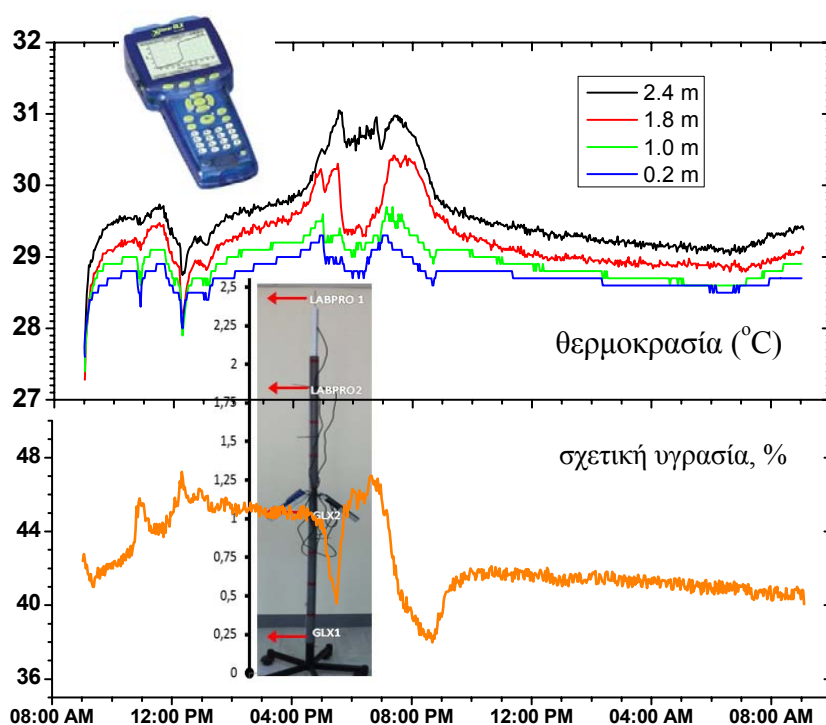




*Βαθμονόμηση και λειτουργία πειραματικής διάταξης μέτρησης θερμοκρασίας –
σχετικής υγρασίας εσωτερικών χώρων.*

Μελέτη περίπτωσης σε χώρους εργασίας για τον έλεγχο θερμικής άνεσης



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Πάσσαλης Δημήτριος-Γαβριήλ και Πεπονής Αναστάσιος

ΧΑΝΙΑ, 2013



Τ.Ε.Ι ΚΡΗΤΗΣ-ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



*Βαθμονόμηση και λειτουργία πειραματικής διάταξης μέτρησης θερμοκρασίας –
σχετικής υγρασίας εσωτερικών χώρων.*

Μελέτη περίπτωσης σε χώρους εργασίας για τον έλεγχο θερμικής άνεσης

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Πάσσαλης Δημήτριος-Γαβριήλ και Πεπονής Αναστάσιος

Επιβλέπων : *Δρ. Βασίλης Σάλτας*
Επίκουρος Καθηγητής

Επιτροπή Αξιολόγησης : *Δρ. Βασίλης Σάλτας, Επίκ. Καθηγητής*
Δρ. Ελευθερία Κατσίβελα, Αναπλ. Καθηγήτρια
MSc. Ιωάννης Βουρδουμπάς, Καθ. Εφαρμογών

Ημερομηνία Παρουσίασης :

Αύξων Αριθμός Πτυχιακής Εργασίας :

Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Γεωφυσικής και Σεισμολογίας του Τμήματος Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος κατά το χρονικό διάστημα Οκτώβριος 2012 – Ιούνιος 2013.

Ολοκληρώνοντας την πτυχιακή αυτή εργασία, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον Επίκ. καθηγητή Βασίλη Σάλτα για την ανάθεση του πολύ ενδιαφέροντος θέματος, αλλά και για την σπουδαία καθοδήγηση του καθώς και την πολύτιμη βοήθεια και συνεργασία που είχαμε καθ' όλη την διάρκεια της πτυχιακής εργασίας. Ευχαριστούμε επίσης τον Αναπ. Καθηγητή Ν. Λυδάκη-Σημαντήρη για τα άλατα που μας έδωσε προκειμένου να βαθμονομήσουμε τον αισθητήρα υγρασίας.

Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον καλό φίλο και συνάδελφο Γεώργιο Μαυρουδάκη για την πολύτιμη βοήθεια του, όπως επίσης και τον Σάββα Τζαβάρα για τη συνεισφορά του στο κατασκευαστικό κομμάτι της εργασίας.

Σεπτέμβριος 2013

Πάσσαλης Δημήτρης – Πεπονής Αναστάσιος

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε η εγκατάσταση, βαθμονόμηση και λειτουργία εκπαιδευτικής πειραματικής διάταξης για τη μέτρηση θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας στο εσωτερικό διαφανούς κυτίου με τη χρήση κατάλληλων αισθητηρίων και Η/Υ για την καταγραφή των μετρήσεων. Η τροποποιημένη διάταξη χρησιμοποιήθηκε για την ημερήσια καταγραφή της υγρασίας και του καθ' ύψους θερμοκρασιακού προφίλ σε εργασιακούς χώρους (γραφεία και εργαστήρια του κτιρίου του ΤΕΙ) όπου γίνεται χρήση κλιματισμού προκειμένου να διερευνηθούν οι συνθήκες θερμικής άνεσης που επικρατούν σε αυτούς.

INSTALLATION AND OPERATION OF AN EXPERIMENTAL APPARATUS FOR TEMPERATURE AND RELATIVE HUMIDITY MEASUREMENTS. A CASE STUDY FOR THERMAL COMFORT IN WORKING ENVIROMENTS

Abstract

The main purpose of the present thesis is the installation and operation of an educational experimental apparatus for the measurements of temperature and relative humidity in a small plexiglas box, by means of proper sensors and computer for continuous monitoring and data acquisition.

A modified apparatus was used for daily measurements of relative humidity and vertical temperature profile in offices and laboratories of TEI building with air-conditioning, in order to investigate the thermal comfort conditions.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Εισαγωγή.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Θερμική άνεση και συστήματα κλιματισμού	10
2.1 Μηχανισμοί Θερμικής άνεσης	10
2.2 Θερμοδυναμικές έννοιες – ορισμοί	12
2.2.1 Ξηρός και ατμοσφαιρικός αέρας	12
2.2.2 Η ειδική και η σχετική υγρασία του αέρα	12
2.2.3 Θερμοκρασία σημείου δρόσου.....	13
2.2.4 Κλιματισμός και ανθρώπινη άνεση	14
2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την θερμική άνεση	15
2.3.1 Θερμοκρασία	15
2.3.2 Υγρασία	18
2.3.3 Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας	24
2.3.4 Ταχύτητα αέρα	25
2.4 Πρότυπα θερμικής άνεσης.....	29
2.4.1 Το πρότυπο της ASHRAE.....	29
2.4.2 Αναθεώρηση του μοντέλου ASHRAE	29
2.3.3 Το πρότυπο της ISO.....	33
2.4.4 Αναθεώρηση του προτύπου ISO	35
2.5 Γενικές αρχές συστημάτων κλιματισμού.....	36
2.5.1 Ορισμός και σκοπός ενός συστήματος κλιματισμού	36
2.5.2 Βασικές λειτουργίες συστημάτων κλιματισμού	36
2.5.3 Εφαρμογές συστημάτων κλιματισμού	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Πειραματικές διατάξεις	42
3.1 Κατασκευή πειραματικών διατάξεων	42
3.2 Αισθητήρες και συστήματα συλλογής δεδομένων υγρασίας	44
3.2.1 Αισθητήρες μέτρησης θερμοκρασίας	44
3.2.2 Αισθητήρας μέτρησης σχετικής υγρασίας	46
3.3 Συστήματα συλλογής δεδομένων	48
3.4 Βαθμονόμηση αισθητήρα υγρασίας	51

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Πειραματικά αποτελέσματα.....	55
4.1 Πειραματική διαδικασία λήψης μετρήσεων	55
4.2 Αποτελέσματα μετρήσεων από το χώρο του θαλάμου	58
4.3 Αποτελέσματα μετρήσεων από χώρους των κτιρίων του ΤΕΙ	61
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	79
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	81

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

Εισαγωγή

Η ύπαρξη των κτιρίων, είτε αυτά χρησιμοποιούνται ως χώροι διαβίωσης είτε ως χώροι εργασίας, έχει ως στόχο να υποβοηθήσει την ανθρώπινη δραστηριότητα, καθώς και να παρέχει προστασία από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες. Ωστόσο, συχνά στο εσωτερικό των κτιρίων εμφανίζονται προβλήματα όσον αφορά στις θερμικές συνθήκες που επικρατούν. Τα αποτελέσματα του προβλήματος έχουν άμεσο αντίκτυπο τόσο στις συνθήκες άνετης διαβίωσης μέσα στα κτίρια όσο και στην υγεία των ανθρώπων που διαμένουν ή εργάζονται σε αυτά. Καθίσταται λοιπόν προφανές ότι η εμφάνιση φαινομένων θερμικής δυσaráεσκείας των χρηστών των κτιρίων είναι εξ ορισμού αντίθετη με τον λόγο ύπαρξης τους.

Εξετάζοντας το εκάστοτε κτίριο ως ένα ξεχωριστό υποσύστημα του εξωτερικού περιβάλλοντος και με δεδομένη τη μεταξύ τους αλληλεπίδραση, η έννοια των συνθηκών του εσωκλίματος είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τα χαρακτηριστικά κατασκευής και λειτουργίας του κτιρίου. Η γενικότερη θεώρηση του προβλήματος αφορά στο εσωτερικό

περιβάλλον συνολικά. Εκτός από την αξιολόγηση των θερμικών συνθηκών, αξιολογούνται και άλλοι παράγοντες όπως είναι η ποιότητα του εσωτερικού αέρα, ο θόρυβος και ο φωτισμός. Οι συμπληρωματικοί παράγοντες που εισάγονται με τη γενικότερη αυτή θεώρηση επηρεάζουν την υγεία, την άνεση και την απόδοση των κατοίκων του κτιρίου.

Η πολυπλοκότητα και το βάθος των προβλημάτων που σχετίζονται με τη θερμική άνεση αυξάνεται, αν εισαγάγουμε και τον παράγοντα του κόστους. Τα κτίρια αποτελούν επενδύσεις εντάσεως κεφαλαίου, με υψηλό αρχικό κόστος και με μεγάλη διάρκεια ζωής. Υπό την έννοια αυτή δεσμευόμαστε να πληρώνουμε το αντίτιμο για οποιαδήποτε παράλειψη, αμέλεια ή αστοχία του σχεδιασμού και της κατασκευής επί δεκαετίες ολόκληρες.

Εν τέλει, το ζήτημα της θερμικής άνεσης και γενικότερα του εσωκλίματος εξαρτάται από τον ανθρώπινο παράγοντα. Η χρήση του κτιρίου από τους κατοίκους του, μπορεί να οδηγήσει είτε σε βελτίωση του εσωτερικού περιβάλλοντος είτε στην υποβάθμισή του. Στην αξιολόγηση του εσωκλίματος και ιδιαίτερα όσον αφορά στις συνθήκες άνεσης, υποκειμενικά κριτήρια επηρεάζουν το αποτέλεσμα της αξιολόγησης. Οποιαδήποτε μελέτη γύρω από το εσωτερικό περιβάλλον ενός κτιρίου πρέπει να λαμβάνει υπόψη της τους χρήστες, οι οποίοι αντιλαμβάνονται με διαφορετικό τρόπο ο καθένας το εσωκλίμα. Επομένως το ζήτημα της θερμικής άνεσης λαμβάνει υπόψη και την ανθρώπινη συνιστώσα, ως προς την αξιολόγηση και τη λύση, με ότι αυτό μπορεί να συνεπάγεται για την ευκολία ή δυσκολία αντιμετώπισής του.

Η παρούσα εργασία περιλαμβάνει την κατασκευή επιτραπέζιας εκπαιδευτικής πειραματικής διάταξης μέτρησης της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας στο εσωτερικό θαλάμου από plexiglas καθώς και την προσαρμογή αισθητηρίων μέτρησης θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας σε κατακόρυφη στήλη για τη λήψη μετρήσεων σε διάφορους κλιματιζόμενους εργασιακούς χώρους, προκειμένου να διερευνηθούν οι συνθήκες θερμικής άνεσης που επικρατούν σε αυτούς.

Στο Κεφ. 2 περιγράφονται οι θεμελιώδεις αρχές της θερμικής άνεσης και ειδικότερα με αναφορά σε κτήρια και εργασιακούς χώρους καθώς και τα συστήματα κλιματισμού.

Στο Κεφ. 3 γίνεται παρουσίαση των πειραματικών διατάξεων που υλοποιήθηκαν και περιγράφεται η βαθμονόμηση των οργάνων και των αισθητήρων. Η πρώτη διάταξη αφορά στην κατασκευή ενός κλωβού από plexiglas όπου έχουν προσαρμοστεί κατάλληλα αισθητήρια μέτρησης θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας, ενώ υπάρχει δυνατότητα

θέρμανσης του χώρου με θερμαινόμενη πλάκα καθώς και εξαερισμού του. Έτσι, μπορεί να καταγραφεί πειραματικά η μεταβολή της σχετικής υγρασίας με τη θερμοκρασία, προσομοιώνοντας με τον τρόπο αυτό τις μεταβολές που παρουσιάζονται σε θερμαινόμενο και αεριζόμενο χώρο. Η δεύτερη διάταξη αφορά στην προσαρμογή τεσσάρων αισθητηρίων θερμοκρασίας και ενός αισθητήρα μέτρησης της σχετικής υγρασίας σε μία κατακόρυφη στήλη σε συγκεκριμένα ύψη, προκειμένου να πραγματοποιηθούν μετρήσεις του θερμοκρασιακού προφίλ στο εσωτερικό εργασιακών χώρων, όπως κλιματιζόμενα γραφεία, αίθουσες και εκπαιδευτικά εργαστήρια.

Στο Κεφ. 4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της σχετικής υγρασίας και του θερμοκρασιακού προφίλ που λήφθηκαν σε διάφορους χώρους των κτιρίων του ΤΕΙ στα Χανιά (γραφεία και εργαστηριακοί χώροι).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

Θερμική άνεση και συστήματα κλιματισμού

2.1 Μηχανισμοί θερμικής άνεσης

Για τον ορισμό της θερμικής άνεσης υπάρχουν τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις η φυσιολογική η θερμο-φυσιολογική και μια βασισμένη στο ενεργειακό ισοζύγιο του ανθρώπινου σώματος. Σύμφωνα με τον πρώτο ορισμό και όπως καθορίζεται από τα πρότυπα της ISO και ASHRAE θερμική άνεση για ένα άτομο ορίζεται αυτή η *κατάσταση του εγκεφάλου που εκδηλώνει ικανοποίηση σε σχέση με το θερμικό περιβάλλον.*

Το ανθρώπινο σώμα διαθέτει ένα αποτελεσματικό σύστημα ρύθμισης της θερμοκρασίας, η οποία διατηρείται περίπου στους 37 °C. Όταν η θερμοκρασία του σώματος αρχίσει να αυξάνεται, είτε λόγω κλιματολογικών συνθηκών είτε λόγω έντονης δραστηριότητας, δύο μηχανισμοί ενεργοποιούνται για την ελάττωσή της. Πρώτον, τα αιμοφόρα αγγεία διαστέλλονται, αυξάνοντας τη ροή του αίματος στο δέρμα, ώστε να αυξηθούν οι απώλειες μέσω αγωγής και ακτινοβολίας και δευτερευόντως αρχίζει η

λειτουργία της εφίδρωσης. Η εφίδρωση και το αποτέλεσμά της, η ψύξη μέσω εξάτμισης, είναι ο βασικός μηχανισμός ψύξης του δέρματος. Αύξηση ενός βαθμού στη θερμοκρασία του πυρήνα του σώματος, μπορεί να ενεργοποιήσει το μηχανισμό της εφίδρωσης που τετραπλασιάζει τη μετάδοση θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα προς το περιβάλλον. Όταν η θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος αρχίσει να μειώνεται, τα αιμοφόρα αγγεία συστέλλονται, μειώνοντας τη ροή του αίματος στο δέρμα, ώστε να μειωθεί η απώλεια θερμότητας μέσω αγωγής και ακτινοβολίας. Στη συνέχεια, η θερμοκρασία του πυρήνα του σώματος αυξάνεται με την αύξηση των εσωτερικών καύσεων, την ενεργοποίηση των μυών και την εμφάνιση ρίγους. Η κίνηση αυτή των μυών αυξάνει τις καύσεις, άρα και την παραγόμενη από το σώμα θερμότητα. Το σύστημα ρύθμισης της θερμοκρασίας του σώματος λαμβάνει υπόψη εκτός από τα αισθητήρια όργανα του δέρματος και τα αισθητήρια όργανα του υποθαλάμου. Τα αισθητήρια όργανα του υποθαλάμου είναι υπεύθυνα για την ενεργοποίηση των μηχανισμών ψύξης του σώματος, όταν η θερμοκρασία του ξεπεράσει τους 37 °C. Τα αισθητήρια όργανα του δέρματος ενεργοποιούν τους αμυντικούς μηχανισμούς του σώματος, όταν η θερμοκρασία του μειωθεί κάτω από τους 34 °C.

Τα αποτελέσματα λοιπόν της επίδρασης των περιβαλλοντικών παραγόντων γίνονται αισθητά από τις μεταβολές της θερμοκρασίας του δέρματος και το είδος των σημάτων που λαμβάνει ο εγκέφαλος από τα αισθητήρια όργανα του δέρματος. Ο άνθρωπος θεωρεί το περιβάλλον του ως θερμικά άνετο όταν δεν υπάρχει κάποιο σήμα από τα αισθητήρια όργανα για πτώση ή άνοδο της θερμοκρασίας του σώματος. Αυτή η κατάσταση μπορεί να περιγραφεί ως θερμική ισορροπία. Έτσι, σε μια τέτοια κατάσταση ένα άτομο δεν αισθάνεται ούτε κρύο ούτε ζέστη. Σύμφωνα με τη φυσιολογία, η θερμοκρασία του δέρματος είναι ο κατάλληλος δείκτης για τη θερμική αίσθηση του περιβάλλοντος. Η θερμική άνεση όμως είναι μια ολοκληρωτική μονάδα και απεικονίζει τη συνολική θερμική κατάσταση του σώματος. Συμπληρωματικά, έχει προταθεί η εισαγωγή και άλλων φυσικών παραμέτρων για την αξιολόγηση της θερμικής άνεσης όπως:

- Μέση θερμοκρασία δέρματος.
- Ρυθμός εφίδρωσης.
- Ξηρότητα του δέρματος.

2.2 Θερμοδυναμικές έννοιες – ορισμοί

2.2.1 Ξηρός και ατμοσφαιρικός αέρας

Ο αέρας αποτελείται κυρίως από μίγμα αζώτου και οξυγόνου και κάποιων μικρών ποσοτήτων άλλων αερίων. Ο αέρας της ατμόσφαιρας περιέχει υγρασία και ονομάζεται ατμοσφαιρικός αέρας. Ο αέρας που δεν περιέχει υγρασία ονομάζεται ξηρός αέρας. Παρά το γεγονός ότι το ποσό των υδρατμών (υγρασία) στον αέρα είναι μικρό, αυτό επηρεάζει σημαντικά το αίσθημα της ανθρώπινης άνεσης. Συνεπώς αποτελεί σημαντική παράμετρο στις κλιματιστικές εφαρμογές. Ο ξηρός αέρας μπορεί να θεωρηθεί ως ιδανικό αέριο με μια σταθερή τιμή ειδικής θερμότητας, $C_p=1,005\text{J/gK}$, με αμελητέο σφάλμα (μικρότερο του 0,2%). Στις διεργασίες κλιματισμού, μας ενδιαφέρουν οι μεταβολές της ενθαλπίας Δh , όπου για τον ξηρό αέρα μπορούν να υπολογιστούν από την ακόλουθη σχέση:

$$\Delta h_{\text{dry air}} = c_p \Delta T = (1,005 \text{ kJ/(kg } ^\circ\text{C)}) \quad \text{σε (KJ/kg)}$$

Ο ατμοσφαιρικός αέρας μπορεί να θεωρηθεί ως μείγμα ιδανικών αερίων, η πίεση του οποίου είναι το άθροισμα των μερικών πιέσεων του ξηρού αέρα P_a (ο δείκτης a υποδηλώνει τον ξηρό αέρα) και του υδρατμού P_v (ενώ ο δείκτης v τους υδρατμούς), δηλ.:

$$P = P_a + P_v$$

2.2.2 Η Ειδική και η σχετική υγρασία του αέρα

Η απόλυτη (absolute) ή ειδική υγρασία (specific humidity) ή λόγος υγρασίας (humidity ratio) που συμβολίζεται με ω , υπολογίζεται ως ο λόγος της μάζας των υδρατμών του αέρα προς τη μάζα του ξηρού αέρα, δηλ.:

$$\omega = \frac{m_v}{m_a}$$

και με αντικατάσταση από την καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων, προκύπτει:

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} = \frac{P_v V / R_v T}{P_a V / R_a T} = \frac{P_v / R_v}{P_a / R_a} = 0.622 \frac{P_v}{P_a} = 0.622 \frac{P_v}{P - P_v}$$

σε μονάδες (kg υδρατμού/kg ξηρού) αέρα, όπου P η ολική πίεση του συστήματος

Η ειδική υγρασία του ξηρού αέρα εξ ορισμού ισούται με μηδέν (δεν περιέχει καθόλου υδρατμούς). Καθώς προστίθεται όμως στον ξηρό αέρα περισσότερη υγρασία, η ειδική

υγρασία θα αυξάνεται, μέχρις ότου ο αέρας δε θα μπορεί να κατακρατήσει περισσότερη υγρασία. Στο σημείο αυτό, λέμε ότι ο αέρας είναι κορεσμένος με υγρασία και ονομάζεται κορεσμένος αέρας (saturated air). Οποιαδήποτε ποσότητα υγρασίας η οποία θα προστεθεί στη συνέχεια στον κορεσμένο αυτόν αέρα, θα συμπυκνωθεί.

Το ποσοστό της υγρασίας που περιέχεται στον αέρα έχει σαφή επίδραση στην άνεση (ευεξία) που προσφέρει ένα περιβάλλον για τους ανθρώπους που ζουν και κινούνται σε αυτό. Το επίπεδο της άνεσης εξαρτάται περισσότερο από το ποσοστό της υγρασίας που κατακρατεί ο αέρας (m_v) σε σχέση με το μέγιστο ποσοστό υγρασίας που μπορεί να κατακρατήσει ο αέρας στην ίδια θερμοκρασία (m_g). Ο λόγος των δύο αυτών ποσοτήτων ονομάζεται **σχετική υγρασία** (relative humidity) ϕ :

$$\Phi = \frac{m_v}{m_g} = \frac{P_v V / R_v T}{P_g V / R_a T} = \frac{P_v}{P_g}$$

όπου P_g είναι η πίεση κορεσμού του νερού σε συγκεκριμένη θερμοκρασία T ($P_g = P_{\text{sat}@T}$).

Εναλλακτικά, η σχετική υγρασία μπορεί να γραφτεί ως ακολούθως, αντικαθιστώντας την P_v στην προηγούμενη σχέση:

$$\Phi = \frac{\omega P}{(0.622 + \omega) P_g}$$

Η σχετική υγρασία κυμαίνεται από 0 για ξηρό αέρα έως 1 για κορεσμένο αέρα. Η σχετική υγρασία του αέρα μεταβάλλεται με την θερμοκρασία, ακόμα και όταν η ειδική του υγρασία παραμένει σταθερή, αφού η ποσότητα της υγρασίας που μπορεί να κατακρατήσει ο αέρας εξαρτάται από τη θερμοκρασία που αυτός βρίσκεται. Η συνηθισμένη θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα αναφέρεται ως θερμοκρασία ξηρού βολβού (dry-bulb temperature), προκειμένου να αλλάζει από άλλες χαρακτηριστικές θερμοκρασίες.

2.2.3 Θερμοκρασία σημείου δρόσου

Καθώς η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της νύχτας μειώνεται, μειώνεται και η χωρητικότητα σε υγρασία του αέρα, δηλαδή μειώνεται το μέγιστο ποσό της υγρασίας που μπορεί να κατακρατήσει ο αέρας. Μετά από λίγο, η χωρητικότητα υγρασίας του αέρα γίνεται ίση με το υγρασιακό περιεχόμενο του αέρα. Στο σημείο αυτό, ο αέρας είναι κορεσμένος, και η σχετική του υγρασία είναι 100%. Κάθε επιπλέον πτώση της

θερμοκρασίας θα έχει ως αποτέλεσμα την συμπύκνωση ενός μέρους αυτής της υγρασίας. Το σημείο αυτό αποτελεί την έναρξη σχηματισμού της δροσιάς. Ως θερμοκρασία του σημείου δρόσου (dew-point temperature) T_{dp} , ορίζεται η θερμοκρασία στην οποία ξεκινά η διεργασία της συμπύκνωσης, όταν ο αέρας ψύχεται υπό σταθερή πίεση. Με άλλα λόγια η T_{dp} είναι η θερμοκρασία κορεσμού του νερού που αντιστοιχεί στην τάση των ατμών.

$$T_{dp} = T_{sat@P_v}$$

Ο σχηματισμός της δροσιάς στο κουτί ενός αναψυκτικού υποδηλώνει ότι η θερμοκρασία του αναψυκτικού βρίσκεται κάτω από τη θερμοκρασία δρόσου του περιβάλλοντα αέρα. Η θερμοκρασία του σημείου δρόσου του αέρα σε ένα χώρο μπορούμε να την υπολογίσουμε ψύχοντας νερό σε ένα μεταλλικό δοχείο, προσθέτοντας κάποια μικρή ποσότητα πάγου. Τη στιγμή που αρχίζει ο σχηματισμός της δρόσου στην εξωτερική επιφάνεια του δοχείου, θερμοκρασία της επιφάνειας αυτής θα ισούται με την θερμοκρασία του σημείου δρόσου του αέρα. Σήμερα, για τη μέτρηση της υγρασίας υπάρχουν ηλεκτρονικές συσκευές χειρός που βασίζονται στη μεταβολή της χωρητικότητας ενός λεπτού στρώματος από πολυμερές υλικό, η οποία πραγματοποιείται καθώς αυτό απορροφάει υδρατμούς. Οι συσκευές αυτές, λειτουργούν μέσω αισθητήρων και σε δευτερόλεπτα παρουσιάζουν ψηφιακά τη σχετική υγρασία, με σφάλμα μικρότερο του 1%.

2.2.4 Κλιματισμός και Ανθρώπινη Άνεση

Το ανθρώπινο σώμα μπορεί να θεωρηθεί ως μια θερμική μηχανή, η ενέργεια εισόδου της οποίας είναι η τροφή. Η μεταφορά θερμότητας είναι, ως γνωστόν, ανάλογη της διαφοράς θερμοκρασίας. Το σώμα νιώθει άνετα όταν μπορεί να απορρίπτει ελεύθερα την μη-εκμεταλλεύσιμη θερμότητά του, και όχι περισσότερη από αυτή. Η σχετική υγρασία έχει επίσης σημαντική επίδραση στην άνεση εφόσον επηρεάζει το ποσό της θερμότητας που μπορεί να απορρίψει το σώμα με τη βοήθεια της εξάτμισης. Η σχετική υγρασία είναι ένα μέτρο της ικανότητας του αέρα να απορροφήσει επιπλέον υγρασία. Η υψηλή σχετική υγρασία επιβραδύνει την απόρριψη της θερμότητας μέσω της εξάτμισης, ενώ η χαμηλή σχετική υγρασία την επιταχύνει. Οι περισσότεροι άνθρωποι προτιμούν μία σχετική υγρασία μεταξύ του 40% και του 60%. Οι πολύ υψηλές ταχύτητες έχουν αρνητικές επιπτώσεις και προκαλούν δυσφορία του σώματος. Οι συνθήκες άνεσης του ανθρώπου, είναι η καθαρότητα του αέρα, οι οσμές, οι ήχοι και η ακτινοβολία.

2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την θερμική άνεση

Ακολουθεί αναλυτική περιγραφή για καθένα από τους ακόλουθους παράγοντες που επηρεάζουν τις συνθήκες θερμικής άνεσης:

- 1) Θερμοκρασία.
- 2) Υγρασία
- 3) Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας
- 4) Ταχύτητα αέρα

2.3.1 Θερμοκρασία

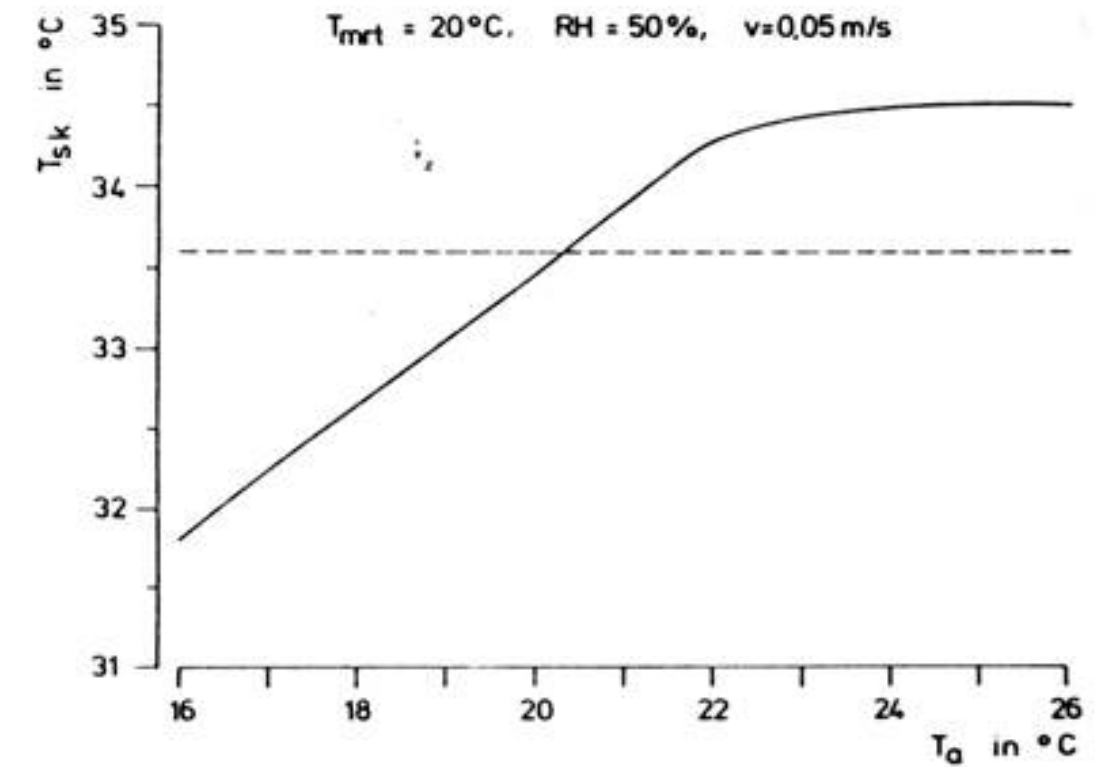
Η θερμοκρασία του αέρα είναι αναμφισβήτητα καθοριστική παράμετρος όταν αναφερόμαστε στο εσωτερικό περιβάλλον του κτιρίου. Επηρεάζει την άνεση με πολλούς τρόπους και σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες αποτελεί το κλειδί για το ενεργειακό ισοζύγιο μας, την αίσθηση του θερμικού περιβάλλοντος, την άνεση, τη δυσφορία και την αίσθηση της ποιότητας εσωτερικού αέρα. Οι παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμοκρασία στο εσωτερικό των κτιρίων (Πίνακας 2) μπορούν να ενταχθούν σε τρεις κατηγορίες: το εξωτερικό περιβάλλον, το σχεδιασμό του κτιρίου και το σύστημα θέρμανσης, ψύξης και αερισμού.

- ✓ Το εξωτερικό περιβάλλον
- ✓ Ο προσανατολισμός του κτιρίου
- ✓ Τα υλικά κατασκευής και τα υλικά θερμομόνωσης του κτιρίου
- ✓ Ο τρόπος αερισμού του κτιρίου (μηχανικός ή φυσικός)
- ✓ Ο τρόπος σχεδιασμού, κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης ενός μηχανικά αεριζόμενου κτιρίου
- ✓ Ο τρόπος σχεδιασμού ενός φυσικά αεριζόμενου κτιρίου
- ✓ Ο τρόπος σχεδιασμού, κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος θέρμανσης και του συστήματος ψύξης του κτιρίου
- ✓ Ο τύπος και ο αριθμός των ηλεκτρικών συσκευών, μηχανημάτων ή εξοπλισμού γραφείων που υπάρχουν στο κτίριο και παράγουν θερμότητα (π.χ. οθόνες Η/Υ)
- ✓ Ο τρόπος λειτουργίας του κτιρίου και των συστημάτων αερισμού, θέρμανσης και ψύξης από τους χρήστες του κτιρίου

Το πρόβλημα που εντοπίζεται στη μελέτη της θερμοκρασίας ως παραμέτρου της θερμικής άνεσης έγκειται στο γεγονός ότι δεν υπάρχει μια τιμή της θερμοκρασίας που να αποτελεί τη βέλτιστη λύση, αλλά ένα πεδίο τιμών της ως συνάρτηση και άλλων παραγόντων. Το σώμα μας αντιλαμβάνεται τη θερμοκρασία του αέρα (και των άλλων παραμέτρων του θερμικού περιβάλλοντος) από τα αισθητήρια όργανα του δέρματος και του υποθαλάμου ρυθμίζοντας τη θερμοκρασία του.

Πιο αναλυτικά, η θερμοκρασία επηρεάζει το ανθρώπινο σώμα και τις λειτουργίες ανταλλαγής ενέργειας υπό τη μορφή θερμότητας με το περιβάλλον. Η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα τείνει να μειώσει τις απώλειες θερμότητας με αγωγή και ακτινοβολία, ενώ αυξάνονται οι απώλειες θερμότητας λόγω εφίδρωσης. Η θερμοκρασία του αέρα επηρεάζει και τη μέση θερμοκρασία του δέρματος. Το φυσικό αυτό μέγεθος έχει εισαχθεί για την πληρέστερη αξιολόγηση της θερμικής άνεσης. Έρευνες του P. Horpe που πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια μαθηματικού μοντέλου, κατέληξαν στη συσχέτιση της θερμοκρασίας του αέρα και της μέσης θερμοκρασίας του δέρματος. Όπως παρατηρούμε στο Σχήμα 2.1, η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα T_a οδηγεί σε συνεχόμενη αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του δέρματος έως και τους $21\text{ }^{\circ}\text{C}$. Η περαιτέρω αύξηση της T_a ενεργοποιεί το μηχανισμό της εφίδρωσης με άμεση συνέπεια την ψύξη του δέρματος και γι' αυτό το λόγο η κλίση της ευθείας μειώνεται σημαντικά μετά τους $21\text{ }^{\circ}\text{C}$. Η μέση θερμοκρασία δέρματος που θεωρείται ως φυσιολογική, σε αντιστοιχία με τη θερμοκρασία ισορροπίας του σώματός μας στους $37,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, είναι κοντά στους $33,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, όπως φαίνεται και από την οριζόντια γραμμή του γραφήματος. Για τη διατήρηση αυτής της μέσης θερμοκρασίας δέρματος η θερμοκρασία του αέρα θα πρέπει να είναι κοντά στους $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Δύο μεγέθη που επηρεάζουν επίσης ισχυρά τη θερμοκρασία άνεσης είναι ο τύπος του ρουχισμού και η μεταβολική δραστηριότητα. Στον Πίνακα 2.1 φαίνεται η μεταβολή της θερμοκρασίας άνεσης καθώς μεταβάλλονται τα παραπάνω μεγέθη.

Η προδιαγραφή της θερμοκρασίας άνεσης γενικότερα είναι δύσκολη εξαιτίας κυρίως του μεγάλου αριθμού παραγόντων που επηρεάζουν τη διατήρηση μιας θερμοκρασίας σ' ένα χώρο και των παραγόντων που επηρεάζουν την 'καταγραφή' αυτής της θερμοκρασίας ως άνετης ή όχι από το σώμα μας.



Σχήμα 2.1. Μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα t_a και της μέσης θερμοκρασίας του δέρματος T_{sk} . Συνθήκες μετρήσεων: Άνδρας 35 ετών, τύπος ρουχισμού=1clo μεταβολικός ρυθμός=60W μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας $T=20^{\circ}\text{C}$ σχετική υγρασία $RH = 50\%$, ταχύτητα αέρα $v = 0,05 \text{ m/s}$

Πίνακας 2.1. Θερμοκρασία άνεσης αέρα σε σχέση με τη μεταβολική δραστηριότητα και τον τύπο του ρουχισμού.

ΕΡΓΑΣΙΑ	ΜΕΤΑΒΟΛΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ (W)	ΡΟΥΧΙΣΜΟΣ (CLO)	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΝΕΣΗΣ T_{comf} [$^{\circ}\text{C}$]
ΗΡΕΜΙΑ	0		31
	0	0.5	29
ΚΑΘΙΣΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	0	1.0	27
	43	0.5	23
ΕΛΑΦΡΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑ	43	1.0	22
	100	0.5	16
ΕΝΤΟΝΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	100	1.0	
	20	0.5	

2.3.2 Υγρασία

Η υγρασία, μαζί με τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, αποτελούν τα δυσκολότερα μεγέθη κατά την αξιολόγηση του εσωκλίματος και εκφράζεται με σχετικούς και απόλυτους όρους. Ως ορισμός η υγρασία είναι το ποσό των υδρατμών που υπάρχει στον αέρα. Η σχετική υγρασία, που χρησιμοποιείται συχνότατα στην αξιολόγηση της θερμικής άνεσης, εκφράζεται ως ποσοστό του κορεσμένου αέρα σε υδρατμούς. Η σχετική υγρασία επενεργεί στην εξάτμιση του νερού από την επιδερμίδα μεταβάλλοντας τη θερμοκρασία του δέρματος και επηρεάζοντας το θερμικό ισοζύγιο του σώματος. Συνοπτικά, η υγρασία του αέρα επηρεάζει τους εξής τρεις μηχανισμούς του σώματός μας:

- το μηχανισμό διάχυσης των υγρών υπό τη μορφή αερίων του σώματός μας μέσω του δέρματος,
- το μηχανισμό εξάτμισης του ιδρώτα από την επιφάνεια του δέρματος και
- το μηχανισμό ύγρανσης του εισπνεόμενου αέρα.

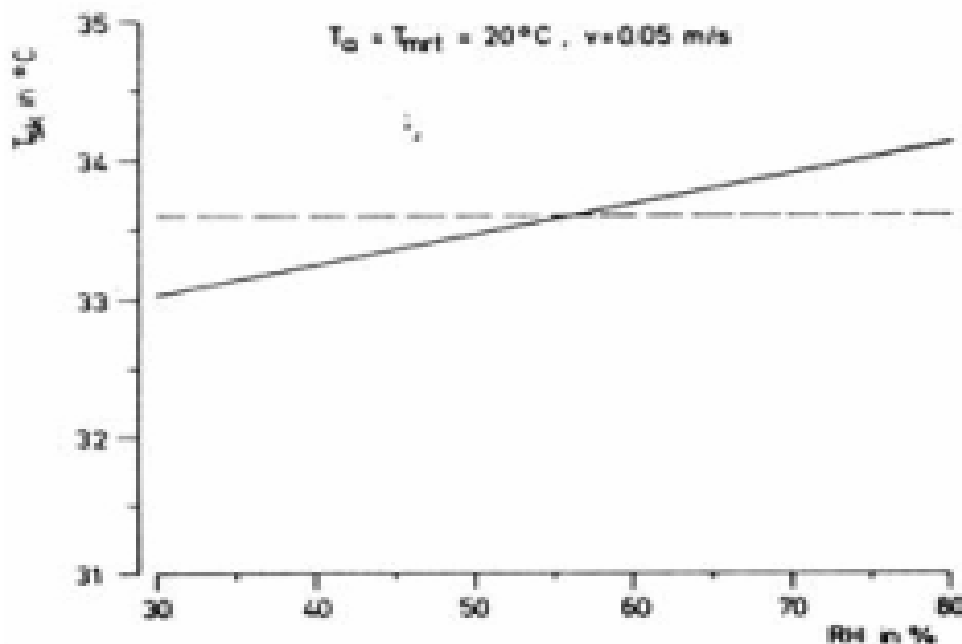
Οι μηχανισμοί της διάχυσης και της εξάτμισης εξαρτώνται άμεσα από τη σχετική υγρασία του αέρα. Αν το περιεχόμενο του αέρα είναι υψηλό σε υδρατμούς (σχετική υγρασία > 60 – 70%) και η θερμοκρασία του αέρα υψηλή, το σώμα μας ενεργοποιεί το μηχανισμό της εφίδρωσης. Ωστόσο, η εξάτμιση του ιδρώτα είναι αδύνατη σε αέρα με υψηλό περιεχόμενο υδρατμών, και έτσι ο ιδρώτας παραμένει στο δέρμα διαβρέχοντας το. Η κατάσταση αυτή οδηγεί το σώμα μας να αισθάνεται τον αέρα πιο ζεστό απ' όσο πραγματικά είναι και η ατμόσφαιρα μοιάζει να είναι κολλώδης. Αντίθετα, το μικρό περιεχόμενο υδρατμών του αέρα (σχετική υγρασία < 30%) καθιστά εφικτή την εξάτμιση μεγάλων ποσοτήτων υγρών, άρα και του ιδρώτα του δέρματος.

Πέρα από τις παραπάνω επιδράσεις της υγρασίας, περαιτέρω έρευνες έχουν γίνει για τη σχέση των τιμών της σχετικής υγρασίας με το δέρμα και την αναπνευστική οδό. Το Σχήμα 2.2 παρουσιάζει τη μέση θερμοκρασία του δέρματος σε σχέση με τη μεταβολή της σχετικής υγρασίας. Στο διάγραμμα φαίνεται καθαρά η μικρή επίδραση της σχετικής υγρασίας στη μέση θερμοκρασία του δέρματος (50% μεταβολή σχετικής υγρασίας, επιφέρει μεταβολή 1.2 – 1.3 °C της μέσης θερμοκρασίας δέρματος).

Σε γενικές γραμμές, η ανοσοποιητική ικανότητα του δέρματος μειώνεται όταν το δέρμα δεν υγραίνεται επαρκώς. Απ' την άλλη μεριά το αίσθημα της δυσαρέσκειας εμφανίζεται όταν το δέρμα είναι έντονα βρεγμένο, υπό την παρουσία υψηλών θερμοκρασιών, υψηλής σχετικής υγρασίας και δραστηριότητας εντονότερης της καθιστικής. Η έννοια της διαβροχής του δέρματος μελετάται από το 1937 όπου ο Gagge

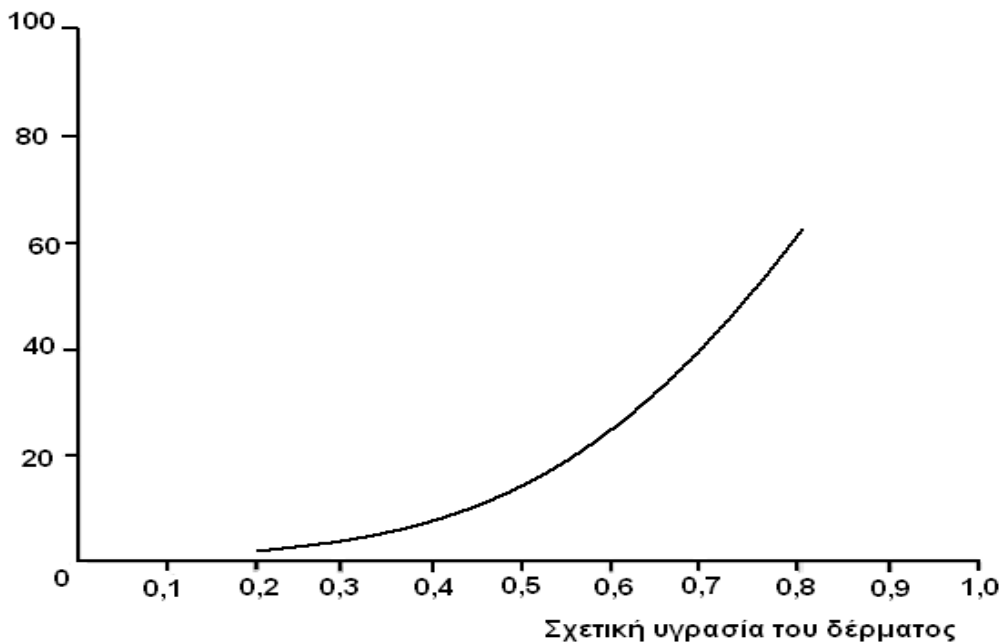
έδωσε το παρακάτω ορισμό: «η διαβροχή του δέρματος είναι η διαφορά μεταξύ της πραγματικής απώλειας θερμότητας λόγω εξάτμισης του ιδρώτα, προς τη μέγιστη που μπορεί να επιτευχθεί υπό τις ίδιες περιβαλλοντικές συνθήκες». Εναλλακτικά, η διαβροχή του δέρματος μπορεί να οριστεί λαμβάνοντας υπόψη την επιφάνεια του σώματος που είναι καλυμμένο με ιδρώτα λόγω εφίδρωσης. Η διαβροχή του δέρματος δηλώνει την ένταση που επιβάλλεται στο θερμορυθμιστικό σύστημα του σώματος και αποτελεί πολύ καλό δείκτη δυσανεξίας.

Οι παραπάνω μηχανισμοί και μεγέθη μελετήθηκαν από τους John Toftum et al. με στόχο τον προσδιορισμό του ορίου διαβροχής του δέρματος και των άνω ορίων σχετικής υγρασίας, ώστε να αποφευχθεί το αίσθημα της δυσανεξίας. Τα αποτελέσματα της παραπάνω μελέτης απέδειξαν ότι η κατάσταση του δέρματος είναι λιγότερη αποδεκτή καθώς αυξάνεται η σχετική υγρασία του δέρματος. Το Σχήμα 2.3 αναπαριστά ακριβώς αυτό το συμπέρασμα.



Σχήμα 2.2. Μεταβολή της σχετικής υγρασίας του αέρα και της μέσης θερμοκρασίας του δέρματος t_{sk} . Συνθήκες μετρήσεων: άνδρας 35 ετών, τύπος ρουχισμού = 1clo, καθιστική εργασία, μεταβολικός ρυθμός = 60W μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας $t_a = 20^\circ\text{C}$ θερμοκρασία αέρα t_a ταχύτητα αέρα $v = 0.05 \text{ m/s}$

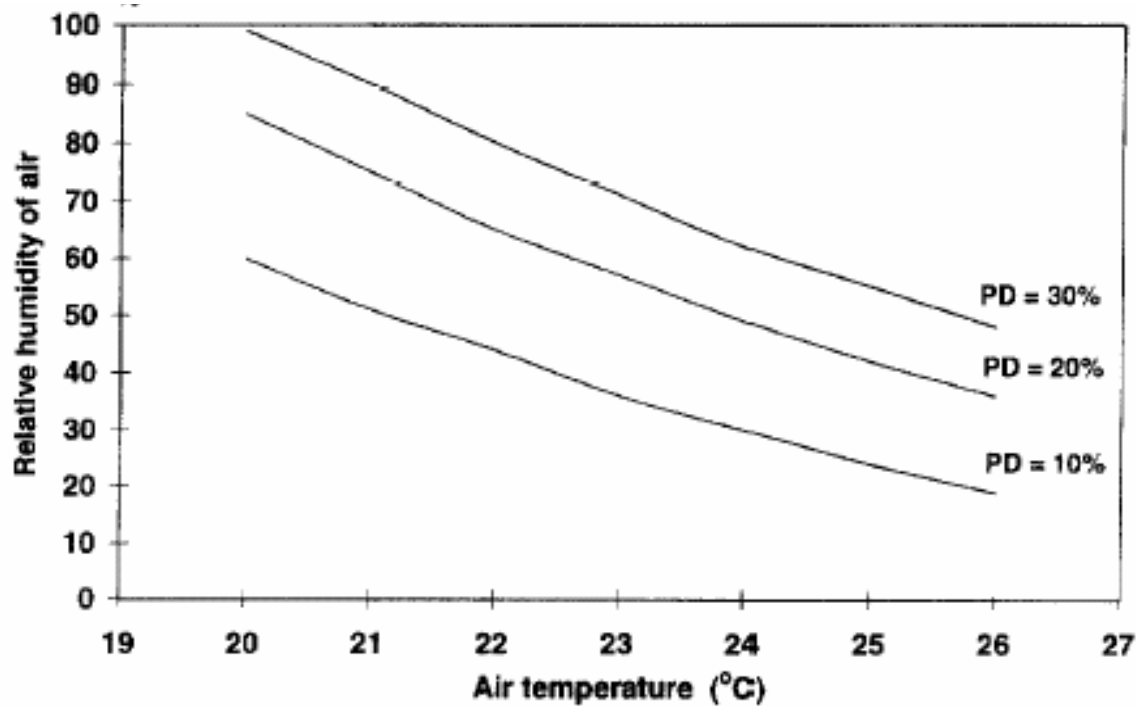
Ποσοστό Δυσανεστημένων (%)



Σχήμα 2.3. Ποσοστό δυσανεστημένων χρηστών, σε σχέση με τη σχετική υγρασία του δέρματος.

Η επίδραση της υγρασίας του αέρα στην αναπνευστική οδό λαμβάνει χώρα για δύο λόγους. Πρώτον, οι βλεννώδεις μεμβράνες της αναπνευστικής οδού ψύχονται κατά την εισπνοή του αέρα. Η ψύξη αυτή παίζει κυρίαρχο ρόλο στην αντίληψη του θερμικού περιβάλλοντος. Δεύτερον, η αναπνευστική οδός δρα ως ένα σύστημα κλιματισμού που ρυθμίζει την υγρασία και τη θερμοκρασία του εισπνεόμενου αέρα, πριν αυτός φτάσει στους πνεύμονες. Το σημείο της αναπνευστικής οδού στο οποίο γίνεται ο κλιματισμός του αέρα, εξαρτάται από τη θερμοκρασία και το περιεχόμενο σε υδατμούς του εισπνεόμενου αέρα. Σε χαμηλούς ρυθμούς αναπνοής και τυπικές τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας, ο κλιματισμός του αέρα γίνεται στο άνω μέρος της αναπνευστικής οδού. Να σημειωθεί ότι ο μηχανισμός της ψύξης μέσω του εισπνεόμενου αέρα είναι ένας πολύπλοκος μηχανισμός, όπου έχουμε ανταλλαγή ενέργειας υπό τη μορφή θερμότητας μέσω εξάτμισης και μεταφοράς. Σε υψηλή θερμοκρασία και υγρασία η ικανότητα της αναπνευστικής οδού για ψύξη του εισπνεόμενου αέρα μειώνεται και ο αέρας μοιάζει να είναι αποπνικτικός και θερμότερος απ' όσο πραγματικά είναι. Στην περίπτωση όπου η υγρασία του αέρα είναι πολύ χαμηλή, ο κίνδυνος να ξηραθούν οι βλεννώδεις μεμβράνες είναι μεγάλος. Η ξηρότητα των μεμβρανών μειώνει την προστατευτική τους ισχύ και ο καθαρισμός του αέρα, μαζί με τον κλιματισμό του πριν αυτός φτάσει στους πνεύμονες, που γίνεται στην αναπνευστική οδό δεν είναι δυνατός. Στο Σχήμα 2.4 παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ

υγρασίας και της θερμοκρασίας του αέρα σε σχέση με το 10, 20, 30% των δυσανεσθημένων χρηστών. Η δυσανεσθεια αφορά σ' αυτή την περίπτωση μόνο την αίσθηση που προκαλεί ο αέρας στην αναπνευστική οδό. Το Σχήμα 2.4 επιβεβαιώνει πλήρως τη σχέση μεταξύ υγρασίας, θερμοκρασίας και της θερμικής αίσθησης του αέρα κατά την αναπνοή.

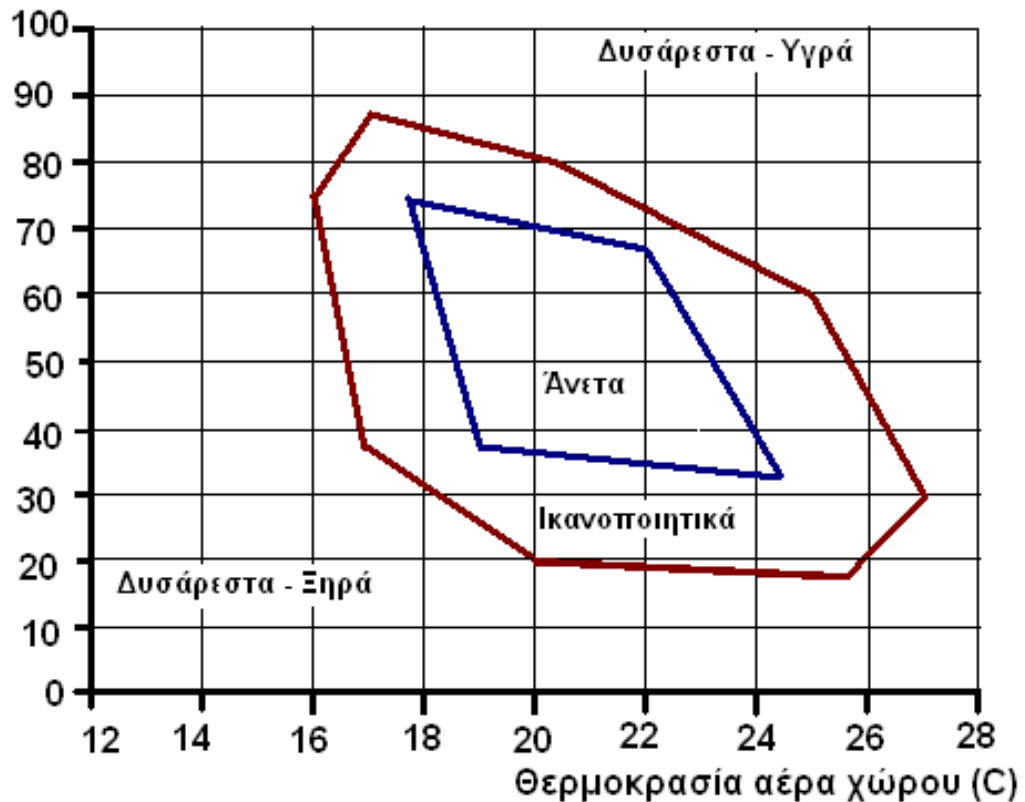


Σχήμα 2.4. Σχέση που συνδέει τη θερμοκρασία του αέρα, τη σχετική του υγρασία και το ποσοστό των δυσανεσθημένων χρηστών που συνδέεται με την αίσθηση του αέρα στην αναπνευστική οδό.

Τα αποδεκτά όρια σχετικής υγρασίας του αέρα είναι λιγότερο σαφή από αυτά της θερμοκρασίας και το ανώτερο επιτρεπτό επίπεδό της εξακολουθεί ακόμη να βρίσκεται υπό μελέτη. Ωστόσο, όπως και στην περίπτωση της θερμοκρασίας του αέρα, τα αποδεκτά όρια της σχετικής υγρασίας για την επίτευξη θερμικής άνεσης εξαρτώνται από συνδυασμό παραμέτρων. Το ζήτημα της θερμικής άνεσης είναι λοιπόν πολυπαραγοντικό με τη θερμοκρασία του αέρα, ιδιαίτερα, να παίζει κρίσιμο ρόλο στον προσδιορισμό της αποδεκτής σχετικής υγρασίας. Ως αποτέλεσμα του παραπάνω γεγονότος τα διαγράμματα θερμικής άνεσης όπως αυτά της σχετικής υγρασίας σε συνάρτηση της θερμοκρασίας (Σχήμα 2.5) οριοθετούν το πεδίο θερμικής ευεξίας και προσδιορίζουν το κατάλληλο ζεύγος τιμών θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας. Με βάση τη θεωρία της θερμικής άνεσης πολλοί οργανισμοί έχουν εκδώσει οδηγίες και κανονισμούς για τα επιτρεπτά

επίπεδα των τιμών θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας. Στη χώρα μας το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας (ΤΕΕ) με την τεχνική οδηγία 2425/86 προτείνει ως συνιστώμενες συνθήκες σχεδιασμού για κλιματιζόμενους χώρους, τις τιμές που παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.5.

Σχετική Υγρασία (%)



Σχήμα 2.5 Διάγραμμα θερμικής άνεσης θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας

Πίνακας 2.2. Συνιστώμενες συνθήκες σχεδιασμού για κλιματιζόμενους χώρους σύμφωνα με την τεχνική οδηγία 2425/86 του ΤΕΕ.

ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ ΤΟ ΧΕΙΜΩΝΑ (ΤΟΤΕΕ 2425/86)			
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΧΩΡΟΥ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	
Κατοικίες	22	30-50	
Κτήρια γραφείων	21-23	30-35	
Βιβλιοθήκες-μουσεία	20-22	40-50	
Νοσοκομεία	24	30	
Εστιατόρια και κέντρα διασκέδασης	21-23	30-40	
ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ ΤΟ ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ (ΤΟΤΕΕ 2425/86)			
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΧΩΡΟΥ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	
Κατοικίες	25-26	40-50	
Κτήρια γραφείων	25-26	40-50	
Βιβλιοθήκες-Μουσεία	22	40-55	
Εστιατόρια και κέντρα διασκέδασης	23-26	50-60	
Εκπαιδευτικά κέντρα	26	45-50	
Νοσοκομεία	Αίθουσες	24	45-50
	Χειρουργεία	20-24	50-60
	Αναρρωτήρια	24	50-60

2.3.3 Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας

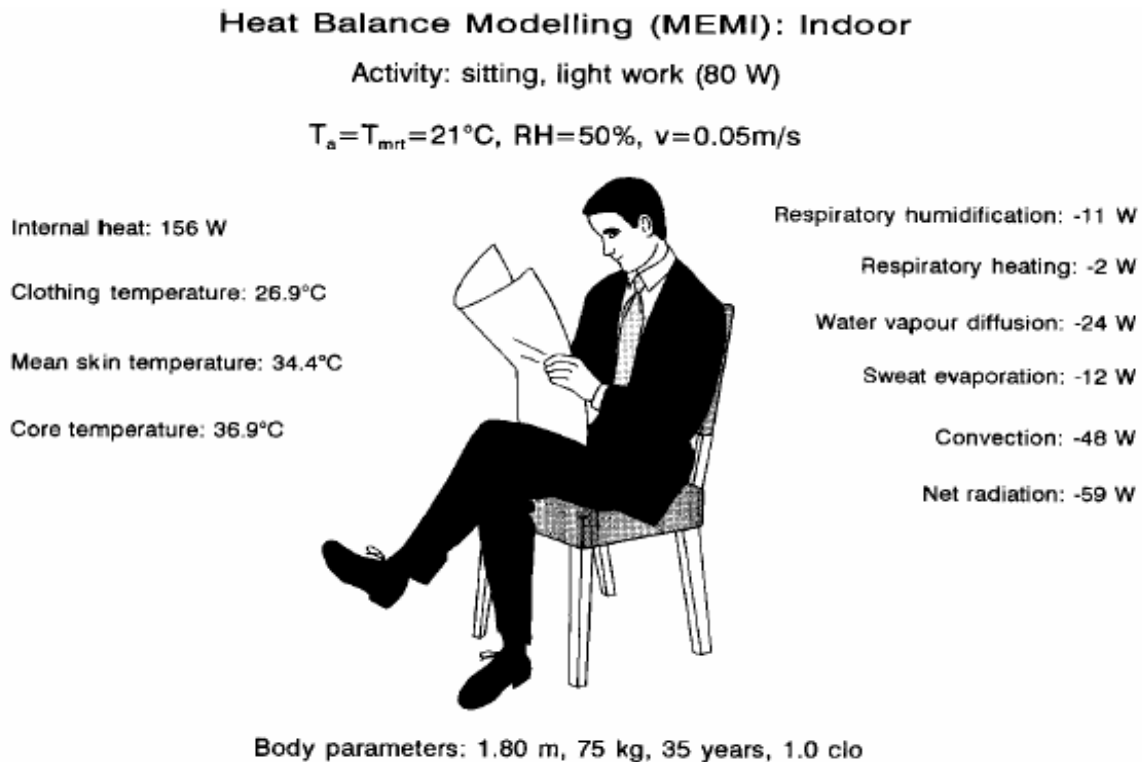
Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας ενός χώρου ορίζεται ως εκείνη η θερμοκρασία μιας συμπαγούς μαύρης επιφάνειας για την οποία παρατηρείται η ίδια απώλεια θερμότητας μέσω ακτινοβολίας, σε σχέση με την εξεταζόμενη επιφάνεια. Η εξίσωση υπολογισμού της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας είναι:

$$T_{\text{μ}} = \sqrt[4]{\sum_{i=1}^n F_{p-i} \times (t_i + 273)^4 - 273}$$

όπου F_{p-i} : Ο συντελεστής γωνίας μεταξύ του ατόμου και της επιφάνειας i και t_i η θερμοκρασία επιφάνειας της επιφάνειας i [σε °C].

Ο υπολογισμός της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας είναι ιδιαίτερα επίπονος γιατί απαιτείται ο πλήρης υπολογισμός του συντελεστή γωνίας μεταξύ του ατόμου και της εξεταζόμενης επιφάνειας καθώς και η χρήση H/Y και πινάκων των προτύπων ASHRAE 55 – 92 και ISO 7730 για τους συντελεστές γωνίας.

Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας παίζει κυρίαρχο ρόλο στην ανταλλαγή θερμότητας λόγω ακτινοβολίας μεταξύ του σώματος και του περιβάλλοντος. Η θερμική επίδραση στο ανθρώπινο σώμα της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας είναι παρόμοια με αυτή της θερμοκρασίας του αέρα. Σε χαμηλές ταχύτητες αέρα κοντά στα 0,1 m/s, η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα κατά 1 °C προκαλεί το ίδιο θερμικό αποτέλεσμα με την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας κατά 1 °C. Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας διαφοροποιείται από τη θερμοκρασία του αέρα, γιατί είναι πρωτίστως υπεύθυνη για τις χωροταξικές διαφορές της θερμοκρασίας σε ένα χώρο και τη δημιουργία τοπικής δυσφορίας. Στο Σχήμα 2.6 φαίνεται καθαρά ότι η μεγαλύτερη ροή θερμότητας από το σώμα σε τυπικές κλιματικές συνθήκες (χωρίς κλιματισμό του αέρα) οφείλεται στην ακτινοβολία.



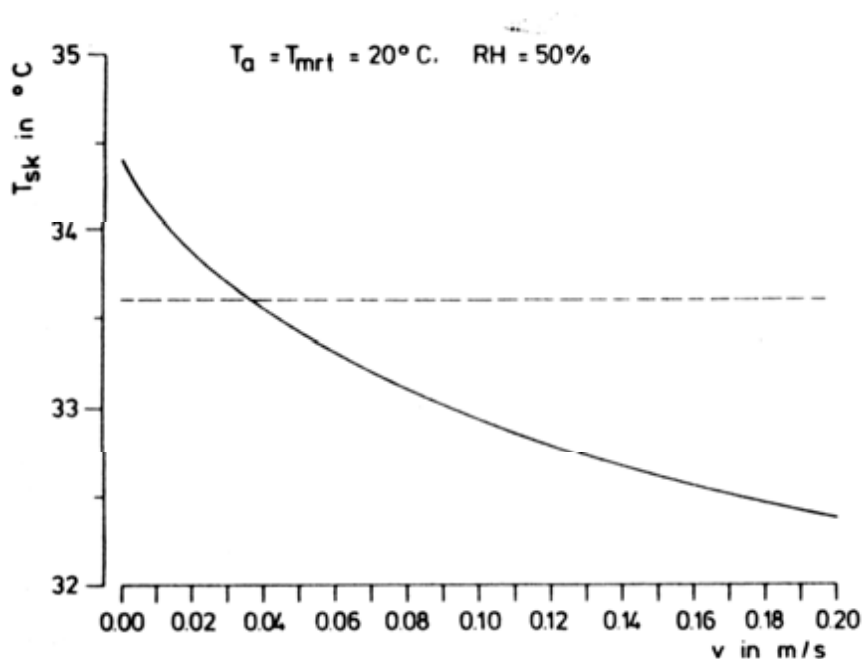
Σχήμα 2.6 Ροές θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα προς το περιβάλλον.

2.3.4 Ταχύτητα αέρα

Η κίνηση του αέρα συνδέεται με δύο παραμέτρους:

- (α) την ταχύτητα του αέρα και
- (β) τη μορφή της ροής του αέρα, δηλαδή αν είναι στρωτή ή τυρβώδης.

Το ανθρώπινο σώμα δε διαθέτει ειδικά αισθητήρια για την ταχύτητα του αέρα. Αυτή προσδιορίζεται έμμεσα από τον ανθρώπινο εγκέφαλο, από τις μεταβολές τις θερμοκρασίες στο δέρμα. Είναι προφανές ότι η ταχύτητα του αέρα μεταβάλλει τις απώλειες θερμότητας του σώματος. Σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών και υψηλής σχετικής υγρασίας, η αύξηση της ταχύτητας του αέρα προσφέρει αυξημένες απώλειες θερμότητας με αποτέλεσμα ισορροπημένο θερμικό ισοζύγιο. Σε αντίθετη περίπτωση χαμηλής θερμοκρασίας, η αυξημένη ταχύτητα αέρα επιταχύνει τις απώλειες θερμότητας από το σώμα, σε σημείο που να προκαλεί την δυσφορία. Οι μεταβολές στη θερμοκρασία του σώματος από την ταχύτητα του αέρα είναι μάλλον απότομες, καθώς ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας δεν είναι γραμμικός. Στο Σχήμα 2.7 φαίνεται η σχέση που συνδέει την ταχύτητα του αέρα και τη μέση θερμοκρασία δέρματος. Στις μικρές ταχύτητες, μικρές



Σχήμα 2.7. Σχέση μεταξύ της ταχύτητας του αέρα v και της μέσης θερμοκρασία του δέρματος T_{sk} . (Συνθήκες μετρήσεων: άνδρας 35 ετών, τύπος ρουχισμού=1 clo, καθιστική εργασία, μεταβολικός ρυθμός = 60W, μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας $t_{rm}=200C$ = θερμοκρασία αέρα t_a , σχετική υγρασία $RH=50\%$).

μεταβολές της ταχύτητας προκαλούν μεγαλύτερες απώλειες θερμότητας σε σχέση με τις ίδιες μικρές μεταβολές ταχύτητας σε υψηλότερες ταχύτητες αέρα. Η ταχύτητα του αέρα σε φυσικά αεριζόμενα κτίρια είναι κοντά στα 0,1 m/s. Στους χώρους όπου διατηρούν μηχανικό αερισμό η ταχύτητα του αέρα εμφανίζεται μεγαλύτερη από τις ταχύτητες του Διαγράμματος 6. Στο πρότυπο ASHRAE 55 – 92 καθορίζεται η τιμή της ταχύτητας του αέρα για το καλοκαίρι και το χειμώνα (Πίνακας 2.3).

Πίνακας 2.3. Τιμές της ταχύτητας του αέρα σε m/s κατά ASHRAE 55 – 92.

Περίοδος	Τιμή ταχύτητας αέρα (m/s)	Σχόλια
Χειμώνας	<0.15	
Καλοκαίρι	<0.25	
	<0.275 ανά 1°C	Για θερμοκρασία αέρα >26 °C
	<0.8	Για θερμοκρασία αέρα 28 °C

Σύμφωνα με τις τεχνικές οδηγίες του τεχνικού επιμελητήριου Ελλάδος (TOTEE) οι συνιστώμενες τιμές της ταχύτητας του αέρα σε κλειστούς χώρους παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 2.4.

Πίνακας 2.4. Συνιστώμενες τιμές της ταχύτητας του αέρα σε κλειστούς χώρους

ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ (m/s)	ΕΠΙΔΡΑΣΗ	ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΗ ΧΡΗΣΗ
0-0,08	Παράπονα για έλλειψη κίνησης του αέρα	
0,125	Ιδανική κατάσταση	Κατοικίες, γραφεία
0,125-0,25	Πολύ ικανοποιητική κατάσταση αλλά η ταχύτητα των 0,25 πλησιάζει την μέγιστη.	Κατοικίες, γραφεία
0,325	Όχι ικανοποιητική για χώρους γραφείων. Ο αέρας παρασύρει ελαφριά χαρτιά από τα γραφεία.	Κατοικίες, γραφεία
0,375	Μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα για άτομα που κινούνται.	Εμπορικά καταστήματα
0,375-1.5	Ξεπερνάει τη μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα του αέρα.	Επιτρεπόμενη μόνο για βιομηχανικές εφαρμογές.

Όταν λοιπόν η θερμοκρασία του αέρα είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του σώματος, η δημιουργία ρεύματος προκαλεί την αίσθηση του ψύχους και δημιουργεί δυσφορία στους ένοικους. Αντίθετα, όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι υψηλότερη από την θερμοκρασία του σώματος, οι υψηλές ταχύτητες του αέρα αυξάνουν τους ρυθμούς

εφίδρωσης, και κατά συνέπεια βελτιώνουν την αίσθηση του δροσισμού, εξουδετερώνοντας, ως ένα βαθμό, την αρνητική επίδραση της υψηλής σχετικής υγρασίας. Ο βαθμός πάντως στον οποίο αισθάνεται κάποιος την κίνηση του αέρα εξαρτάται επιπλέον, από το είδος της ενδυμασίας, το είδος της απασχόλησης, ακόμα και από το μέρος του σώματος στο οποίο δέχεται το ρεύμα αέρα. Στον παρακάτω Πίνακα (2.5) δίνονται για κάθε μέρος του σώματος, οι βέλτιστες θερμοκρασίες επιδερμίδας και το ποσό θερμότητας που αποβάλλεται όταν ο άνθρωπος αισθάνεται θερμικά άνετα

Πίνακας 2.5

Περιοχή του σώματος	Επιφάνεια * (m ²)	Βέλτιστες θερμοκρασίες επιδερμίδας (°C)	Αποβολή θερμότητας (kcal/h)
Κεφάλι και λαιμός	0,2	34,7	4,0
Στήθος	0,17	34,7	7,9
Κοιλία	0,12	34,7	4,5
Πλάτη	0,23	34,7	12,4
Επάνω μηρός	0,33	34,7	12,0
Κάτω μηρός	0,20	31,0	14,5
Πόδια	0,12	28,6	9,9
Επάνω βραχίονας	0,10	33,0	7,9
Κάτω βραχίονας	0,08	30,9	8,6
Χέρια	0,07	28,6	15,9
Συνολικά	1,8	34,0	105,8

* Το εμβαδόν της επιφάνειας του σώματος μπορεί να εκτιμηθεί από τον τύπο $A_n = 0,202 * W_b^{0,425} * B_h^{0,725}$
όπου W_b το βάρος του σώματος και B_h το ύψος του σώματος
Προκύπτει περίπου 1,6m² για μια γυναίκα και 1,8 m² για έναν άντρα.

Εάν οι τιμές του πίνακα διαταραχθούν σημαντικά λόγω ρεύματος αέρα, ο άνθρωπος παύει να αισθάνεται θερμικά άνετα. Σύμφωνα με το ASHRAE, το ανώτατο επιτρεπτό όριο της ταχύτητας του αέρα σε εσωτερικό χώρο, ορίζεται στα 0,8 m/s. Με μια υψηλή ταχύτητα αέρα, λοιπόν, είναι δυνατό να διατηρούμε τη θερμοκρασία ενός χώρου κατά 2 °C υψηλότερη, σε μία υγρασία γύρω στο 60% επιτυγχάνοντας ταυτόχρονα μια βέλτιστη θερμική άνεση. Συνεπώς όσον αφορά τους κλιματιζόμενους χώρους μας δίνεται η δυνατότητα να θέσουμε την ένδειξη του θερμοστάτη σε υψηλότερα επίπεδα, γεγονός που μεταφράζεται τελικά σε μικρότερη κατανάλωση ενέργειας.

2.4 Πρότυπα Θερμικής Άνεσης

2.4.1 Το Πρότυπο της ASHRAE

Το πρότυπο της ASHRAE χρησιμοποιεί το μοντέλο ET*-DISC για να απεικονίσει καμπύλες άνεσης πάνω σε ένα ψυχομετρικό χάρτη που διαμορφώνουν μια ζώνη άνεσης. Εάν οι φυσικές συνθήκες που δοκιμάζονται είναι στη ζώνη άνεσης, το άτομο που εκτίθεται σε αυτές βρίσκεται σε κατάσταση άνεσης. Το μειονέκτημα του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε αρχικά από την ASHRE ήταν τα στενά πλαίσια λειτουργίας και οι περιορισμοί που το έκαναν ανελαστικό.

- Ο αέρας θεωρείται ακίνητος
- Η δραστηριότητα του ατόμου είναι στάσιμη
- Φορά ρουχισμό 0.6 clo το καλοκαίρι και 0.8 τον χειμώνα.
- Εκτίθεται μέτρια σε γενικές συνθήκες

2.4.2 Αναθεώρηση του μοντέλου ASHRAE

Οι περιορισμοί αυτοί έκαναν αναγκαία την εξέλιξη του προτύπου. Οι αλλαγές που έγιναν περιλαμβάνουν την προσθήκη μεθόδων υπολογισμού του PMV/PPD* και την ιδέα της προσαρμοστικότητας (το πρότυπο τώρα είναι σε στενή συμφωνία με το αντίστοιχο της ISO). Το πρότυπο εξειδικεύει θερμικές περιβαλλοντικές συνθήκες αποδέκτες από ενήλικες, υγιείς σε ατμοσφαιρική πίεση ισοδύναμη σε υψόμετρο περί τα 3000 μέτρα, για

* PMV:δείκτης μέσης πρόβλεψης (Predicted Mean Vote), PPD: δείκτης δυσαρέσκειας των ανθρώπων (Predicted Percent of dissatisfied people)

εσωτερικούς χώρους σχεδιασμένους για ανθρώπινα καταλύματα και για περιόδους όχι για μικρότερες από 15 λεπτά.

Η χρήση του μοντέλου PMV/PPD σε αυτό το πρότυπο μπορεί να εφαρμοστεί

- 1) Για τα επίπεδα δραστηριότητας μεταξύ 1,0 και 2,0 met
- 2) Για αντίσταση ρουχισμού 1,5 clo η λιγότερο
- 3) Για ταχύτητα αέρα όχι μεγαλύτερη από 0,2 m/s

Επίσης:

- Το πρότυπο της ASHRAE αναφέρεται στην καμπύλη $PPD=f(PMV)$ και την υπόθεση ότι οι άνθρωποι που στην κλίμακα θερμικής αίσθησης της ASHRAE ψηφίζουν +3,+2, -2,-3, αισθάνονται δυσφορία.
- Η υγρασία πρέπει να συντηρείται σε επίπεδα που αντιστοιχούν σε πίεση υδρατμών κάτω από 1,910 kPa η θερμοκρασίας δρόσου 16,8 °C
- Το πρότυπο επιτρέπει η άνοδος της ταχύτητας του αέρα (έως 0,8 m/s) να χρησιμοποιηθεί για την αύξηση της μέγιστης αποδεκτής θερμοκρασίας (όχι πλέον των 3°C), εάν οι αποδέκτες-χρήστες μπορούν οι ίδιοι να την ελέγξουν και με βήμα όχι μεγαλύτερο του 0,15 m/s.
- Ο υπολογισμός της ταχύτητας του αέρα που απαιτείται για την αντιστάθμιση της αύξησης της θερμοκρασίας υπολογίζεται από το διάγραμμα 3.4.
- Τα οφέλη που μπορούν να προκύψουν εξαρτώνται από το ρουχισμό και τη δραστηριότητα. Η επίδραση της αύξησης της ταχύτητας είναι μεγαλύτερη με την ένταση της δραστηριότητας λόγω της αυξημένης εφίδρωσης και ο ελαφρύτερος ρουχισμός αυξάνει την επιφάνεια του δέρματος που εκτίθεται.

Οι παραπάνω απαιτήσεις εφαρμόζονται σε άτομα με ελαφριά ένδυση και καθιστική δραστηριότητα. Διακυμάνσεις της θερμοκρασίας που συμβαίνουν χωρίς να είναι κάτω από τον έλεγχο των χρηστών (π.χ ανακύκλωση αέρα από τον θερμοστατικό έλεγχο) μπορούν να επιδρούν αρνητικά στην αίσθηση άνεσης και υπόκεινται σε περιορισμούς (πίνακας 8).

- Η θέση των μετρήσεων πρέπει να επιλέγεται στο κέντρο του δωματίου και σε απόσταση τουλάχιστον 1 m από τους τοίχους και το μεγαλύτερο παράθυρο.

- Οι μετρήσεις για την λειτουργική θερμοκρασία ή το PMV/PPD, θα πρέπει να είναι σε ένα επίπεδο, με ύψος από το πάτωμα 0,6 m για καθιστική δραστηριότητα και 1,1 m για όρθια.

Πίνακας 7. Προϋποθέσεις για τους παράγοντες τοπικής δυσφορίας

Πηγή θερμικής δυσφορίας	DR από ρεύμα αέρα	PD από κάθετη διαφορά θερμοκρασίας αέρα	PD από θερμό ή κρύο πάτωμα	PD από ασύμμετρη ακτινοβολία
Ποσοστό δυσανεσστημένων	<20%	5%	<10%	<5%

Πηγή θερμικής δυσφορίας	Θερμό ταβάνι	Κρύος τοίχος	Κρύο ταβάνι	Θερμός τοίχος
Επιτρεπόμενη ασύμμετρία θερμικής ακτινοβολίας	<5%	<10°C	<14°C	<23°C

Πίνακας 8.

Χρονική περίοδος (min)	0,25	0,5	1	2	4
Μέγιστη επιτρεπόμενη αλλαγή στην T_o	1,1°	1,70°	2,20°	2,80°	3,30°

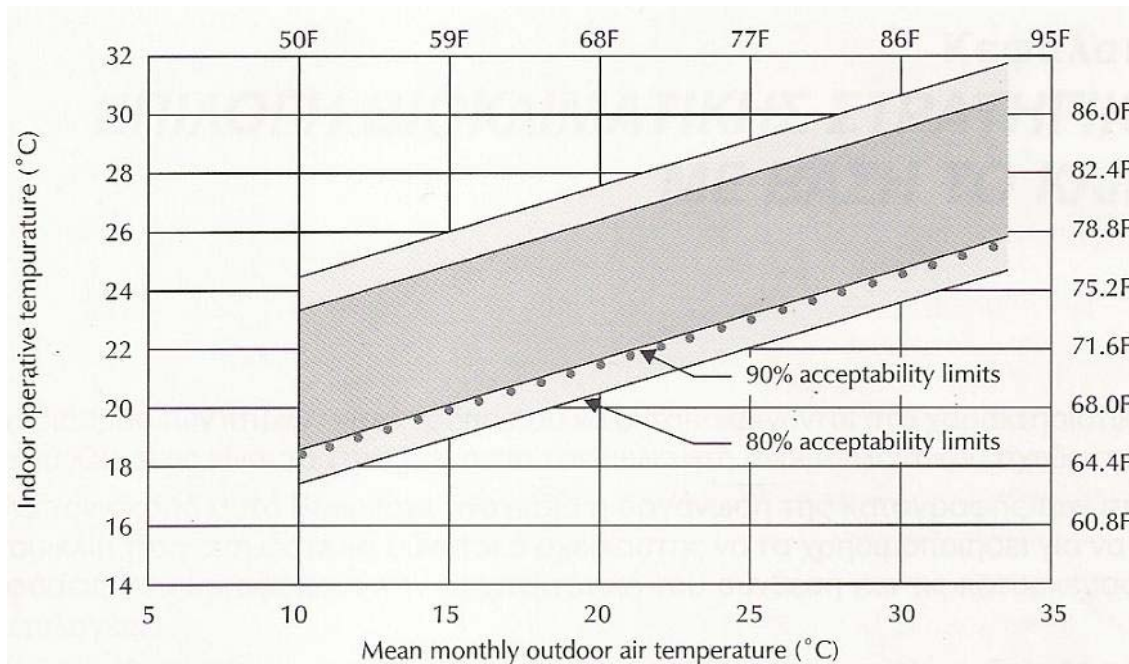
- Η περίοδος μέτρησης για τον καθορισμό της μέσης ταχύτητας αέρα σε οποιαδήποτε θέση είναι 3 λεπτά της ώρας.
- Ο ρουχισμός και η δραστηριότητα θα πρέπει να υπολογίζονται ως μέσες τιμές για μια περίοδο μισής με μίας ώρας αμέσως πριν την μέτρηση των περιβαλλοντικών παραμέτρων.

Μέθοδος καθορισμού αποδεκτών θερμικών συνθηκών σε μη κλιματιζόμενους χώρους

Η θερμική απόκριση των χρηστών τέτοιων χώρων, εξαρτάται κατά μέρος από το εξωτερικό κλίμα και μπορεί να διαφέρει από την θερμική απόκριση σε κτήρια με κεντρικό σύστημα κλιματισμού. Για την εφαρμογή της μεθόδου

- Το κτήριο πρέπει να είναι εφοδιασμένο με ανοιγόμενα παράθυρα
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μηχανικός αερισμός (με ανεμιστήρες)
- Ο χώρος μπορεί να εφοδιασθεί με σύστημα θέρμανσης, αλλά η μέθοδος δεν μπορεί να εφαρμοσθεί όταν βρίσκεται σε λειτουργία.
- Προδιαγράφει την εφαρμογή της μεθόδου για χώρους όπου οι χρήστες ασκούν καθιστική δραστηριότητα με μεταβολικό ρυθμό περίπου 1 met
- Οι χρήστες εννοείται ότι μπορούν ελεύθερα να προσαρμόζουν το ρουχισμό τους.

Η επιτρεπόμενη λειτουργική θερμοκρασία καθορίζεται από το παρακάτω διάγραμμα. Εάν η μέση μηνιαία εξωτερική θερμοκρασία είναι μικρότερη των 10 °C και μεγαλύτερη των 33,5 °C αυτή η εκδοχή δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Το διάγραμμα υπολογίζει τις τοπικές συνθήκες δυσφορίας και επίσης δεν χρειάζεται να υπολογισθούν τιμές για τον ρουχισμό. Τέλος δεν χρειάζονται όρια για την υγρασία και την ταχύτητα του αέρα όταν χρησιμοποιείται αυτή η εκδοχή.



Σχήμα 2.8 Αποδεκτά πεδία τιμών για τη λειτουργική θερμοκρασία σε φυσικά αεριζόμενους χώρους.

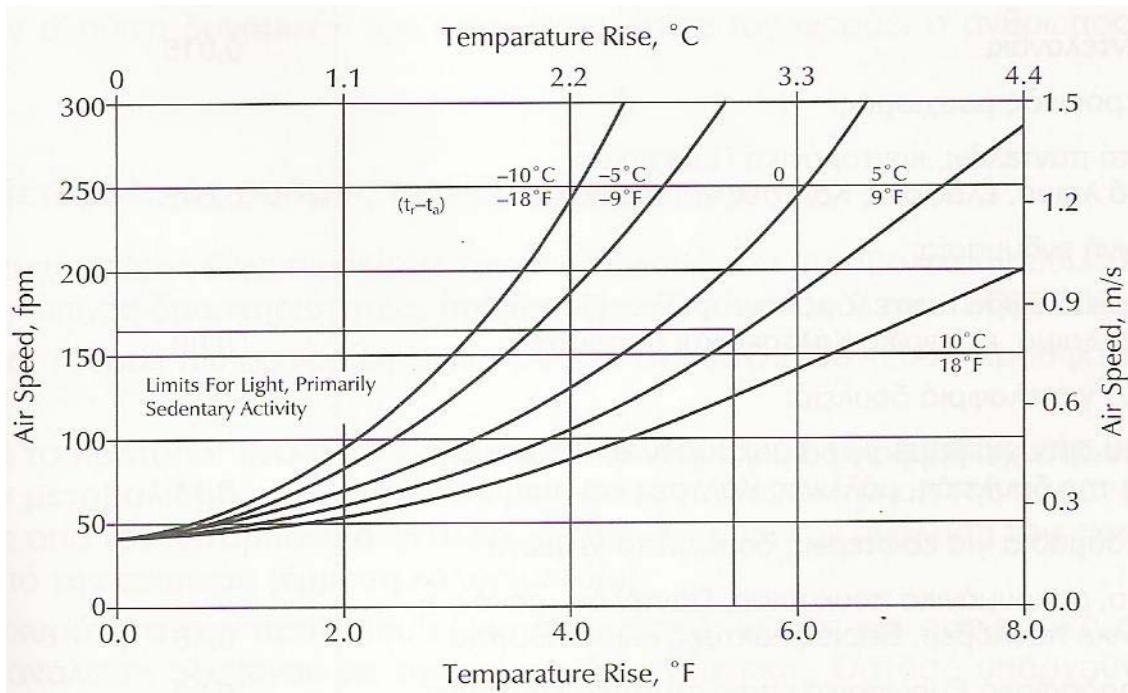
2.4.3 Το πρότυπο ISO

Το πρότυπο άνεσης για το διεθνή οργανισμό προτύπων (ISO) ενσωματώνει το PMV-PPD μοντέλο που χρησιμοποιείται από το μεγαλύτερο μέρος του κόσμου.

ο Απαιτήσεις και περιορισμοί του προτύπου ISO

Για την εκτίμηση της θερμικής άνεσης για στάσιμη εργασία, προτείνονται οι παρακάτω απαιτήσεις και περιορισμοί:

1. $-0.5 < PMV < +0.5$ και $PPD < 10\%$
2. $DR < 15\%$, στο λαιμό και στα άκρα
3. Κάθετη διαφορά θερμοκρασίας, ανάμεσα στο λαιμό και τα άκρα, μικρότερη των 3 °C
4. Ασυμμετρία στη θερμοκρασία ακτινοβολίας από κρύα παράθυρα, μικρότερη από 10 °C
5. Ασυμμετρία στη θερμοκρασία από ζεστό ταβάνι, μικρότερη από 5 °C
6. Θερμοκρασία δαπέδων μεταξύ 19 και 29 °C, αλλά τα συστήματα θέρμανσης πατώματος μπορούν να σχεδιάζονται για 29 °C.



Σχήμα 2.9 Μέση επιτρεπτή ταχύτητα του αέρα, σαν συνάρτηση της θερμοκρασίας και της έντασης στροβιλισμού του.

7. Σχετική υγρασία μεταξύ 30% και 70%
8. Ταχύτητα αέρα μικρότερη από την προσδιοριζόμενη στο παρακάτω διάγραμμα.

Δηλαδή:

Για $T_u = 0\%$

$V < 0,23 \text{ m/s}$ στους 20°C και $V < 0,5 \text{ m/s}$ στους 26°C .

για $T_u = 60\%$

$V < 0,12 \text{ m/s}$ στους 20°C και $V < 0,15 \text{ m/s}$ στους 26°C .

9. Λειτουργική θερμοκρασία μεταξύ $20\text{-}24^\circ\text{C}$ για τον χειμώνα και $23\text{-}26^\circ\text{C}$ για το καλοκαίρι
10. Γενικά τα πεδία τιμών για μια έγκυρη χρήση του PMV είναι μεταξύ $10\text{-}30^\circ\text{C}$ για τη θερμοκρασία αέρα και $10\text{-}40^\circ\text{C}$ για τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας.
11. Το πρότυπο για την έγκυρη χρήση του μοντέλου PMV, δίνει πεδίο τιμών για το μεταβολικό ρυθμό $0,8\text{-}4 \text{ met}$
12. Για την θερμική αντίσταση του ρουχισμού, δίνει έγκυρο πεδίο τιμών, $0\text{-}2,0 \text{ clo}$

Είναι εμφανές ότι κάθε μεταβλητή έχει ένα πεδίο τιμών εφαρμογής πολύ ευρύτερο από το αντίστοιχο αρχικό πρότυπο της ASHRAE

2.4.4 Αναθεώρηση του προτύπου ISO

Διαπιστώθηκε ότι στα πραγματικά κτήρια, μπορεί να είναι επιθυμητό να τεθούν διαφορετικά επίπεδα θερμικής δυσφορίας, έτσι στην αναθεώρηση προτείνεται να οριστούν τρία διαφορετικά επίπεδα αποδοχής δυσαρέσκειας. Ο Πίνακας 9 δίνει τα απαιτούμενα επίπεδα αποδοχής για τρεις κλάσεις περιβάλλοντος.

Έτσι για κτήρια χωρίς κλιματισμό ζητείται να χρησιμοποιείται το μοντέλο PMV, στο πεδίο της κλάσης C. Η ταχύτητα του αέρα που απαιτείται για την αντιστάθμιση της αύξησης της θερμοκρασίας υπολογίζεται βάσει του Σχήματος 2.9 όπως έγινε προηγουμένως.

Πίνακας 9.

Κατηγορία	Θερμική κατάσταση όλου του σώματος		Τοπική θερμική Δυσφορία			
	PPD %	PMV	DR %	Κάθετη διαφορά θερμοκρασίας %	Θερμότητα ψυχρό πάτωμα %	
A	<6	-0.2<PMV<+0.2	<15	<3	<10	<5
B	<10	-0.5<PMV<+0.5	<20	<5	<10	<5
C	<15	-0.7<PMV<+0.7	<25	<10	<15	<10

2.5 Συστήματα κλιματισμού

2.5.1 Ορισμός και σκοπός ενός συστήματος κλιματισμού

Ο πρωταρχικός σκοπός των συστημάτων κλιματισμού είναι να διατηρούν σε όλη τη διάρκεια του έτους τη θερμική άνεση και την υγεία των ανθρώπων μέσα στους χώρους διαβίωσης και εργασίας, με αξιοπιστία, επάρκεια και ανεκτό κόστος. Οι συνθήκες θερμικής άνεσης εξαρτώνται κυρίως από τις συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας και κίνησης του αέρα ενός χώρου ενώ η υγεία των ανθρώπων εξασφαλίζεται και από την καθαρότητα του αέρα. Οι συνθήκες θερμικής άνεσης δεν είναι μοναδικές αλλά εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες. Οι συνθήκες αυτές καθορίζονται στους κανονισμούς και τα πρότυπα που ισχύουν σε κάθε χώρα. Ο καθοριστικός παράγοντας συνήθως είναι το είδος και η χρήση των χώρων στους οποίους εγκαθίσταται το σύστημα κλιματισμού (π.χ. κατοικία, κτίριο γραφείων, θέατρο, ξενοδοχείο, κ.λ.π.).

Οι εγκαταστάσεις άνεσης διατηρούν τον αέρα των χώρων τόσο το χειμώνα όσο και το καλοκαίρι σε μία θερμοκρασία από 20°C έως 26°C και σε μία σχετική υγρασία μεταξύ 35% και 65%. Στις συνθήκες αυτές ο άνθρωπος αισθάνεται κατά κανόνα άνετα και αποδίδει περισσότερο στην εργασία του. Σε ειδικές κατηγορίες κτιρίων, ο στόχος δεν είναι μόνο η θερμική άνεση των ανθρώπων αλλά και η δημιουργία ειδικού περιβάλλοντος που ευνοεί :

- κάποια χημική ή βιολογική εξέλιξη (π.χ. εργαστήρια)
- κάποια μηχανική κατεργασία (π.χ. βιομηχανία)
- την προστασία κάποιων αντικειμένων από την απαξίωση (π.χ. ιστορικά κτίρια, μουσεία, βιβλιοθήκες, αρχεία)

Εδώ οι συνθήκες του αέρα καθορίζονται από διάφορους κανονισμούς, από παρατηρήσεις, εμπειρία κ.λ.π.

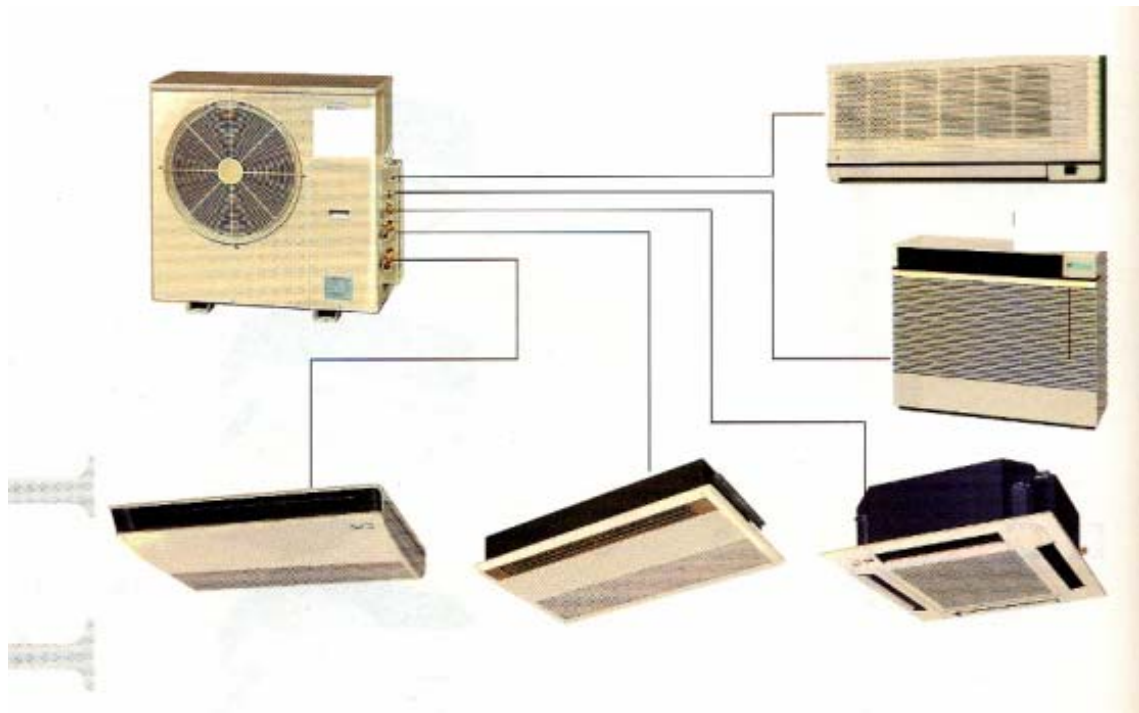
2.5.2 Βασικές λειτουργίες συστημάτων κλιματισμού

Η εξασφάλιση των απαραίτητων συνθηκών γίνεται με τον κατάλληλο συνδυασμό διαφόρων συσκευών, οι οποίες αποτελούν στο σύνολό τους το σύστημα κλιματισμού. Οι βασικές λειτουργίες που επιτελούνται σε ένα σύστημα κλιματισμού είναι:

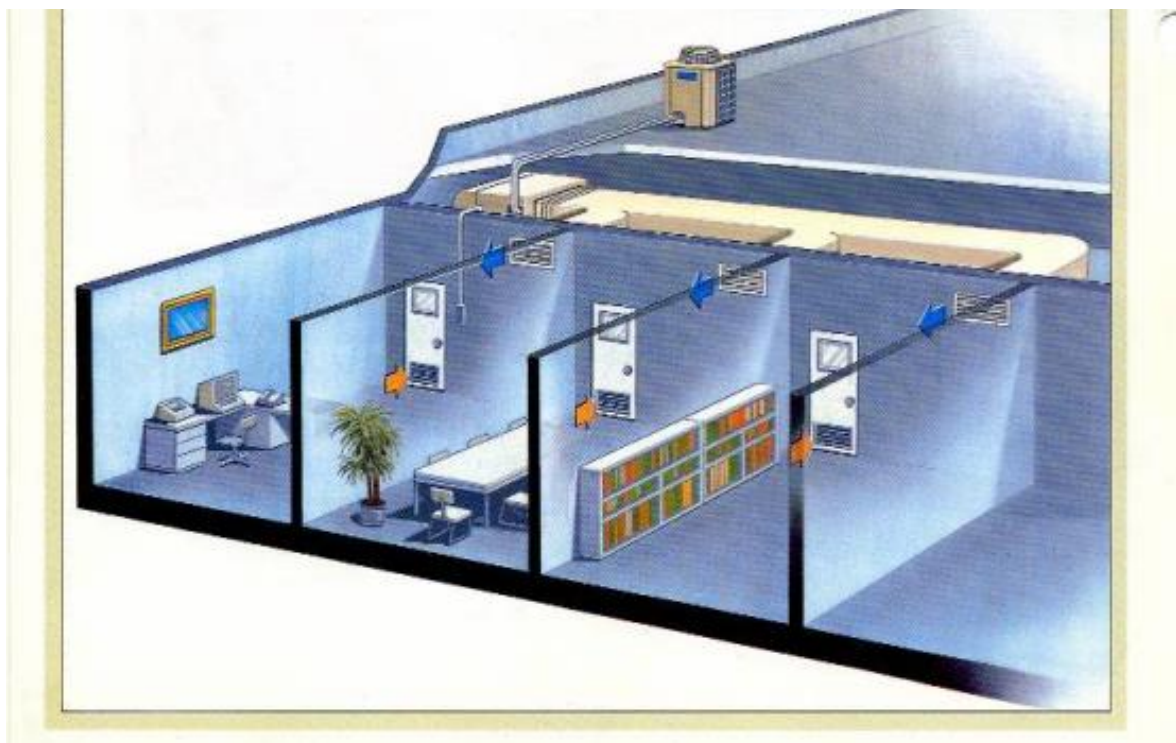
- Η θέρμανση: είναι η διεργασία πρόσθεσης θερμικής ενέργειας (θερμότητας) στον αέρα του κλιματιζόμενου χώρου με σκοπό την άνοδο της θερμοκρασίας ή τη διατήρηση της θερμοκρασίας σε ορισμένα όρια.
- Η ψύξη: είναι η διεργασία αφαίρεσης θερμικής ενέργειας (θερμότητας) από τον αέρα του κλιματιζόμενου χώρου με σκοπό την πτώση της θερμοκρασίας ή τη διατήρηση της θερμοκρασίας σε ορισμένα όρια.
- Η *ύγρανση*: είναι η διεργασία πρόσθεσης νερού (υγρασίας) στον αέρα του κλιματιζόμενου χώρου με σκοπό την άνοδο της σχετικής υγρασίας ή τη διατήρησή της σε ορισμένα όρια.
- Η *αφύγρανση*: είναι η διεργασία αφαίρεσης νερού (υγρασίας) από τον αέρα του κλιματιζόμενου χώρου με σκοπό την πτώση της σχετικής υγρασίας ή τη διατήρησή της σε ορισμένα όρια.
- Η *ανανέωση*: είναι η διεργασία λήψης εξωτερικού αέρα και απόρριψης αέρα από τους χώρους του κτιρίου, με σκοπό την αραίωση των αέριων προσμίξεων του αέρα και την εξασφάλιση της απαραίτητης ποιότητας του εσωτερικού αέρα.
- Ο *καθαρισμός*: είναι η διεργασία αφαίρεσης των σωματιδιακών και βιολογικών προσμίξεων του αέρα με σκοπό τη βελτίωση και τη διατήρηση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα.

Είναι φανερό ότι με κατάλληλο συνδυασμό συσκευών, συστημάτων ελέγχου και τρόπων λειτουργίας μπορούν να προκύψουν αμέτρητα συστήματα κλιματισμού. Η τελική διαμόρφωση ενός συστήματος είναι αποτέλεσμα πολλών παραγόντων (κόστους επένδυσης, τύπου κτιρίου, αισθητικής κ.λ.π.)

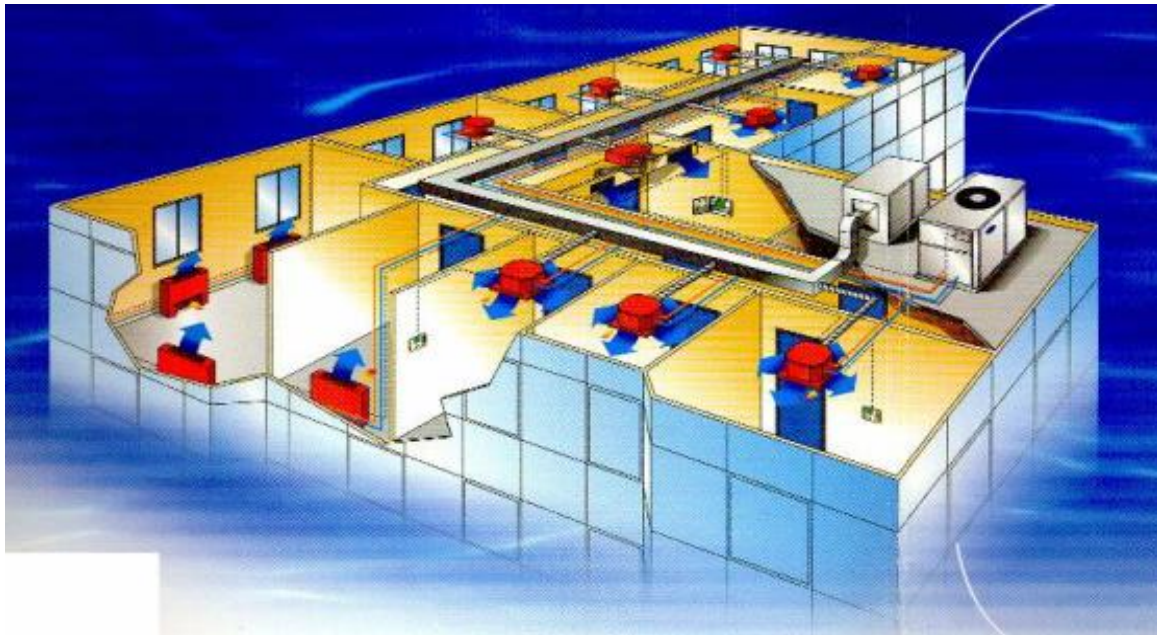
Στα παρακάτω σχήματα (2.10 – 2.14) βλέπουμε μερικά παραδείγματα συστημάτων κλιματισμού.



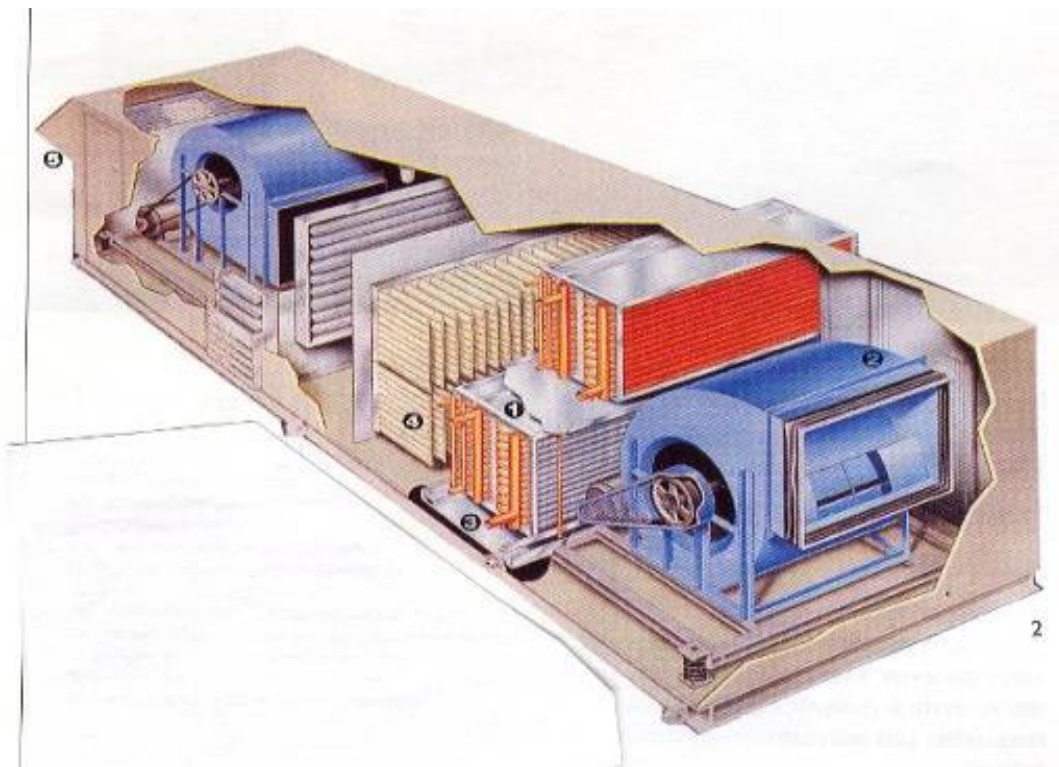
Σχήμα 2.10 Τοπικό σύστημα κλιματισμού



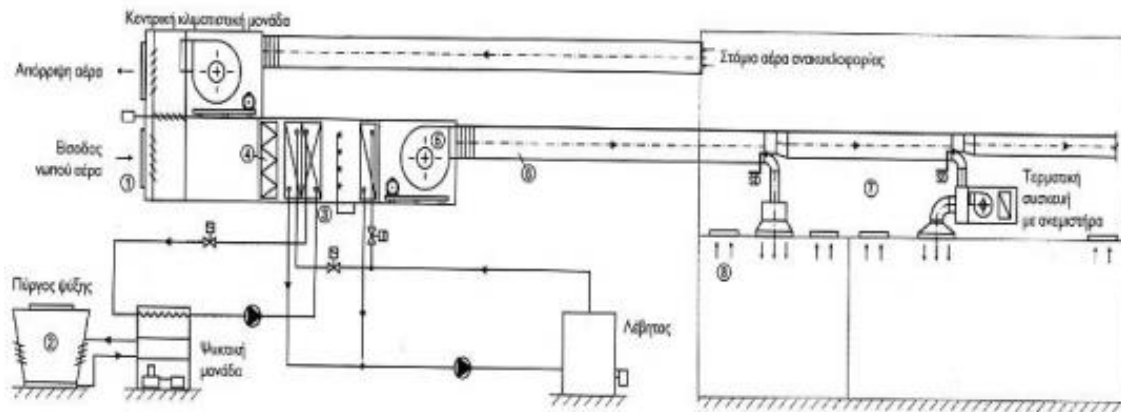
Σχήμα 2.11. Ημι-κεντρικό σύστημα κλιματισμού



Σχήμα 2.12 Κεντρικό σύστημα κλιματισμού



Σχήμα 2.13 Κεντρική κλιματιστική μονάδα



Σχήμα 2.14 Κεντρικό σύστημα κλιματισμού

2.5.3 Εφαρμογές συστημάτων κλιματισμού

Οι εφαρμογές του κλιματισμού μπορούν να διακριθούν:

α) Στον κλασσικό κλιματισμό “άνεσης”, που συνήθως απασχολεί τους μελετητές μηχανικούς, και όπου το κέντρο του ενδιαφέροντος είναι ο άνθρωπος. Οι εγκαταστάσεις αυτές χρησιμεύουν για τη δημιουργία συνθηκών ευεξίας σε χώρους παραμονής κάθε είδους όπως κτίρια γραφείων, θέατρα, κατοικίες, αίθουσες συγκεντρώσεων, χώρους πώλησης κ.λ.π.

β) Στον βιομηχανικό κλιματισμό, ο οποίος προορίζεται για την εξυπηρέτηση στόχων της βιοτεχνίας, της βιομηχανίας και γενικότερα παραγωγικών ή εργασιακών χώρων. Οι εγκαταστάσεις βιομηχανικού κλιματισμού έχουν ως στόχο τον άνθρωπο (προστασία της υγείας των εργαζομένων), ή την παραγωγική διαδικασία (δημιουργία ειδικού περιβάλλοντος που ευνοεί κάποια χημική ή βιολογική εξέλιξη ή κάποια μηχανική κατεργασία) ή και τα δύο (βελτίωση της παραγωγικότητας ανθρώπων και μηχανών).

γ) Στον κλιματισμό ειδικών εφαρμογών, που έχει ως στόχο να εξυπηρετήσει τις ειδικές ανάγκες και τις υψηλές απαιτήσεις νοσηλευτηρίων, χειρουργικών χώρων, εργαστηρίων ερευνών, ειδικών κατεργασιών κ.λ.π. Οι εγκαταστάσεις αυτές εξασφαλίζουν ιδιαίτερες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας καθώς και πολύ υψηλές απαιτήσεις καθαρότητας του αέρα, ώστε να εξασφαλίζεται ο έλεγχος της περιεκτικότητας των αιωρούμενων σωματιδίων, των μικροβίων, των βακτηριδίων και των διαφόρων άλλων μικροοργανισμών στον αέρα.

Πίνακας 10. Συνηθισμένες εφαρμογές κλιματισμού

ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ ΑΝΕΣΗΣ	ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ	ΕΙΔΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ
Κατοικίες	Υφαντουργία	Χειρουργεία
Θέατρα	Καπνά	Διαστημόπλοια
Κινηματογράφοι	Δέρμα	Εργαστήρια ερευνών
Νοσοκομεία	Φωτογραφικό υλικό	
Εστιατόρια	Γουνοποιία	
Μουσεία	Φάρμακα	
Βιβλιοθήκες	Χρώματα	
Τράπεζες	Ζυθοποιία	
Πολυκαταστήματα	Ηλεκτρικά προϊόντα	
Γραφεία	Χημικά προϊόντα	
Σχολεία	Τρόφιμα	
Εργαστήρια	Οχήματα μεταφοράς στην ξηρά	
Στούντιο TV, ραδιοφώνου	Οχήματα μεταφοράς στον αέρα	
Χώροι εργασίας εργοστασίων	Οχήματα μεταφοράς στη θάλασσα	
Αίθουσες Η/Υ		

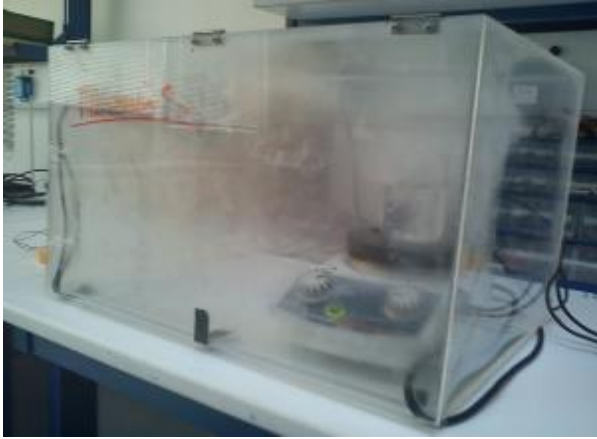
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

Πειραματικές διατάξεις

3.1 Κατασκευή πειραματικών διατάξεων

Το πειραματικό μέρος της εργασίας περιλαμβάνει την υλοποίηση δύο πειραματικών διατάξεων εκ των οποίων η μία προορίζεται για εκπαιδευτική χρήση ενώ η δεύτερη χρησιμοποιήθηκε για τη λήψη μετρήσεων θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας σε διάφορους εργασιακούς χώρους των κτιρίων του ΤΕΙ στα Χανιά.

Η πρώτη διάταξη (Σχήμα 3.1α) περιλαμβάνει την κατασκευή ενός κυτίου από plexiglass όπου μπορούν να προσαρμοστούν τα δύο αισθητήρια μέτρησης της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας καθώς και μία θερμαινόμενη πλάκα προκειμένου να διενεργούνται μετρήσεις μεταβολών θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας. Η μεταβολή της θερμοκρασίας στο χώρο γίνεται με τη βοήθεια της



α) Διάταξη κλειστού κυτίου από plexiglass που φέρει θερμαινόμενη πλάκα και θέσεις για την υποδοχή των αισθητηρίων υγρασίας και θερμοκρασίας



β) Διάταξη φορητής κατακόρυφης στήλης με προσαρμοσμένα τα αισθητήρια και τα dataloggers για τη συλλογή των δεδομένων

Σχήμα 3.1. Πειραματικές διατάξεις που κατασκευάστηκαν στην παρούσα εργασία

θερμαινόμενης πλάκας ενός μαγνητικού αναδευτήρα ενώ με την επιπλέον χρήση ενός θερμαινόμενου δοχείου με νερό επιτυγχάνεται η μεταβολή της υγρασίας σε αυτόν. Παρόλο που ο χώρος δεν είναι θερμικά απομονωμένος από το περιβάλλον του εργαστηρίου, επιλέχτηκε η χρήση του διαφανούς plexiglas προκειμένου να υπάρχει εποπτεία του πειράματος. Επίσης, προσαρμόστηκε κατάλληλα μικρός ανεμιστήρας προκειμένου να απάγεται η θερμότητα αλλά και οι δημιουργούμενοι υδρατμοί από το εσωτερικό του κουτιού όταν το επιθυμούμε.

Η δεύτερη διάταξη (Σχήμα 3.1β) αποτελεί μία φορητή κατακόρυφη στήλη ύψους 2.5m πάνω στην οποία προσαρμόστηκαν τέσσερα αισθητήρια μέτρησης θερμοκρασίας και ο αισθητήρας μέτρησης της σχετικής υγρασίας. Όλα τα αισθητήρια συνδέονται με δύο διαφορετικά συστήματα συλλογής δεδομένων που τοποθετούνται και αυτά πάνω στη βάση στήριξης. Η δυνατότητα του απευθείας ελέγχου του ενός συστήματος και ο προγραμματισμός του άλλου προσφέρει τη δυνατότητα αυτονομίας της διάταξης με χρήση μπαταριών για λήψη μετρήσεων σε χρονική διάρκεια μεγαλύτερης της μίας ημέρας, ανάλογα πάντα με τη συχνότητα δειγματοληψίας που επιλέγουμε. Η πειραματική αυτή διάταξη επομένως έχει τη δυνατότητα να τοποθετηθεί οπουδήποτε χωρίς τον περιορισμό εξωτερικής τροφοδοσίας.

Με τη βοήθεια της δεύτερης διάταξης που κατασκευάστηκε έγιναν μετρήσεις σε διάφορους χώρους των κτιρίων του ΤΕΙ στα Χανιά για ημερήσιο χρονικό διάστημα ώστε να μελετηθούν οι διακυμάνσεις της σχετικής υγρασίας και οι μεταβολές της θερμοκρασίας. Σε μερικές περιπτώσεις έγινε χρήση του κλιματιστικού της αίθουσας όπου πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις τις μεσημεριανές ώρες, ώστε να επιτύχουμε ελάττωση της θερμοκρασίας για να διερευνηθεί η επίδραση του κλιματισμού.

Για την σωστή διεξαγωγή των πειραμάτων εντός του εργαστηρίου αλλά και σε χώρους του ΤΕΙ έγινε βαθμονόμηση του αισθητηρίου της υγρασίας. Τα τέσσερα αισθητήρια μέτρησης της θερμοκρασίας συγκρίθηκαν με άλλα είδη εργαστηριακών θερμομέτρων και διαπιστώθηκε ότι η απόκλιση τους δεν είναι μεγαλύτερη των ± 0.2 °C. Επειδή δε, μας ενδιέφερε η καθ' ύψος μεταβολή της θερμοκρασίας στους διάφορους χώρους μέτρησης, η μέτρηση της θερμοκρασίας στο ίδιο σημείο και από τα τέσσερα αισθητήρια δεν έδωσε απόκλιση μεγαλύτερη από ± 0.1 °C.

3.2 Αισθητήρες και συστήματα συλλογής δεδομένων

3.2.1 Αισθητήρες μέτρησης θερμοκρασίας

(α) Ο αισθητήρας μέτρησης θερμοκρασίας TMP-BTA του οίκου Vernier από ανοξείδωτο χάλυβα είναι ένας γενικής χρήσης εργαστηριακός αισθητήρας θερμοκρασίας με χρήση σε πειράματα χημείας, φυσικής, βιολογίας και περιβαλλοντικών επιστημών. Ενδεικτικές χρήσεις περιλαμβάνουν τα εξής:

- θερμότητα των πειραμάτων τήξης
- καιρικές μελέτες
- ενδοθερμικός έλεγχος

- συγκεκριμένα πειράματα θερμότητας σε εξωθερμικές αντιδράσεις
- μελέτες μόνωσης

Η λειτουργία του αισθητήρα βασίζεται σε ένα NTC thermistor των 20 kΩ που είναι ένας μεταβλητός αντιστάτης ο οποίος μειώνει τη αντίσταση του μη γραμμικά με την αύξηση της θερμοκρασίας. Στους 25 °C, η αντίσταση είναι περίπου 4.3% ανά °C. Το datalogger μετρά την τιμή της αντίστασης R σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία, και την μετατρέπει σε θερμοκρασία με τη βοήθεια της εξίσωσης των Steinhart-Hart:

$$T = [K_0 + K_1 (\ln 1000R) + K_2 (\ln 1000R)^3]^{-1} - 273.15$$

όπου T είναι η θερμοκρασία (°C), R είναι η μετρούμενη αντίσταση σε kΩ, $K_0=1.02119 \times 10^{-3}$, $K_1 = 2.22468 \times 10^{-4}$, και $K_2 = 1.33342 \times 10^{-7}$.

Οι τεχνικές προδιαγραφές του αισθητήρα παρατίθενται στον Πίνακα 3.1.

Ο αισθητήρας αυτός χρησιμοποιήθηκε στην 1^η πειραματική διάταξη σε συνδυασμό με τον αισθητήρα μέτρησης της σχετικής υγρασίας ενώ στη 2^η πειραματική διάταξη της κατακόρυφης στήλης χρησιμοποιήθηκαν 2 εξ αυτών.

(α) Στη 2^η πειραματική διάταξη όπου απαιτούνταν η χρήση τεσσάρων (4) συνολικών αισθητήρων θερμοκρασίας, χρησιμοποιήθηκαν επιπλέον άλλοι δύο αισθητήρες θερμοκρασίας με τη μονάδα συλλογής PASC0 GLX που περιγράφεται παρακάτω. Το εύρος μετρήσεων των αισθητήρων αυτών είναι -10 °C – 70 °C με την ίδια περίπου ευαισθησία που έχουν οι άλλοι αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν.

Πίνακας 3.1 Τεχνικές προδιαγραφές αισθητήρα θερμοκρασίας του οίκου Vernier.

Temperature range:	-40 to 135°C (-40 to 275°F)	
Maximum temperature that the sensor can tolerate without damage:	150°C	
13-bit resolution (SensorDAQ):	0.09°C	(-40 to 0°C)
	0.02°C	(0 to 40°C)
	0.05°C	(40 to 100°C)
	0.13°C	(100 to 135°C)
12-bit resolution (LabPro, LabQuest 2, LabQuest, LabQuest Mini, TI-Nspire™ Lab Cradle):	0.17°C	(-40 to 0°C)
	0.03°C	(0 to 40°C)
	0.1°C	(40 to 100°C)
	0.25°C	(100 to 135°C)
10-bit resolution (CBL 2™):	0.68°C	(-40 to 0°C)
	0.12°C	(0 to 40°C)
	0.4°C	(40 to 100°C)
	1.0°C	(100 to 135°C)
Temperature sensor:	20 kΩ NTC Thermistor	
Accuracy:	±0.2°C at 0°C, ±0.5°C at 100°C	
Response time (time for 90% change in reading):	10 seconds (in water, with stirring)	
	400 seconds (in still air)	
	90 seconds (in moving air)	

3.2.2 Αισθητήρας μέτρησης σχετικής υγρασίας

Η καρδιά αυτού του αισθητήρα είναι το ολοκληρωμένο κύκλωμα Hy-Cal Engineering IH-3602-L. Ο αισθητήρας υγρασίας χρησιμοποιεί ένα διηλεκτρικό πολυμερές υλικό τα χαρακτηριστικά του οποίου αλλάζουν με την υγρασία σε κύκλωμα πυκνωτή. Ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα παράγει μια τάση εξόδου που ποικίλλει ανάλογα με τη σχετική υγρασία. Ο χρόνος απόκρισης του αισθητήρα είναι πιο μικρός όταν υπάρχει κίνηση του αέρα παρά όταν είναι στάσιμος.



Σε μερικές περιπτώσεις, μπορεί να χρειαστεί να δημιουργηθούν ρεύματα αέρα (με την κίνηση του αισθητήρα ή τη χρησιμοποίηση ενός ανεμιστήρα) ώστε να μικρύνει ο χρόνος απόκρισης του αισθητήρα.

Ο αισθητήρας είναι ελαφρώς φωτοευαίσθητος. Το κάλυμμα του έχει σχεδιαστεί ώστε να ελαχιστοποιήσει το ποσό του φωτός που μπορεί να διαπεράσει το αισθητήρα. Η βαθμολόγηση του αισθητήρα επηρεάζεται κάπως από τη θερμοκρασία. Αυτή η επίδραση είναι αμελητέα στη χαμηλή ένδειξη σχετικής υγρασίας, αλλά αυξάνεται στις υψηλές τιμές υγρασίας. Εάν θέλουμε να διορθώσουμε αυτό το σφάλμα, μπορούμε να δημιουργήσουμε διαφορετικά αρχεία βαθμολόγησης για τις διαφορετικές θερμοκρασίες. Στις περισσότερες περιπτώσεις, αυτό είναι περιττό.

Πίνακας 3.2 Τεχνικές προδιαγραφές αισθητήρα μέτρησης σχετικής υγρασίας

Range:	0% to 95%
Power:	200 μ A @ 5 VDC
Response Time (time for a 90% change in reading)	
In still air:	60 minutes (typical)
With vigorous air movement:	40 seconds (typical)
Resolution	
13-bit (with SensorDAQ)	0.02% RH
12-bit (with LabPro, LabQuest 2, LabQuest, LabQuest Mini, TI-Nspire™ Lab Cradle, Go!Link, ULI, or SBI)	0.04% RH
10-bit (with CBL 2™)	0.16% RH
Stored calibration	
Slope	30.43%/V
Intercept	-25.81%
Specifications for the IH-3602-L Integrated Circuit Humidity Sensor (at 25°C and 5.0 VDC) are given below	
Total Accuracy (with saturated salt calibration):	\pm 2% RH
Total Accuracy (with standard calibration):	\pm 10% RH
Operating Temperature Range:	0 to 85°C
Temperature Effect on 0%RH voltage:	\pm 0.007% RH/°C (negligible)
Temperature Effect on 50%RH voltage:	-0.11% RH/°C
Temperature Effect on 95%RH voltage	-0.22% RH/°C

3.2.3 Συστήματα συλλογής δεδομένων

Για τη συλλογή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικά συστήματα συλλογής (dataloggers), το LabPro του οίκου Vernier και το GLX του οίκου PASCO (Σχήμα 3.2). Και τα δύο συστήματα λειτουργούν με μπαταρίες προσφέροντας αυτονομία μεγαλύτερη της μίας ημέρας, ανάλογα πάντα με τη συχνότητα δειγματοληψία που χρησιμοποιούμε.

Το LabPro έχει τέσσερις (4) εισόδους για σύνδεση διαφόρων αισθητηρίων ενώ ο προγραμματισμός του γίνεται μέσω κατάλληλου λογισμικού επικοινωνίας με διασυνδεδεμένο Η/Υ. Οι τεχνικές του προδιαγραφές δίνονται στον Πίνακα 3.3. Στην παρούσα εργασία το εν λόγω σύστημα χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας και στις δύο πειραματικές διατάξεις. Στη 2^η πειραματική διάταξη χρησιμοποιήθηκαν δύο αισθητήρες θερμοκρασίας και ο αισθητήρας της υγρασίας (§ 3.2.1 και 3.2.2).

Το GLX έχει τη δυνατότητα συλλογής, απεικόνισης και αποθήκευσης δεδομένων χάρη στην εσωτερική μνήμη που διαθέτει ενώ με τη χρήση του ενσωματωμένου πληκτρολογίου και της οθόνης δεν είναι απαραίτητη η διασύνδεση του με Η/Υ παρά μόνον για τη μεταφορά των δεδομένων (Σχήμα 3.3).



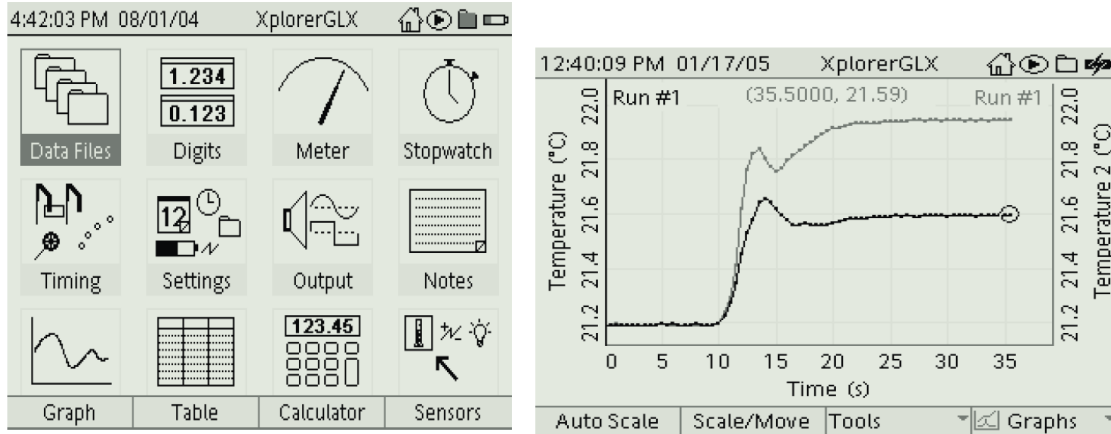
VERNIER LabPro



PASCO GLX DataLogger

Σχήμα 3.2 Τα συστήματα συλλογής δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.

Η χρήση επαναφορτιζόμενων μπαταριών και η μικρή του κατανάλωση του προσφέρει μεγάλη αυτονομία. Στο GLX datalogger συνδέθηκαν οι άλλοι δύο αισθητήρες μέτρησης της θερμοκρασίας.



Σχήμα 3.3 Θόνες επιλογών και καταγραφής δεδομένων του PASCΟ GLX.

Πίνακας 3.3 Τεχνικές προδιαγραφές του LabPro datalogger

Power Requirements	6VDC reg. 600mA or 4AA Alkaline Batteries
Power Connection	2.1mm Power Jack, center negative
Physical Dimensions	8.4" x 3.3" x 1.2"(214mm x 84mm x 31mm)
Weight	280g (w/o batteries)
Environmental:	
Operating Temperature range	-40°C to 70°C
Storage Temperature range	-40°C to 85°C
Relative Humidity	0 to 95% noncondensing
Analog Channels CH1 – CH4	British Telcom 6 pin Right Hand socket
Digital Channels DIG1, DIG2	British Telcom 6 pin Left Hand socket
Power at sensor connectors	5.3VDC (nominal). 180mA max.

Analog Inputs

ADC Architecture	12-bit Successive Approximation ADC
Number of inputs	8 single ended inputs (2/analog connector)
Input ranges (CH1 – CH3)	0 - 5V, +/- 10V
Input ranges (CH4)	0 - 5V, +/- 5V
Resolution 0-5V inputs	1.2mV
Resolution +/-10V inputs	4.9mV
Max Sample rate	50,000 samples per second
Max Sample Storage	12k samples
Input impedance: 0 -5V input	>10MΩ
Input impedance: +/-10V input	1MΩ
Overvoltage protection	110V powered/unpowered.
Temperature Drift	100ppm/°C

Analog Inputs (Cont.)

DC Parameters	
Integral Nonlinearity	+/- 0.5 LSB
Differential Nonlinearity	+/- 1 LSB (no missing codes)
Offset Error	1 LSB
System noise	+/- 1 LSB
AC Parameters	
Input Bandwidth: 0-5V input	50kHz (f3dB)
Input Bandwidth: +/-10V input	5kHz (f3dB)

* For the Ch4 +/-5V input, use the +/- 10V input AC and DC parameters.

Analog Output

Connector	CH4 same pin as Vin (+/- input)
Signal Output Range	+/- 2V at 100mA
Configuration	2 – 12 bit DACs (amplitude and offset)
Current sense resistor	0.1Ω 1%
Update rate	200 Hz
Max load	8Ω
Protection	Short circuit to ground

Digital I/O

Connector	British Telcom Left Hand connector
Signals	8 configurable I/O lines; 4 on each channel
Input Characteristics:	
Input High Voltage	3.5V min.
Input Low Voltage	1.5V max.
Output Characteristics:	
Output High Voltage	4.2V min. Ioh = -400uA
Output Low Voltage	0.45V max. Iol = 1.6mA
Timing Resolution	1.6μs, 100μs (depending on mode).

3.3 Βαθμονόμηση αισθητήρα υγρασίας

Η διαδικασία βαθμονόμησης του αισθητήρα υγρασίας είναι προαιρετική και δεν χρειάζεται να εκτελέσουμε εκ νέου βαθμονόμηση προκειμένου αυτός να χρησιμοποιηθεί. Η βαθμονόμηση έχει γίνει σε κάθε αισθητήρα σχετικής υγρασίας εργοστασιακά για να ταιριάζει με την καταχωρημένη βαθμονόμηση του αρχείου. Έτσι μπορούμε απλά να χρησιμοποιήσουμε το κατάλληλο αρχείο βαθμονόμησης που καταχωρείται στο πρόγραμμα της συλλογής δεδομένων από τη Vernier. Για τη μέγιστη ακρίβεια ωστόσο, αυτός ο αισθητήρας σχετικής υγρασίας μπορεί να βαθμονομηθεί. Βαθμονόμηση μπορεί να γίνει σε σύγκριση με ένα άλλο όργανο που μετρά τη σχετική υγρασία (υγρόμετρο ή psychrometer). Ένας άλλος τρόπος είναι να χρησιμοποιηθούν διαλύματα άλατος διατηρώντας το περιβάλλον σε διαφορετικές γνωστές τιμές σχετικής υγρασίας. Εάν τοποθετήσουμε άλατα σε ένα σφραγισμένο δοχείο, ο αέρας επάνω από αυτό θα φθάσει σε μια γνωστή τιμή σχετικής υγρασίας ύστερα από κάποια ώρα. Μία λίστα των τιμών αυτών παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.4 για διάφορα άλατα. Επειδή η σχετική υγρασία επάνω από το άλας εξαρτάται ελαφρώς από τη θερμοκρασία, ο πίνακας περιλαμβάνει επίσης τιμές σχετικής υγρασίας για διαφορετικές θερμοκρασίες κοντά στη θερμοκρασία δωματίου.

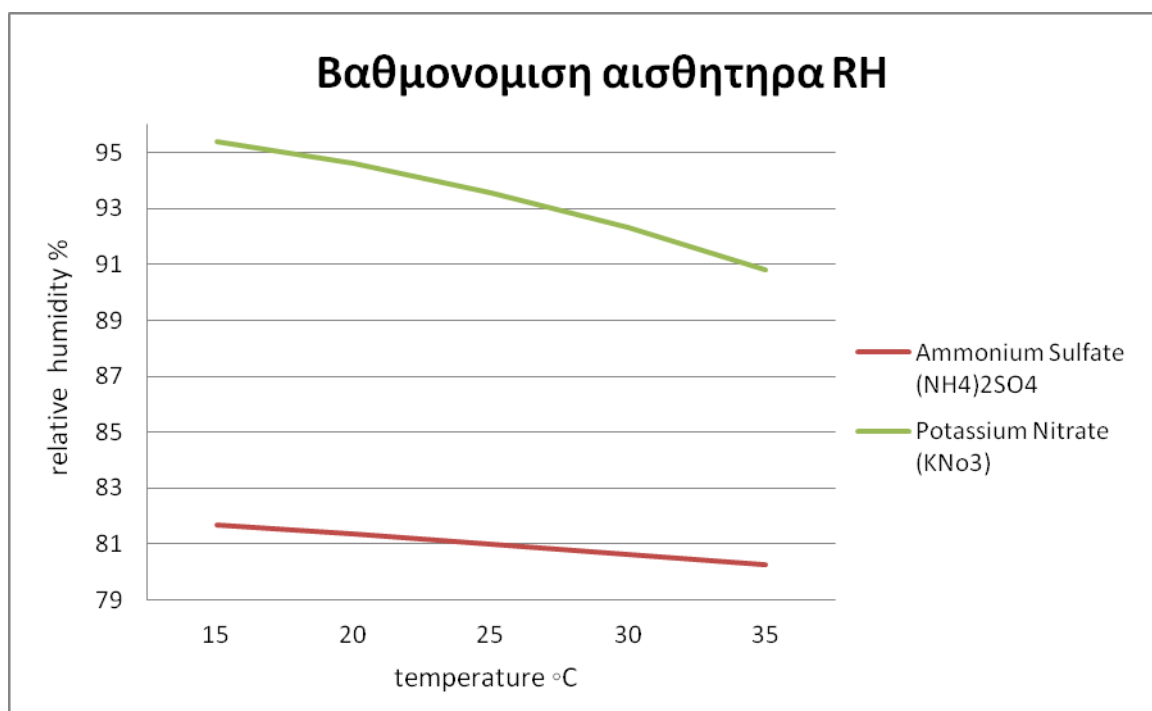
Στη συνέχεια παρατίθεται η διαδικασία βαθμονόμησης.

1. Τοποθετούμε μια χούφτα του άλατος στο κατώτατο σημείο ενός βάζου μεγέθους ενός τετάρτου του λίτρου.
2. Προσθέτουμε λίγο νερό στο βάζο έτσι ώστε το άλας να είναι υγρό. Ο στόχος είναι να υγροποιηθεί το άλας και όχι να διαλυθεί.
3. Τοποθετούμε τον αισθητήρα σχετικής υγρασίας στο βάζο. Δε θα πρέπει να έρθει σε επαφή το άλας ή το διάλυμα με τον αισθητήρα.
4. Σφραγίζουμε το βάζο. Χρησιμοποιούμε συνήθως το πλαστικό περικάλυμμα ή λαστιχένια γάντια.
5. Αρχίζουμε το πρόγραμμα συλλογής δεδομένων και αφήνουμε κάποιο χρόνο (2 έως 6 ώρες) για τον αέρα μέσα στο βάζο ώστε να φθάσει στο κατάλληλο επίπεδο σχετικής υγρασίας (συνθήκες κορεσμού).
6. Ξεκινούμε τη διαδικασία για το πρώτο σημείο της βαθμονόμησης πληκτρολογώντας τη τιμή της σχετικής υγρασίας για το άλας που χρησιμοποιούμε, όπως αυτές καθορίζονται από τον Πίνακα 3.4.
7. Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία για το δεύτερο σημείο βαθμονόμησης χρησιμοποιώντας αυτή τη φορά ένα διαφορετικό άλας. Θα πρέπει να αφήσουμε

αρκετό χρόνο στον αισθητήρα σχετικής υγρασίας ώστε να ισορροπήσει στη διαφορετική τιμή της υγρασίας. Ακόμα κι αν κανένα από τα άλατα που εμφανίζονται στη λίστα δεν είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται πάντα οι κατάλληλες προφυλάξεις στη χρήση χημικών ουσιών.

Πίνακας 3.4 Ποσοστά σχετικής υγρασίας σε διάφορες θερμοκρασίες και για διαφορετικά χρησιμοποιούμενα άλατα

All Data in %	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C
Lithium Bromide	6.86	6.61	6.37	6.16	5.97
Lithium Chloride	11.3	11.31	11.3	11.28	11.25
Potassium Acetate	23.40	23.11	22.51	21.61	-
Magnesium Chloride	33.3	33.07	32.78	32.44	32.05
Potassium Carbonate	43.15	43.16	43.16	43.17	-
Magnesium Nitrate	55.87	54.38	52.89	51.4	49.91
Potassium Iodide	70.98	69.90	68.86	67.89	66.96
Sodium Chloride	75.61	75.47	75.29	75.09	74.87
Ammonium Sulfate	81.70	81.34	80.99	80.63	80.27
Potassium Chloride	85.92	85.11	84.34	83.62	82.95
Potassium Nitrate	95.41	94.62	93.58	92.31	90.79

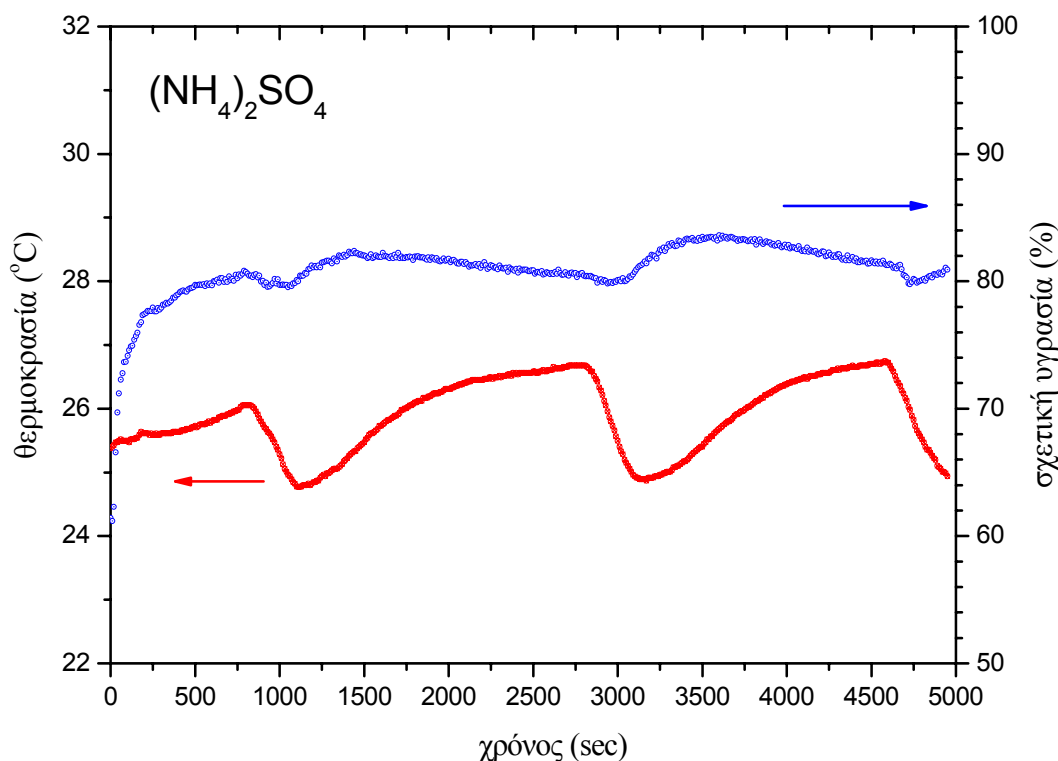


Σχήμα 3.4 Τιμές αισθητήρα σχετικής υγρασίας ανάλογα με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος για τα δύο άλατα που χρησιμοποιήθηκαν.

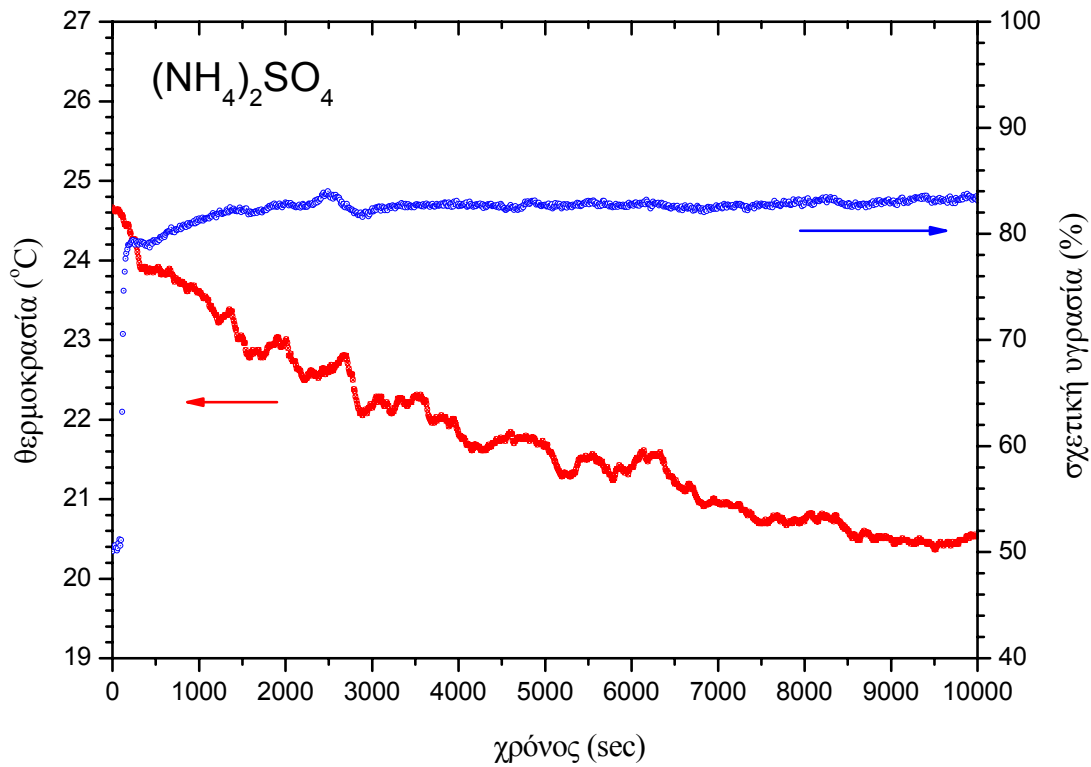
Για τα δύο άλατα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, οι μεταβολές της σχετικής υγρασίας με τη θερμοκρασία σε συνθήκες ισορροπίας, απεικονίζονται στο Σχήμα 3.4. Από τις καμπύλες αυτές, μπορούμε να υπολογίσουμε με παρεμβολή οποιαδήποτε τιμή της σχετικής υγρασίας για εύρος θερμοκρασιών 15 °C – 35 °C, επιτυγχάνοντας έτσι μεγαλύτερη ακρίβεια στη διαδικασία της βαθμονόμησης.

Κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης δύο σημείων που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, οι καμπύλες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας για τα άλατα $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ και KNO_3 , απεικονίζονται στα Σχήματα 3.5 – 3.7.

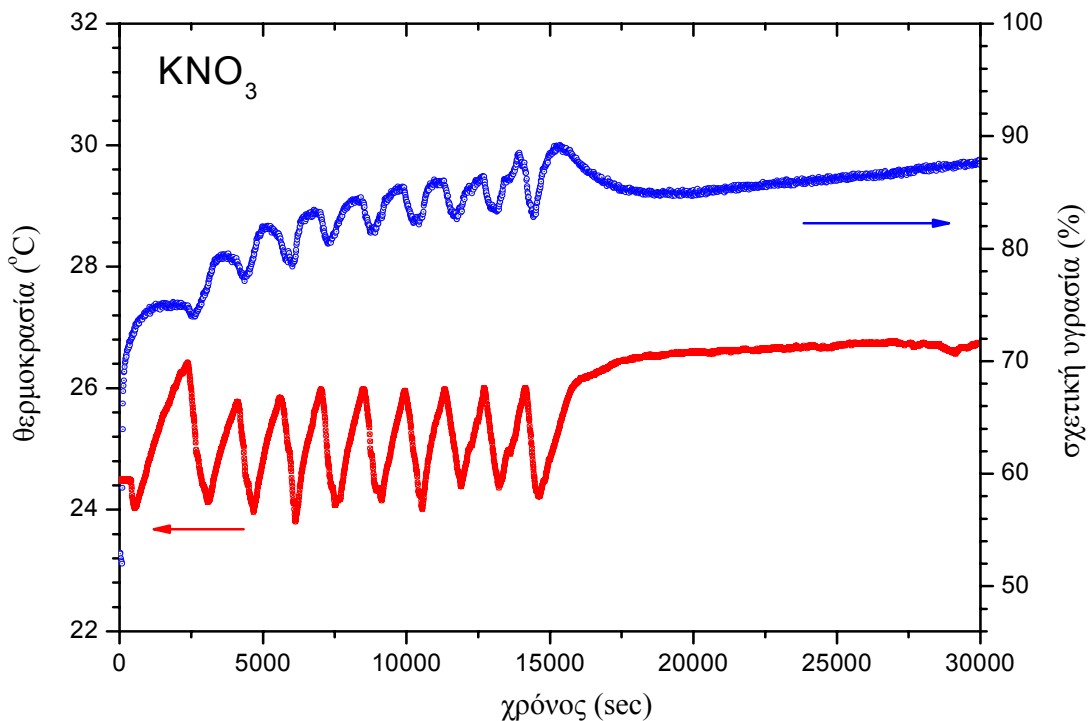
Οι διακυμάνσεις που παρουσιάζονται στην καταγραμμένη θερμοκρασία οφείλονται στη χρήση του κλιματιστικού στο χώρο του εργαστηρίου με αποτέλεσμα να μην μπορεί να σταθεροποιηθεί η ένδειξη της σχετικής υγρασίας παρόλο που σε σύντομο χρονικό διάστημα τείνει να επέλθει ο κορεσμός του χώρου. Για το λόγο αυτό, οι μετρήσεις συνεχίστηκαν χωρίς την χρήση του κλιματιστικού και όπως παρατηρούμε στα Σχήματα 3.6 και 3.7 επιτυγχάνονται συνθήκες ισορροπίας με σταθερές τιμές της σχετικής υγρασίας σε κάθε περίπτωση, προκειμένου να γίνει η βαθμονόμηση του αισθητήρα, δηλαδή η αντιστοίχιση της τάσης εξόδου του στη συγκεκριμένη τιμή σχετικής υγρασίας βάσει του Πίνακα 3.4.



Σχήμα 3.5 Διάγραμμα μεταβολών θερμοκρασίας - σχετικής υγρασίας κατά τη βαθμονόμηση του αισθητήρα υγρασίας με χρήση $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ με διακυμάνσεις της θερμοκρασίας.



Σχήμα 3.6 Διάγραμμα μεταβολών θερμοκρασίας - σχετικής υγρασίας κατά τη βαθμονόμηση του αισθητήρα υγρασίας με χρήση (NH₄)₂SO₄.



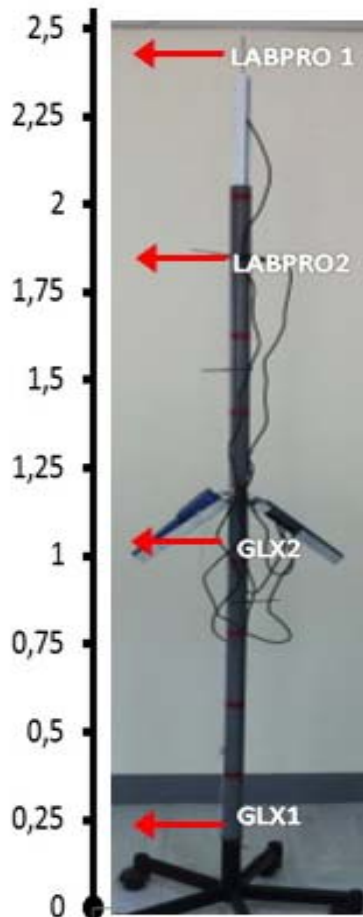
Σχήμα 3.7 Διάγραμμα μεταβολών θερμοκρασίας - σχετικής υγρασίας κατά τη βαθμονόμηση του αισθητήρα υγρασίας με χρήση KNO₃.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

Πειραματικά αποτελέσματα

4.1 Πειραματική διαδικασία λήψης μετρήσεων

Για την επιτραπέζια εκπαιδευτική διάταξη μέτρησης θερμοκρασίας – σχετικής υγρασίας στο εσωτερικό του κλειστού θαλάμου χρησιμοποιήθηκε το datalogger LabPro με τον αισθητήρα σχετικής υγρασίας και έναν αισθητήρα θερμοκρασίας. Για τη μεταβολή της υγρασίας στο εσωτερικό του θαλάμου τοποθετήθηκε ένας μαγνητικός αναδευτήρας με θερμαινόμενη πλάκα, προκειμένου, με τη θέρμανση νερού σε ποτήρι ζέσεως να επιτυγχάνουμε μεταβολή της υγρασίας του θαλάμου. Επιπλέον, η χρήση ανεμιστήρα προσαρμοσμένου στο τοίχωμα του θαλάμου μας επιτρέπει να απάγουμε τόσο τον υγρό αέρα όσο και θερμό αέρα, προκειμένου να ελαττωθεί η θερμοκρασία εντός. Όλα αυτά μπορούν να γίνουν με εξωτερικό έλεγχο χωρίς να χρειαστεί να διαταράξουμε το περιεχόμενο του θαλάμου ανοίγοντας τον. Έτσι, μπορούμε να μετράμε μεταβολές



Σχήμα 4.1 Η κατακόρυφη στήλη με σημειωμένες τις θέσεις των τεσσάρων αισθητηρίων μέτρησης θερμοκρασίας

θερμοκρασίας-υγρασίας μεταβάλλοντας κάθε μία από αυτές τις ποσότητες ή με τη δημιουργία ρευμάτων αέρα κάνοντας χρήση του ανεμιστήρα.

Στη 2^η πειραματική διάταξη προσαρμόστηκαν σε συγκεκριμένα ύψη (0.2m, 1.0m, 1.8m και 2.4m) πάνω στην κολόνα τα τέσσερα αισθητήρια μέτρησης της θερμοκρασίας προκειμένου να καταγραφεί το καθ' ύψος θερμοκρασιακό προφίλ εντός διαφορετικών χώρων, με ή χωρίς τη χρήση κλιματιστικού (Σχήμα 4.1). Στη μέση της διάταξης προσαρμόστηκε και ο αισθητήρας μέτρησης της σχετικής υγρασίας. Τα δύο συστήματα συλλογής δεδομένων τοποθετήθηκαν και αυτά κατάλληλα πάνω στη στήλη προκειμένου να είναι εύκολη η χρήση τους και ρυθμίστηκαν σε συχνότητα δειγματοληψίας 1δείγμα/30sec, για κάθε ένα από τα πέντε αισθητήρια. Η πλήρης φορητότητα της διάταξης μας επέτρεψε να τοποθετηθεί σε κατάλληλες θέσεις εντός των χώρων όπου πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις χωρίς αυτές να επηρεάζονται άμεσα από τη χρήση του κλιματιστικού.

Οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του Ιουλίου, στους έξι χώρους των κτιρίων του Τ.Ε.Ι:

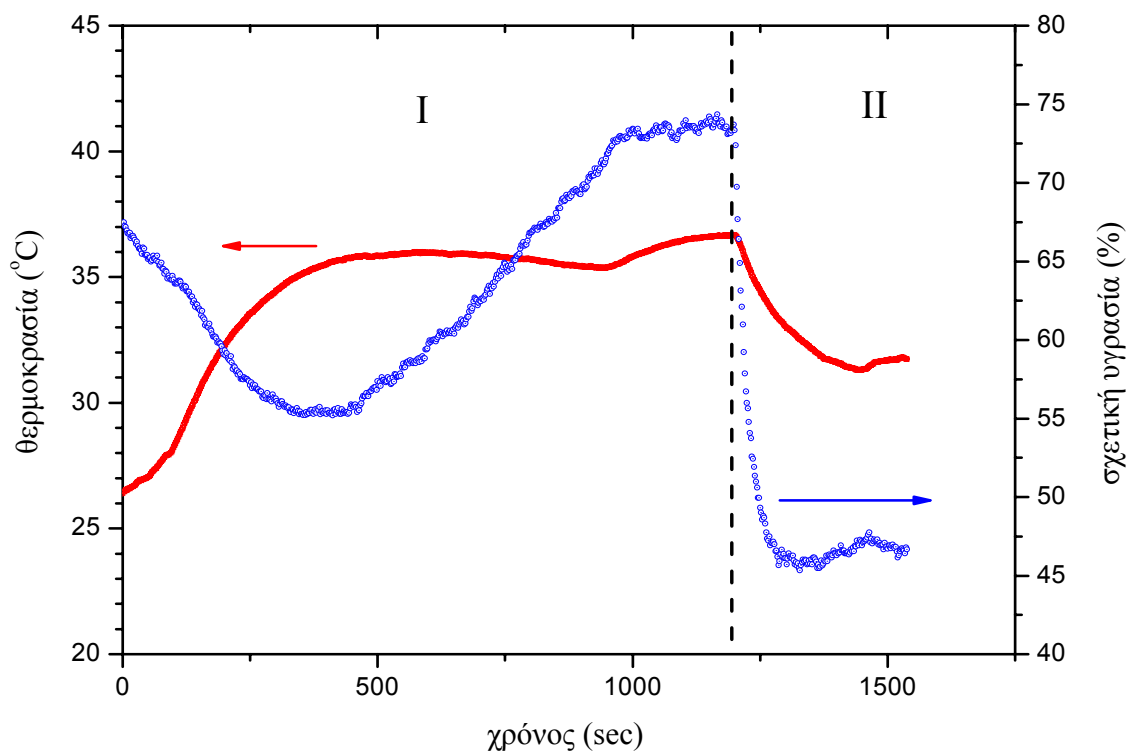
- Εργαστήριο Γεωφυσικής & Σεισμολογίας (2^{ος} όροφος νέου κτιρίου), 03/07/2012
- Αίθουσα 9 (1^{ος} όροφος νέου κτιρίου), 04/07/2012
- Εργαστήριο GIS (ισόγειο νέου κτιρίου), 05/07/2012
- Γραφείο 1^{ου} ορόφου νέου κτιρίου, 06/07/2012
- Εργαστήριο GIS (με κλιματισμό), 09/07/2012
- Εργαστήριο Φυσικής (2^{ος} όροφος παλαιού κτιρίου), 10/07/2012

Από τους παραπάνω χώρους, η Αίθουσα 9 και το Εργαστήριο GIS έχουν τον ίδιο προσανατολισμό (ανατολικό) αν και βρίσκονται σε διαφορετικό όροφο. Το γραφείο του 1^{ου} ορόφου είναι γωνιακό με προσανατολισμό ανατολικό και νοτιοδυτικό με αποτέλεσμα να είναι εκτεθειμένο στον ήλιο σχεδόν καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Περιβάλλεται κατά το ήμισυ από μεγάλα παράθυρα με αποτέλεσμα η χρήση του κλιματιστικού είναι απαραίτητη κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Ο χώρος του εργαστηρίου Γεωφυσικής και Σεισμολογίας που πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις έχει δυτικό προσανατολισμό με λίγα παράθυρα ενώ το Εργαστήριο Φυσικής έχει βόρειο προσανατολισμό και μικρά παράθυρα που δεν επιτρέπουν μεγάλες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας λόγω της απευθείας έκθεσης του στον ήλιο.

Πραγματοποιήθηκαν συνολικά πέντε ημερήσιες μετρήσεις και μια τριήμερη ώστε να μελετηθούν οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας τους καλοκαιρινούς μήνες σε αίθουσες, όπου μερικές από αυτές κλιματίζονταν για κάποιο χρονικό διάστημα ώστε να ελαττωθεί η θερμοκρασία στο χώρο μέτρησης.

4.2 Αποτελέσματα μετρήσεων από το χώρο του θαλάμου

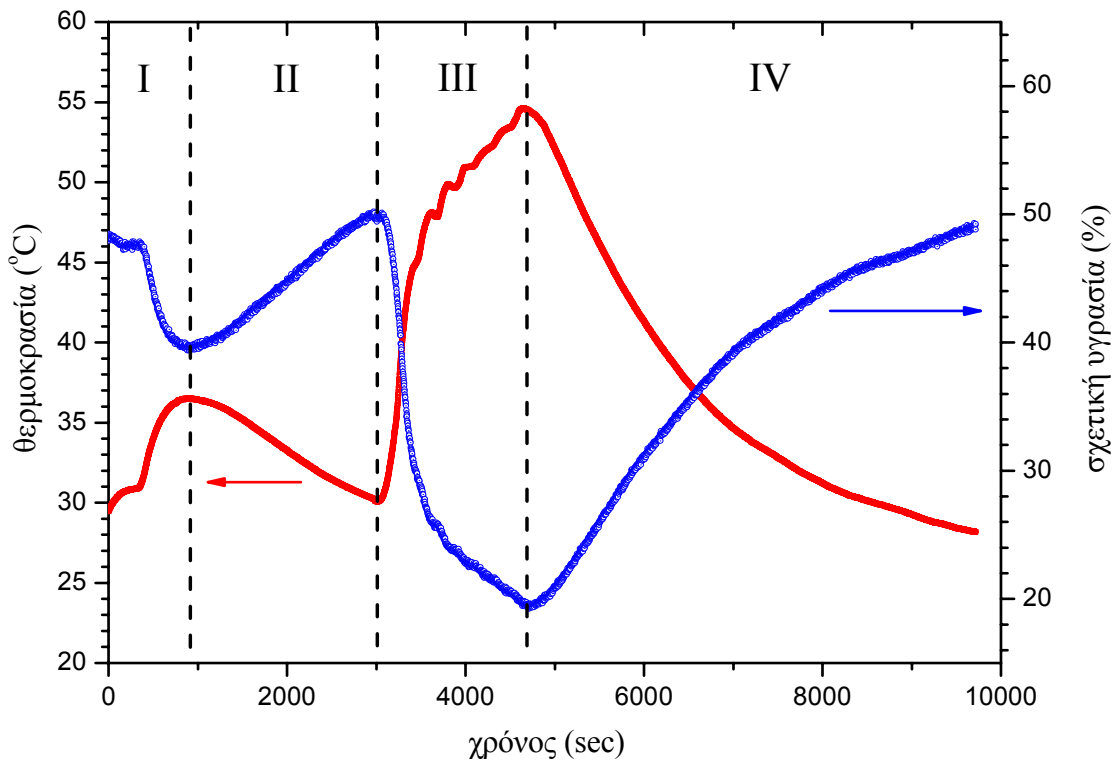
Προκειμένου να διαπιστωθεί η καταλληλότητα της διάταξης του κλειστού θαλάμου που κατασκευάστηκε για εκπαιδευτική εργαστηριακή χρήση, πραγματοποιήθηκαν ενδεικτικές μετρήσεις. Στο Σχήμα 4.2 απεικονίζονται οι μεταβολές της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας για ένα χρονικό διάστημα περίπου 1600sec. Κατά την έναρξη της καταγραφής έγινε χρήση της θερμαντικής πλάκας προκειμένου να αυξηθεί η θερμοκρασία στο εσωτερικό του κουτιού η οποία και σταθεροποιήθηκε περίπου στους 36 °C. Επιπλέον, πάνω στη θερμαντική πλάκα τοποθετήθηκε rygex δοχείο με νερό το οποίο σταδιακά άρχισε να εξατμίζεται, προκειμένου να αυξήσει την υγρασία στο εσωτερικό του θαλάμου. Με την αρχική αύξηση της θερμοκρασίας παρατηρούμε όπως είναι αναμενόμενο ελάττωση της σχετικής υγρασίας. Αυτό συμβαίνει γιατί όταν αυξάνει η θερμοκρασία του αέρα, παράλληλα αυξάνει και η ικανότητα του να συγκρατεί περισσότερη υγρασία. Εφόσον δεν προστίθενται καινούρια ποσά υδρατμών η σχετική υγρασία θα ελαττωθεί. Αντίθετα όταν μειώσουμε τη θερμοκρασία, η σχετική υγρασία αυξάνεται γιατί μειώνεται η ικανότητα κατακράτησης υδρατμών από τον αέρα. Στα 500sec περίπου παρατηρούμε αύξηση της σχετικής υγρασίας στο 75% λόγω της εξάτμισης ποσότητας νερού από το δοχείο rygex.



Σχήμα 4.2 Διάγραμμα μεταβολών θερμοκρασίας - σχετικής υγρασίας κατά

Στο τέλος της περιοχής I γίνεται χρήση του ανεμιστήρα οπότε και παρατηρούμε δραστική μείωση τόσο της υγρασίας (από 75% σε 45%) όσο και της θερμοκρασίας κατά περίπου 5 °C λόγω απαγωγής θερμότητας αλλά και υγρού ατμοσφαιρικού αέρα.

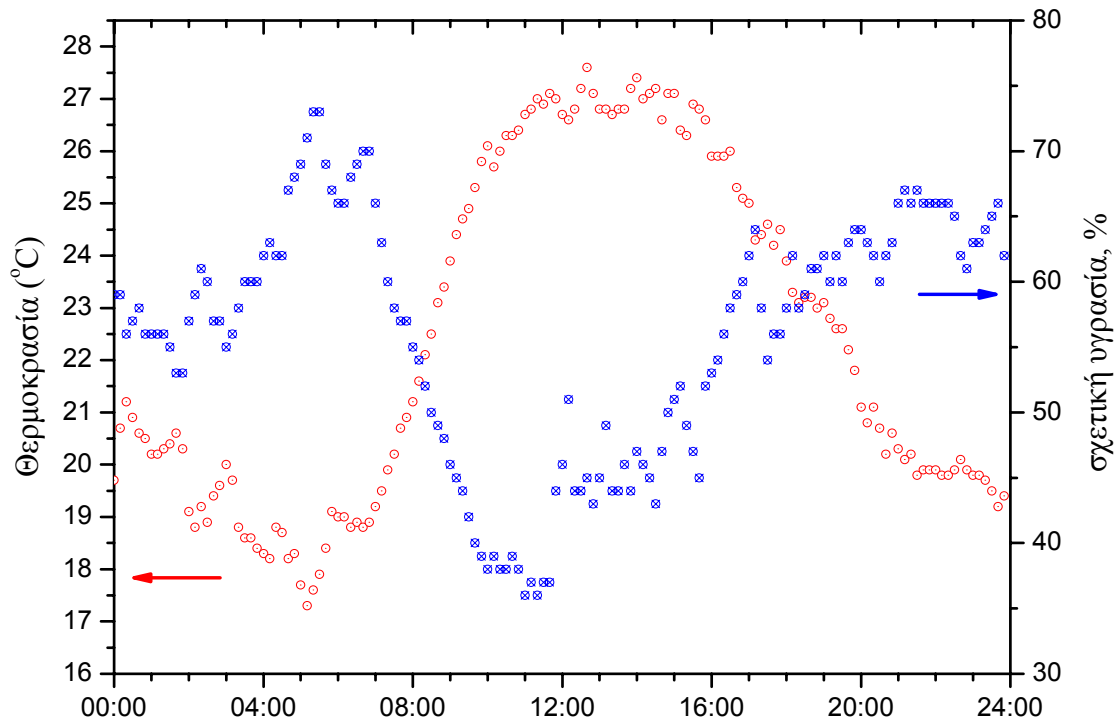
Στο Σχήμα 4.3 απεικονίζονται οι μεταβολές της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας για χρονικό διάστημα περίπου 3h, κατά το οποίο έγινε χρήση μόνον της θερμαντικής πλάκας για διαφορετικά χρονικά διαστήματα προκειμένου ο χώρος να θερμανθεί και στη συνέχεια να παρέλθει εύλογο χρονικό διάστημα για να ελαττωθεί η θερμοκρασία με σταδιακή αποβολής θερμότητας μέσω των τοιχωμάτων του θαλάμου.



Σχήμα 4.3α Διάγραμμα μεταβολών θερμοκρασίας - σχετικής υγρασίας κατά τη θέρμανση του θαλάμου με τη χρήση της θερμαντικής πλάκας.

Οι μεταβολές αυτές είναι αντιπροσωπευτικές της περίπτωσης όπου στο χώρο όπου καταγράφονται δεν παρουσιάζεται ανακατανομή αέριων μαζών λόγω ρευμάτων αέρα. Έτσι, για οποιαδήποτε μεταβολή της θερμοκρασίας παρουσιάζεται η αντίστροφη μεταβολή της σχετικής υγρασίας, όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο πείραμα. Παρόμοια συμπεριφορά παρουσιάζεται κατά τη διάρκεια 24ωρης καταγραφής στις τιμές της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας από μετεωρολογικό σταθμό στο κέντρο της πόλης των Χανίων. Στο τέλος της περιόδου III όπου η θερμοκρασία είχε ανέλθει στους 55 °C, διακόπηκε η θέρμανση του θαλάμου και καταγράφηκαν οι μεταβολές μέχρι να

επανεέλθει η θερμοκρασία στα αρχικά επίπεδα. Οι μετρήσεις του πειράματος αυτού πραγματοποιήθηκαν χωρίς τη χρήση κλιματιστικού στο χώρο του εργαστηρίου.



Σχήμα 4.3β Διάγραμμα μεταβολών θερμοκρασίας - σχετικής υγρασίας κατά τη διάρκεια μιας καλοκαιρινής ημέρας του Ιουλίου 2012 (πηγή δεδομένων: meteo.gr)

4.3 Αποτελέσματα μετρήσεων από χώρους των κτιρίων του ΤΕΙ

Στα Σχήματα 4.4 – 4.16 απεικονίζονται οι μετρούμενες τιμές της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας για όλους τους χώρους που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις, καθώς επίσης και οι διαφορές της θερμοκρασίας των τριών αισθητήρων (0.2m, 1.8m και 2.4m) σε σχέση με τη θερμοκρασία αναφοράς που αφορά στις μετρήσεις του αισθητήρα που βρίσκεται σε ύψος 1m.

Από την απεικόνιση των διαφορών θερμοκρασίας ΔT σε σχέση με τη θερμοκρασία αναφοράς ($T_{1.0}$), μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα αναφορικά με τις διαφορετικές θερμοκρασίες που είναι εκτεθειμένα τα διαφορετικά σημεία του σώματος (πόδια και κεφάλι) σε σχέση με τη θερμοκρασία που αισθάνεται το κυρίως σώμα του ανθρώπου που βρίσκεται στο χώρο εργασίας σε όρθια ή καθήμενη στάση.

Σύμφωνα με τα κλιματολογικά στοιχεία που παρατίθενται στον Πίνακα 4.1 για το κέντρο των Χανίων, κατά το διάστημα 4-10 Ιουλίου 2012 που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις θερμοκρασίας – σχετικής υγρασίας στους χώρους που προαναφέρθηκαν, η μέση ημερήσια θερμοκρασία κυμάνθηκε από 23.1 °C έως 28.4 °C.

Στη συνέχεια περιγράφονται τα αποτελέσματα από τον κάθε χώρο ξεχωριστά όπου πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις.

- **Εργαστήριο Γεωφυσικής & Σεισμολογίας**

Η θερμοκρασία καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων (24ωρη καταγραφή από 09:00) κυμάνθηκε από 28 °C έως 31 °C το μέγιστο, χωρίς να γίνει χρήση του κεντρικού κλιματιστικού που υπάρχει στο χώρο. Η μεγαλύτερη αύξηση παρατηρήθηκε μεταξύ 4μμ – 9μμ εξαιτίας του ότι η μία πλευρά του εργαστηρίου που καλύπτεται με παράθυρα είναι εκτεθειμένη στον ήλιο κατά τις ώρες αυτές. Τα ποσοστά της σχετικής υγρασίας κυμάνθηκαν μεταξύ 38 – 47%. Οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας με το ύψος ήταν μικρότερες από 0.5 °C για όλη τη διάρκεια της ημέρας εκτός από το διάστημα 4-9μμ, όπου η θερμοκρασία στα 1.8m ήταν κατά 1.5 °C υψηλότερη σε σχέση με τη θερμοκρασία στο 1.0m.

- **Αίθουσα 9 (1^{ος} όροφος νέου κτιρίου)**

Η θερμοκρασία καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων (24ωρη καταγραφή από 09:00) κυμάνθηκε από 29 °C έως 33.7 °C χωρίς την χρήση κλιματιστικού. Η μεγαλύτερη αύξηση παρατηρήθηκε μεταξύ 7πμ-1μμ λόγω του ανατολικού προσανατολισμού της

αίθουσας. Τα ποσοστά της σχετικής υγρασίας κυμάνθηκαν μεταξύ 22% - 42%. Οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας με το ύψος κυμάνθηκαν μεταξύ 0.5 - 1 °C για όλη τη διάρκεια της ημέρας εκτός από το διάστημα των πρωινών ωρών όπου καταγράφηκαν διακυμάνσεις της θερμοκρασίας από -2.4 °C έως και 3.5 °C, σε σχέση με τη θερμοκρασία αναφοράς.

- **Εργαστήριο GIS (ισόγειο νέου κτιρίου)**

Η θερμοκρασία καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων (24ωρη καταγραφή από 10:00) κυμάνθηκε από 28.2 – 33.2 °C χωρίς την χρήση κλιματιστικού. Η μεγαλύτερη αύξηση παρατηρήθηκε μεταξύ 7-10μμ. Τα ποσοστά της σχετικής υγρασίας είναι 36-44%. Οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας με το ύψος ήταν μεταξύ -0.5 και 1 °C για όλη τη διάρκεια της ημέρας εκτός από το διάστημα 7μμ-10μμ όπου παρατηρήθηκε μέγιστη διακύμανση της θερμοκρασίας κατά 5°C.

Η συμπεριφορά του χώρου είναι παρόμοια με αυτή της αίθουσας 9, λόγω του ότι οι δύο χώροι έχουν τον ίδιο προσανατολισμό, βρίσκονται στο ίδιο κτίριο (ίδια δομικά υλικά) και διαφέρουν μόνον ως προς τον όροφο.

- **Γραφείο 1^ο ορόφου νέου κτιρίου**

Η θερμοκρασία καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων (24ωρη καταγραφή από 12:00) κυμάνθηκε από 22-33 °C με την χρήση κλιματιστικού κατά την αρχική καταγραφή των μετρήσεων από 11:30πμ – 5μμ. Η μεγαλύτερη αύξηση παρατηρήθηκε μεταξύ 7πμ-12 μμ της επόμενης ημέρας. Τα ποσοστά της σχετικής υγρασίας ήταν μεταξύ 41-50%. Οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας με το ύψος κατά τη διάρκεια χρήσης του κλιματιστικού ήταν ± 0.5 °C, ενώ κατά τις πρωινές ώρες της επόμενης ημέρας το εύρος της διακύμανσης έφτασε τους 7 °C.

Η καταγραφή των μετρήσεων με τους αισθητήρες που ήταν τοποθετημένοι στα 0.2 και 1.0m, συνεχίστηκε για άλλες δύο ημέρες χωρίς τη χρήση του κλιματιστικού. Η συμπεριφορά είναι παρόμοια για την κάθε μία μέρα με αύξηση ωστόσο των μεγίστων θερμοκρασιών, λόγω και της αύξησης της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας (Πίνακας 4.1).

- **Εργαστήριο Φυσικής (2^{ος} όροφος παλαιού κτιρίου, με χρήση κλιματισμού)**

Η θερμοκρασία καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων (24ωρη καταγραφή 12:00) κυμάνθηκε από 25.8 – 30 °C με 4ωρη χρήση κλιματιστικού. Τα ποσοστά της σχετικής

υγρασίας ήταν μεταξύ 33-57%. Το κλιματιστικό ενεργοποιήθηκε στις 13:07μμ και απενεργοποιήθηκε στις 16:00μμ και η θερμοκρασία στο διάστημα αυτό μειώθηκε κατά 4°C, φτάνοντας τα ανώτατα όρια της θερμικής άνεσης, δεδομένου και των χαμηλών ποσοστών υγρασίας. Οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας με το ύψος κατά τη χρήση του κλιματιστικού ήταν 0.8 °C το μέγιστο, ενώ χωρίς τη χρήση αυτού κατά την υπόλοιπη διάρκεια της ημέρας δεν ξεπέρασαν τον 1°C.

- **Εργαστήριο GIS (με μερική χρήση κλιματισμού)**

Η συμπεριφορά είναι παρόμοια με αυτή που μετρήσαμε στο χώρο αυτό κατά τις 5 Ιουλίου με τη μόνη διαφοροποίηση ως προς τις ώρες που τέθηκε σε λειτουργία η κεντρική κλιματιστική μονάδα. Κατά το 2ωρο αυτό χρονικό διάστημα, η θερμοκρασία κυμάνθηκε μεταξύ 25 – 28 °C, με διακυμάνσεις κατά ύψος περίπου 1°C. Το ποσοστό της σχετικής υγρασίας ωστόσο με τη χρήση του κλιματιστικού αυξήθηκε κατά περίπου 10%, ξεπερνώντας τα όρια της θερμικής άνεσης, σε συνδυασμό και με την επικρατούσα θερμοκρασία.

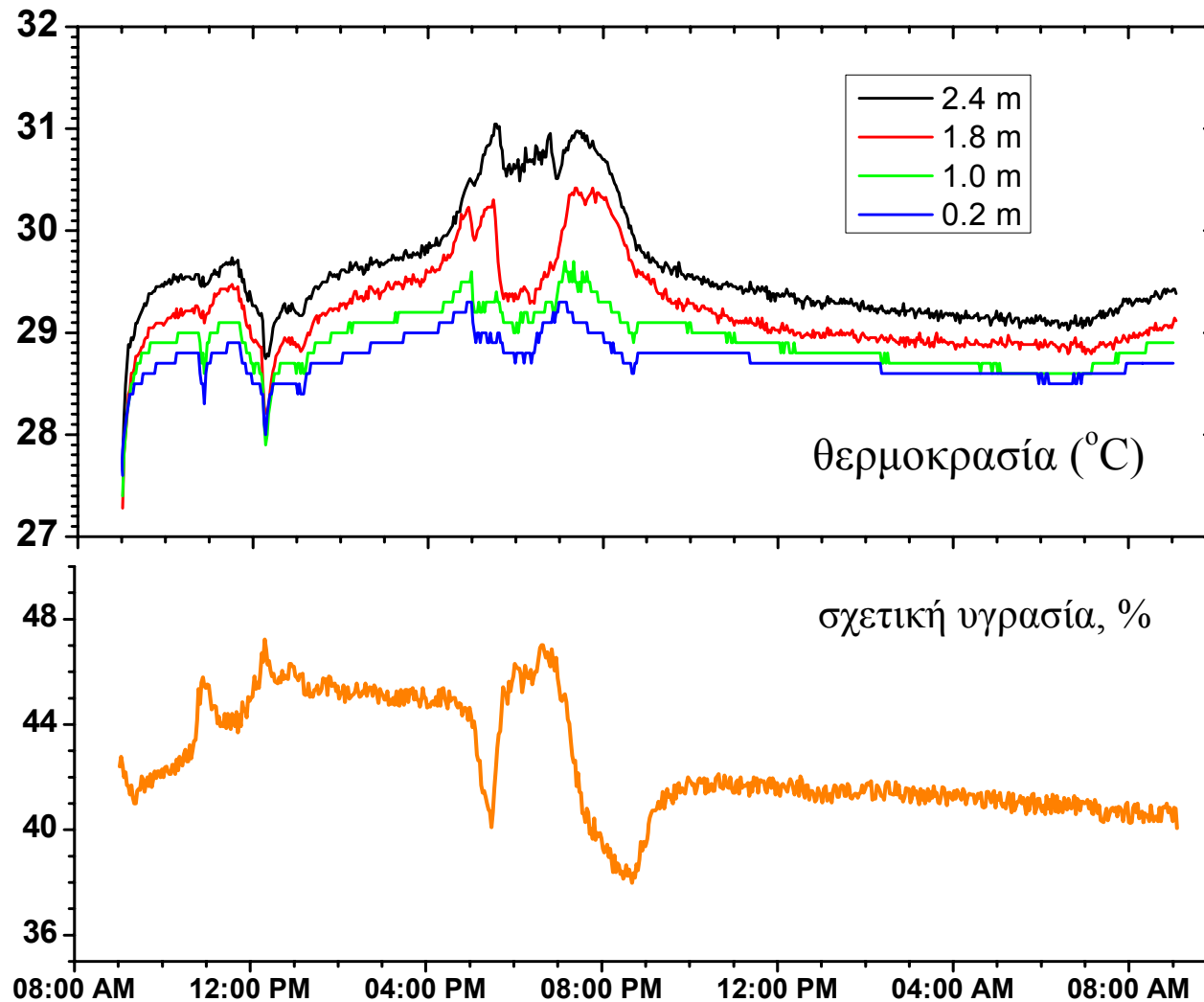
MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for JUL. 2012

NAME: chaniacenter CITY: STATE:
 ELEV: 7 m LAT: 35° 30' 28" N LONG: 24° 00' 22" E

TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (km/hr)

DAY	MEAN		TIME	LOW	TIME	HEAT	COOL	RAIN	AVG		TIME	DOM
	TEMP	HIGH				DEG	DEG		WIND	SPEED		
1	23.5	26.4	16:30	18.9	6:20	0.0	5.2	0.0	5.5	20.9	14:00	NNE
2	23.1	26.1	18:10	18.6	5:30	0.0	4.7	0.0	5.8	25.7	16:00	SSW
3	23.4	26.2	20:00	18.9	6:30	0.0	5.1	0.0	6.0	24.1	12:10	NNE
4	23.1	27.0	9:10	17.1	6:20	0.1	4.9	0.0	4.0	17.7	13:00	SSW
5	23.4	28.3	16:10	16.6	6:20	0.2	5.2	0.0	4.3	16.1	12:50	SSW
6	26.2	31.6	15:20	19.0	6:00	0.0	7.9	0.0	3.4	14.5	12:50	SSW
7	26.6	30.6	18:30	21.7	7:10	0.0	8.3	0.0	4.0	16.1	12:30	SSW
8	27.3	31.5	17:40	21.0	6:30	0.0	9.0	0.0	2.9	14.5	13:40	SW
9	28.3	32.5	12:00	23.0	4:30	0.0	9.9	0.0	3.2	17.7	10:50	SSW
10	27.4	31.7	15:40	22.3	5:00	0.0	9.1	0.0	3.9	17.7	12:00	SSW
11	27.3	32.1	18:50	22.3	5:10	0.0	9.0	0.0	4.0	17.7	13:00	SSW
12	28.0	33.1	19:20	21.6	6:20	0.0	9.7	0.0	3.4	16.1	14:40	SSW
13	26.9	32.1	10:10	21.4	6:40	0.0	8.6	0.0	4.7	17.7	13:30	SSW
14	27.4	32.8	19:10	20.9	6:40	0.0	9.1	0.0	5.0	24.1	19:10	SW
15	27.2	32.8	19:20	20.9	6:30	0.0	8.9	0.0	3.7	17.7	12:40	SSW
16	28.1	33.1	17:00	21.8	6:30	0.0	9.7	0.0	4.3	14.5	12:40	SSW
17	26.9	30.3	10:20	21.9	6:10	0.0	8.6	0.0	6.1	25.7	14:10	SSW
18	27.0	29.2	15:50	22.9	7:00	0.0	8.7	0.0	3.1	20.9	18:00	SSE
19	26.3	30.2	17:10	21.1	6:10	0.0	8.0	0.0	3.2	16.1	10:20	SW
20	26.4	32.2	17:50	20.4	6:40	0.0	8.1	0.0	3.4	19.3	16:20	SSW
21	26.9	33.8	17:50	19.9	4:10	0.0	8.6	0.0	2.7	14.5	19:50	N
22	26.2	31.8	18:30	19.9	7:00	0.0	7.9	0.0	4.2	17.7	12:00	SW
23	26.1	30.6	9:20	20.1	6:10	0.0	7.7	0.0	4.2	17.7	11:30	SSW
24	25.6	28.8	9:40	19.7	5:40	0.0	7.2	0.0	4.8	19.3	13:30	SSW
25	27.4	30.4	13:10	25.1	6:50	0.0	9.1	0.0	9.8	37.0	14:50	W
26	27.5	31.5	16:20	24.6	6:20	0.0	9.2	0.0	8.5	32.2	14:20	W
27	26.4	30.3	9:40	20.0	6:50	0.0	8.1	0.0	4.0	17.7	2:40	N
28	28.7	33.0	18:20	23.6	5:00	0.0	10.4	0.0	2.6	19.3	15:40	NNE
29	29.6	34.2	19:10	23.6	6:30	0.0	11.2	0.0	3.4	20.9	11:10	SSW
30	29.9	35.3	16:50	23.7	6:00	0.0	11.6	0.0	3.1	14.5	7:20	SSW
31	28.5	32.4	10:50	22.4	6:50	0.0	10.2	0.0	3.5	16.1	13:00	SSW
	26.7	35.3	30	16.6	5	0.3	258.5	0.0	4.3	37.0	25	SSW

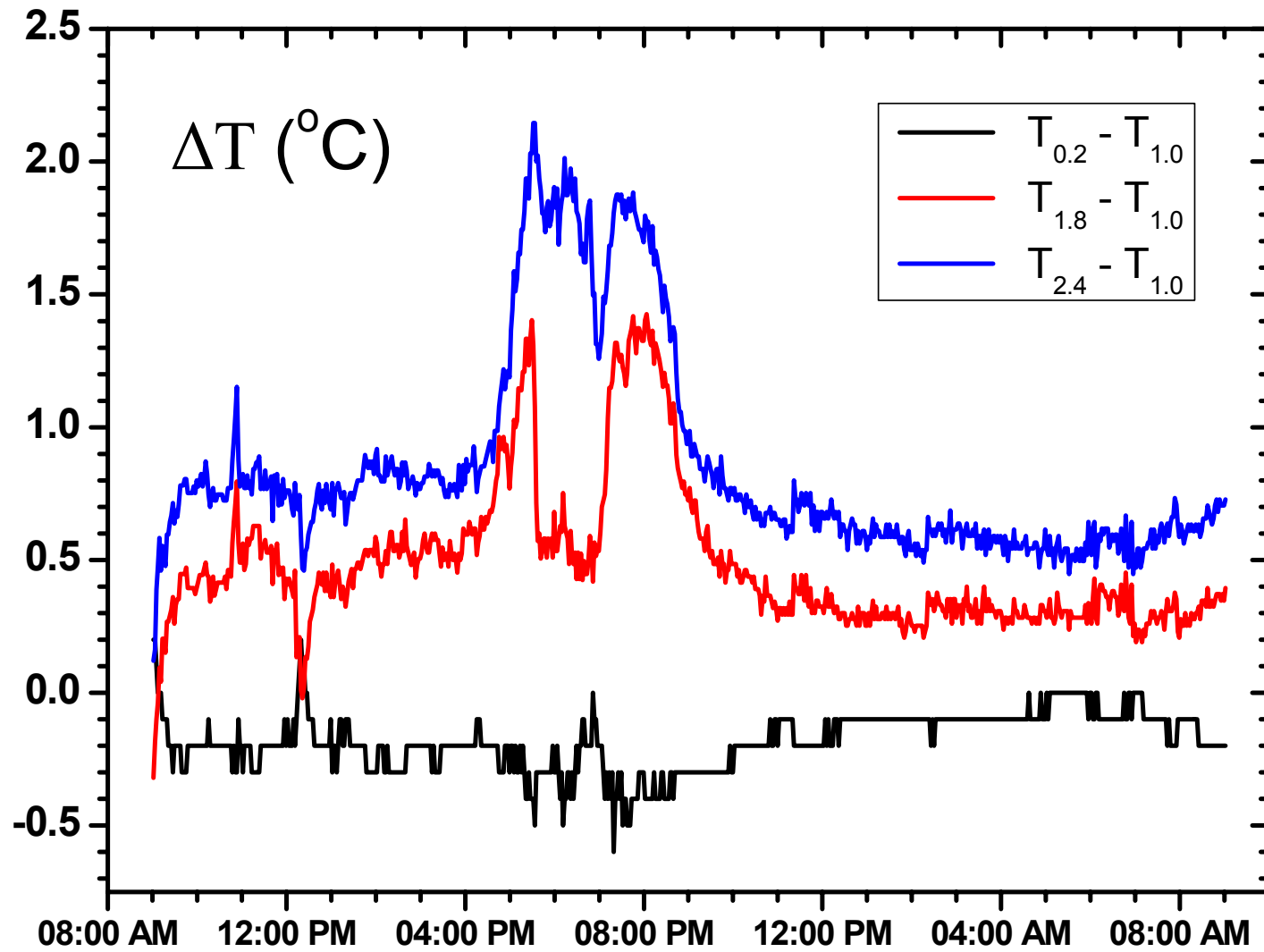
Πίνακας 4.1 Κλιματολογικά στοιχεία Ιουλίου 2012 (Πηγή: meteo.gr, ΕΘΝΙΚΟ ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ - ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΡΕΥΝΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ)



Σχήμα 4.4

Εργαστήριο
Γεωφυσικής,

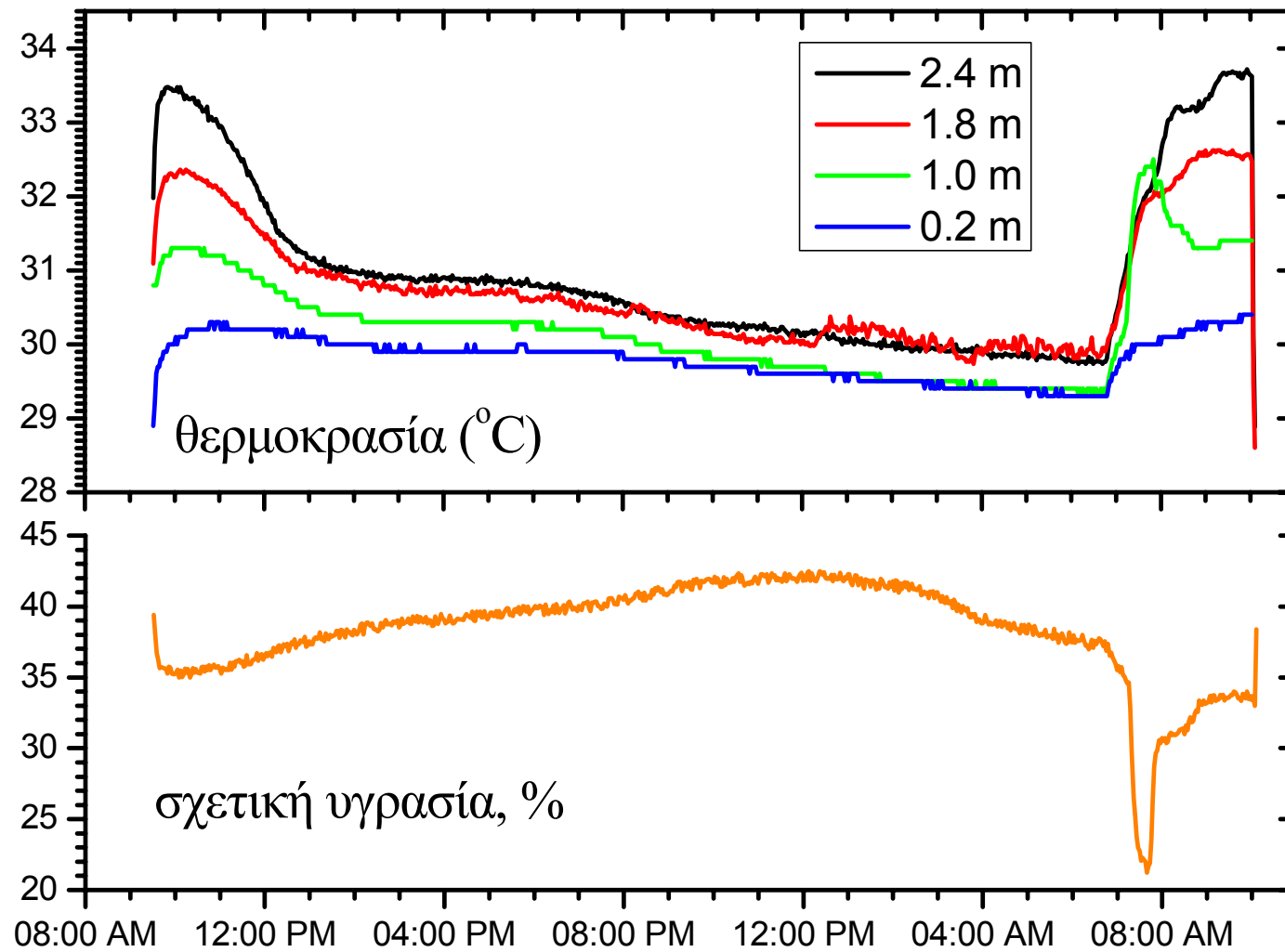
3-4 Ιουλίου
2012



Σχήμα 4.5

Εργαστήριο
Γεωφυσικής,

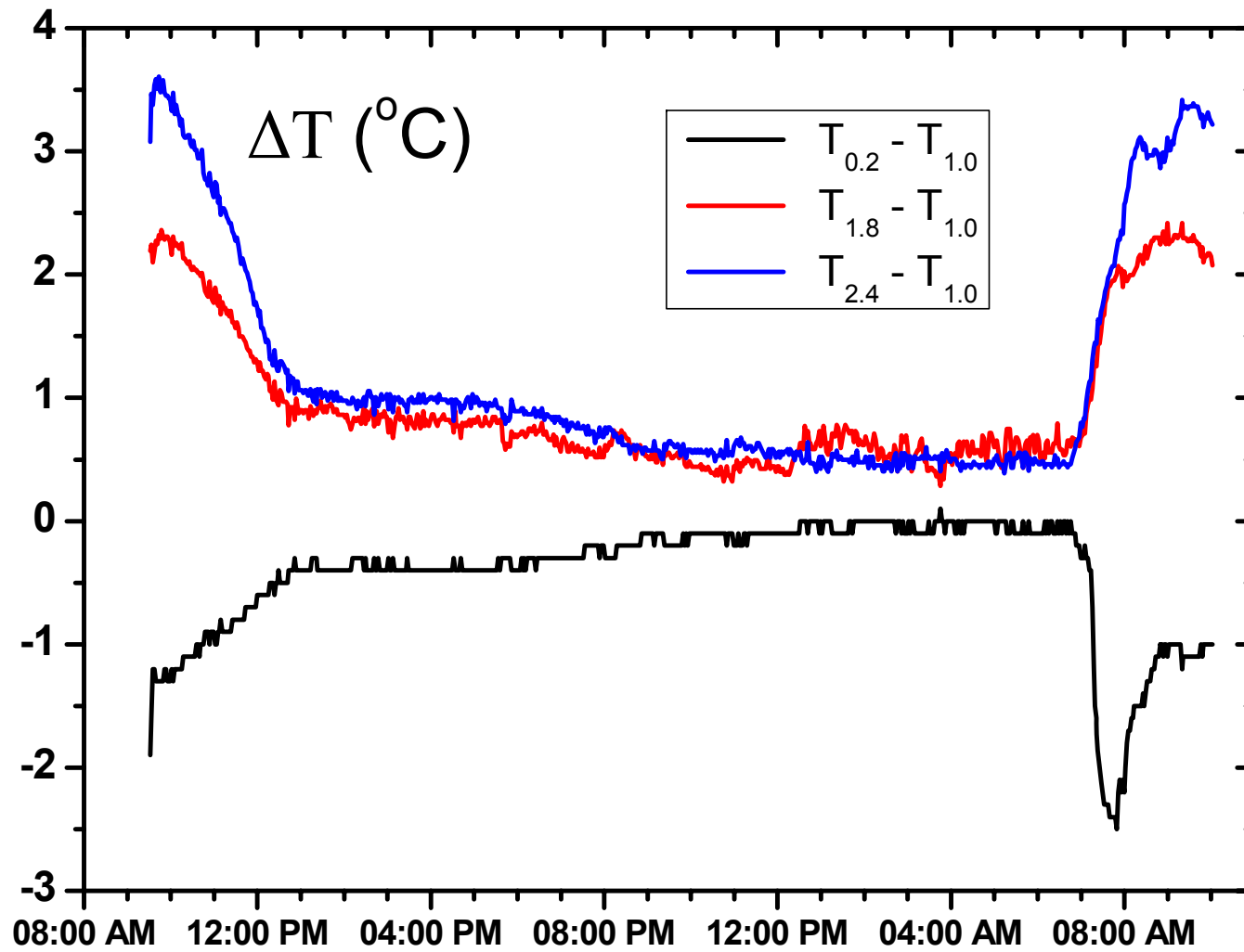
3-4 Ιουλίου
2012



Σχήμα 4.6

Αίθουσα 9,

4-5 Ιουλίου 2012

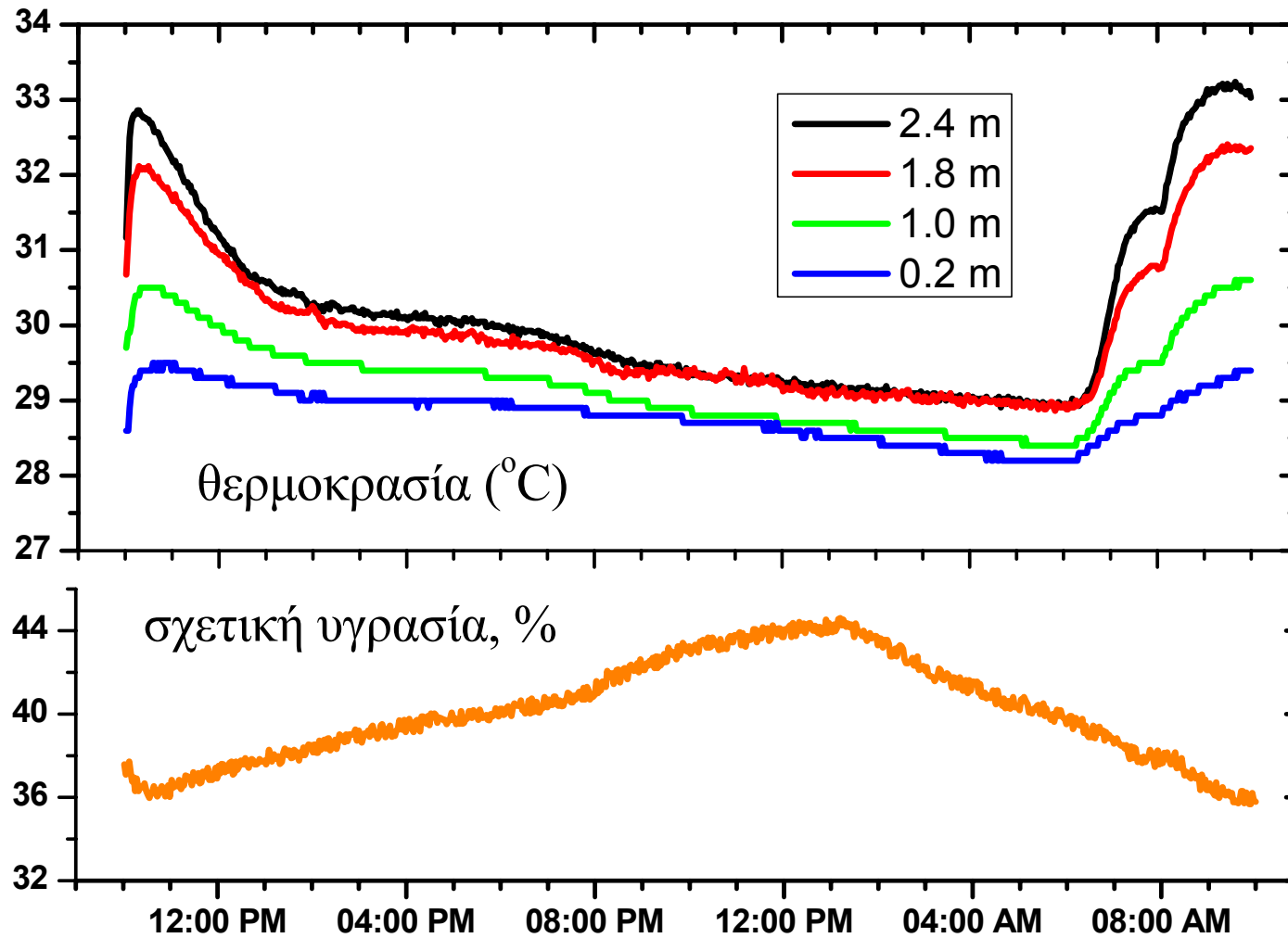


Σχήμα 4.7

Αίθουσα 9,

4-5 Ιουλίου

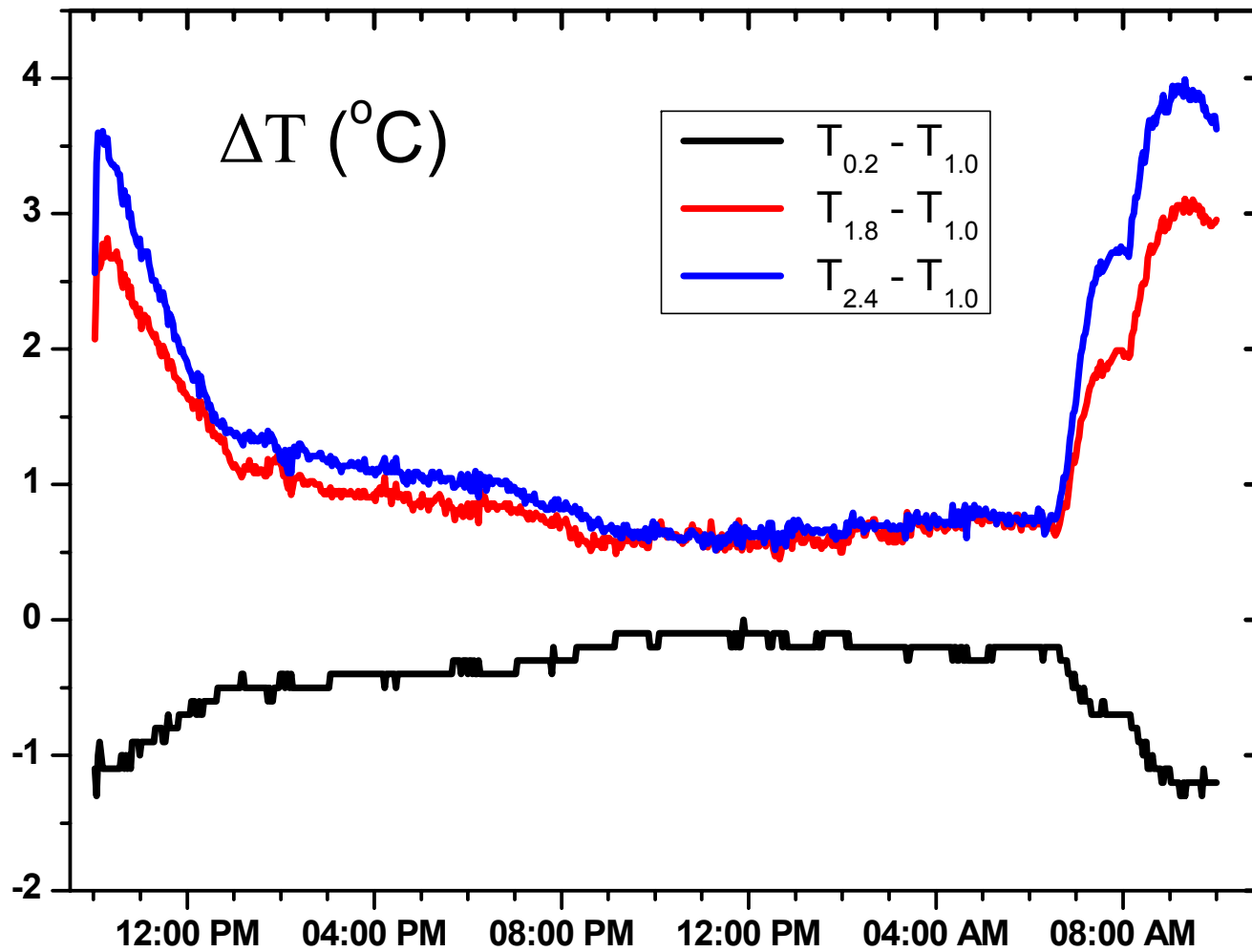
2012



Σχήμα 4.8

Εργ. GIS,

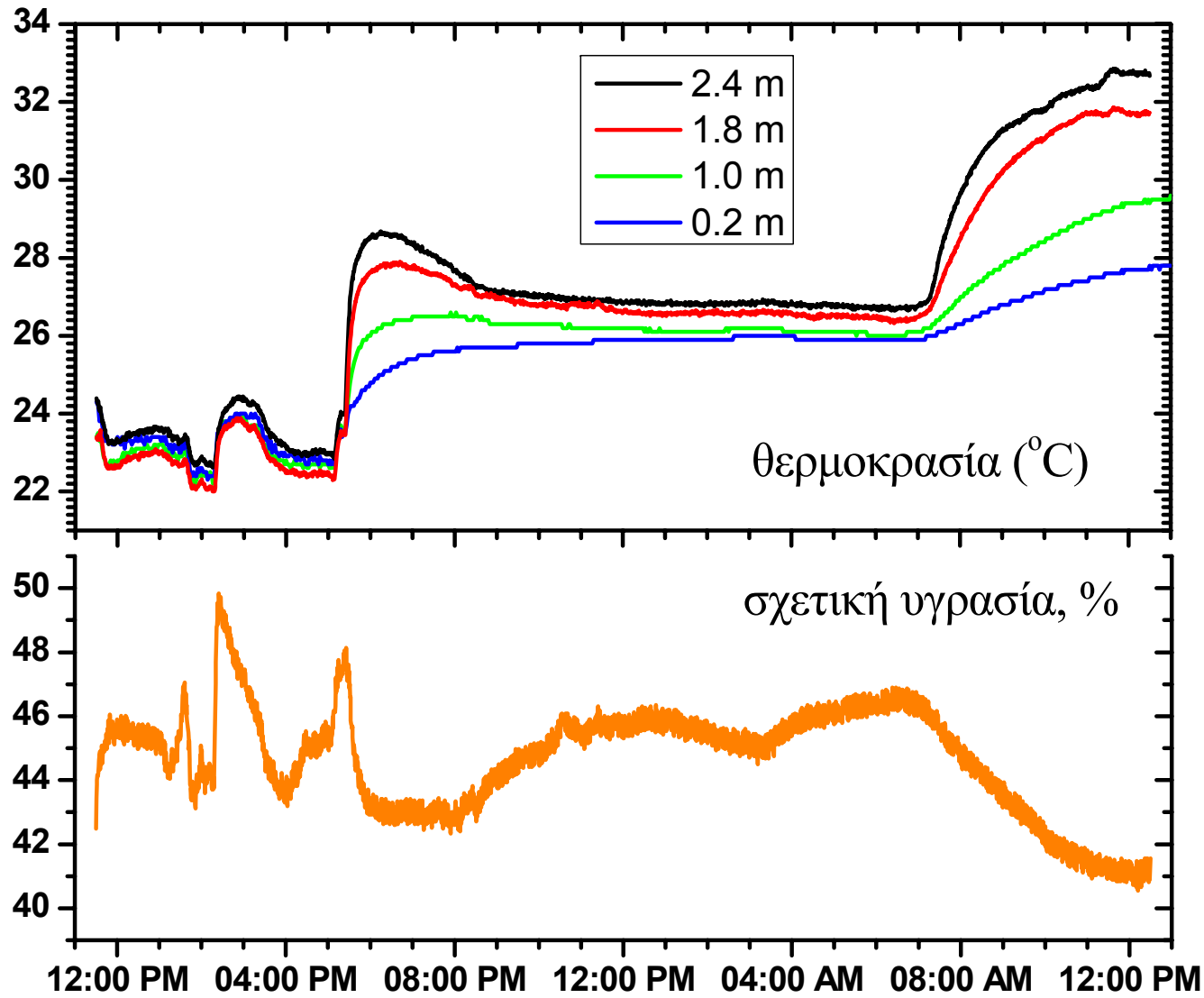
5 Ιουλίου 2012



Σχήμα 4.9

Εργ. GIS,

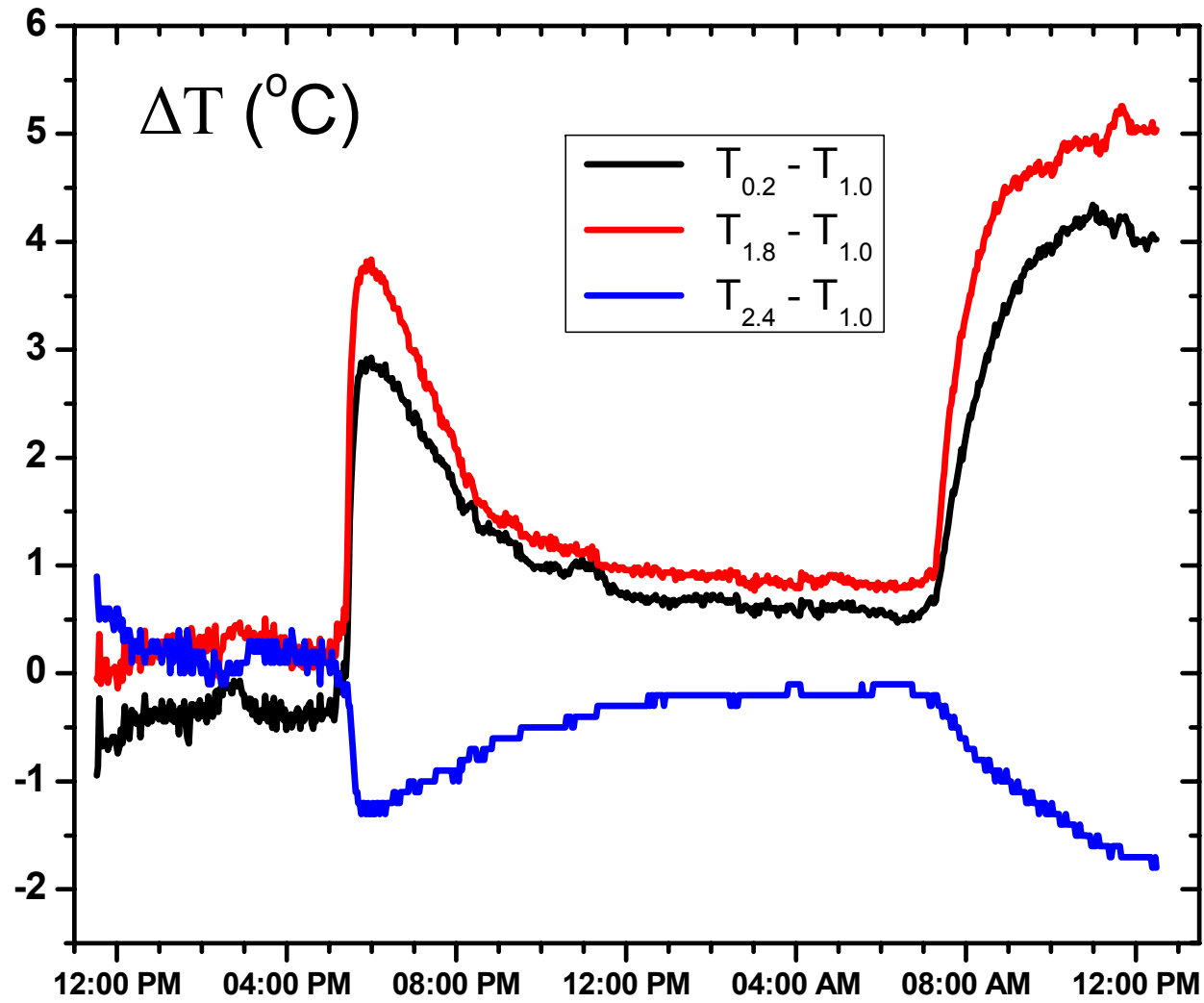
5 Ιουλίου 2012



Σχήμα 4.10

γραφείο,

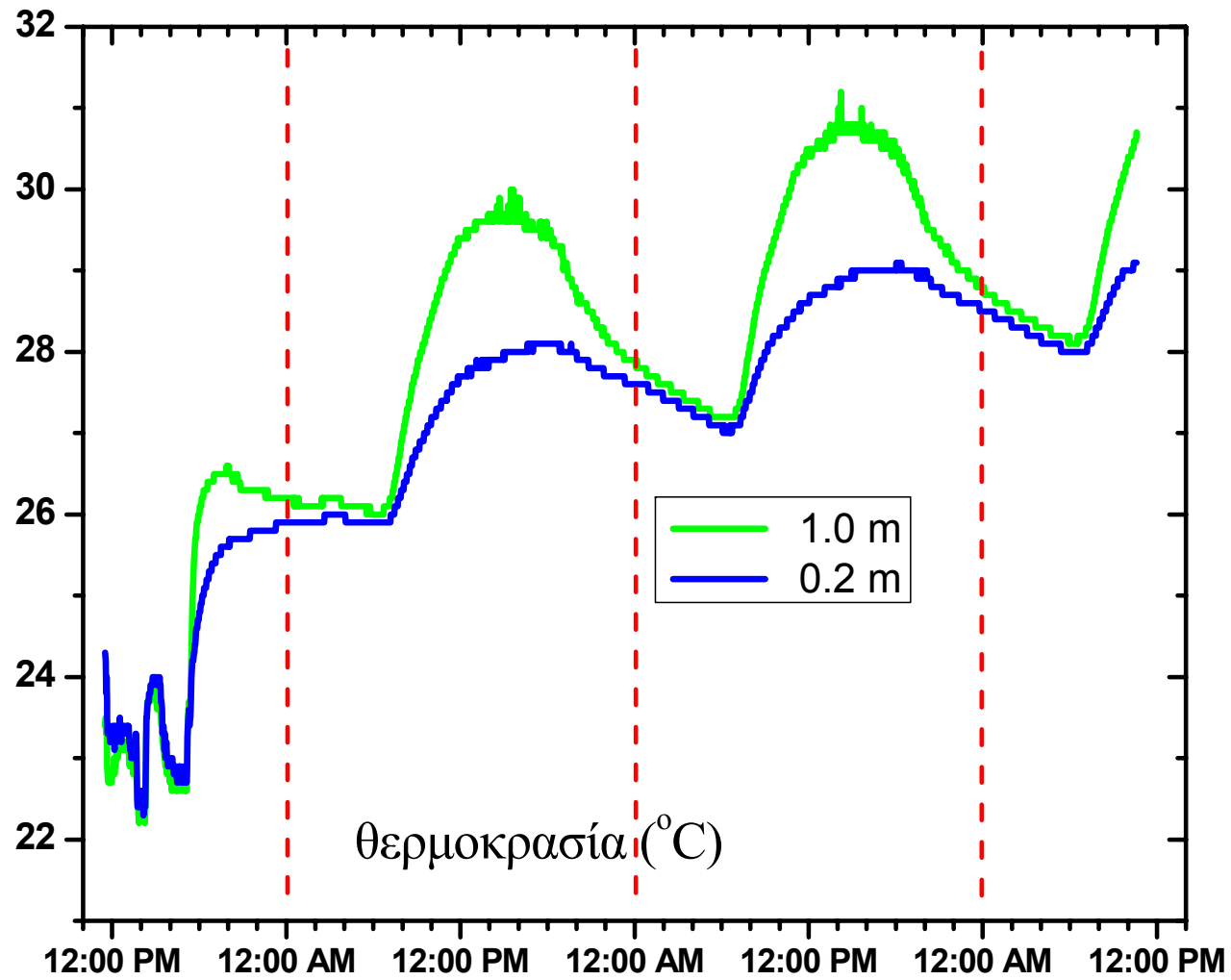
6 Ιουλίου 2012



Σχήμα 4.11

γραφείο,

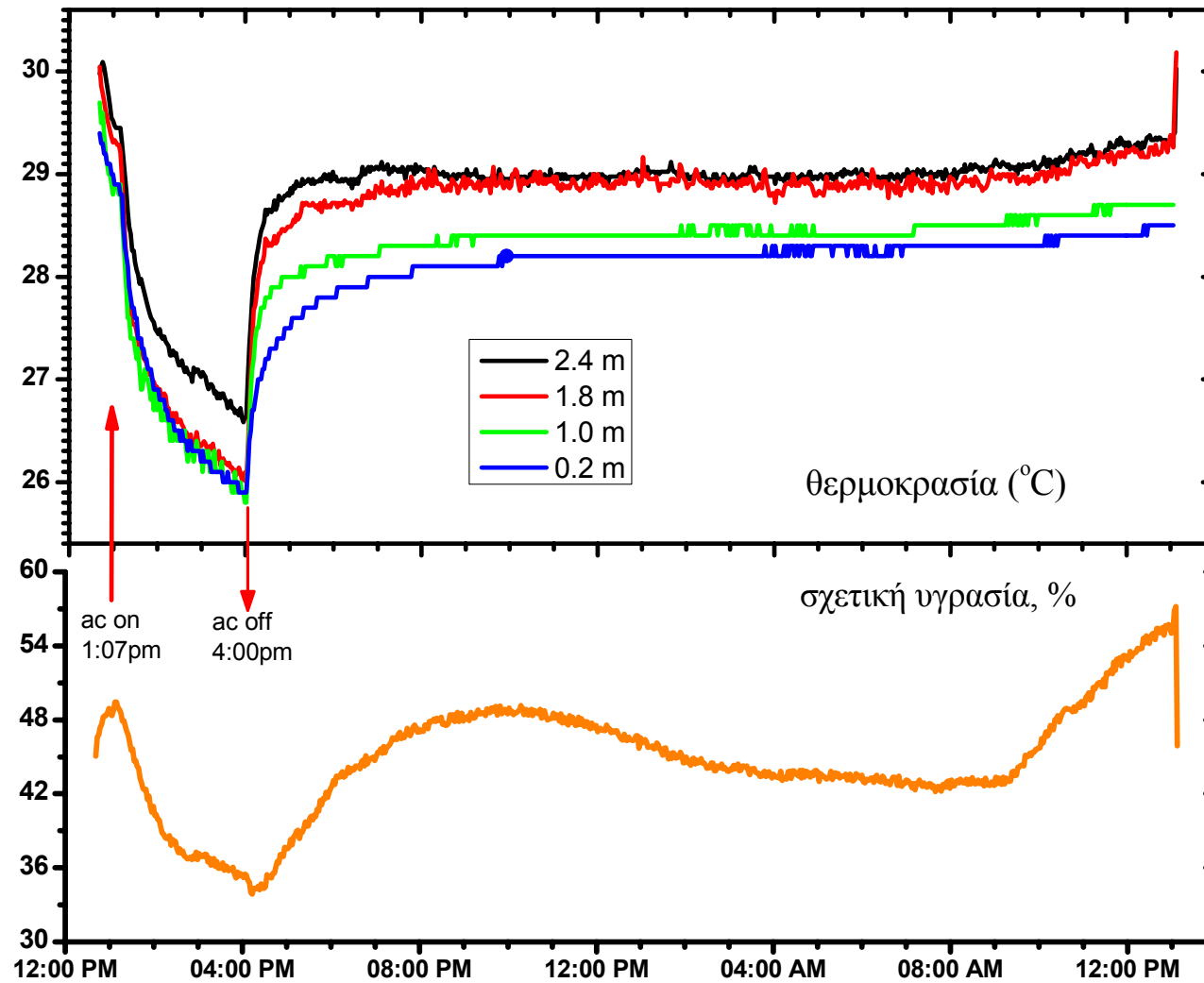
6 Ιουλίου 2012



Σχήμα 4.12

γραφείο,

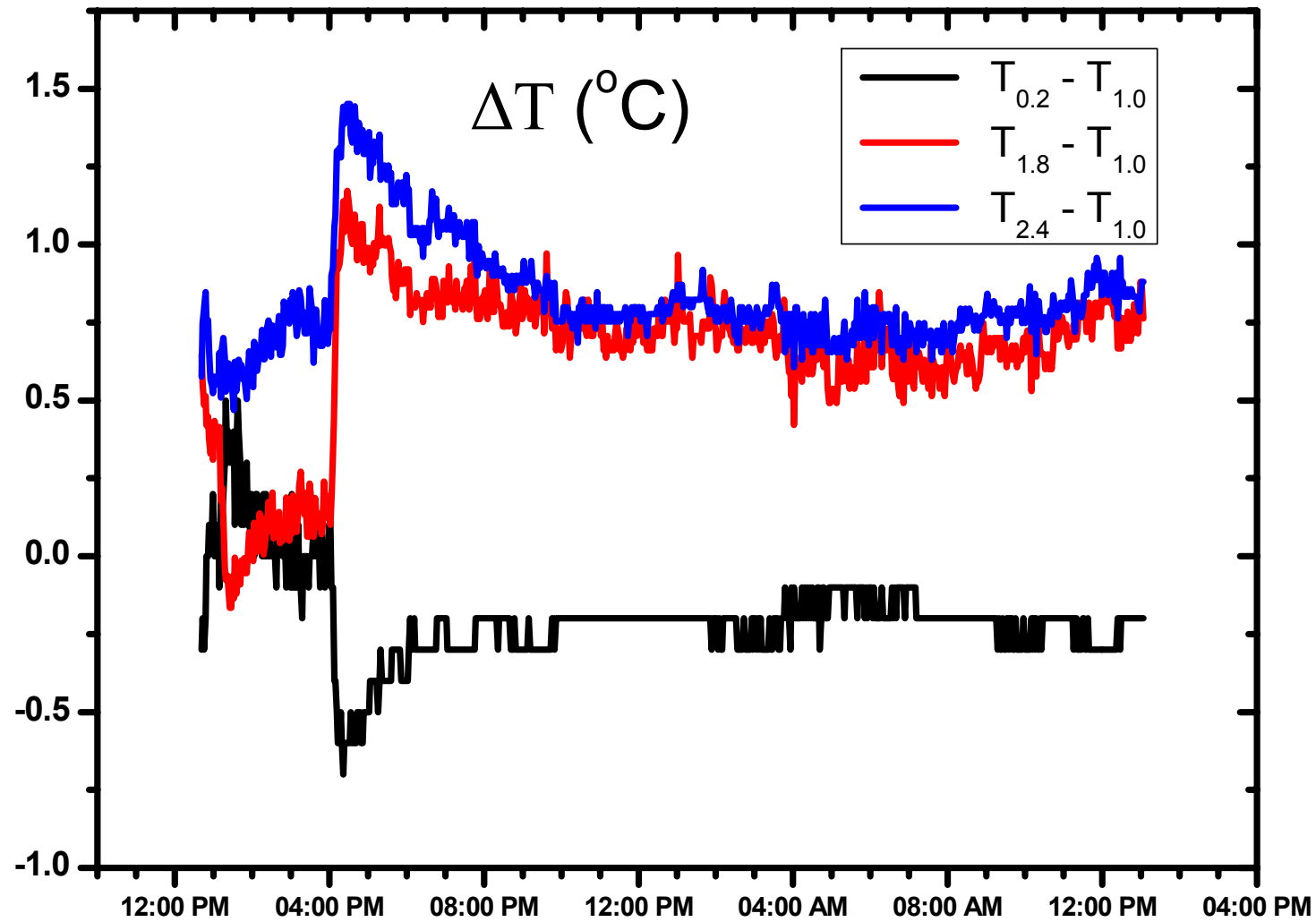
6-9 Ιουλίου 2012



Σχήμα 4.13

Εργ. Φυσικής,

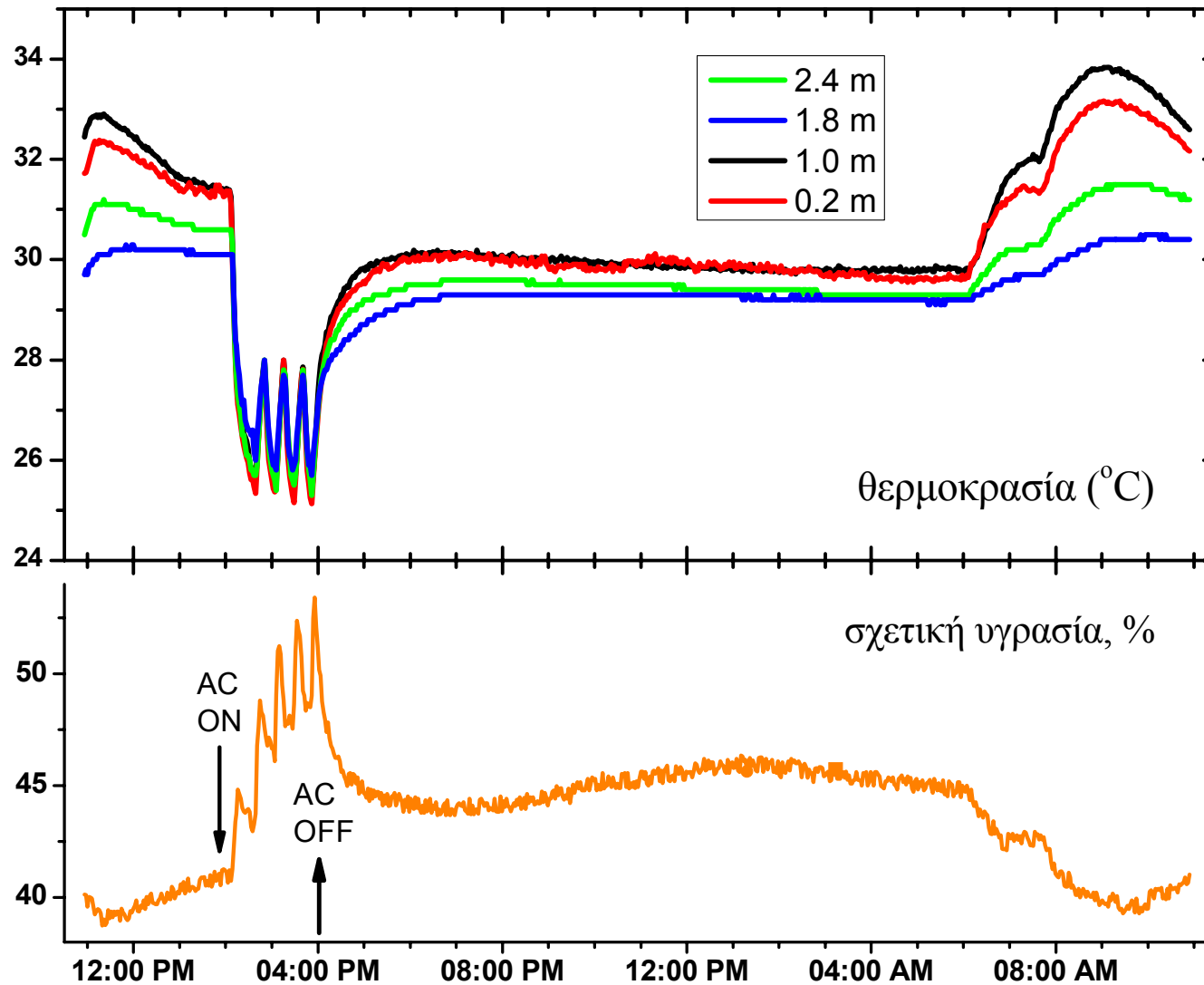
10 Ιουλίου 2012



Σχήμα 4.14

Εργ. Φυσικής,

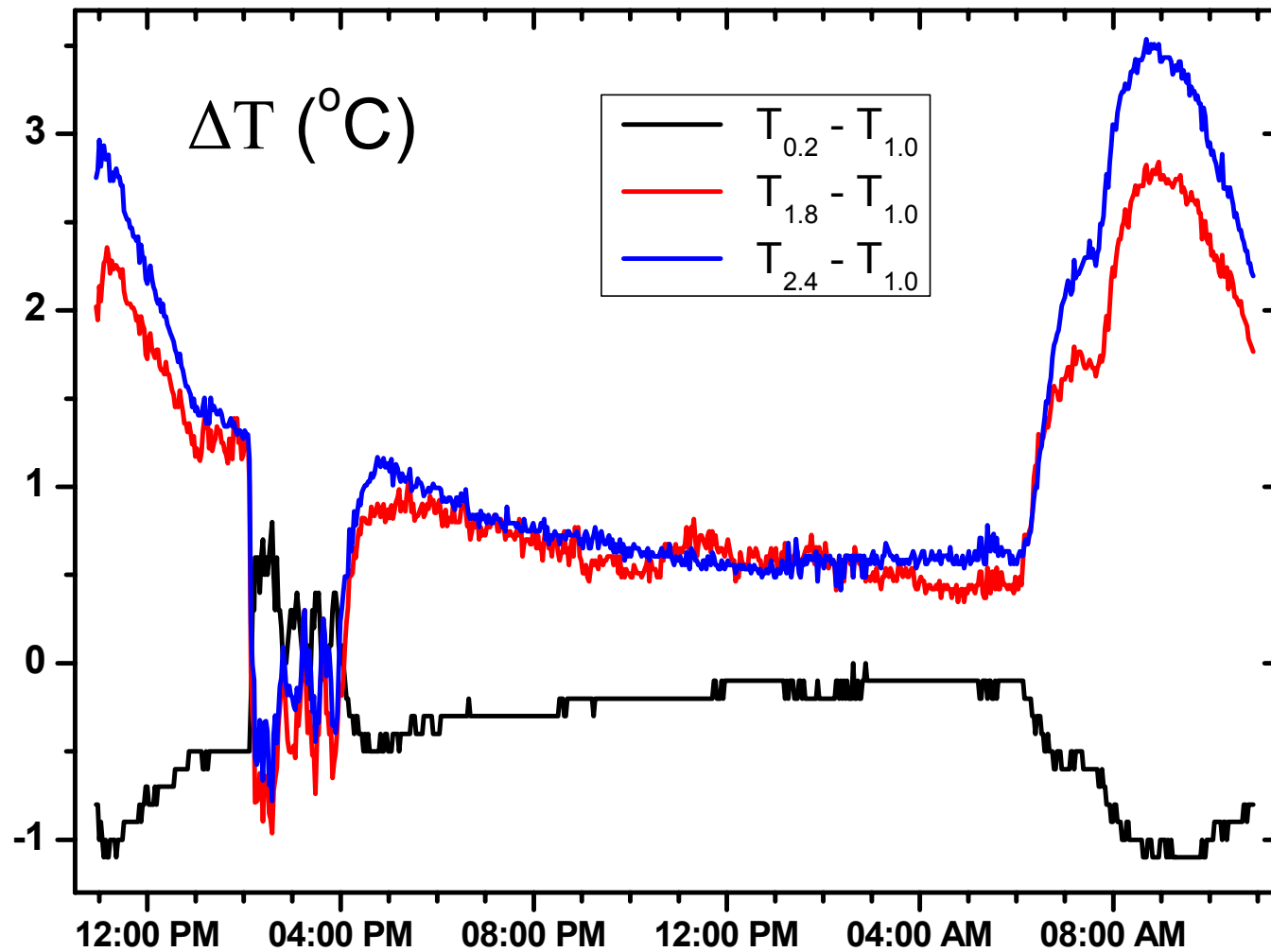
10 Ιουλίου 2012



Σχήμα 4.15

Εργ. GIS
(με χρήση
κλιματιστικού),

9 Ιουλίου 2012



Σχήμα 4.16

Εργ. GIS
(με χρήση
κλιματιστικού),
9 Ιουλίου 2012

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία υλοποιήθηκε η κατασκευή δύο πειραματικών διατάξεων μέτρησης θερμοκρασίας – σχετικής υγρασίας. Η 1^η πειραματική διάταξη αποτελείται από έναν κλειστό θάλαμο όπου έχουν προσαρμοστεί κατάλληλα τα αισθητήρια των μετρήσεων καθώς και θερμαντική πλάκα και ανεμιστήρας για την τροποποίηση των συνθηκών στο εσωτερικό του. Η διάταξη αυτή είναι κατάλληλη για εκπαιδευτική χρήση αφού μπορεί κάποιος τροποποιώντας σταδιακά τις συνθήκες της υγρασίας ή/και της θερμοκρασίας να παρατηρήσει και να καταγράψει τον συσχετισμό τους για περαιτέρω ανάλυση των χρονοσειρών τους. Επιπλέον, ο εκπαιδευόμενος αποκτά γνώσεις σχετικά με αρχές λειτουργίας αισθητηρίων οργάνων, συστήματα συλλογής δεδομένων, λήψη και ανάλυση μετρήσεων, κ.ά.

Με τη 2^η πειραματική διάταξη πραγματοποιήθηκαν 24ωρης διάρκειας μετρήσεις του καθ' ύψος θερμοκρασιακού προφίλ καθώς και της σχετικής υγρασίας σε διάφορους επιλεγμένους χώρους κοινής χρήσης, όπως αίθουσες και εργαστήρια των κτιρίων του ΤΕΙ στα Χανιά. Σύμφωνα με τις συνιστώμενες συνθήκες σχεδιασμού για κλιματιζόμενους χώρους το καλοκαίρι (τεχνική οδηγία 2425/86 του ΤΕΕ) παρατηρούμε ότι στις περιπτώσεις που εξετάσαμε, οι συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας όπου έγινε η χρήση του κλιματιστικού, βρίσκονται στα ανώτατα επιτρεπτά όρια θερμικής άνεσης. Πιο συγκεκριμένα, για τα κτήρια γραφείων και εκπαιδευτικά κέντρα η θερμική άνεση επιτυγχάνεται στους 25-26 °C και με σχετική υγρασία 40-50%. Οι συνθήκες αυτές ικανοποιούνται για το χώρο του γραφείου όπου πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με τη χρήση κλιματισμού (22 – 25°C και 42 – 50% σχετική υγρασία). Ωστόσο, για το χώρο του φοιτητικού Εργαστηρίου Φυσικής η επιθυμητή θερμοκρασία επιτυγχάνεται οριακά (26° C) και μόνον ύστερα από πολύωρη (4ωρη) χρήση της κλιματιστικής μονάδας. Αξίζει να σημειωθεί βέβαια ότι οι μετρήσεις ελήφθησαν σε χώρο άδειο, δηλαδή χωρίς τις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας του όπου γίνεται χρήση του χώρου από 20 – 25 άτομα. Οι επιθυμητές συνθήκες θερμικής άνεσης επιτυγχάνονται επίσης οριακά στην περίπτωση του Εργαστηρίου GIS, όπου και εκεί ο χώρος ήταν άδειος κατά τη λήψη των μετρήσεων.

Η μελέτη που έγινε σε διάφορους χώρους των κτιρίων του ΤΕΙ στα Χανιά αποσκοπούσε αρχικά στη διενέργεια μετρήσεων τουλάχιστον σε δύο διαφορετικές εποχές του

έτους αλλά λόγω τεχνικών προβλημάτων και καθυστερήσεων στην κατασκευή των διατάξεων αυτό δεν κατέσται δυνατό και οι μετρήσεις περιορίστηκαν μόνον κατά τη διάρκεια καλοκαιρινών ημερών. Έτσι, η μελέτη θα πρέπει να επεκταθεί σε μετρήσεις για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα και σε διαφορετικές εποχές του χρόνου, προκειμένου να προκύψουν ασφαλή συμπεράσματα για τις συνθήκες θερμικής άνεσης που επικρατούν σε αυτούς καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Επίσης, θα πρέπει να γίνουν μετρήσεις στους εργαστηριακούς χώρους κατά τη διάρκεια λειτουργίας τους προκειμένου να καταγραφούν οι διαφοροποιήσεις μεταξύ άδειων και σε χρήση χώρων.

Σε προκαταρτικές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του χειμώνα όπου κατασκευάζονταν οι πειραματικές διατάξεις διαπιστώθηκε μεγάλη μεταβολή της θερμοκρασίας (4 – 6°C) με το ύψος σε χώρους που θερμαίνονται με τη χρήση του κεντρικού κλιματιστικού. Έτσι, κρίνεται αναγκαία η πραγματοποίηση μετρήσεων προκειμένου να διαπιστωθεί η καταλληλότητα αυτού του τρόπου θέρμανσης και να προταθούν πιθανές παρεμβάσεις.

Μετρήσεις επίσης θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν αναφορικά με την ποιότητα του αέρα των εσωτερικών χώρων, ειδικά σε εκπαιδευτικά εργαστήρια όπου γίνεται πολύωρη χρήση τους από μεγάλο αριθμό ατόμων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1/ Θερμοδυναμική για μηχανικούς, Yunus A. Cengel, Michael A.Boles, 7^η έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, 2012.
- 2/ Introduction to thermal comfort standards, K. C. Parsons Loughborough University, UK.
- 3/ Α.Μ Παπαδόπουλος (2006) θερμική άνεση στα κτήρια. Νέα πρότυπα και βελτίωση θερμικής άνεσης στα κτήρια, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΑΠΘ.
- 4/ Θ. Παπαδάκης (1995), σημειώσεις κλιματισμού εκδόσεις ΕΜΠ Αθήνα
- 5/ «ASHRAE Handbook – Heating, Ventilating and Air-Conditioning Systems and Equipment» (2008), «American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.»
- 6/ Θερμική Άνεση στα Κτίρια. Νέα Πρότυπα. Μέθοδοι Βελτίωσης της Θερμικής Άνεσης στα Κτίρια, Α. Παπαδόπουλος, Χειμερινό Σχολείο: Περιβαλλοντική Ποιότητα του Εσωτερικού Χώρου, Δελφοί, 26-27 Νοεμβρίου 2005.
- 7/ Κ.Α. Αντωνόπουλος (2007) κλιματισμός.
- 8/ http://www.pasco.com/file_downloads/product_manuals/Xplorer-GLX-Manual-PS-2002.pdf
- 9/ http://www2.vernier.com/labpro/labpro_tech_manual.pdf
- 10/ <http://www.vernier.com/files/manuals/tmp-bta.pdf>
- 11/ <http://www.vernier.com/files/manuals/rh-bta.pdf>
- 12/ <http://penteli.meteo.gr/meteosearch/stationInfo.asp>

