αντίστοιχα εξαρτήματα και ξεκίνησε η σύνθεση του ηλεκτρονικού υπολογιστή στο κουτί. Αρχικά, έγινε η εγκατάσταση της μητρικής πλακέτας με ιδιαίτερη προσοχή ώστε να μην εφάπτεται πάνω στο κουτί για αποφυγή τυχόν βραχυκυκλωμάτων.



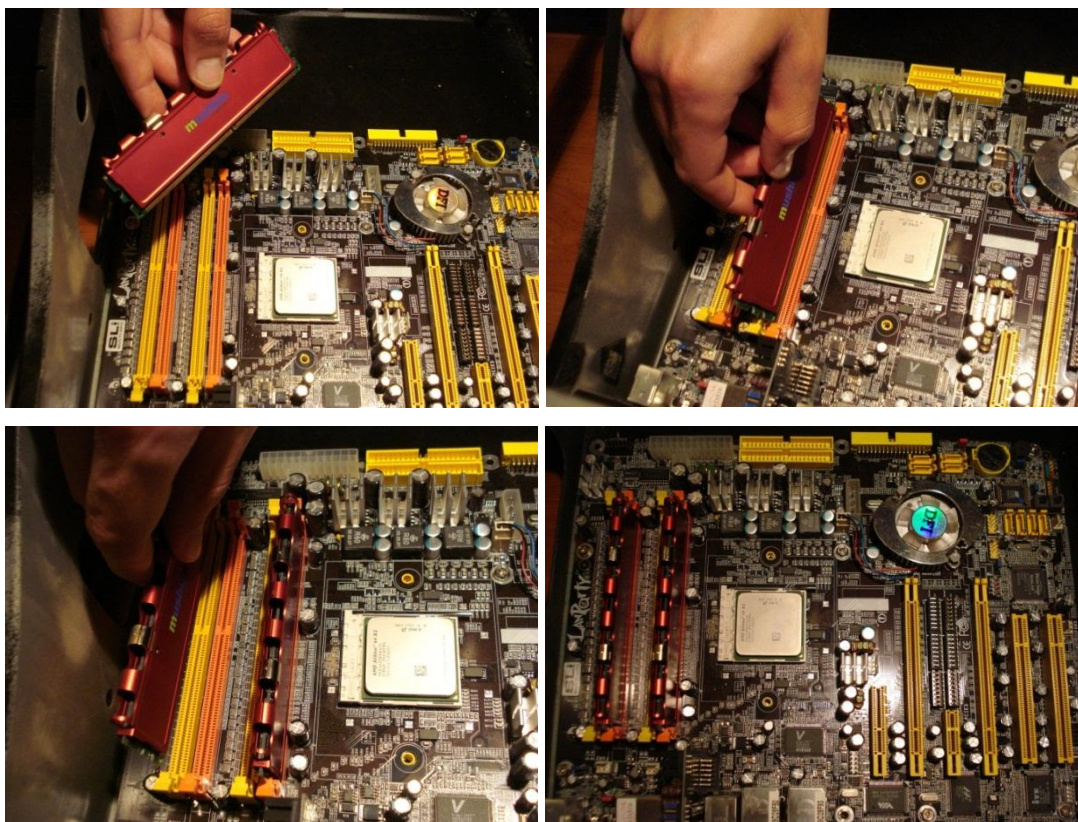
Εικόνα 2.28 : Εγκατάσταση της μητρικής πλακέτας στο κουτί

Στάδιο 7: Στη συνέχεια, έγινε η τοποθέτηση του επεξεργαστή στον κατάλληλο χώρο (CPU socket) που υπάρχει πάνω στην μητρική πλακέτα.



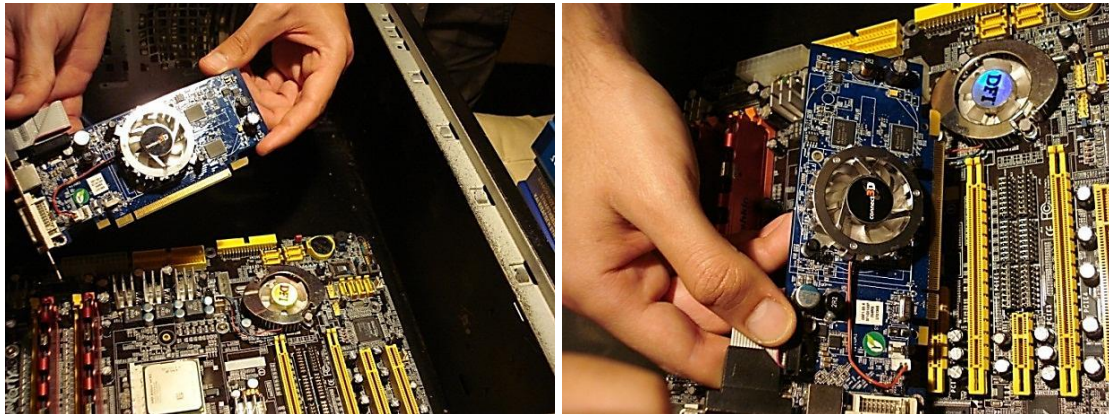
Εικόνα 2.29 : Εγκατάσταση του επεξεργαστή πάνω στη μητρική πλακέτα

Στάδιο 8: Επόμενο βήμα στη σύνθεση του Η/Υ ήταν η τοποθέτηση των μνημών RAM στις αντίστοιχες υποδοχές (memory slots), οι οποίες βρίσκονται επίσης πάνω στη μητρική πλακέτα.



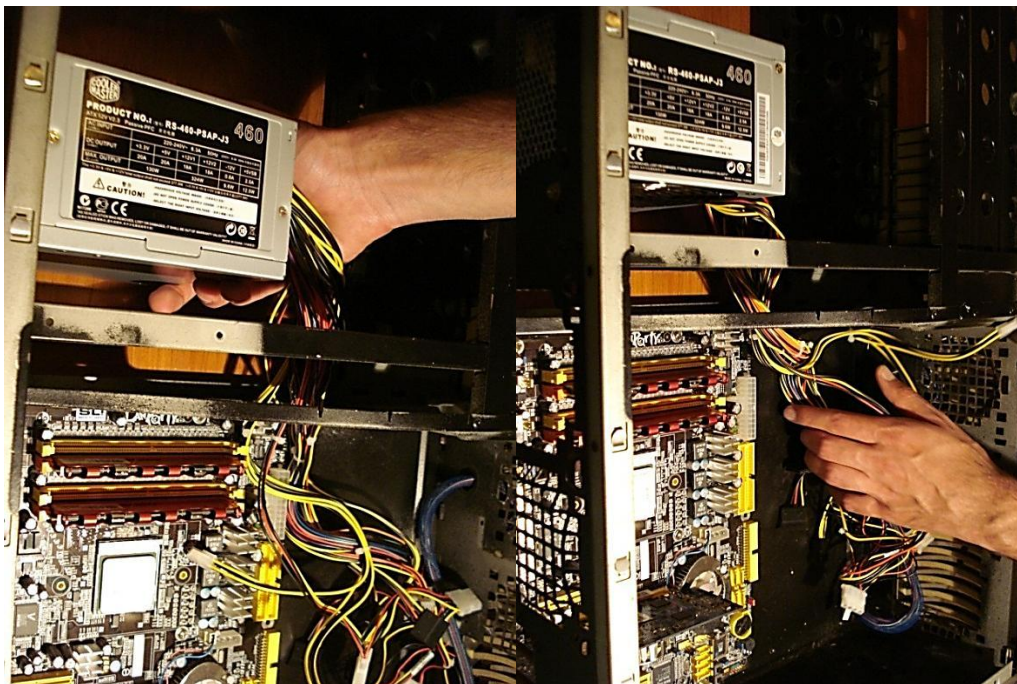
Εικόνα 2.30 : Στάδια εγκατάστασης μνημών RAM στη μητρική πλακέτα

Στάδιο 9: Στη συνέχεια ακολούθησε η τοποθέτηση της κάρτας γραφικών, αντιστοίχως και αυτή σε συγκεκριμένη θύρα πάνω στη μητρική πλακέτα.



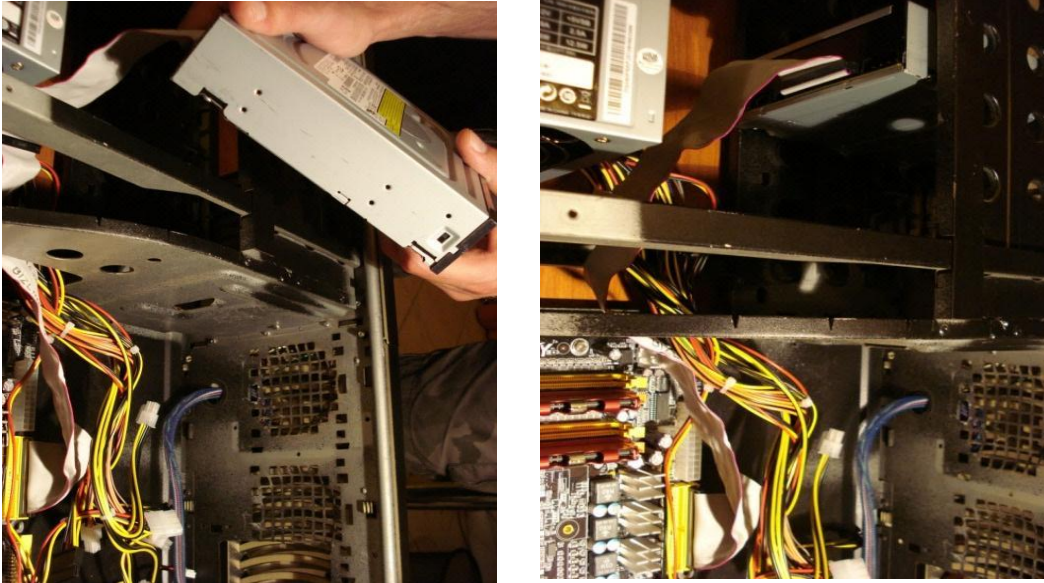
Εικόνα 2.31 : Εγκατάσταση της κάρτας γραφικών στη μητρική πλακέτα

Στάδιο 10: Επόμενο στάδιο στη σύνθεση του Η/Υ, ήταν η τοποθέτηση του τροφοδοτικού, μέσω του οποίου παίρνουν ρεύμα όλα τα εξαρτήματα του Η/Υ, αλλά και του συστήματος υδρόψυξης.



Εικόνα 2.32 : Εγκατάσταση του τροφοδοτικού στο κουτί

Στάδιο 11: Σε αυτό το στάδιο έγινε η εγκατάσταση του οπτικού μέσου αποθήκευσης (CD/DVD-ROM).



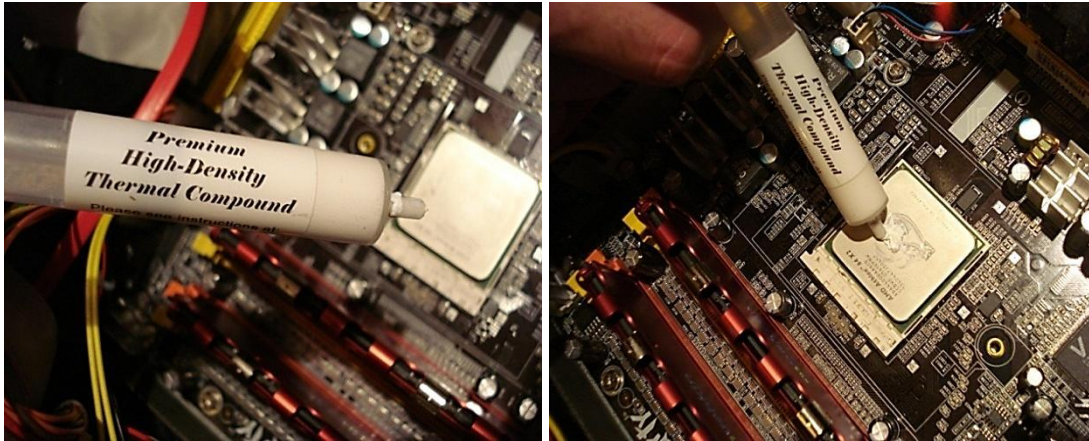
Εικόνα 2.33 : Εγκατάσταση του οπτικού μέσου αποθήκευσης στο κουτί

Στάδιο 12: Επόμενο βήμα ήταν η εγκατάσταση του σκληρού δίσκου (Hard Disk Drive) στην κατάλληλη «θήκη».



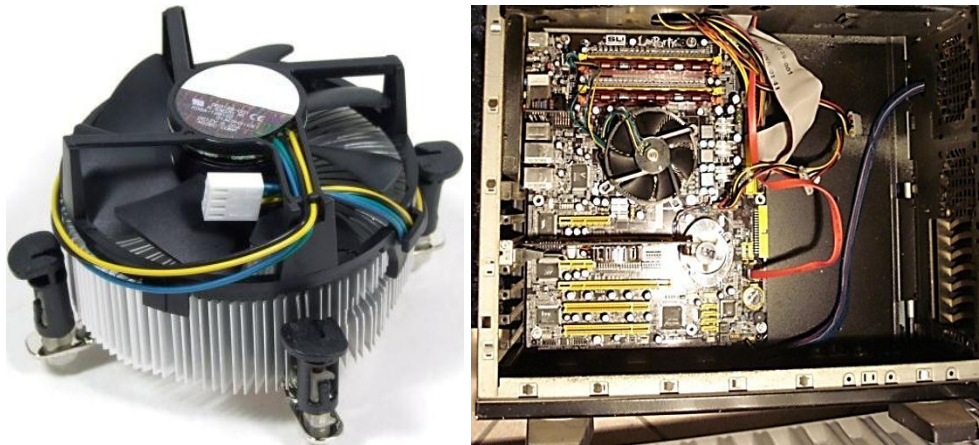
Εικόνα 2.34 : Εγκατάσταση του σκληρού δίσκου στο κουτί

Στάδιο 13: Ακολουθεί η τοποθέτηση της θερμοαγωγίμης πάστας πάνω στον επεξεργαστή. Όπως έχουμε προαναφέρει σε προηγούμενο κεφάλαιο, σκοπός αυτού του υλικού είναι η καλύτερη και πιο σταθερή επαφή μεταξύ του επεξεργαστή και της ψύκτρας, με στόχο τη διευκόλυνση της μεταφοράς θερμότητας από το ολοκληρωμένο κύκλωμα στην ψύκτρα.



Εικόνα 2.35 : Εφαρμογή της θερμοαγώγιμης πάστας πάνω στον επεξεργαστή

Στάδιο 14: Στη συνέχεια έγινε η εγκατάσταση της ψύκτρας σε συνδυασμό με ανεμιστήρα (η διαδικασία για την εγκατάσταση της εργοστασιακής και της aftermarket χάλκινης ψύκτρας, έγινε με την ίδια διαδικασία).



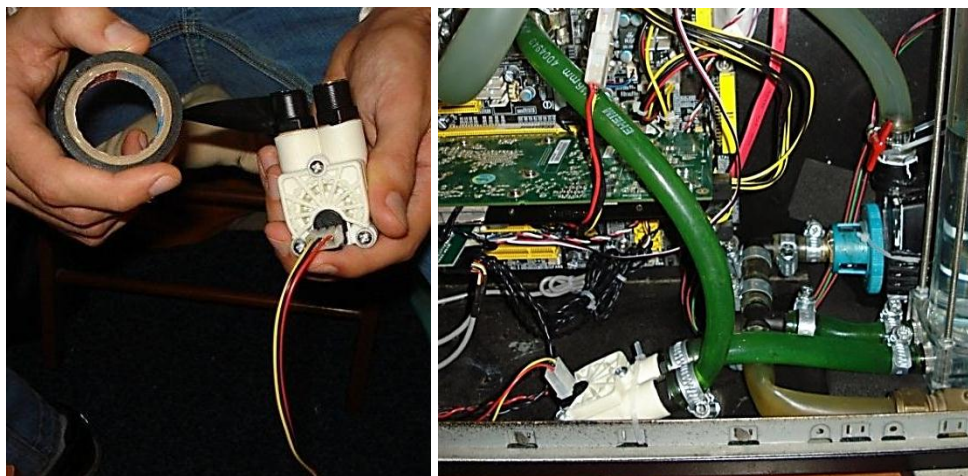
Εικόνα 2.36 : Τοποθέτηση της εργοστασιακής ψύκτρας πάνω στον επεξεργαστή

Στάδιο 15: Σειρά έχει η εγκατάσταση-τοποθέτηση του συστήματος υδρόψυξης, όπως παρουσιάστηκε και στα στάδια 2 έως 4 παραπάνω.



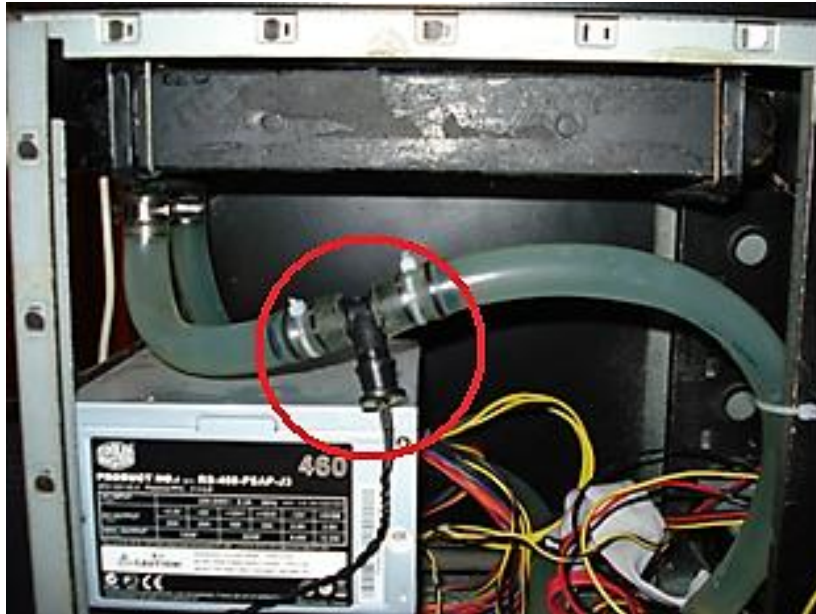
Εικόνα 2.37 : Εγκατάσταση-τοποθέτηση του συστήματος υδρόψυξης

Στάδιο 16: Αφού όλα τα εξαρτήματα του Η/Υ και το σύστημα υδρόψυξης είχαν στηθεί μέσα στο κουτί, ξεκίνησε η διαδικασία ενσωμάτωσης του αυτοματισμού της κατασκευής. Αρχικά, εγκαταστάθηκε ο μετρητής ροής στο κύκλωμα της υδρόψυξης.



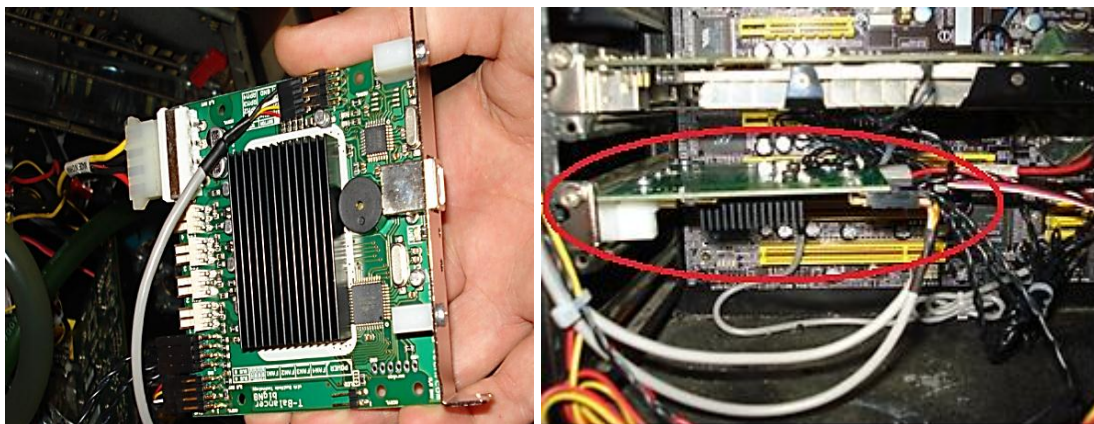
Εικόνα 2.38 : Ενσωμάτωση του μετρητή ροής στο κύκλωμα υδρόψυξης

Στάδιο 17: Στη συνέχεια τοποθετήθηκε αντιστοίχως στο κύκλωμα της υδρόψυξης ο αισθητήρας θερμοκρασίας του νερού που διατρέχει το κύκλωμα.



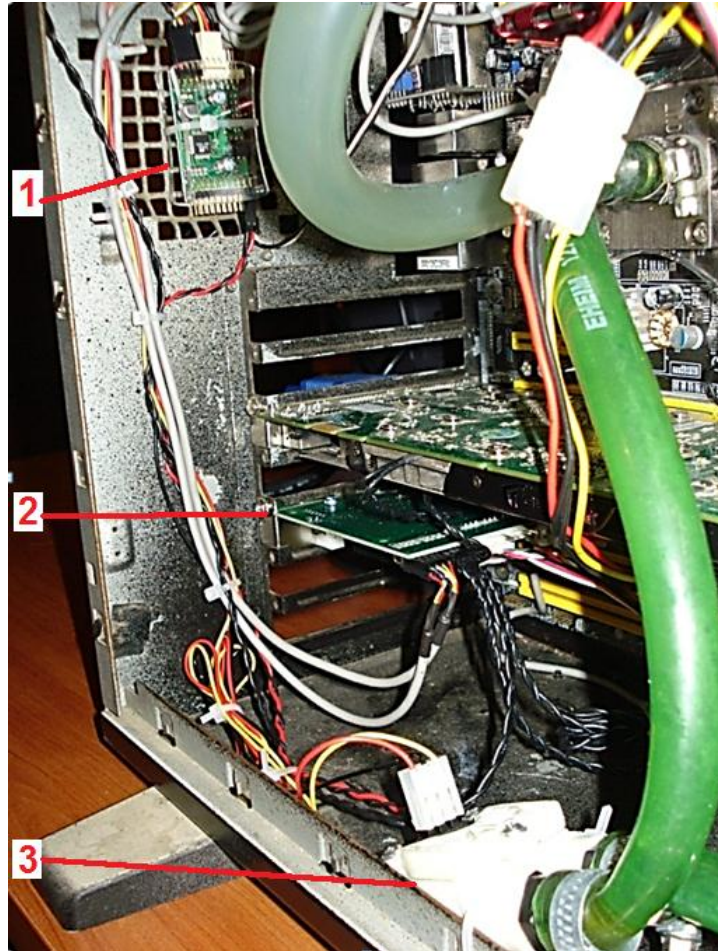
Εικόνα 2.39 : Ενσωμάτωση αισθητήρα θερμοκρασίας νερού στο κύκλωμα υδρόψυξης

Στάδιο 18: Σε αυτό το βήμα εγκαταστάθηκε το t-balancer το οποίο είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο των διαφόρων αισθητήρων του συστήματός μας.

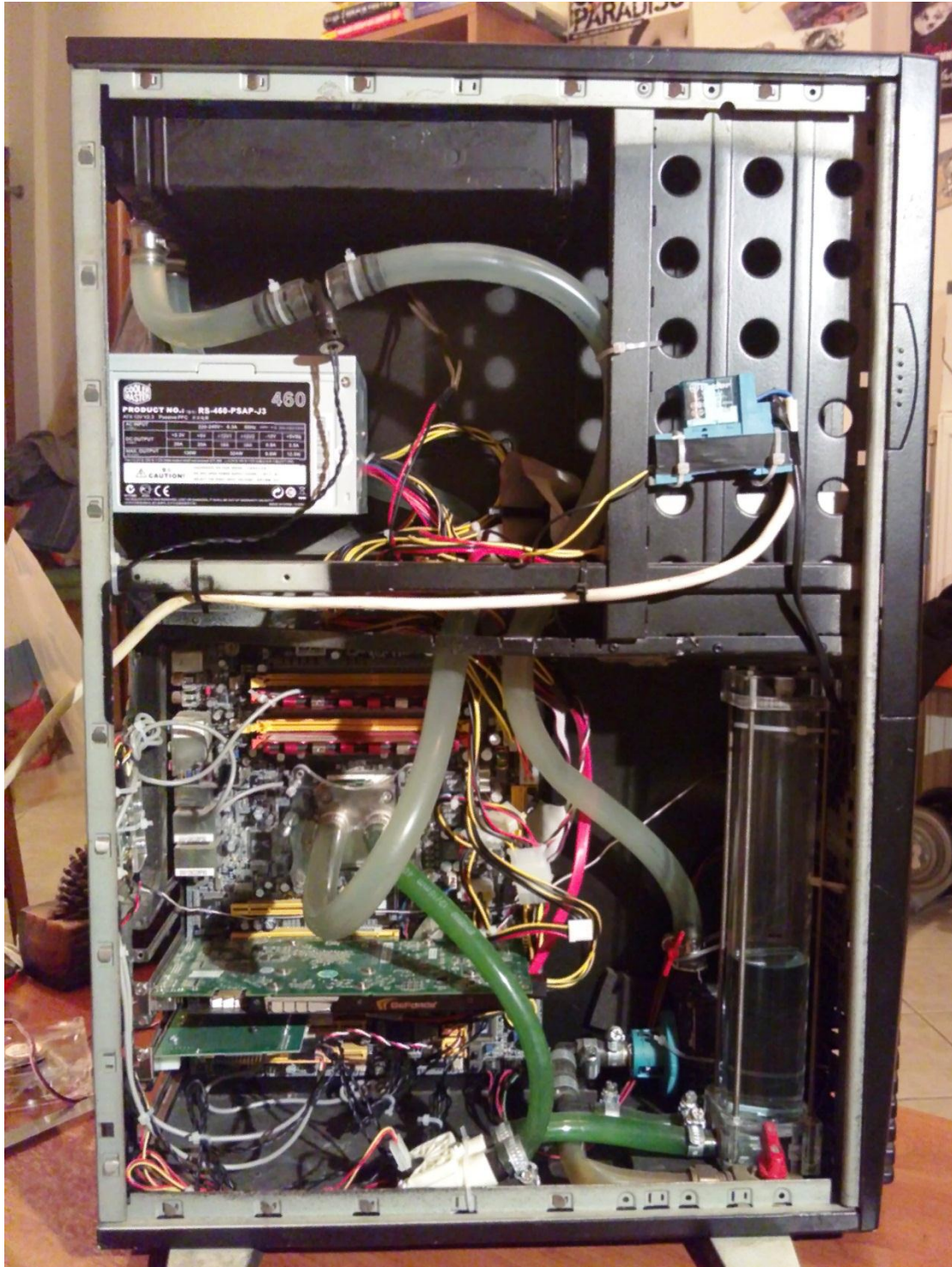


Εικόνα 2.40 : Εγκατάσταση του t-Balancer στο σύστημά μας

Στάδιο 19: Σε αυτό το στάδιο της κατασκευής έγινε εγκατάσταση του ελεγκτή ψύξεως (ο οποίος είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο του μετρητή ροής) πάνω στο κουτί και η σύνδεσή του με το t-Balancer.



Εικόνα 2.41 : Συνολική άποψη όπου φαίνονται: 1) ο ελεγκτής ψύξεως, 2) το t-Balancer και 3) ο μετρητής ροής



Εικόνα 2.42 : Τελική μορφή της κατασκευής

Κεφάλαιο 3: Αποτελέσματα Μετρήσεων

Γενικά:

Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα OCCT 3.1.0 (OverClock Checking Tool) σε σταθερή θερμοκρασία δωματίου 22°C.

Πρώτον το πρόγραμμα αυτό διαθέτει 3 διαφορετικά είδη μετρήσεων:

1. CPU = Μέτρηση του επεξεργαστή με κύρια ιδιότητα την παραγωγή θερμότητας.
2. RAM = Τριγωνικές μετρήσεις σε CPU-Chipset-Memory με κύριο σκοπό την ανίχνευση λαθών στις μνήμες αλλά και στα υπόλοιπα δύο.
3. Joint = Μία μίξη και των δύο παραπάνω μετρήσεων.

Δεύτερον διαθέτει 3 διαφορετικές μεθόδους μετρήσεων:

1. Automatic Test = Συνδυασμένες όλες οι μετρήσεις με διάρκεια 1 ώρα.
2. Infinite Personal (Infinity) = Διαλέγει ο χρήστης τι μέτρηση θα κάνει.
3. Personal (set) = Μέτρηση όπου ο χρήστης διαλέγει τα test που επιθυμεί, καθώς επίσης και την διάρκεια της ώρας.



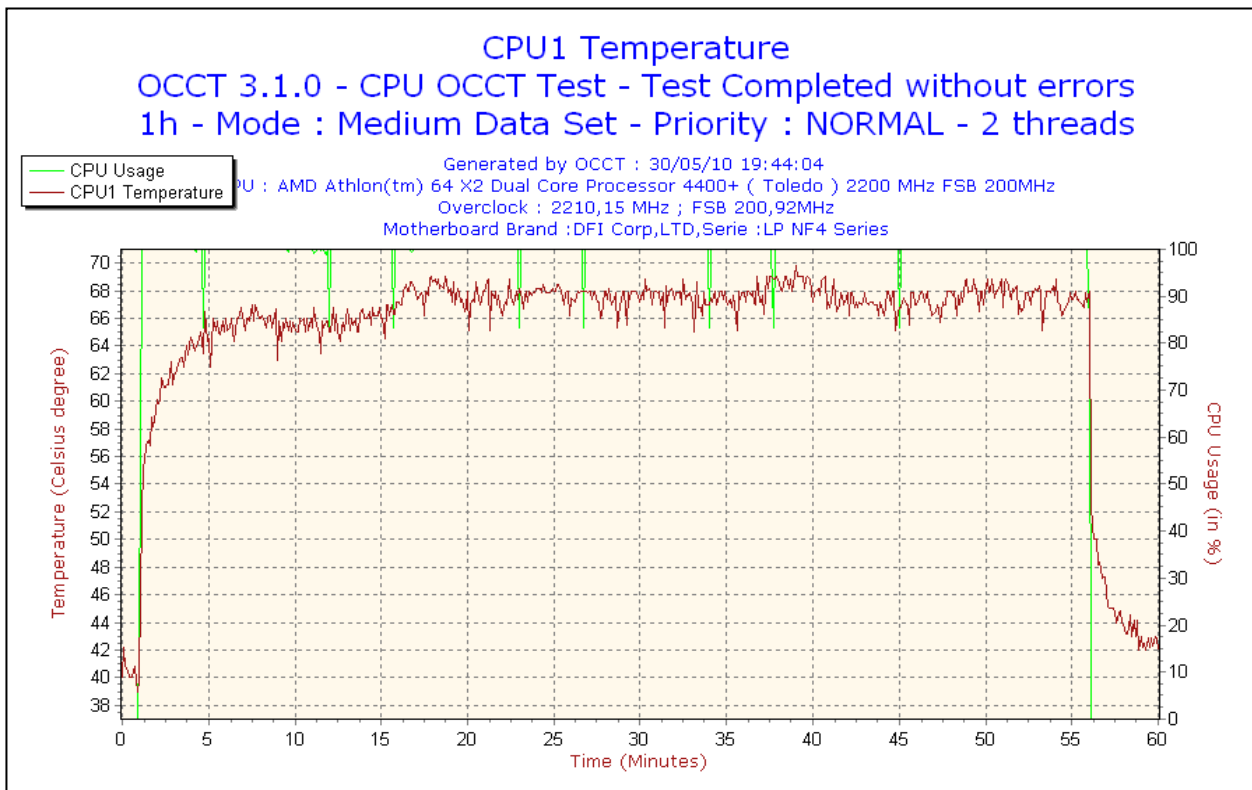
Εικόνα 3.1 : Λογότυπο προγράμματος OCCT

Το OCCT είναι ελεύθερο λογισμικό και η ιστοσελίδα απ' όπου μπορούμε να το κατεβάσουμε, είναι: http://www.ocbase.com/perestroika_en/index.php?Download

3.1 Ψύξη με χρήση εργοστασιακής ψύκτρας

Για την επίτευξη του 1^{ου} τεστ μετρήσεων, χρησιμοποιήθηκε η εργοστασιακή ψύκτρα του επεξεργαστή σε συνδυασμό με ανεμιστήρα ως μέσο απαγωγής θερμότητας.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η διακύμανση της θερμοκρασίας του επεξεργαστή συναρτήσει του χρόνου για χρονική διάρκεια 1 ώρας "στρεσαρίσματος" του CPU με το πρόγραμμα OCCT.



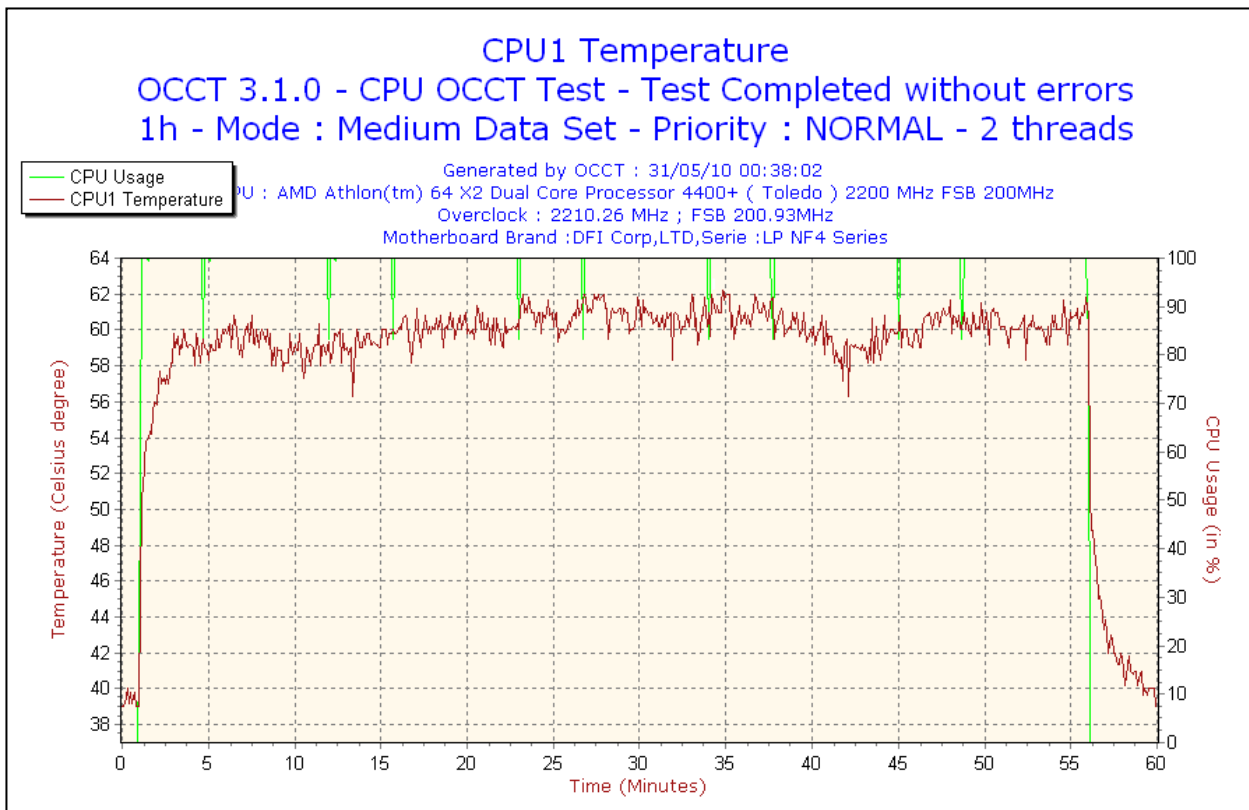
Εικόνα 3.2 : Διακύμανση θερμοκρασίας CPU με την εργοστασιακή ψύκτρα

Παρατηρείται ότι η θερμοκρασία του επεξεργαστή κατά την διεκπεραίωση του 1^{ου} τεστ κυμάνθηκε κυρίως από 65°C έως 69°C με στιγμιαίο μέγιστο τους 70°C.

3.2 Ψύξη με χρήση βελτιωμένης ψύκτρας

Για την επίτευξη του 2^{ου} τεστ μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε μια βελτιωμένη ψύκτρα, κατασκευασμένη εξ' ολοκλήρου από χαλκό, σε συνδυασμό με ανεμιστήρα ως μέσο απαγωγής θερμότητας.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται, όπως και πριν, η διακύμανση της θερμοκρασίας του επεξεργαστή συναρτήσει του χρόνου για χρονική διάρκεια 1 ώρας "στρεσαρίσματος" του CPU με το πρόγραμμα OCCT.



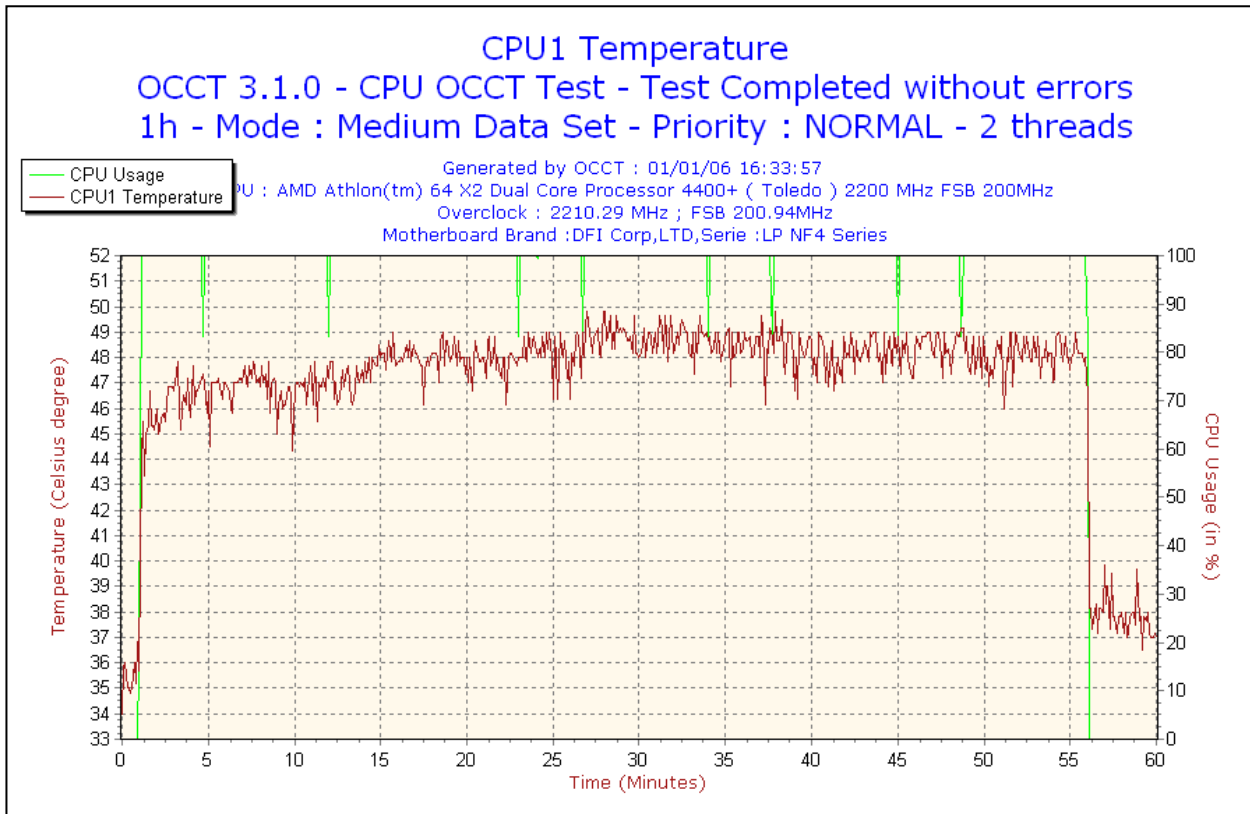
Εικόνα 3.3 : Διακύμανση θερμοκρασίας CPU με χρήση της χάλκινης ψύκτρας

Παρατηρείται ότι η θερμοκρασία του επεξεργαστή κατά την διεκπεραίωση του 2^{ου} τεστ κυμάνθηκε κυρίως από 58°C έως τους 62°C. Αυτό αποδεικνύει έμπρακτα ότι η χάλκινη ψύκτρα που χρησιμοποιήθηκε είναι σαφώς αποτελεσματικότερη από την εργοστασιακή, καθώς κατάφερε να κρατήσει τη θερμοκρασία του επεξεργαστή σε χαμηλότερα επίπεδα και μάλιστα 8°C υπό συνθήκες πλήρους φορτίου (full load).

3.3 Ψύξη με χρήση συστήματος υδρόψυξης

Τέλος, για την επίτευξη του 3^{ου} και τελευταίου τεστ μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε ένα σύστημα υδρόψυξης για την απαγωγή θερμότητας από τον επεξεργαστή.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται όπως και πριν, η διακύμανση της θερμοκρασίας του επεξεργαστή συναρτήσει του χρόνου για χρονική διάρκεια 1 ώρας "στρεσαρίσματος" του CPU με το πρόγραμμα OCCT.



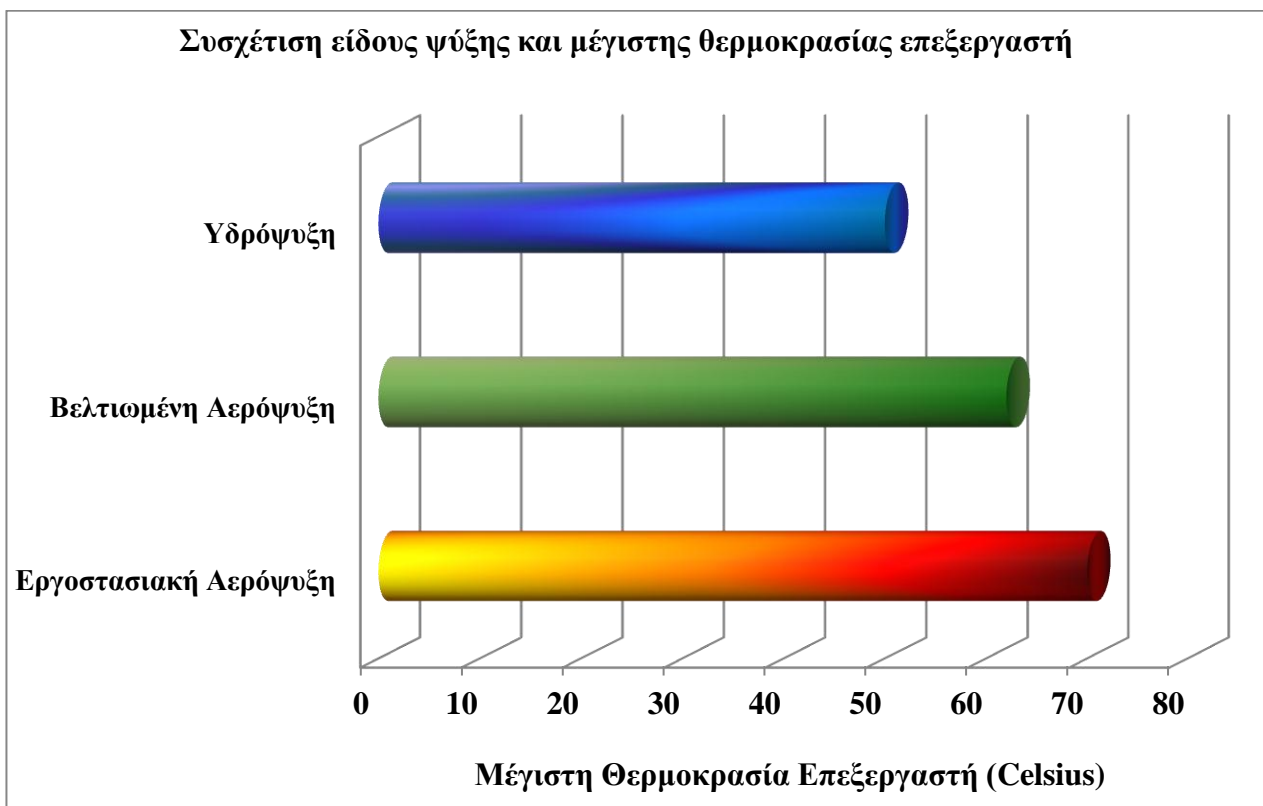
Εικόνα 3.4 : Διακύμανση θερμοκρασίας CPU με χρήση υδρόψυξης

Παρατηρείται ότι η θερμοκρασία του επεξεργαστή κατά την διεκπεραίωση του 3^{ου} τεστ κυμάνθηκε κυρίως από 47°C έως 49 °C, με στιγμιαίο μέγιστο τους 50°C. Είναι εμφανής η διαφορά θερμοκρασίας στον επεξεργαστή λόγω της χρήσης υδρόψυξης, συγκρινόμενη και με τους δύο προηγούμενους τρόπους ψύξης.

3.4 Σύγκριση μεθόδων ψύξης

Απώτερος σκοπός σε αυτήν την εργασία είναι, πέρα από την κατασκευή του συστήματος υδρόψυξης, η σύγκριση μεταξύ των διαφόρων μεθόδων ψύξης που χρησιμοποιήθηκαν.

Για να γίνουν ευκολότερα κατανοητά και πιο άμεσα συγκρίσιμα τα αποτελέσματα των μετρήσεων με τις διάφορες μεθόδους ψύξης, δημιουργήθηκε το παρακάτω διάγραμμα, το οποίο απεικονίζει τη μέγιστη θερμοκρασία στην οποία έφτασε ο επεξεργαστής με κάθε τρόπο ψύξης κατά τη διάρκεια του τεστ στρεσαρίσματος.



Εικόνα 3.5 : Διάγραμμα σύγκρισης μεθόδων ψύξης

Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ξεκάθαρα ότι η υδρόψυξη είναι ο αποδοτικότερος τρόπος ψύξης, καθώς διατηρεί τη θερμοκρασία του επεξεργαστή σε χαμηλά επίπεδα ακόμη και σε συνθήκες στρεσαρίσματος 100%.

Για να είμαστε όμως αντικειμενικοί και επιστημονικά ορθοί, πρέπει να πραγματοποιήσουμε και μια ανάλυση κόστους – απόδοσης και να καταλήξουμε σε

αυτόν τον τρόπο ψύξης ο οποίος να έχει τον καλύτερο λόγο απόδοσης-τιμής (ή αλλιώς “best value for money”), καθώς στη συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων έχει τη μεγαλύτερη βαρύτητα στην τελική επιλογή του καταναλωτή.

Τρόπος Ψύξης	Ενδεικτικό Κόστος (€)	Μέγιστη Θερμοκρασία CPU (°C)
Εργοστασιακή Αερόψυξη	10	70
Βελτιωμένη Αερόψυξη	40	62
Υδρόψυξη	150	50

Πίνακας 3.1: Ανάλυση κόστους–απόδοσης των τριών ειδών ψύξης που δοκιμάστηκαν

Όπως εύκολα μπορεί να παρατηρηθεί, όσο το κόστος αυξάνεται, τόσο η μέγιστη θερμοκρασία του επεξεργαστή μειώνεται, καθώς περνάμε σε όλο και αποδοτικότερη μέθοδο ψύξης.

Ενδεικτικά, παρόλο που δε δοκιμάστηκε κάποια τέτοια μέθοδος, ένα αντίστοιχο σύστημα ακραίας μορφής ψύξης (π.χ. Phase Change) που πωλείται σαν έτοιμη ολοκληρωμένη λύση στο εμπόριο, θα κόστιζε περίπου 400€, αλλά θα διατηρούσε τη θερμοκρασία του επεξεργαστή σε επίπεδα κάτω του μηδενός (-30 έως -50 °C).

Προφανώς, η επιλογή του τρόπου ψύξης του κάθε Η/Υ εξαρτάται από τις απαιτήσεις του εκάστοτε χρήστη και είναι έμμεση συνάρτηση των χρημάτων που μπορεί και θέλει να διαθέσει.

Κεφάλαιο 4: Συμπεράσματα και Προτάσεις

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν άμεσα από την παρούσα εργασία, συνοψίζονται στα εξής:

1. Υπάρχουν πολλά διαφορετικά είδη ψύξεως ενός Η/Υ. Οι βασικοί είναι: η αερόψυξη, η υδρόψυξη και οι ακραίοι τρόποι ψύξης (phase change, ξηρός πάγος, LN₂). Το είδος ψύξης που χρησιμοποιείται σε κάθε περίπτωση, εξαρτάται από πολλούς διαφορετικούς παράγοντες, οι κυριότεροι των οποίων είναι: οι ενεργειακές απαιτήσεις του κάθε συστήματος, οι απαιτήσεις του εκάστοτε χρήστη, καθώς φυσικά και το ποσό που επιθυμεί να διαθέσει για τον σκοπό αυτό.
2. Προφανώς, όπως φάνηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο με την παρουσίαση των αποτελεσμάτων, υπάρχουν εμφανείς διαφορές στην απόδοση κάθε είδους ψύξης σε έναν Η/Υ. Αποδείχτηκε αυτό που ήταν προφανές, δηλαδή ότι όσο αφορά την αερόψυξη, μια χάλκινη ψύκτρα είναι αποδοτικότερη από μια αντίστοιχη αλουμινένια, καθώς ο χαλκός έχει καλύτερο θερμικό συντελεστή από το αλουμίνιο και ως αποτέλεσμα αυτού, έχει τη δυνατότητα να απορροφάει μεγαλύτερα ποσά θερμότητας ανά επιφάνεια από ότι το αλουμίνιο. Όσο αφορά την υδρόψυξη, για το λόγο που προαναφέρθηκε, τα μπλοκ κατασκευάζονται από χαλκό, έτσι ώστε να βελτιστοποιηθεί η απόδοσή τους και παράλληλα με τη βοήθεια του νερού (που έχει πολύ μεγάλη θερμοχωρητικότητα) να απάγουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερα ποσά θερμότητας από το εκάστοτε ολοκληρωμένο κύκλωμα.
3. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.5, καθώς και στον Πίνακα 3.1, ο αποδοτικότερος αλλά παράλληλα και ακριβότερος τρόπος ψύξης από τους τρεις που δοκιμάστηκαν είναι η υδρόψυξη, καθώς επιτυγχάνει τις χαμηλότερες θερμοκρασίες στον επεξεργαστή εν συγκρίσει με την αερόψυξη (20 °C από την εργοστασιακή και 12 °C από τη βελτιωμένη).

Βιβλιογραφία

Διαδικτυακοί τόποι:

1. <http://www.sed.gr/cgi-bin/ikonboard/ikonboard.cgi?act=ST;f=14;t=20>
2. <http://www.happysurfer.gr/pc-support/8--/4---motherboard>
3. http://www.youtube.com/watch?v=KIFG6T_68e8
4. <http://www.happysurfer.gr/pc-support/8-->
5. http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CF%81%CE%BF%CF%83%CF%89%CF%80%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%82_%CF%85%CF%80%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%AE%CF%82#.CE.E.91.CF.81.CF.87.CE.B9.CF.84.CE.B5.CE.BA.CF.84.CE.BF.CE.BD.CE.B9.CE.BA.CE.AE
6. http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%BF%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%82_%CF%85%CF%80%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%AE%CF%82
7. http://www.ipet.gr/digitech2/index.php?option=com_content&task=view&id=101&Itemid=73
8. http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%B5%CE%BD%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%BC%CE%BF%CE%BD%CE%AC%CE%B4%CE%B1_%CE%B5%CF%80%CE%B5%CE%BE%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1%CF%82
9. <http://www.thelab.gr/cases-psu-and-mods/i-leitourgia-enos-psu-ena-mikro-mathima-66405.html>
10. http://en.wikipedia.org/wiki/Liquid_nitrogen
11. http://en.wikipedia.org/wiki/Leidenfrost_effect
12. <http://www.certh.gr/923026F5.el.aspx>
13. http://en.wikipedia.org/wiki/Computer_cooling#Phase-change_cooling
14. http://en.wikipedia.org/wiki/Dry_ice
15. <http://www.certh.gr/923026F5.el.aspx>
16. http://en.wikipedia.org/wiki/Computer_cooling#Liquid_nitrogen

- Δασκαλόπουλος Π., 2007. «Ψύξη Ηλεκτρονικών Υπολογιστών», Πτυχιακή Εργασία, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Πληροφορικής, Αλεξάνδρειο Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης