



# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.)

“ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ”

## ΘΕΡΜΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣΗΣ ΑΠΟ ΑΧΥΡΟ - 2 ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

### ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΙΩΑΝΝΑΣ Α. ΜΠΟΥΝΤΟΥΒΑ**

Διπλωματούχου Αρχιτέκτονα Μηχανικού Ε.Μ.Π.

#### ΕΠΙΒΛΕΨΗ:

Ε. ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ  
Επίκουρη Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, Οκτώβριος 2016





# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.)

“ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ”

## ΘΕΡΜΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣΗΣ ΑΠΟ ΑΧΥΡΟ - 2 ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

### ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΙΩΑΝΝΑΣ Α. ΜΠΟΥΝΤΟΥΒΑ**

Διπλωματούχου Αρχιτέκτονα Μηχανικού Ε.Μ.Π.

#### ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Κ. ΤΣΑΚΑΛΑΚΗΣ, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Ε. ΜΠΑΔΟΓΙΑΝΝΗΣ, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Ε. ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ, Επίκουρη Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, Οκτώβριος 2016

Copyright © Ιωάννα Μπουντουβά, 2016  
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

# ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την υπεύθυνη καθηγήτριά μου κ. Ελένη Αλεξάνδρου για την πολύτιμη βοήθεια και την επιστημονική υποστήριξη καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Βασίλειο Τσολακίδη, αρχιτέκτονα της κατοικίας στον Ωρωπό και πρόεδρο του ΚΑΠΕ, καθώς και την κ. Ελευθερία Τσακανίκα, πολιτικό μηχανικό της κατοικίας στην Αίγινα και Επίκουρη καθηγήτρια ΕΜΠ, για τις πληροφορίες και τη βοήθεια που μου παρείχαν. Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης το Εργαστήριο Τεχνικών Υλικών του ΕΜΠ για την παραχώρηση του μετρητικού εξοπλισμού και ιδιαίτερα τον Ιωάννη Μανδηλαρά, μεταδιδακτορικό ερευνητή ΕΜΠ, για την επιστημονική του καθοδήγηση του στις εργαστηριακές μετρήσεις θερμικής αγωγιμότητας. Ευχαριστώ ακόμη τους ενοίκους των δύο κατοικιών που με μεγάλη προθυμία με υποδέχτηκαν και συνέβαλαν σημαντικά στην ολοκλήρωση των επιτόπιων μετρήσεων. Συγκεκριμένα ευχαριστώ τον κ. Στόιαν Λαλόβσκι (κατοικία στην Αίγινα) και την κ. Έφη Παπαδοπούλου και τον Emmanuel (κατοικία στον Ωρωπό).

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους γονείς μου και ιδιαιτέρως τον πατέρα μου Αναστάσιο Μπουντουβά που συνέβαλλε έμπρακτα στην πραγματοποίηση των επιτόπιων μετρήσεων με τη φυσική του παρουσία, καθώς επίσης και τον αδερφό μου και τους φίλους μου για τη σημαντική στήριξη που μου προσέφεραν.

# ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική μελετάται η δόμηση με άχυρο και αξιολογείται η θερμική και περιβαλλοντική επίδραση της συγκεκριμένης οικοδομικής πρακτικής στο εσωτερικό ενός κτιρίου. Το πρώτο μέρος της έρευνας περιλαμβάνει επιτόπιες μετρήσεις προσδιορισμού του επιπέδου θερμικής άνεσης και της ποιότητας του αέρα σε δύο κατοικίες που έχουν κατασκευαστεί από άχυρο στην Ελλάδα. Η θερμική αξιολόγηση αφορά τη μελέτη των παραμέτρων της θερμικής άνεσης που επηρεάζουν την ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ του ανθρώπου, δηλαδή τη θερμοκρασία αέρα, τη λειτουργική θερμοκρασία, την ταχύτητα του αέρα, τη σχετική υγρασία, τον μεταβολικό ρυθμό και το επίπεδο ρουχισμού. Επειτα προσδιορίζεται ο δείκτης PMV (Predicted Mean Vote) και ο δείκτης PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied), οι βασικοί δείκτες θερμικής άνεσης σύμφωνα με τα σχετικά πρότυπα. Η περιβαλλοντική αξιολόγηση αφορά την ανίχνευση τυχόν ανεπιθύμητων αερίων και ουσιών στο εσωτερικό των χώρων όπως πιθανή συγκέντρωση CO<sub>2</sub>. Το δεύτερο μέρος της έρευνας περιλαμβάνει εργαστηριακές μετρήσεις προσδιορισμού του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας του αχύρου με σκοπό την αξιολόγηση της θερμομονωτικής του ικανότητας.

Η εργασία αυτή φιλοδοξεί να προωθήσει την έρευνα της δόμησης με φυσικά υλικά με στόχο τη βελτιστοποίησή της. Τα φυσικά υλικά δόμησης αποτελούν συγκρίσιμη επιλογή με τα συμβατικά οικοδομικά υλικά και έχουν θετική επίδραση στις θερμικές και περιβαλλοντικές συνθήκες του κτιρίου.

**ΛΕΞΕΙΣ - ΚΛΕΙΔΙΑ:** άχυρο, φυσικά υλικά δόμησης, θερμική αγωγιμότητα, θερμική άνεση, ποιότητα αέρα

# ABSTRACT

The basic approach to energy-efficient and sustainable design has aims to incorporate architecture and construction into sustainable building processes by applying natural and local building materials. Continuous research and tests demonstrate that the correct combination of natural materials is absolutely comparable with standard materials. Additionally, in comparison to conventional materials, natural materials are more ecological and have fewer damaging health aspects. As a result, the demand of natural building materials is rising. It is therefore necessary to evaluate the thermal and environmental conditions that occur in a building built with natural building materials in order to further develop and promote this construction system.

This work focuses on the construction with straw and presents the results of field measurements conducted on two case-study houses in Greece and laboratory tests regarding the thermal conductivity of straw. The research aims to determine the level of thermal comfort and environmental conditions in the interior of the houses in order to examine straw as a building material of the building envelope. According to the American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), thermal comfort means “the condition of mind which expresses satisfaction with the thermal environment”. The parameters of the indoor climate that influence the heat exchange of man with the environment, and therefore the sensation of thermal comfort, are the air temperature, the operative temperature, the air velocity, the relative humidity, the activity level and the clothing. It is then possible to define the predicted mean vote (PMV) and the predicted percentage of dissatisfied (PPD), comfort indices that are part of many standards for indoor climate. As far as the environmental conditions are concerned, the test determines the presence of unwanted gazes or odors such as possible CO<sub>2</sub> concentration.

The present work can be the beginning for a research on the construction with natural materials, as this type of construction is constantly becoming more common. It is definite that natural building materials have comparable properties to common materials and can have positive outcome on the thermal behavior of a building. Natural materials can be favorably used in the construction to achieve more sustainable solutions and healthy indoor environment.

**KEYWORDS:** straw, natural materials, thermal conductivity, thermal comfort, air quality, construction

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</b>	<b>11</b>
<b>ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</b>	<b>13</b>
1.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ - ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ	14
ΜΟΝΙΜΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	14
ΡΥΘΜΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΡΟΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	14
ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	15
1.2 ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ - ΚΛΙΜΑ & ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	18
1.3 ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ - ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ	19
ΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ	19
Η ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ	19
ΘΕΡΜΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ	21
ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ	23
ΤΟΠΙΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΥΣΦΟΡΙΑ	25
ΚΛΙΜΑΚΑ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ	26
ΠΡΟΤΥΠΑ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ	28
1.4 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ	29
2.1 ΑΧΥΡΟ - ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	33
2.2 ΤΟ ΑΧΥΡΟ ΩΣ ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	34
3.1 2 ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΜΕΛΕΤΗΣ - ΟΙ ΚΑΤΟΙΚΙΕΣ	36
Κατοικία στην Αίγινα	36
Κατοικία στον Ωρωπό	37
3.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΤΡΗΤΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ	38
Επιτόπιες μετρήσεις θερμικής άνεσης & ποιότητας αέρα	38
Περιγραφή μετρητικού εξοπλισμού θερμικής άνεσης	38
Περιγραφή μετρητικού εξοπλισμού ποιότητας αέρα	42
Εργαστηριακές μετρήσεις συντελεστή θερμοαγωγιμότητας αχύρου	43
<b>ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</b>	<b>47</b>
4.1 ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΗΝ ΑΙΓΙΝΑ - ΕΠΙΤΟΠΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	48
Συνθήκες Επιτόπιων Μετρήσεων	48
Κατασκευαστική Τομή	50
Αποτελέσματα Επιτόπιων Μετρήσεων Θερμικής Άνεσης	52
Αποτελέσματα Επιτόπιων Μετρήσεων Ποιότητας Αέρα	58



<b>4.2</b>	<b>ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΟΝ ΩΡΩΠΟ - ΕΠΙΤΟΠΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ</b>	<b>60</b>
	Συνθήκες Επιτόπιων Μετρήσεων	60
	Κατασκευαστική Τομή	62
	Αποτελέσματα Επιτόπιων Μετρήσεων Θερμικής Άνεσης	63
	Αποτελέσματα Επιτόπιων Μετρήσεων Ποιότητας Αέρα	69
<b>4.2</b>	<b>ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ</b>	<b>72</b>
	Προετοιμασία δοκιμών	72
	Προσδιορισμός των διαστάσεων, του βάρους και της πυκνότητας των δοκιμών	73
	Προσδιορισμός του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας	73
	Βήματα πειραματικής διαδικασίας	73
	Αποτελέσματα εργαστηριακών μετρήσεων	74
	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>	<b>78</b>
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ</b>	<b>80</b>
	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</b>	<b>83</b>
	ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ & ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ	84
	ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ - ΑΙΓΙΝΑ	86
	ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ - ΩΡΩΠΟΣ	91
	ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ - ΑΙΓΙΝΑ	96
	ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ - ΩΡΩΠΟΣ	101
	ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ	106
	<b>ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ</b>	<b>118</b>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η έννοια της βιωσιμότητας στη διαδικασία σχεδιασμού ενός κτιρίου αξιολογείται τόσο από τη θερμική συμπεριφορά του κτιρίου όσο και από την ενεργειακή κατανάλωση, την έκλυση CO<sub>2</sub> και τα οικολογικά χαρακτηριστικά των υλικών δόμησης. Τα σύγχρονα κτίρια επιβαρύνουν σημαντικά το περιβάλλον καθ' όλο σχεδόν τον κύκλο της ζωής τους.<sup>[1]</sup> Παλαιότερα η επιλογή των υλικών δόμησης βασιζόταν στην τοπική διαθεσιμότητα των φυσικών πόρων και οι τεχνικές δόμησης καθορίζονταν από τις τοπικές κλιματικές συνθήκες. Ανάλογα με το εκάστοτε οικοσύστημα, τα οικοδομικά υλικά περιελάμβαναν το άχυρο, την πλίνθο, το χώμα, την πέτρα, το ξύλο, το τούβλο, τα κλαδιά (τεχνική “μπαγδατί”), το ύφασμα. Σήμερα, τα ίδια φυσικά υλικά δόμησης θεωρούνται εναλλακτικά υλικά. Σταδιακά όμως, τα τελευταία χρόνια, η έρευνα κατευθύνεται στην παραγωγή και χρήση φυσικών υλικών δόμησης εντάσσοντας την οικολογική διάσταση στον οικοδομικό τομέα και στην συνείδηση του αρχιτέκτονα. Συνεχείς έρευνες καταδεικνύουν ότι ο σωστός συνδυασμός φυσικών υλικών αποτελεί συγκρίσιμη επιλογή σε σχέση με συμβατικά υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή προσφέροντας επιπροσθέτως μία πιο οικολογική λύση με λιγότερες επιπτώσεις στην υγεία των χρηστών. Συμπερασματικά, η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση βιώσιμων και «πράσινων» τρόπων δόμησης στρέφει και πάλι το ενδιαφέρον στα φυσικά δομικά υλικά και καθιστά σημαντική την αξιολόγηση των θερμικών και περιβαλλοντικών συνθηκών που επικρατούν σε κτίρια από φυσικά υλικά με σκοπό την περαιτέρω ανάπτυξη και προώθηση των συγκεκριμένων κατασκευαστικών πρακτικών.

Η δόμηση με άχυρο έχει τις ρίζες της στον 19ο αιώνα ενώ και σήμερα εμφανίζεται δυναμικά στο πεδίο των κατασκευών. Κατασκευές από άχυρο βρίσκουμε σε πολλά σημεία του κόσμου, όπως στις ΗΠΑ, στην Ευρώπη, στον Καναδά, στην Αυστραλία, στην Ιαπωνία και στην Κίνα.<sup>[2]</sup> Η έρευνα οδηγείται προς τη μελέτη των φυσικών υλικών δόμησης με σκοπό τη βελτίωση και την προώθησή τους.

Σκοπός της εργασίας είναι η αξιολόγηση του αχύρου ως δομικό και θερμομονωτικό υλικό και η μελέτη της επίδρασης που έχει στις θερμικές και περιβαλλοντικές συνθήκες του κτιρίου. Η αξιολόγηση της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος σχετίζεται με την τοξικότητα των υλικών δόμησης. Η έρευνα περιλαμβάνει επιτόπιες ενόργανες μετρήσεις σε δύο κατοικίες που έχουν κατασκευαστεί από άχυρο καθώς και εργαστηριακές μετρήσεις που αφορούν τη θερμομονωτική ικανότητα του αχύρου.

Οι επιτόπιες μετρήσεις διεξήχθησαν σε δύο κατοικίες στην Αττική εξετάζοντας το επίπεδο θερμικής άνεσης και τις εσωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες με σκοπό την αξιολόγηση του αχύρου ως δομικού υλικού του κελύφους. Οι δύο κατοικίες παρουσιάζουν διαφορετικό κατασκευαστικό σύστημα, γεγονός που αποτελεί μία σημαντική παράμετρο της έρευνας. Σε κάθε κατοικία πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις διάρκειας 5 ημερών, 3 φορές την ημέρα (πρωί, μεσημέρι, βράδυ) με στόχο την εξαγωγή συμπερασμάτων λαμβάνοντας υπόψιν τις κλιματικές διαφοροποιήσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας. Οι περιοχές των κατοικιών που εξετάστηκαν επιλέχθηκαν βάσει της καθημερινής τους χρήσης κατά τη διάρκεια της ημέρας καταλήγοντας στο καθιστικό, το υπνοδωμάτιο και το γραφείο (όπου υπήρχε). Το επίπεδο θερμικής άνεσης στο εσωτερικό των κατοικιών εξετάστηκε με μία σειρά από αισθητήρες (Comfort Sense) της εταιρείας Dantec Dynamics, με τους οποίους προσδιορίζονται η θερμοκρασία αέρα, η λειτουργική θερμοκρασία, η ταχύτητα αέρα, η σχετική υγρασία, το επίπεδο ρευμάτων (Draught Rate), ο

δείκτης PMV (Predicted Mean Vote) και ο δείκτης PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied).

Οι περιβαλλοντικές συνθήκες προσδιορίστηκαν μέσω της μελέτης της ποιότητας αέρα (Indoor Air Quality - IAQ) στο εσωτερικό των κατοικιών με τη βοήθεια του μετρητικού εξοπλισμού WolfPack της εταιρείας Wolf Sense. Οι μετρήσεις αφορούν τον προσδιορισμό της ύπαρξης ανεπιθύμητων αερίων και οσμών, και συγκεκριμένα τη συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), μονοξειδίου του άνθρακα (CO), μονοξειδίου του αζώτου (NO), διοξειδίου του αζώτου ( $\text{NO}_2$ ), όζοντος ( $\text{O}_3$ ), διοξειδίου του θείου ( $\text{SO}_2$ ) και πτητικών οργανικών ενώσεων (TVOCs).

Παράλληλα, οι ένοικοι των κατοικιών, κατά τη διάρκεια κάθε μέτρησης, απαντούσαν σε συγκεκριμένο ερωτηματολόγιο με ερωτήσεις που αφορούσαν την αίσθηση κρύου ή ζέστης μέσα στο χώρο, την πιθανή ύπαρξη ανεπιθύμητων ρευμάτων αέρα ή ενοχλητικών οσμών καθώς και το επίπεδο ρουχισμού και δραστηριότητάς τους στον κάθε χώρο. Όλες αυτές οι παράμετροι συμβάλλουν στο σχηματισμό μίας πιο ολοκληρωμένης εικόνας για τις συνθήκες του εσωτερικού των κατοικιών.

Σε εργαστηριακό επίπεδο, μελετήθηκε η θερμομονωτική ικανότητα του αχύρου και συγκεκριμένα προσδιορίστηκε ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας ( $\lambda$ ) του αχύρου. Κατασκευάστηκαν στο εργαστήριο δοκίμια κατάλληλων διαστάσεων και με τη βοήθεια του μετρητικού εξοπλισμού TPL 300 πραγματοποιήθηκε η τεχνική προστατευμένης θερμής πλάκας (Guarded Hot Plate). Μέσω της δοκιμής αυτής, προσδιορίζονται οι θερμικές ιδιότητες του υλικού, στοιχείο πολύ σημαντικό καθώς οι συνθήκες του εσωκλίματος εξαρτώνται άμεσα από τις ιδιότητες των οικοδομικών υλικών που έχουν χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή. Το ένα σκέλος της εργασίας δρα ενισχυτικά ως προς το άλλο επιδιώκοντας τελικά μία πιο ολιστική αξιολόγηση της συμπεριφοράς του αχύρου ως δομικό υλικό σε κτιριακά κελύφη.



---

# ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

---

## 1.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ - ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ <sup>[3]</sup>

**Θερμότητα** είναι η ενέργεια που ανταλλάσσεται μεταξύ ενός συστήματος και του περιβάλλοντος (ή μεταξύ δύο συστημάτων), από τη θερμότερη προς την ψυχρότερη περιοχή, εξαιτίας της μεταξύ τους θερμοκρασιακής διαφοράς. Ως αποτέλεσμα, το σύστημα τείνει σε κατάσταση θερμικής ισορροπίας, με αποκατάσταση μιας ομοιόμορφης θερμοκρασίας σε όλες τις περιοχές του. Μονάδα μέτρησης της θερμότητας στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων είναι το joule. Στο Τεχνικό Σύστημα η μονάδα θερμότητας είναι η Βρετανική μονάδα θερμότητας (Btu) που ορίζεται σαν η θερμότητα η αναγκαία για να αυξηθεί η θερμοκρασία μίας λίβρας νερού από τους 63 στους 64 βαθμούς Φαρενάιτ. Η θερμίδα (cal) και η χιλιοθερμίδα (kcal) ήταν η μονάδα που χρησιμοποιήθηκε αρχικά για τη θερμότητα. Μια χιλιοθερμίδα ορίζεται ως το ποσό θερμότητας που πρέπει να δώσουμε ανά λίτρο νερού που βρίσκεται σε ατμοσφαιρική πίεση για να αυξηθεί η θερμοκρασία του κατά ένα βαθμό Kelvin.

Η θερμοδυναμική μελετά συστήματα σε ισορροπία. Οι αρχές και οι μέθοδοι της θερμοδυναμικής ανάλυσης επιτρέπουν τον υπολογισμό του συνολικού ποσού θερμότητας που μεταφέρεται όταν ένα σύστημα μεταβαίνει από μία κατάσταση ισορροπίας σε μία άλλη. Δεν μπορούν, όμως, να υπολογίσουν το ρυθμό με τον οποίο πραγματοποιείται η μεταφορά θερμότητας. Ο χρόνος, λοιπόν, δεν αποτελεί μία θερμοδυναμική μεταβλητή. Το πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα, που αναφέρεται ως αρχή διατήρησης της ενέργειας ή ισοζύγιο ενέργειας, επιτρέπει τον υπολογισμό ενεργειακών μεταβολών και δηλώνει ότι η συνολική ενέργεια που προσδίδεται (με τη μορφή θερμότητας ή έργου) σε ένα σύστημα είναι ίση με τη μεταβολή της ενέργειάς του. Το δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα προσδιορίζει την κατεύθυνση μεταφοράς θερμότητας (από υψηλότερες σε χαμηλότερες θερμοκρασίες).

### ΜΟΝΙΜΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Μόνιμη κατάσταση σημαίνει ότι δεν υπάρχει μεταβολή ιδιοτήτων του συστήματος με το χρόνο, σε δεδομένο σημείο. Υπάρχει όμως μεταβολή από σημείο σε σημείο του συστήματος, γεγονός που προκαλεί και τη μεταφορά της θερμότητας. Η έννοια της μόνιμης κατάστασης δεν πρέπει να συγχέεται με εκείνη της ισορροπίας. Στη μόνιμη κατάσταση, όπως συμβαίνει πάντα στις διεργασίες μεταφοράς, δεν υπάρχει ισορροπία. Για να βρεθεί ένα σύστημα μεταφοράς θερμότητας σε μόνιμη κατάσταση θα πρέπει οι θερμοκρασίες στα όριά του (οριακές συνθήκες) να μη μεταβάλλονται με το χρόνο, ενώ για να βρεθεί σε ισορροπία θα πρέπει η θερμοκρασία να έχει την ίδια τιμή παντού, μέσα στο σύστημα και στα όρια.

Όταν οι οριακές συνθήκες υποστούν μία διαταραχή το σύστημα εισέρχεται σε μία μεταβατική περίοδο μη-μόνιμης κατάστασης, όπου η θερμοκρασία μεταβάλλεται όχι μόνο χωρικά αλλά και χρονικά.

### ΡΥΘΜΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΡΟΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Σε μία θερμική διεργασία κατά την οποία εναλλάσσεται ένα ποσό θερμότητας  $Q$  (σε J), η θερμότητα που μεταφέρεται στη μονάδα του χρόνου ονομάζεται ρυθμός μεταφοράς θερμότητας και συμβολίζεται με  $\dot{q}$ . Οι μονάδες του ρυθμού μεταφοράς θερμότητας στο SI είναι J/s ή W. Ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας μπορεί να μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια μίας διεργασίας και το ποσό θερμότητας που μεταφέρεται σε χρονικό διάστημα  $\Delta t$  υπολογίζεται ως:

$$Q = \int_{\Delta t} \dot{q} dt \quad (1.1)$$

Το ποσό θερμότητας που μεταφέρεται στη μονάδα του χρόνου και ανά μονάδα επιφάνειας κάθετης στη διεύθυνση μεταφοράς, ονομάζεται ροή θερμότητας ή ανηγμένος (ανά μονάδα επιφάνειας) ρυθμός (ανά μονάδα χρόνου) μεταφοράς θερμότητας και περιγράφεται από τη σχέση (1.2) ως εξής:

$$\dot{q}'' = \frac{\dot{q}}{A} \quad (1.2)$$

όπου A το εμβαδόν της επιφάνειας. Οι μονάδες της ροής θερμότητας στο SI είναι W/m<sup>2</sup>.

## ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Μεταφορά θερμότητας πραγματοποιείται πάντα όταν υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας μέσα σε ένα σώμα ή μεταξύ δύο σωμάτων. Αυτό που διαφοροποιείται είναι ο φυσικός μηχανισμός με τον οποίο πραγματοποιείται η μεταφορά. Διακρίνονται τρεις βασικοί μηχανισμοί μεταφοράς θερμότητας:

**A. Μεταφορά με αγωγή (conduction):** ο μηχανισμός αυτός χρησιμοποιείται όταν η θερμότητα μεταφέρεται σε ένα υλικό λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς και οφείλεται στις αλληλεπιδράσεις των μικροσκοπικών σωματιδίων, όπως περιγράφεται από τη θεωρία της μοριακής δομής της ύλης, χωρίς μακροσκοπικά να παρατηρείται μετακίνηση της μάζας του υλικού από τη μία θέση του χώρου στην άλλη.

Σε ένα αέριο η μεταφορά θερμότητας με αγωγή οφείλεται στις συγκρούσεις και στη διάχυση των μορίων κατά την τυχαία κίνηση τους. Αντίστοιχος μηχανισμός ισχύει και για τα υγρά, μόνο που οι αποστάσεις μεταξύ των μορίων είναι μικρότερες και οι μοριακές αλληλεπιδράσεις πιο ισχυρές. Στα στερεά, ανάλογα με τη δομή της ύλης (άμορφα, κρυσταλλικά, μέταλλα κλπ.) έχουν προταθεί διάφοροι μηχανισμοί αγωγής. Σύμφωνα με τους επικρατέστερους, η μεταφορά θερμότητας οφείλεται στα ενεργειακά κύματα που δημιουργούνται από τις ταλαντώσεις των μορίων στη δομή πλέγματος και στη μεταφορά ενέργειας από την κίνηση των ελεύθερων ηλεκτρονίων.

Παρατηρείται πειραματικά ότι ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας είναι ανάλογος της διαφοράς θερμοκρασίας και αντιστρόφως ανάλογος του πάχους του υλικού μέσα στο οποίο πραγματοποιείται η μεταφορά. Η μαθηματική σχέση που περιγράφει τη μεταφορά θερμότητας με αγωγή διέπεται από το **νόμο του Fourier** (Jean Fourier, Γάλλος μαθηματικός) και έχει τη μορφή:

$$\dot{q}_x'' = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \quad (1.2)$$

όπου  $\dot{q}_x''$  είναι η ροή θερμότητας κατά τη διεύθυνση x. Ο συντελεστής αναλογίας λ στην εξίσωση Fourier είναι χαρακτηριστική θερμοφυσική ιδιότητα του υλικού και ονομάζεται **συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας**. Το αρνητικό πρόσημο οφείλεται στο δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο, σύμφωνα με τον οποίο η θερμότητα άγεται από την περιοχή υψηλών στην περιοχή χαμηλών θερμοκρασιών, δηλαδή κατά τη διεύθυνση της αρνητικής θερμοκρασιακής βαθμίδας.

### Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας

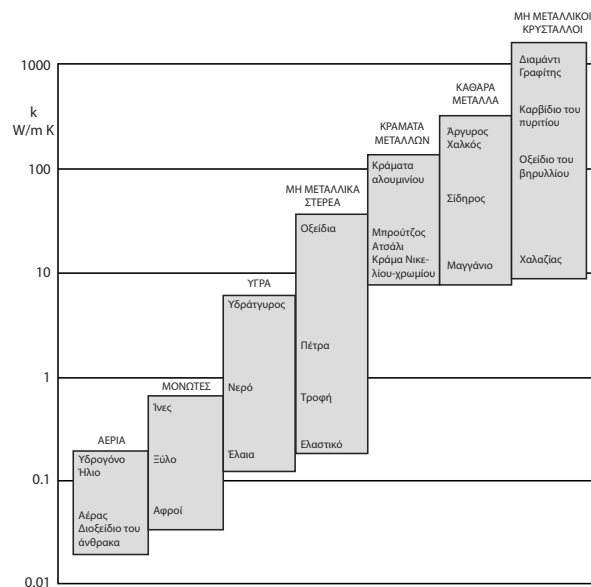
Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, λ, σύμφωνα με την εξίσωση Fourier, έχει τη μορφή:

$$[\lambda] = \frac{\text{ενέργεια}}{\text{χρόνος} \times \text{επιφάνεια} \times \text{βαθμίδα θερμοότητας}} \quad (1.3)$$

και οι μονάδες του στο σύστημα SI είναι W/m K.

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας είναι χαρακτηριστικός για κάθε υλικό και εκφράζει την ευκολία ή δυσκολία διάδοσης της θερμότητας στο εσωτερικό ενός υλικού. Στην εικόνα 1.1.1 παρουσιάζονται οι τιμές του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας διαφόρων υλικών. Ανάλογα με

την ευκολία της διάδοσης της θερμότητας τα υλικά διακρίνονται σε ευθερμαγωγά, ή καλοί αγωγοί θερμότητας και σε δυσθερμαγωγά, ή κακοί αγωγοί θερμότητας καθώς και σε θερμομονωτικά. Η διαφορά της θερμικής αγωγιμότητας μεταξύ των υλικών οφείλεται στην μικροδομή τους, δηλαδή στην διάταξη και την κίνηση των μικροσωματιδίων (μόρια ή άτομα) που τα αποτελούν. Στη μεταφορά θερμότητας με αγωγή επικρατούν δύο μηχανισμοί. Ο πρώτος είναι η αλληλεπίδραση των μορίων, όπου μόρια με σχετικά υψηλή ενέργεια χαρακτηριζόμενη από την θερμοκρασία τους, μεταφέρουν ενέργεια σε γειτονικά μόρια με χαμηλότερη θερμοκρασία. Ο δεύτερος μηχανισμός μετάδοσης θερμότητας με αγωγή είναι με διάχυση ελεύθερων ηλεκτρονίων που περιέχονται σε καθαρά μεταλλικά σώματα. Η συγκέντρωση των ηλεκτρονίων ποικίλλει σημαντικά στα μεταλλικά κράματα και είναι πολύ χαμηλή στα αμέταλλα. Η ικανότητα των στερεών σωμάτων να μεταφέρουν ενέργεια εξαρτάται άμεσα από την συγκέντρωση των ελεύθερων ηλεκτρονίων με αποτέλεσμα τα καθαρά μέταλλα να είναι καλύτεροι αγωγοί θερμότητας.



Εικόνα 1.1.1 Τιμές του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας διαφόρων υλικών

Η μονωτική ιδιότητα ορισμένων υλικών οφείλεται στο ότι τα υλικά αυτά αποτελούνται από κόκκους ή ίνες δημιουργώντας αναρίθμητους πόρους στους οποίους περιέχεται αέρας ο οποίος έχει ως γνωστό πολύ καλές μονωτικές ιδιότητες. Σε ένα μονωτικό σώμα η μεταφορά θερμότητας πραγματοποιείται με αγωγή δια του στερεού υλικού, με αγωγή ή συναγωγή στον αέρα ο οποίος περιέχεται στους πόρους και, αν η θερμοκρασία είναι αρκετά υψηλή, με ακτινοβολία στα τοιχώματα των πόρων. Η τιμή των καθαρών μετάλλων (όπως ο χαλκός) είναι έως και 104 φορές μεγαλύτερη από εκείνη των αερίων (όπως ο αέρας). Γενικά, οι καθαροί κρύσταλλοι και τα μέταλλα έχουν τον υψηλότερο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, ενώ τα αέρια και τα μονωτικά υλικά το χαμηλότερο.

Η θερμική αγωγιμότητα επηρεάζεται σε μικροσκοπικό και μακροσκοπικό επίπεδο. Στην πρώτη κατηγορία εντάσσονται παράγοντες όπως το μέγεθος των κελιών, η διάμετρος και η διάταξη των ινών ή των πόρων, η διαφάνεια σε θερμική ακτινοβολία, ο τύπος και η πίεση του ενσωματωμένου αερίου και τα συγκολλητικά υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί. Σε μακροσκοπικό επίπεδο, που εξετάζεται στην παρούσα εργασία, λειτουργούν οι παράγοντες της πυκνότητας, της θερμοκρασίας, της περιεκτικότητας σε υγρασία και της ηλικίας του υλικού. Λόγω του μεγάλου πορώδους στην εσωτερική δομή του υλικού, η πυκνότητα που αναφέρεται αποτελεί την **φαινόμενη πυκνότητα** του υλικού που ορίζεται ως ο λόγος της μάζας του υλικού προς τον φαινόμενο όγκο του, δηλαδή



τον όγκο που περιλαμβάνει και τα κενά που υπάρχουν στη μάζα όπως είναι οι πόροι και οι κοιλότητες. Η αύξηση της φαινόμενης πυκνότητας του υλικού οδηγεί σε αύξηση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Ανάλογα με το υλικό, η μεταβολή είναι είτε σημαντική είτε αμελητέα σε ένα συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασιών. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία, αυξάνεται και ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας τους και συνεπώς μειώνεται η θερμομονωτική ικανότητα του υλικού. Με την αύξησή του ποσοστού της περιεχόμενης υγρασίας στο υλικό αυξάνεται και η τιμή της θερμικής αγωγιμότητας

Ως **θερμική αντίσταση**,  $R$ , στην περίπτωση μονοδιάστατης αγωγής θερμότητας σε επίπεδο σώμα πάχους  $d$ , συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$ , σταθερής ή γραμμικά μεταβαλλόμενης με τη θερμοκρασίας ορίζεται:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (1.4)$$

**Β. Μεταφορά με συναγωγή (convection):** ο μηχανισμός αυτός οφείλεται σε μετακίνηση μάζας ρευστού. Το ρευστό, που μετακινείται από μία θέση του χώρου σε άλλη, μεταφέρει μαζί του και την ενέργεια που περιέχει, επηρεάζοντας έτσι το ενεργειακό περιεχόμενο (και τη θερμοκρασία) του χώρου στον οποίο καταλήγει. Συναγωγή εμφανίζεται όταν ένα ρευστό ρέει λόγω επιβολής εξωτερικών αιτιών, αλλά και όταν θερμαίνεται ή ψύχεται "ακίνητο" σε ένα χώρο. Στη δεύτερη περίπτωση, το ρευστό που έρχεται σε επαφή με τα θερμά τοιχώματα, ή που κατά οποιοδήποτε τρόπο θερμαίνεται, εμφανίζει άνοδο της θερμοκρασίας του και κατά συνέπεια διαστέλλεται. Προκαλείται έτσι διαφορά πυκνότητας ανάμεσα σε περιοχές με διαφορετικές θερμοκρασίες με αποτέλεσμα την κίνηση του ρευστού λόγω παρουσίας δυνάμεων άνωσης.

Ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή μπορεί να εκφραστεί συναρτήσει του δυναμικού, δηλαδή της διαφοράς θερμοκρασίας  $T_s - T_\infty$ , από τη σχέση του **νόμου ψύξης του Newton**, που έχει τη μορφή:

$$\dot{q}'' = h(T_s - T_\infty) \quad (1.5)$$

όπου  $\dot{q}''$  είναι η ροή θερμότητας,  $T_s$  η θερμοκρασία της επιφάνειας και  $T_\infty$  η θερμοκρασία του ρευστού. Ο παράγων αναλογίας  $h$  ονομάζεται συντελεστής συναγωγής. Ο συντελεστής συναγωγής έχει μονάδες, στο σύστημα SI,  $W/m^2 K$ .

Το μέγεθος  $\dot{q}''$  είναι ανάλογο της θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ της επιφάνειας  $T_s$  και του ρευστού  $T_\infty$ . Ο συντελεστής  $h$  εμπεριέχει όλους τους παράγοντες που επηρεάζουν την συναγωγή όπως τις συνθήκες στο οριακό στρώμα το οποίο εξαρτάται από τη γεωμετρία της επιφάνειας και από το είδος του ρευστού και της ροής του. Συνεπώς, ο συντελεστής συναγωγής είναι συνάρτηση της ταχύτητας του ρευστού, της ειδικής θερμικής αγωγιμότητας, του δυναμικού ιξώδους και της πυκνότητας του ρευστού και της ειδικής θερμοχωρητικότητας υπό σταθερή πίεση.

**Γ. Μεταφορά με ακτινοβολία:** ο μηχανισμός αυτός περιγράφει τη μεταφορά ενέργειας με ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Τα στερεά σώματα, τα περισσότερα υγρά και αρκετά αέρια ακτινοβολούν θερμότητα συγχρόνως όμως απορροφούν και μέρος της ακτινοβολίας που εκπέμπουν άλλα σώματα. Η ακτινοβολία είναι δυνατό να εμφανίζεται στο κενό και μάλιστα σε εντονότερο βαθμό. Η μέγιστη θερμική ισχύς που είναι δυνατό να ακτινοβολεί ένα σώμα ανά μονάδα επιφάνειας, περιγράφεται από το **νόμο των Stefan-Boltzmann**:

$$\dot{q}_b'' = \sigma T_s^4 \quad (1.6)$$

όπου  $T_s$  είναι η απόλυτη θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας του σώματος και  $\sigma$  η σταθερά των Stefan-Boltzmann ( $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4$ )

Για τον υπολογισμό της θερμότητας που ανταλλάσσεται με ακτινοβολία μεταξύ δύο επιφανειών που βρίσκονται σε διαφορετική θερμοκρασία θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν, εκτός από τους συντελεστές εκπομπής και απορρόφησης της κάθε επιφάνειας, η σχετική θέση των δύο επιφανειών, δηλαδή η απόσταση και ο προσανατολισμός τους.

## 1.2 ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ - ΚΛΙΜΑ & ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΕΛΛΑΔΑΣ <sup>[4]</sup>

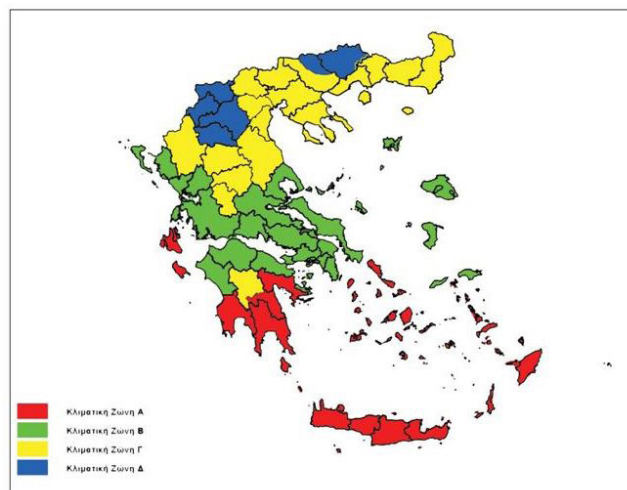
Η Ελλάδα χαρακτηρίζεται από το μεσογειακό τύπο του εύκρατου κλίματος και έχει ήπιους υγρούς χειμώνες και ζεστά ξηρά καλοκαίρια. Βρίσκεται μεταξύ του 34ου και 42ου παραλλήλου του βορείου ημισφαιρίου και έχει μεγάλη ηλιοφάνεια όλο σχεδόν το χρόνο. Λεπτομερέστερα στις διάφορες περιοχές της Ελλάδας παρουσιάζεται μεγάλη ποικιλία κλιματικών τύπων, πάντα βέβαια μέσα στα πλαίσια του μεσογειακού κλίματος. Αυτό οφείλεται στην τοπογραφική διαμόρφωση της χώρας που έχει μεγάλες διαφορές υψομέτρου (υπάρχουν μεγάλες οροσειρές κατά μήκος της κεντρικής χώρας και άλλοι ορεινοί όγκοι) και εναλλαγή ξηράς και θάλασσας. Έτσι, από το ξηρό κλίμα της Αττικής και γενικά της ανατολικής Ελλάδας μεταπίπτουμε στο υγρό της βόρειας και δυτικής Ελλάδας. Τέτοιες κλιματικές διαφορές συναντώνται ακόμη και σε τόπους που βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους, πράγμα που παρουσιάζεται σε λίγες μόνο χώρες σε όλο τον κόσμο.

Σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ, η ελληνική επικράτεια διαιρείται σε τέσσερις κλιματικές ζώνες με βάση τις βαθμομέρες θέρμανσης. Στον πίνακα 1.2.1 προσδιορίζονται οι νομοί που υπάγονται στις τέσσερις κλιματικές ζώνες (από τη θερμότερη στην ψυχρότερη) και ακολουθεί χάρτης των παραπάνω ζωνών στην εικόνα 1.2.2. Σε κάθε νομό, οι περιοχές που βρίσκονται σε υψόμετρο άνω των 500 μέτρων, εντάσσονται στην επόμενη ψυχρότερη κλιματική ζώνη από εκείνη στην οποία ανήκουν σύμφωνα με τα παραπάνω. Έτσι, γίνεται αντιληπτό ότι το υψόμετρο επιδρά σημαντικά στην κλιματική κατάταξη μιας περιοχής.

Οι περιοχές στις οποίες βρίσκονται τα κτίρια των επιτόπιων μετρήσεων, η Αίγινα και ο Ωρωπός, ανήκουν στην κλιματική ζώνη Β.

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	ΝΟΜΟΙ
ΖΩΝΗ Α	Ηράκλειο, Χανιά, Ρέθυμνο, Λασιθι, Κυκλάδες, Δωδεκάνησα, Σάμος, Μεσσηνία, Λακωνία, Αργολίδα, Ζάκυνθος, Κεφαλονιά, Ιθάκη
ΖΩΝΗ Β	Κορινθία, Ηλεία, Αχαΐα, Αιτωλοακαρνανία, Φθιώτιδα, Φωκίδα, Βοιωτία, Αττική, Εύβοια, Μαγνησία, Σποράδες, Λέσβος, Χίος, Κέρκυρα, Λευκάδα, Θεσπρωτία, Πρέβεζα, Άρτα
ΖΩΝΗ Γ	Αρκαδία, Ευρυτανία, Ιωάννινα, Λάρισα, Καρδίτσα, Τρίκαλα, Πιερία, Ημαθία, Πέλλα, Θεσσαλονίκη, Κιλκίς, Χαλκιδική, Σέρρες, Καβάλα, Δράμα, Θάσος, Σαμοθράκη, Ξάνθη, Ροδόπη, Έβρος
ΖΩΝΗ Δ	Γρεβενά, Κοζάνη, Καστοριά, Φλώρινα

Πίνακας 1.2.1 Διαχωρισμός της ελληνικής επικράτειας σε κλιματικές ζώνες κατά νομούς



Εικόνα 1.2.2 Χάρτης με τις κλιματικές ζώνες της Ελλάδας.

### 1.3 ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ - ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ

Σήμερα, οι άνθρωποι των βιομηχανοποιημένων χωρών ξοδεύουν πάνω από το 85% της ζωής τους σε κλειστούς χώρους με σκοπό τόσο την προστασία τους από τα φυσικά και καιρικά φαινόμενα όσο και την έκθεσή τους σε ένα πιο σταθερό και άνετο θερμικό περιβάλλον. Είναι λοιπόν σαφές ότι το εσωτερικό κλίμα αποτελεί τον κυρίαρχο παράγοντα για θερμική άνεση και ευημερία.

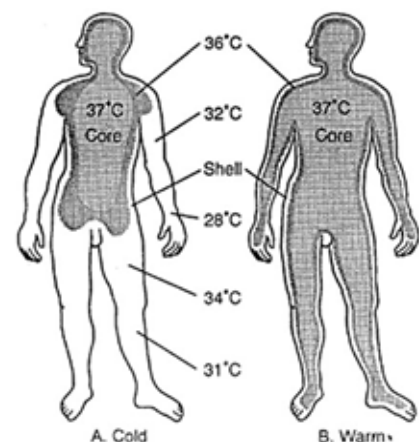
Στην κεντρική Ευρώπη, η πλειοψηφία των ανθρώπων ζουν και εργάζονται ακόμη σε φυσικώς κλιματιζόμενα κτίρια. Η έκφραση «φυσικώς» αναφέρεται σε φυσικό αερισμό με εγκαταστάσεις θέρμανσης μόνο για το χειμώνα. Ωστόσο, το ποσοστό των ανθρώπων που εργάζονται σε κλιματιζόμενα κτίρια αυξάνεται σταθερά.

#### ΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ

Αρχικά πρέπει να οριστεί η έννοια της θερμικής άνεσης. Σύμφωνα με την ASHRAE <sup>[5]</sup> (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers), η θερμική άνεση ορίζεται ως η κατάσταση του εγκεφάλου κατά την οποία ένα άτομο δεν επιθυμεί καμία θερμική αλλαγή του εσωτερικού περιβάλλοντος και εκφράζει ικανοποίηση με τις επικρατούσες θερμικές συνθήκες. Πρόκειται για μία υποκειμενική προσέγγιση που σχετίζεται με την ατομική θερμική αίσθηση και τις μεγάλες διαφοροποιήσεις, τόσο φυσιολογικές όσο και ψυχολογικές, από άτομο σε άτομο. Οι περιβαλλοντικές συνθήκες που οδηγούν σε θερμική άνεση δεν είναι ίδιες για όλους. Έτσι, στον ίδιο χώρο, είναι δυνατόν κάποιο άτομο να εκφράζει την ικανοποίησή του με τις θερμικές συνθήκες, ενώ ένα άλλο να εκφράζει τη δυσαρέσκειά του. Ωστόσο, εκτεταμένες έρευνες και εργαστηριακές δοκιμές προσφέρουν την απαραίτητη βάση για τον προσδιορισμό των παραμέτρων που επηρεάζουν τις συνθήκες και συνδέονται με την αξιολόγηση της θερμικής άνεσης ενός χώρου. Οι παράμετροι που επηρεάζουν την αίσθηση θερμικής άνεσης σε ένα χώρο χωρίζονται στις φυσικές (θερμοκρασία του αέρα, μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας των εσωτερικών επιφανειών, σχετική υγρασία, ταχύτητα του αέρα), στις βιολογικές (το φύλο των χρηστών, η ηλικία των χρηστών, οι συνήθειες των χρηστών του χώρου) και στις εξωτερικές παραμέτρους (το είδος δραστηριότητας των χρηστών, το είδος ρουχισμού των χρηστών). Όλες οι παραπάνω παράμετροι, και κυρίως οι φυσικές, επηρεάζουν τη ροή ενέργειας υπό τη μορφή θερμότητας από τον άνθρωπο προς το περιβάλλον και αντίστροφα. Ο άνθρωπος διαθέτει μηχανισμούς, οι οποίοι έχουν ως στόχο τη διατήρηση της θερμικής κατάστασης του σώματος σταθερή και την προσαρμογή της στις συνθήκες του περιβάλλοντος. Εξισορροπώντας τα θερμικά κέρδη και τις απώλειες θερμότητας (μεταβολισμός, εφίδρωση), το σώμα μας καθορίζει την αναφερθείσα ροή θερμότητας.

#### Η ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ <sup>[6]</sup>

Το σώμα διακρίνεται στον θερμό εσωτερικό πυρήνα και στο εξωτερικό κέλυφος, η θερμοκρασία του οποίου επηρεάζεται έντονα από τις εναλλαγές του περιβάλλοντος. Το πάχος του κελύφους εξαρτάται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος και την ανάγκη διατήρησης της θερμότητας του σώματος. Σε ένα θερμό περιβάλλον, το κέλυφος μπορεί να είναι μικρότερο από 1cm, ενώ σε ένα ψυχρό περιβάλλον το κέλυφος μπορεί να αυξηθεί μερικά εκατοστά υπό του δέρματος (Εικόνα 1.3.1). Η εσωτερική θερμοκρασία σώματος αποτελεί τη θερμοκρασία των ζωτικών οργάνων εντός του εγκεφάλου και του κορμού και είναι φυσιολογικά περίπου 37°C.



Εικόνα 1.3.1 Φυσιολογία του ανθρώπινου σώματος

Στο εσωτερικό του σώματος, η θερμότητα μεταφέρεται με δύο τρόπους: με αγωγή μεταξύ των ιστών, και με συναγωγή μέσω του αίματος, διαδικασία κατά την οποία το αίμα μεταφέρει θερμότητα από θερμότερους ιστούς σε ψυχρότερους ιστούς.

Η ροή θερμότητας με αγωγή είναι ανάλογη της θερμικής αγωγιμότητας των ιστών, της αλλαγής της θερμοκρασίας και της επιφάνειας (κάθετα στη διεύθυνση της ροής) μέσω της οποίας μεταφέρεται η θερμότητα. Όπως φαίνεται στον πίνακα 1.3.2, οι ιστοί δεν είναι σημαντικοί αγωγοί θερμότητας.

	conductivity	rate of heat flow	
	kcal/(s·m·°C)	kcal/h	Watts
Copper	0.092	33,120	38,474
Epidermis	0.00005	18	21
Dermis	0.00009	32	38
Fat	0.00004	14	17
Muscle	0.00011	40	46
Water	0.00014	51	51
Oak (across grain)	0.00004	14	17
Dry air	0.000006	2.2	2.5
Glass fiber insulation	0.00001	3.6	4.2

Πίνακας 1.3.2 Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας και ρυθμός ροής θερμότητας για διάφορα υλικά με επιφάνεια 1 m<sup>2</sup> και πάχος 1 cm, και διαφορά θερμοκρασίας 1 °C ανάμεσα στις δύο πλευρές του υλικού.

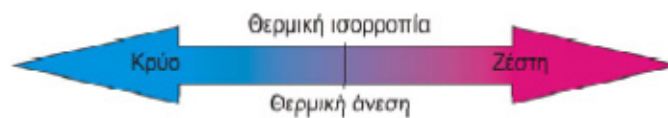
Η ροή θερμότητας με συναγωγή εξαρτάται από τον ρυθμό ροής αίματος και τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του ιστού και του αίματος που τροφοδοτεί τον ιστό. Τα τριχοειδή αγγεία έχουν λεπτούς "τοιίχους" και συνολικά καλύπτουν μεγάλη επιφάνεια, με αποτέλεσμα στα σημεία εκείνα να γίνεται πιο αποτελεσματικά η ανταλλαγή θερμότητας ανάμεσα στον ιστό και στο αίμα.

Η θερμοκρασία δέρματος είναι σημαντικός παράγοντας που καθορίζει την ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον και παρέχει τις απαραίτητες πληροφορίες στο θερμορυθμιστικό σύστημα του σώματος για την ανάγκη διατήρησης ή απώλειας θερμότητας. Η θερμοκρασία δέρματος δεν είναι ομοιόμορφη σε όλη την επιφάνεια του σώματος. Για το λόγο αυτό, καθορίζεται η μέση θερμοκρασία δέρματος ( $T_{sk}$ ) υπολογίζοντας τη θερμοκρασία σε διάφορα επιλεγμένα σημεία του δέρματος και σταθμίζοντάς την ανάλογα με την επιφάνεια που αντιπροσωπεύει. Η θερμοκρασία της επιφάνειας του δέρματος ποικίλλει μεταξύ 31 και 34 °C.

Το ανθρώπινο σώμα διαθέτει ένα θερμορυθμιστικό σύστημα βασισμένο σε θερμικούς αισθητήρες, δηλαδή νεύρα με χαρακτηριστική ευαισθησία στις θερμοκρασιακές αλλαγές τα οποία βρίσκονται τόσο στο δέρμα όσο και στον εγκέφαλο (υποθάλαμος). Η θερμοφυσιολογική προσέγγιση της θερμικής άνεσης σχετίζεται με την ύπαρξη ακριβώς αυτών των θερμικών αισθητήρων και την ενεργοποίησή τους από τις εξωτερικές συνθήκες περιβάλλοντος. Διαχωρίζονται σε ψυχρούς αισθητήρες - ψυχροϋποδοχείς (cold-receptors) και θερμούς αισθητήρες - θερμοϋποδοχείς

(warm-receptors). [7] Οι ψυχροί αισθητήρες αντιδρούν εντονότερα όσο πιο χαμηλές είναι οι θερμοκρασίες, ξεκινώντας από μία συγκεκριμένη οριακή θερμοκρασιακή τιμή, ενώ αντίστοιχα οι θερμοί αισθητήρες αντιδρούν εντονότερα όσο υψηλότερες είναι οι θερμοκρασίες, ξεκινώντας από μία άλλη συγκεκριμένη θερμοκρασιακή τιμή. Κάθε μετατόπιση θερμοκρασίας του ανθρώπινου σώματος ακολουθείται από τη διορθωτική αυτόματη αντίδραση της εφίδρωσης ή του ρίγους. Η αίσθηση του “πολύ ψυχρού” προκαλείται όταν η θερμοκρασία του δέρματος πέφτει κάτω από την συγκεκριμένη οριακή τιμή. Σε αυτή την περίπτωση, ενεργοποιούνται οι αισθητήρες που βρίσκονται στο δέρμα και πληροφορούν άμεσα τον υποθάλαμο. 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. Η αίσθηση του “πολύ θερμού” προκαλείται όταν ξεπεραστεί μία συγκεκριμένη θερμοκρασία πυρήνα. Σε αυτή την περίπτωση, ο υποθάλαμος δίνει εντολή για αγγειοδιαστολή, με αποτέλεσμα τα αγγεία να μεταφέρουν περισσότερο αίμα και θερμότητα στο δέρμα. Αυτή η διαδικασία επιφέρει αύξηση της θερμοκρασίας του δέρματος και κατ’ επέκταση εφίδρωση και εκπομπή θερμότητας προς το περιβάλλον. Η αίσθηση ψύξης στον άνθρωπο συμβαίνει λόγω εξάτμισης του ιδρώτα που έχει εκκριθεί στο δέρμα, αν και υπάρχει μία μικρή απώλεια θερμότητας λόγω εφίδρωσης ακόμα και αν δεν υπάρχει η αίσθηση του ιδρώτα και αντιστοιχεί περίπου σε 7 kcal/hr, ή στο 7% της απώλειας θερμότητας του σώματος.

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 (Εικόνα 1.3.3). Έτσι, σε μια τέτοια κατάσταση ένα άτομο δεν αισθάνεται ούτε κρύο ούτε ζέστη.



Εικόνα 1.3.3 Κατάσταση θερμικής ισορροπίας

### ΘΕΡΜΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ [8], [9]

Η εσωτερική θερμοκρασία σώματος πρέπει να διατηρείται περίπου στους 37 °C, γεγονός που προϋποθέτει τη θερμική ισορροπία μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και του περιβάλλοντος. Η μεταφορά και η παραγωγή θερμότητας μέσα στο σώμα πρέπει να ισοσταθμιστούν με τις θερμικές απώλειες του σώματος. Ο ανθρώπινος οργανισμός προσλαμβάνει ενέργεια από τον μεταβολισμό και συχνά από το γύρω περιβάλλον. Ταυτόχρονα, χάνει ενέργεια μέσω συναγωγής, ακτινοβολίας, εξάτμισης και αγωγής. Αντίθετα με τα ψυχρόαιμα, ο ανθρώπινος οργανισμός δεν μπορεί να αντέξει μεγάλο εύρος θερμοκρασιών πυρήνα, με αποτέλεσμα να πρέπει σε ένα σχετικά μικρό χρονικό διάστημα οι θερμικές πρόσδοδοι να έρθουν σε ισορροπία με τις θερμικές απώλειες.

Η βασική εξίσωση θερμικής ισορροπίας (1.7) για το ανθρώπινο σώμα εκφράζει αυτές τις προσόδους και τις απώλειες ως ανταλλαγές που συμβαίνουν μεταξύ του σώματος και του περιβάλλοντος. Η εξίσωση περιλαμβάνει τρεις τύπους όρων: εκείνους που αφορούν την παραγωγή θερμότητας στο σώμα, τη μεταφορά θερμότητας και την αποθήκευση θερμότητας. Ο μεταβολικός ρυθμός του σώματος (M) προμηθεύει το σώμα με την απαιτούμενη ενέργεια για το μηχανικό έργο (W), και η υπολειπόμενη ενέργεια αποδίδεται ως θερμότητα. Η μεταφορά θερμότητας γίνεται μέσω αγωγής (K), συναγωγής (C), ακτινοβολίας (R), και εξάτμισης (E). Όταν συνδυαστούν μαζί, όλοι οι ρυθμοί παραγωγής και απώλειας θερμότητας δίνουν έναν ρυθμό

αποθήκευσης θερμότητας ( $S$ ). Στην περίπτωση θερμικής ισορροπίας του σώματος, ο ρυθμός αποθήκευσης ενέργειας είναι μηδέν ( $S=0$ ). Αν υπάρχουν καθαρά θερμικά κέρδη, η αποθήκευση ενέργειας θα είναι θετική και η θερμοκρασία σώματος θα ανέβει. Το αντίθετο θα συμβεί εάν υπάρχουν καθαρές θερμικές απώλειες.

$$M - W = E + R + C + K + S \quad (1.7)$$

Στην περίπτωση θερμικής ισορροπίας ( $S=0$ ), η εξίσωση παίρνει τη μορφή:

$$M - W - E - R - C - K = 0 \quad (1.8)$$

όπου ο όρος  $M-W$  είναι πάντα θετικός, και οι όροι  $E, R, C$  και  $K$  εκφράζουν το ρυθμό απώλειας θερμότητας από το σώμα (θετική τιμή για θερμική απώλεια, αρνητική τιμή για θερμικό κέρδος).

Η παραγωγή θερμότητας μέσα στο σώμα ( $M-W$ ) σχετίζεται με τη δραστηριότητα του ατόμου. Γενικά, εισάγεται οξυγόνο στο σώμα μέσω της αναπνοής και μεταφέρεται μέσω του αίματος στα κύτταρα του σώματος όπου χρησιμοποιείται για την καύση της τροφής. Τα μεγαλύτερο ποσό ενέργειας που απελευθερώνεται έχει τη μορφή θερμικής ενέργειας. Ανάλογα με την δραστηριότητα του ατόμου, πραγματοποιείται κάποιο εξωτερικό έργο. Η ενέργεια για το μηχανικό έργο ποικίλλει από μηδέν έως όχι περισσότερο από 25% του συνολικού μεταβολικού ρυθμού.

Οι μονάδες του ρυθμού εισροής ή εκροής ενέργειας είναι ενέργεια ανά δευτερόλεπτο, δηλαδή Joules per second ( $J s^{-1}$ ) ή Watts ( $W$ ). Είναι χρήσιμο να συσχετίζεται ο ρυθμός ανταλλαγής ενέργειας με την επιφάνεια του ανθρώπινου σώματος καταλήγοντας έτσι να χρησιμοποιείται ως μονάδα τα Watts ανά τετραγωνικό μέτρο ( $W m^{-2}$ ) της συνολικής επιφάνειας του σώματος.

Η συνολική επιφάνεια σώματος υπολογίζεται από την απλοποιημένη μορφή της εξίσωσης των Du Bois και Du Bois (1916), η οποία είναι:

$$A_D = 0.202 \times W^{0.425} \times H^{0.725} \quad (1.9)$$

όπου

$A_D$  = επιφάνεια Du Bois ( $m^2$ )

$W$  = βάρος σώματος (kg)

$H$  = ύψος σώματος (m).

Συνήθως χρησιμοποιείται η τιμή  $1.8 m^2$  για άντρα βάρους 70 kg και ύψους 1.73 m.

Η εξίσωση θερμικής ισορροπίας (1.7) που αναλύθηκε παραπάνω αποτελεί μία πιο βασική και θεωρητική μορφή. Για την ανάλυση της ανταλλαγής θερμότητας μεταξύ του σώματος και του περιβάλλοντος, και ως επέκταση την ποσοτικοποίηση των συντελεστών της εξίσωσης και την εξαγωγή αποτελεσμάτων, θα πρέπει να αναγνωριστούν οι συγκεκριμένες οδοί ανταλλαγής θερμότητας του σώματος. Ο Fanger (1970) χρησιμοποιεί την παρακάτω εξίσωση θερμικής ισορροπίας για να ικανοποιήσει τις αναγκαίες (αλλά όχι ικανές) συνθήκες για θερμική άνεση:

$$H - E_{dif} - E_{sw} - E_{res} - C_{res} = R + C \quad (1.10)$$

όπου

$H$  = μεταβολικός ρυθμός

$E_{diff}$  = απώλεια θερμότητας μέσω διάχυσης ατμού από το δέρμα

$E_{sw}$  = ρυθμός εφίδρωσης (sweat rate)  
 $E_{res}$  = απώλεια θερμότητας μέσω αναπνοής (μέσω ακτινοβολίας)  
 $C_{res}$  = απώλεια θερμότητας μέσω αναπνοής (μέσω συναγωγής).

Υπό φυσιολογικές συνθήκες, η ανταλλαγή θερμότητας με αγωγή συχνά θεωρείται αμελητέα. Σύμφωνα με το ASHRAE η εξίσωση θερμικής ισορροπίας παίρνει την παρακάτω μορφή:

$$M - W = Q_{sk} + Q_{res} = (C + R + E_{sk}) + (C_{res} + E_{res}) \quad (1.11)$$

όπου όλοι οι όροι έχουν μονάδα μέτρησης  $W m^{-2}$

$M$  = μεταβολικός ρυθμός παραγωγής ενέργειας

$W$  = ρυθμός μηχανικού έργου

$Q_{sk}$  = συνολικός ρυθμός απώλειας θερμότητας από το δέρμα

$Q_{res}$  = συνολικός ρυθμός απώλειας θερμότητας από την αναπνοή

$C$  = ρυθμός απώλειας θερμότητας από το δέρμα μέσω συναγωγής

$R$  = ρυθμός απώλειας θερμότητας από το δέρμα μέσω ακτινοβολίας

$E_{sk}$  = ρυθμός συνολικής απώλειας θερμότητας από το δέρμα μέσω εξάτμισης

$C_{res}$  = ρυθμός απώλειας θερμότητας από την αναπνοή μέσω συναγωγής

$E_{res}$  = ρυθμός απώλειας θερμότητας από την αναπνοή μέσω ακτινοβολίας.

Ισχύει ότι:

$$E_{sk} = E_{rsw} + E_{dif} \quad (1.12)$$

όπου

$E_{rsw}$  = ρυθμός απώλειας θερμότητας από το δέρμα μέσω εφίδρωσης (εξάτμιση)

$E_{dif}$  = ρυθμός απώλειας θερμότητας από το δέρμα μέσω διάχυσης υγρασίας (εξάτμιση).

Μία πρακτική προσέγγιση λοιπόν περιλαμβάνει την παραγωγή θερμότητας μέσα στο σώμα ( $M - W$ ), την απώλεια θερμότητας από το δέρμα ( $C + R + E_{sk}$ ) και την απώλεια θερμότητας λόγω αναπνοής ( $C_{res} + E_{res}$ ).

## ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ [5], [9], [10], [11]

Οι βασικοί παράγοντες που καθορίζουν την αίσθηση της θερμικής άνεσης σε ένα χώρο χωρίζονται στους περιβαλλοντικούς (θερμοκρασία του αέρα, μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, υγρασία, ταχύτητα του αέρα) και στους προσωπικούς (ρουχισμός, είδος δραστηριότητας). Παρακάτω περιγράφονται όλοι οι παράγοντες θερμικής άνεσης, οι οποίοι μάλιστα μας απασχόλησαν στο κομμάτι των επιτόπου μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στην εργασία αυτή.

### Θερμοκρασία αέρα

Η θερμοκρασία αέρα ορίζεται ως "η θερμοκρασία ξηρού βολβού του αέρα που περιβάλλει τους χρήστες" ενός χώρου (ASHRAE 55-1992). Η θερμοκρασία ξηρού βολβού είναι σημαντική για τη ρύθμιση της άνεσης, ειδικά σε κρύες συνθήκες και σχετική υγρασία μεταξύ 40-60%. Η θερμοκρασία του αέρα αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές παραμέτρους της θερμικής άνεσης και είναι υπεύθυνη για την αίσθηση "ζέστης" ή "κρύου" στο εσωτερικό ενός χώρου καθώς το μεγαλύτερο ποσοστό της θερμότητας που αποβάλλεται από το σώμα μεταφέρεται στο περιβάλλον, ανάλογα με τη θερμοκρασία που επικρατεί σε αυτό. Οι παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμοκρασία στο εσωτερικό των κτιρίων μπορούν να ενταχθούν σε τρεις κατηγορίες: το εξωτερικό περιβάλλον, το σχεδιασμό του κτιρίου και το σύστημα θέρμανσης, ψύξης και αερισμού.

Το πρόβλημα που εντοπίζεται στη μελέτη της θερμοκρασίας ως παραμέτρου της θερμικής

άνεσης έγκειται στο γεγονός ότι δεν υπάρχει μία τιμή της θερμοκρασίας που να αποτελεί τη βέλτιστη λύση, αλλά ένα πεδίο τιμών της ως συνάρτηση και άλλων παραγόντων. Το ανθρώπινο σώμα 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.

### 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 που περιγράφει τον υπολογισμό της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας είναι:

$$T_{mrt} = \sqrt[4]{\sum_n F_{p-i} \times (T_i + 273)^4} - 273 \quad (1.13)$$

όπου  $F_{p-i}$  ο συντελεστής γωνίας μεταξύ του ατόμου και της επιφάνειας  $i$ ,  $\sum_n F_{p-i} = 1$  και  $T_i$  η θερμοκρασία επιφανείας της επιφάνειας  $i$  (°C).

Για τον υπολογισμό της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας απαιτείται ο υπολογισμός του συντελεστή γωνίας μεταξύ του ατόμου και της εξεταζόμενης επιφάνειας και η προσφυγή σε πίνακες των προτύπων ASHRAE 55-92 και ISO 7730 για τους συντελεστές γωνίας.

Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας καθορίζει την ανταλλαγή θερμότητας λόγω ακτινοβολίας μεταξύ του σώματος και του περιβάλλοντος. Σε χαμηλές ταχύτητες αέρα κοντά στα 0.1 m/s, η αύξηση της θερμοκρασίας αέρα κατά 1 °C προκαλεί το ίδιο θερμικό αποτέλεσμα με την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας κατά 1 °C.

### Υγρασία

Η υγρασία ορίζεται ως το ποσό των υδρατμών που υπάρχει στον αέρα. Η σχετική υγρασία, που χρησιμοποιείται στην αξιολόγηση της θερμικής άνεσης, εκφράζεται ως το ποσοστό της υγρασίας που περιέχεται σε ένα δείγμα αέρα προς την υγρασία που θα περιείχε το ίδιο δείγμα αέρα, εάν ήταν κορεσμένο στην ίδια θερμοκρασία και ατμοσφαιρική πίεση. Η σχετική υγρασία επενεργεί στην εξάτμιση του νερού από την επιδερμίδα μεταβάλλοντας τη θερμοκρασία του δέρματος και επηρεάζοντας το θερμικό ισοζύγιο του σώματος. Η χαμηλή σχετική υγρασία αέρα ενισχύει την αποβολή νερού από το ανθρώπινο σώμα μέσω της εξάτμισης του ιδρώτα, προκαλώντας έτσι μία αίσθηση δροσισμού. Η υψηλή σχετική υγρασία παρεμποδίζει την αποβολή θερμότητας από το σώμα δηλαδή την εξάτμιση του ιδρώτα. Τα επιτρεπτά όρια σχετικής υγρασίας του αέρα δεν είναι απόλυτα σαφή, όμως είναι κοινώς αποδεκτό ότι η σχετική υγρασία σε εσωτερικό χώρο πρέπει να βρίσκεται μεταξύ 30-70%. Υγρασία κάτω από 30% προκαλεί προβλήματα στους βλεννογόνους, στο λαιμό και στην όραση, ενώ υγρασία άνω του 70% δύναται να δημιουργήσει μούχλα στο χώρο.

### Ταχύτητα του αέρα

Η αίσθηση θερμικής άνεσης επηρεάζεται από την κίνηση του αέρα γύρω από το ανθρώπινο σώμα. Η ταχύτητα του αέρα καθορίζει το ρυθμό ανταλλαγής θερμότητας με συναγωγή μεταξύ του ανθρωπίνου σώματος και του περιβάλλοντος καθώς και την περιεκτικότητα του αέρα σε υδρατμούς. Η απώλεια θερμότητας με συναγωγή από το ανθρώπινο σώμα εξαρτάται από την ένταση του αέρα και τη θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στο δέρμα και το περιβάλλον. Έτσι, στην περίπτωση που η θερμοκρασία του αέρα είναι χαμηλότερη από εκείνη του σώματος, η δημιουργία ρεύματος προκαλεί αίσθηση ψύχους και κατ' επέκταση δυσφορία στους ενοίκους.



Στην αντίθετη περίπτωση κατά την οποία η θερμοκρασία του αέρα είναι υψηλότερη από εκείνη του σώματος, η υψηλή ταχύτητα αέρα αυξάνει το ρυθμό εφίδρωσης και προκαλεί την αίσθηση δροσισμού ενώ ταυτόχρονα εκμηδενίζει την αρνητική επίδραση της τυχούσας υψηλής υγρασίας. Η επίδραση που έχει η κίνηση του αέρα στο σώμα εξαρτάται επιπλέον από το ρουχισμό του ατόμου, το είδος της δραστηριότητάς και από το μέρος του σώματος στο οποίο δέχεται το ρεύμα αέρα. Η ταχύτητα του αέρα σε φυσικά αεριζόμενα κτίρια είναι κοντά στα 0,1 m/s. Σύμφωνα με το πρότυπο ASHRAE 55-92, το ανώτατο επιτρεπτό όριο ταχύτητας αέρα σε εσωτερικό χώρο είναι 0.8 m/s.

### Θερμοκρασία λειτουργίας

Θεωρείται σκόπιμο να περιγραφεί και η θερμοκρασία λειτουργίας καθώς αποτελεί ένα συνδυασμό της θερμοκρασίας του αέρα, της μέσης ακτινοβολούμενης θερμοκρασία και της ταχύτητας του αέρα. Ορίζεται ως η ενιαία θερμοκρασία ενός φανταστικού χώρου, στον οποίο το άτομο θα ανταλλάσσει το ίδιο ποσό θερμότητας, με ακτινοβολία και μεταφορά, όπως στο πραγματικό περιβάλλον. Πρόκειται για μία συνδυαστική παράμετρο και χρησιμοποιείται στην περιγραφή των συνθηκών εσωτερικού χώρου. Η σχέση (1.14) περιγράφει τον υπολογισμό της:

$$T_{op} = A \cdot T_a + (1 - A) \cdot T_r \quad (1.14)$$

όπου

$T_{op}$  = θερμοκρασία λειτουργίας

$T_a$  = θερμοκρασία του αέρα

$T_r$  = μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας,

και η τιμή A λαμβάνεται από τον παρακάτω πίνακα σύμφωνα με την ταχύτητα του αέρα,  $v_r$ .

$v_r$	< 0.2 m/s (< 40 fpm)	0.2 to 0.6 m/s (40 to 120 fpm)	0.6 to 1.0 m/s (120 to 200 fpm)
A	0.5	0.6	0.7

### Ρουχισμός και είδος δραστηριότητας

Ανάλογα με το είδος δραστηριότητας, πραγματοποιούνται αντιδράσεις του μεταβολισμού προκειμένου να αντισταθμιστούν οι θερμικές απώλειες προς το περιβάλλον και να διατηρηθεί το σώμα σε μία εσωτερική θερμοκρασία  $37 \pm 0.5$  °C. Το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας εκλύεται στο περιβάλλον μέσω της επιφάνειας του δέρματος γεγονός που οδήγησε στην έκφραση του μεταβολισμού ως  $W/m^2$ . Θεωρώντας λοιπόν ότι ένας μέσος άνθρωπος έχει εμβαδόν επιφάνειας σώματος περίπου  $1.8$   $m^2$  και γνωρίζοντας ότι η θερμότητα που παράγει ένας μέσος ενήλικας κατά την ανάπαυση είναι περίπου  $100$  W, προκύπτει ότι ο μεταβολισμός ενός μέσου ενήλικα, κατά την ανάπαυση, ισοδυναμεί με  $58.2$   $W/m^2$ , ή ισούται με  $1$  met. Το met αποτελεί τη βασική μονάδα μέτρησης του μεταβολισμού. Ένας αποτελεσματικός τρόπος ρύθμισης της ανταλλαγής θερμότητας μεταξύ του ανθρωπίνου σώματος και του περιβάλλοντος είναι το είδος ρουχισμού του ατόμου. Ο ρουχισμός λειτουργεί ως μηχανισμός θερμικής αντίστασης για το σώμα. Η μονάδα ρουχισμού είναι το clo, ισοδυναμεί με  $0.155$   $m^2 \times K/Watt$  (ASHRAE 55-92) και εκφράζει τη θερμική μόνωση που παρέχουν τα ενδύματα στο σώμα. Στον υπολογισμό του επιπέδου ρουχισμού πρέπει να συνυπολογίζεται η επίδραση των επίπλων.

### ΤΟΠΙΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΥΣΦΟΡΙΑ

Τοπική θερμική δυσφορία μπορεί να προκληθεί από την κάθετη διαφορά θερμοκρασίας αέρα ανάμεσα στα πόδια και στο κεφάλι, από ασυμμετρία στη θερμική ακτινοβολία, από τοπικά ρεύματα αέρα και από την επαφή με ένα ζεστό ή κρύο πάτωμα. Όλες οι παραπάνω παράμετροι

πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν κατά την αξιολόγηση της θερμικής άνεσης. Ο άνθρωπος είναι λιγότερο ευαίσθητος θερμικά σε υψηλότερους ρυθμούς μεταβολισμού (>1.3 met) και με αυξημένο επίπεδο ρουχισμού (>0.7 clo), μειώνοντας ταυτόχρονα τον κίνδυνο για τοπική θερμική δυσφορία.

Η **ασυμμετρία θερμικής ακτινοβολίας** επηρεάζει την αίσθηση θερμικής άνεσης ενός χώρου. Το πεδίο θερμικής ακτινοβολίας γύρω από το σώμα μπορεί να παρουσιάζει ανομοιομορφία λόγω ψυχρών και θερμών επιφανειών και άμεσης ακτινοβολίας ηλίου, οδηγώντας έτσι σε ασυμμετρία και τοπική θερμική δυσφορία. Γενικά, το ανθρώπινο σώμα είναι πιο ευαίσθητο σε ασυμμετρία θερμικής ακτινοβολίας λόγω θερμής οροφής από ότι λόγω θερμών ή ψυχρών κάθετων επιφανειών. Πειράματα έχουν δείξει ότι θερμά ταβάνια και κρύα παράθυρα προκαλούν την μεγαλύτερη δυσφορία, ενώ κρύα ταβάνια και ζεστοί τοίχοι την μικρότερη.

Τα **ρεύματα** δημιουργούν ανεπιθύμητη τοπική αίσθηση ψυχρότητας στο σώμα λόγω της κίνησης του αέρα. Η αίσθηση των ρευμάτων και το ποσό θερμότητας που χάνεται από το δέρμα λόγω των ρευμάτων εξαρτάται από την ταχύτητα του αέρα, την θερμοκρασία του αέρα, την ένταση στροβιλισμού του αέρα, τη δραστηριότητα και το είδος ρουχισμού του ατόμου. Το ανθρώπινο σώμα είναι πιο ευαίσθητο στα ρεύματα στα σημεία του δέρματος που δεν είναι καλυμμένα με ρουχισμό και κυρίως στην περιοχή του προσώπου, στο λαιμό και στα άκρα.

Η **κάθετη διαφορά θερμοκρασίας αέρα** εκφράζεται ως η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας αέρα στο επίπεδο των αστραγάλων και στο επίπεδο του λαιμού. Όταν η θερμοκρασία αέρα στο επίπεδο του λαιμού είναι υψηλότερη από εκείνη στο επίπεδο των αστραγάλων υπάρχει πιθανότητα δημιουργίας τοπικής θερμικής δυσφορίας. Η αντίθετη περίπτωση είναι σπάνια. Σύμφωνα με το πρότυπο ASHRAE 55-92, το αποδεκτό όριο διαφοράς θερμοκρασίας αέρα μεταξύ αστραγάλων και λαιμού είναι 3 °C.

Η **θερμοκρασία πατώματος** μπορεί να προκαλέσει τοπική θερμική δυσφορία στους ενοίκους λόγω μεταφοράς θερμότητας από τα πόδια στο πάτωμα. Αυτή η μεταφορά θερμότητας εξαρτάται από την αγωγιμότητα και την θερμοχωρητικότητα του πατώματος καθώς και από το υλικό των υποδημάτων των ποδιών. Έτσι, ο φελλός φαίνεται ζεστός ενώ το μάρμαρο κρύο, γεγονός που οφείλεται στις διαφορετικές τιμές αγωγιμότητας και θερμοχωρητικότητας. Στην περίπτωση που οι ένοικοι φορούν συνήθη υποδήματα εσωτερικού χώρου, το υλικό του πατώματος έχει λιγότερη σημασία. Ωστόσο, το πρότυπο ISO 7730 θέτει για την περίπτωση αυτή ένα αποδεκτό εύρος τιμών για την θερμοκρασία πατώματος μεταξύ 19 °C και 29 °C.

## ΚΛΙΜΑΚΑ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ

Η θεωρία του P. O. Fanger ανέδειξε ένα μοντέλο υπολογισμού δύο δεικτών για την εξαγωγή συμπερασμάτων για την αίσθηση του θερμικού περιβάλλοντος που επικρατεί σε ένα χώρο. Πρόκειται για το δείκτη της μέσης προβλεπόμενης τιμής ψηφοφορίας PMV (Predicted Mean Vote) και το δείκτη δυσαρέσκειας των ανθρώπων ή αλλιώς δείκτη PPD (Predicted Percent of Dissatisfied people). Το μοντέλο αυτό μπορεί να εφαρμοσθεί σε περιπτώσεις αξιολόγησης χώρων όπου η ταχύτητα αέρα δεν ξεπερνά τα 0.2 m/s, ο μεταβολικός ρυθμός βρίσκεται μεταξύ 1.0 met και 2.0 met, και το επίπεδο ρουχισμού είναι κάτω από 1.5 clo.

Ο δείκτης PMV βασίζεται στις αρχές του θερμικού ισοζυγίου συνδέοντας τους 6 βασικούς παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική άνεση και αναλύθηκαν παραπάνω. Η σχέση (1.15) περιγράφει τον υπολογισμό του δείκτη PMV:

$$PMV = (0.303 \cdot e^{-0.036 \cdot M} + 0.028) \cdot [(M - W) - H - E_c - C_{res} - E_{res}] \quad (1.15)$$

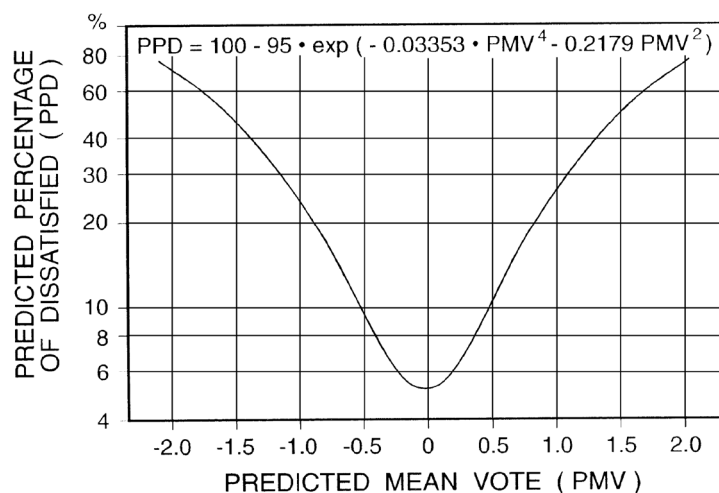
Ο δείκτης PMV είναι μια κλίμακα 7 σημείων και αποτελεί τη μέση τιμή εκτίμησης της θερμικής άνεσης από τα άτομα που βρίσκονται μέσα σε ένα χώρο με δεδομένες συνθήκες. Η μηδενική τιμή είναι η τιμή στην οποία το άτομο αισθάνεται άνετα με τις θερμικές συνθήκες.

+3 hot  
+2 warm  
+1 slightly warm  
0 neutral  
-1 slightly cool  
-2 cool  
-3 cold

Ο δείκτης PPD εκφράζει το ποσοστό των ατόμων που βρίσκονται σε ένα χώρο και δηλώνουν ότι δεν αισθάνονται θερμικά άνετα σε σχέση με το συνολικό αριθμό των ατόμων που βρίσκονται στον χώρο αυτό. Γίνεται η παραδοχή ότι τα άτομα που ψηφίζουν +2, +3, -2 και -3 στην κλίμακα PMV δεν είναι ικανοποιημένα με τις θερμικές συνθήκες του χώρου. Η σχέση (1.16) περιγράφει τον υπολογισμό του δείκτη PPD:

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-(0.03353 \cdot PMV^4 + 0.2179 \cdot PMV^2)} \quad (1.16)$$

Ο δείκτης PPD σχετίζεται με τον δείκτη PMV όπως φαίνεται στο διάγραμμα της εικόνας 1.3.4. Σύμφωνα με αυτό, φαίνεται ότι ακόμη και αν ο δείκτης PMV = 0, δηλαδή βρισκόμαστε σε κατάσταση θερμικής άνεσης, θα υπάρχει πάντα ένα ποσοστό PPD = 5% των ατόμων που θα είναι δυσαρεστημένοι με τις θερμικές συνθήκες του εξεταζόμενου χώρου. Επίσης, στις ακραίες τιμές, που είναι PMV = +3 ή -3, ο δείκτης PPD = 99,12%, γεγονός που σημαίνει ότι ακόμη και σε συνθήκες πολύ ζέστης ή κρύου θα υπάρχει πάντα ένα ποσοστό ατόμων, περίπου 1%, που θα είναι ικανοποιημένοι με τις θερμικές συνθήκες.



Εικόνα 1.3.4 Σχέση δείκτη PMV και δείκτη PPD

Σε πολλές χώρες όπου έχει γίνει αποδεκτή η θεωρία του Fanger, θεωρείται ότι η κατάσταση που επικρατεί σε έναν χώρο θα είναι ικανοποιητική, όταν το ποσοστό των δυσαρεστημένων (PPD) δε θα ξεπερνά το 10%.

## ΠΡΟΤΥΠΑ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ

Τα υπάρχοντα πρότυπα θερμικής άνεσης θεωρούν το κτίριο ως ένα σύστημα, το οποίο αλληλεπιδρά με εξωτερικά και εσωτερικά στοιχεία, προδιαγράφοντας τις “ιδανικές” συνθήκες θερμικής άνεσης, βασισμένες σε ένα μοντέλο ανταλλαγής θερμότητας του σώματος με το περιβάλλον. Ωστόσο, η προσέγγιση αυτή απέχει πολύ από τη δυναμική κατάσταση ενός πραγματικού κτιρίου. Είναι σαφές ότι η εφαρμογή ενός προτύπου που αναπτύχθηκε σε ερευνητικό περιβάλλον, άρα και ελεγχόμενο, δεν μπορεί να ανταποκριθεί αξιόπιστα στις πραγματικές συνθήκες ενός δυναμικού εσωτερικού περιβάλλοντος, όπως αυτό των κτιρίων. Τα σημερινά πρότυπα θερμικής άνεσης ISO 7730 και ASHRAE 55 βασίζονται στο στατικό μοντέλο θερμικής άνεσης σύμφωνα με το οποίο ο άνθρωπος θεωρείται ως παθητικός αποδέκτης θερμικών ερεθισμάτων και η αλληλεπίδρασή του με το θερμικό περιβάλλον διαμορφώνεται αποκλειστικά με τους νόμους της φυσικής που περιγράφουν το φαινόμενο της μετάδοσης θερμότητας. Η διεθνής εφαρμογή των προτύπων της Αμερικανικής Επιστημονικής Εταιρίας Θέρμανσης Ψύξης και Κλιματισμού ASHRAE 55 – 92 και του Διεθνούς προτύπου ISO 7730, ανεξαρτήτως του κλίματος, του γεωγραφικού πληθυσμού και του τύπου του κτιρίου, έχει αναγνωριστεί ως προβληματική. Έτσι, σήμερα εκφράζονται μεγάλες διαφωνίες από μια μεγάλη μερίδα ερευνητών για την καθολική ισχύ των υπάρχοντων προτύπων θερμικής άνεσης. Ενώ τα πρότυπα λοιπόν είχαν αναπτυχθεί για κτίρια με κεντρικά συστήματα κλιματισμού, η χρήση τους έχει λάβει γενικό χαρακτήρα και εφαρμόζονται σε όλους τους τύπους κτιρίων, υπό οποιοδήποτε κλίμα και για οποιοδήποτε πληθυσμό. Ωστόσο τα τελευταία χρόνια αναπτύχθηκε η δυναμική θεωρία της θερμικής άνεσης που συμπληρώνει την κλασική αναγνωρίζοντας την ικανότητα του ανθρώπου να προσαρμόζεται στις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες και μάλιστα με μηχανισμούς που ξεπερνούν τη φυσική ή τη φυσιολογία και επεκτείνονται και στην ανθρώπινη ψυχολογία. Η διαφορετική προσέγγιση από τη μέχρι τώρα συμβατική θεωρία της θερμικής άνεσης, εισάγει καινούργιους παράγοντες όπως δημογραφικοί, ψυχολογικοί κ.α.

## 1.4 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ <sup>[12], [13]</sup>

Ο βασικός τρόπος προσδιορισμού της τοξικότητας ενός υλικού είναι ο προσδιορισμός της εσωτερικής περιβαλλοντικής ποιότητας (Indoor Environmental Quality – IEQ), και πιο συγκεκριμένα της εσωτερικής ποιότητας του αέρα (Indoor Air Quality – IAQ). Η εσωτερική ποιότητα του αέρα προσδιορίζεται κυρίως σε κομμάτια ανά εκατομμύριο (parts per million – ppm) της εξεταζόμενης ουσίας και συγκρίνεται με τα οριακά επίπεδα που έχουν οριστεί από γιατρούς τα οποία δηλώνουν τα σημεία κατά τα οποία ο κίνδυνος για της υγεία του χρήστη μετατρέπεται από αμελητέος σε σημαντικός. Είναι λοιπόν φανερό ότι η επιλογή των υλικών δόμησης έχει μεγάλο αντίκτυπο στην ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος.

Η εσωτερική ποιότητα αέρα (IAQ – Indoor Air Quality) αποτελεί ένα σύνθετο περιβαλλοντικό ζήτημα και είναι στενά συνδεδεμένη τόσο με την υγεία όσο και με την άνεση των ανθρώπων. Η ρύπανση του αέρα στο εσωτερικό των κτιρίων εμφανίζεται έντονα στις βιομηχανικά ανεπτυγμένες χώρες καθιστώντας επιτακτική την ανάγκη μελέτης του ζητήματος. Σύμφωνα με έρευνες, στις βιομηχανικά ανεπτυγμένες χώρες οι άνθρωποι ξοδεύουν κατά μέσο όρο το 80 με 90% του χρόνου τους στο εσωτερικό περιβάλλον. Τα ποσοστά διαφοροποιούνται ελαφρώς ανάλογα με το είδος της πληθυσμιακής ομάδας. Για παράδειγμα, οι νοικοκυρές, οι ηλικιωμένοι και τα παιδιά προσχολικής ηλικίας περνούν περισσότερες ώρες στο σπίτι, ενώ οι εργαζόμενοι μοιράζουν το χρόνο που περνούν σε εσωτερικούς χώρους ανάμεσα στο σπίτι, το χώρο εργασίας και τα μέσα μεταφοράς.

Ένα εσωτερικό περιβάλλον οφείλει να προάγει την άνεση και την υγιεινή διαβίωση των ενοίκων. Περιβαλλοντικοί παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, το επίπεδο φωτισμού και το επίπεδο ήχου επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα την αντίληψη της ποιότητας αέρα του ένοικου και συχνά μεταβάλλουν τη χημική κατάσταση πολλών ρυπαντών καθιστώντας τους πιο επικίνδυνους. Συγκεκριμένα, οι υψηλές τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας προκαλούν την αύξηση του ρυθμού εξάτμισης ή εξάχνωσης των οργανικών χημικών όπως η φορμαλδεΐδη. Ακόμη, η αυξημένη υγρασία ευνοεί την ανάπτυξη μικροοργανισμών ενώ η μειωμένη βαρομετρική πίεση στο εσωτερικό ενός κτιρίου συγκριτικά με το εξωτερικό περιβάλλον δύναται να αυξήσει το ρυθμό εισροής ραδονίου (και άλλων αερίων του εδάφους) στο εσωτερικό. Παράγοντες που σχετίζονται με τον ίδιο τον ένοικο, όπως η ηλικία, το φύλο, η διατροφή, η κατάσταση υγείας, οι προσωπικές συνήθειες, επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την αίσθηση της ποιότητας του αέρα. Σε περίπτωση που δεν ικανοποιούνται οι προϋποθέσεις ποιότητας αέρα, οι ένοικοι μπορεί να παραπονεθούν για συμπτώματα όπως πονοκέφαλοι, κάψιμο ή φαγούρα στα μάτια, αναπνευστικές δυσκολίες, ναυτία και κούραση. Τα συμπτώματα αυτά είναι συνήθως αποτέλεσμα πολλών ωρών έκθεσης σε ανεπιθύμητα αέρια και ρυπαντές, ενώ μπορεί να εξαφανιστούν έπειτα από την αποχώρηση του ένοικου από τον συγκεκριμένο χώρο. Υπάρχουν διάφοροι εθνικοί κανονισμοί που καθορίζουν ορισμένα πρότυπα σχετικά με τη συγκέντρωση των ρύπων στο εσωτερικό περιβάλλον. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στα όρια του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (World Health Organization – WHO), τις Ευρωπαϊκές Οδηγίες και το πρότυπο 62 ASHRAE.

Είναι γνωστό ότι ο ενεργειακά αυτόνομος σχεδιασμός των κτιρίων του 1970 οδήγησε σε πιο «κλειστά» κτιριακά περιβλήματα με αποτέλεσμα οι εσωτερικοί ρυπαντές να μην αραιώνονται ικανοποιητικά με καθαρό αέρα. Ταυτόχρονα, υπάρχει αύξηση των πηγών ρύπανσης στους εσωτερικούς χώρους με πολλά νέα υλικά δόμησης, προϊόντα επίπλωσης, καθαριστικά, παρασιτοκτόνα και προϊόντα περιποίησης να αποβάλλουν πιθανώς επικίνδυνα χημικά στον αέρα. Ακόμη, ο ανθρώπινος παράγοντας συμβάλει σημαντικά στην ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος καθώς η ύπαρξη πολλών ανθρώπων, μέσω της αναπνοής, της αποβολής των σωματικών οσμών αλλά και του καπνίσματος, επηρεάζει την ποιότητα αέρα.

Ο εξαερισμός αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα της ποιότητας αέρα του εσωτερικού χώρου καθώς είναι απαραίτητος για να αραιώσει και να εξαντλήσει τους εσωτερικούς ρύπους. Υπάρχουν δύο μορφές εξαερισμού, ο φυσικός και ο μηχανικός αερισμός. Ο φυσικός εξαερισμός στηρίζεται είτε στον αέρα που εισάγεται μέσω των αρμών των ανοιγμάτων (διήθηση - infiltration) είτε τον άμεσο και εκτεταμένο εξαερισμό (ventilation) λόγω των ανοικτών παραθύρων και άλλων σχεδιασμένων σημείων εισόδων και εξόδων (παθητικός εξαερισμός) για να εισαγάγουν το φρέσκο αέρα στο εσωτερικό ενός κτιρίου. Το πρόβλημα με τον φυσικό αερισμό είναι η ανομοιομορφία του καθώς κάποιες φορές είναι λιγότερος από τον επιθυμητό ενώ άλλες περισσότερος. Ο μηχανικός εξαερισμός βασίζεται στη χρήση ανεμιστήρων για να εισαγάγει τον καθαρό αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον στο εσωτερικό και να αποβάλει τον πολυδιατηρημένο αέρα από το εσωτερικό του κτιρίου στο εξωτερικό περιβάλλον. Τα συστήματα μηχανικού εξαερισμού εμφανίστηκαν τις δεκαετίες 1960 και 1970. Η ρύπανση των εσωτερικών χώρων είναι ένα φαινόμενο που συμβαίνει ιδιαίτερα σε κτίρια που δεν αερίζονται σωστά, είτε γιατί έχει περιορισθεί ο φυσικός εξαερισμός, με στόχο τον περιορισμό της κατανάλωσης ενέργειας, είτε γιατί χρησιμοποιούνται συστήματα που ανακυκλώνουν τον αέρα ή μέσα θέρμανσης που δεν εξαερίζονται. Όσο πιο στεγανά και «θερμικά» κλειστά είναι τα κτίρια, τόσο αυξάνεται η συγκέντρωση ρύπων στον εσωτερικό αέρα. Τελευταία επικρατεί η προσπάθεια συνδυασμού του φυσικού και μηχανικού αερισμού με υβριδικά συστήματα για τον καλύτερο έλεγχο της κίνησης του αέρα σε ένα χώρο ανάλογα με την εποχή, τις κλιματικές συνθήκες και τις εκάστοτε ανάγκες.

Έρευνες καταδεικνύουν την ύπαρξη τουλάχιστον 900 διαφορετικών ρυπαντών στους εσωτερικούς χώρους, οι οποίοι εξαρτώνται από τις συγκεκριμένες δραστηριότητες του κάθε χώρου. Οι βασικότερες μορφές ρυπαντών παρουσιάζονται παρακάτω:

**Σκόνη:** Στερεά σωματίδια παραγόμενα από το χειρισμό, το θρυμματισμό, το άλεσμα, τη θερμική διάσπαση οργανικών ή ανόργανων υλικών, όπως ορυκτά, μέταλλα, άνθρακας και ξύλο. Οι σκόνες γενικά δεν παθαίνουν κροκίδωση, εκτός από την περίπτωση ύπαρξης ηλεκτροστατικών δυνάμεων, και δεν διαχέονται στον αέρα αλλά επικάθονται υπό την επιρροή της βαρύτητας.

**Αέριο:** Μία κατάσταση της ύλης κατά την οποία το υλικό έχει πολύ χαμηλή πυκνότητα και ιξώδες, μπορεί να εξαπλωθεί και να συρρικνωθεί λόγω της μεταβολής της θερμοκρασίας και της πίεσης. Ακόμη διαχέεται εύκολα σε άλλα αέρια και μπορεί να διανεμηθεί εύκολα και ομοιόμορφα σε οποιοδήποτε δοχείο. Ένα αέριο μπορεί να πάρει υγρή ή στερεή μορφή μόνο υπό την συνδυασμένη επιρροή αυξημένης πίεσης και μειωμένης θερμοκρασίας (κάτω από την κρίσιμη θερμοκρασία).

**Ατμός:** Η αέρια μορφή των ουσιών που βρίσκονται κανονικά στην στερεή ή την υγρή κατάσταση (σε θερμοκρασία και πίεση δωματίου). Ο ατμός μπορεί να επιστρέψει στην υγρή ή τη στερεή κατάσταση είτε μόνο αυξάνοντας την πίεση είτε μόνο μειώνοντας τη θερμοκρασία. Ο ατμός διαχέεται επίσης. Η εξάτμιση είναι η διαδικασία κατά την οποία ένα υγρό μετατρέπεται σε ατμό και αναμειγνύεται στον αέρα.

**Αερόλυμα:** Σωματίδια (αιώρημα σωματιδίων), είτε υγρής είτε στερεής μορφής είτε συνδυασμός των δύο, εγκλεισμένα σε αέριο μέσο και τα οποία έχουν τέτοιο μέγεθος (0.01 – 100 μm) ώστε να παραμένουν διασκορπισμένα στο αέριο μέσο για αρκετό χρονικό διάστημα.

Οι βασικοί ρυπαντές του αέρα παρουσιάζονται παρακάτω:

**Μονοξείδιο του άνθρακα (CO):** Πρόκειται για ένα άχρωμο και άοσμο αέριο που παράγεται από την ατελή καύση οποιουδήποτε καύσιμου περιέχει άτομα υδρογόνου. CO εκπέμπεται από τα αέρια των συστημάτων θέρμανσης και τα τσιγάρα, ενώ μεγάλες ποσότητες CO εμπεριέχονται στα καυσαέρια των αυτοκινήτων ή παράγονται από βιομηχανικές δραστηριότητες και εισέρχονται στους εσωτερικούς χώρους με τη διείσδυση του εξωτερικού αέρα. Το CO είναι ένα χημικό ασφυξιογόνο το οποίο εμποδίζει το οξυγόνο να περάσει στους ιστούς του σώματος. Φυσιολογικά, το οξυγόνο μεταφέρεται από τους πνεύμονες στους ιστούς του σώματος μέσω της αιμοσφαιρίνης υπό μορφή οξυαιμοσφαιρίνης (O<sub>2</sub>Hb). Όταν το CO είναι παρόν, εμπλέκεται με την αιμοσφαιρίνη, καθώς είναι 200 φορές πιο δραστικό από το O<sub>2</sub>, σχηματίζοντας καρβοξυαιμοσφαιρίνη (COHb). Ως αποτέλεσμα η αιμοσφαιρίνη δεν είναι ικανή να μεταφέρει το O<sub>2</sub>. Μεγάλη σημασία έχει ο χρόνος έκθεσης στο μονοξείδιο του άνθρακα. Η συγκέντρωση CO στην ατμόσφαιρα συνήθως εκφράζεται ως ποσοστό κατ' όγκο ή ως parts per million (ppm), αλλά και ως mg/m<sup>3</sup> (1 ppm είναι περίπου 1145 mg/m<sup>3</sup>). Σύμφωνα με την ASHRAE το όριο έκθεσης σε CO είναι 9 ppm για οκτάωρη έκθεση (8h), ενώ η T.O.T.E.E. 2425/86 και το Π.Δ. 90/99 θέτουν ως μέγιστη επιτρεπτή συγκέντρωση τα 55 mg/m<sup>3</sup>.

**Διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>):** Πρόκειται για ένα άχρωμο και άοσμο αέριο. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) αποτελεί φυσικό συστατικό της ατμόσφαιρας και εμπεριέχεται σε αυτή σε ποσοστό 0.035%. Επίσης, μικρές ποσότητες CO<sub>2</sub> είναι παρούσες στον ανθρώπινο οργανισμό καθώς CO<sub>2</sub> παράγεται μέσω του μεταβολισμού και υπάρχει διαλυμένο στο αίμα, ενώ CO<sub>2</sub> εκκρίνεται από το σώμα με την εκπνοή. Το CO<sub>2</sub> είναι επίσης κύριο προϊόν των καύσεων. Σε συγκεντρώσεις πάνω από 1.5 % η αναπνοή επηρεάζεται και γίνεται πιο γρήγορη και πιο δύσκολη. Συγκεντρώσεις άνω του 3 % προκαλούν πονοκέφαλο, ζάλη και ναυτία, ενώ συγκεντρώσεις άνω του 6% μπορεί να οδηγήσουν σε λήθαργο και θάνατο. Σύμφωνα με την ASHRAE το όριο συγκέντρωσης CO<sub>2</sub> για συνεχή 8ωρη έκθεση είναι τα 1001 ppm, ενώ σύμφωνα με τη World Health Organization τα 1800 mg/m<sup>3</sup>. Σύμφωνα με την T.O.T.E.E. 2425/86 και το Π.Δ. 90/99, η μέγιστη επιτρεπτή συγκέντρωση είναι 9000 mg/m<sup>3</sup>. Παρόλα αυτά, τιμές CO<sub>2</sub> μεγαλύτερες των 850 ppm θεωρούνται πλέον οριακά ανεκτές.

**Διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>):** Είναι ένα άχρωμο αέριο με έντονη διαπεραστική οσμή η οποία γίνεται αντιληπτή σε συγκέντρωση περίπου 0.5 ppm. Το SO<sub>2</sub> διαλύεται στο νερό και επηρεάζει αρνητικά κυρίως την επάνω αναπνευστική οδό. Παράγεται κυρίως από την καύση των ορυκτών καυσίμων. Έρευνες έχουν καταδείξει ότι περίπου το 5% του πληθυσμού είναι ευαίσθητοι στο SO<sub>2</sub>. Η συγκέντρωση SO<sub>2</sub> συνήθως εκφράζεται ως parts per million (ppm) ή ως mg/m<sup>3</sup> (1 ppm είναι περίπου 2660 mg/m<sup>3</sup> στους 20°C). Οι υγιείς ενήλικες παρουσιάζουν αρνητικές επιπτώσεις σε συγκεντρώσεις από 0.75 έως 1.0 ppm, ενώ οι ασθματικοί παρουσιάζουν αυξημένη αντίσταση στην αναπνευστική οδό σε συγκεντρώσεις 0.4 ppm για διάρκεια 10 λεπτών, τόσο κατά την άσκηση όσο και κατά την ανάπαυση. Το όριο συγκέντρωσης για 8ωρη έκθεση είναι 5 mg/m<sup>3</sup> (Π.Δ. 90/99).

**Οξείδια του αζώτου (NO και NO<sub>2</sub>):** Το άζωτο σχηματίζει μία σειρά από οξείδια, κάποια από τα οποία βρίσκονται στην ατμόσφαιρα σε μετρήσιμη ποσότητα. Το μονοξείδιο του αζώτου (NO) είναι ένα άχρωμο και άοσμο αέριο το οποίο διαλύεται ελάχιστα στο νερό. Το διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>) είναι ένα φυσιολογικό συστατικό του αέρα σε συγκέντρωση περίπου 940 μg/m<sup>3</sup> (500 ppb). Πολλές ανθρώπινες δραστηριότητες παράγουν οξείδιο του αζώτου (NO) και διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>) σε συγκεντρώσεις που δημιουργούν ατμοσφαιρική ρύπανση. Η εσωτερική καύση καυσίμων δεσμεύει αέρα ως οξειδωτικό και ένα μικρό μέρος του αζώτου της ατμόσφαιρας μετατρέπεται σε NO και NO<sub>2</sub>. Η μεγαλύτερη ποσότητα NO αντιδρά αυθόρμητα με το ατμοσφαιρικό οξυγόνο προς σχηματισμό NO<sub>2</sub>. Η συγκέντρωση NO<sub>2</sub> στον αέρα συνήθως εκφράζεται ως parts per million (ppm) ή parts per billion (ppb) ή μg/m<sup>3</sup> (1 ppb είναι περίπου 1.88

μg/m<sup>3</sup>). Οι συγκεντρώσεις μέσα σε κτίρια μπορεί να φτάσουν τα 200 μg/m<sup>3</sup>, ενώ σύμφωνα με τον WHO τα όρια έκθεσης είναι 0.15 mg/m<sup>3</sup> και 0.40 mg/m<sup>3</sup> για περιόδους έκθεσης 24 ωρών και 1 ώρας αντίστοιχα. Το Π.Δ. 90/99 δίνει ως μέγιστη τιμή συγκέντρωσης 9 mg/m<sup>3</sup>.

Ένας ακόμα σημαντικός ρυπαντής του αέρα που καθορίζει το επίπεδο ποιότητας αέρα ενός εσωτερικού χώρου είναι οι **πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs)**. Οι πτητικές οργανικές ενώσεις είναι οργανικά χημικά που έχουν υψηλή πίεση ατμού σε συνήθεις συνθήκες θερμοκρασίας δωματίου. Η υψηλή πίεση ατμού προέρχεται από χαμηλό σημείο βρασμού, που προκαλεί μεγάλους αριθμούς από μόρια να εξατμιστούν ή να εξαχνιστούν από την υγρή ή στέρεα μορφή της ένωσης και να περιέλθουν στον περιβάλλοντα αέρα. Για παράδειγμα, η φορμαλδεΐδη που εξατμίζεται από τη μπογιά έχει σημείο βρασμού μόνο -19 °C (-2 °F). Οι VOCs εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα είτε από ανθρωπογενείς πηγές είτε από φυσικές πηγές. Στην πρώτη κατηγορία εμπίπτουν κυρίως τα αυτοκίνητα, η καύση καυσίμων όπως η βενζίνη, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, οι διαλύτες και τα χρώματα, η παραγωγή τροφίμων και η γεωργία. Στην δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνονται οι εκπομπές από φυτά και δέντρα καθώς και από φωτιές σε δάση. Σε ένα κτίριο σχεδόν όλα τα υλικά έχουν πιθανότητα να περιέχουν πτητικές οργανικές ενώσεις που μπορούν να εξατμιστούν ή να εξαχνιστούν από τις επιφάνειες και να περάσουν στον αέρα. Σύμφωνα με το Industrial Hygienist's Guide to Indoor Air Quality Investigations, το αποδεκτό εύρος για το σύνολο των VOCs (TVOCs) είναι 0 – 1000 ppb.



## 2.1 ΑΧΥΡΟ - ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Το άχυρο είναι ένα φυσικό προϊόν και αποτελεί το αποξηραμένο στέλεχος των σιτηρών. Η παραγωγή του είναι μεγαλύτερη από την απαιτούμενη, γεγονός που το καθιστά άφθονο, φθινό και προσιτό για κάθε χώρα. Το άχυρο θεωρείται ένα οικολογικό “πράσινο” υλικό καθώς πρόκειται για ανανεώσιμο φυσικό πόρο, μη τοξικό, με μηδενική ενέργεια παραγωγής ως παραπροϊόν των σιτηρών. Η εμπεριεχόμενη ενέργεια στην παραγωγή, τη συλλογή και το δέσιμο του άχυρου είναι ευλόγως χαμηλή και υπολογίζεται στα 0.13 MJ/kg σύμφωνα με το βιβλίο “The Straw Bale Book”.<sup>[14]</sup> Τα απορρίμματα του άχυρου αφομοιώνονται από τη γη και γίνονται λίπασμα.

Είναι σκόπιμο εδώ να δοθεί ο ορισμός των “πράσινων” υλικών δόμησης για τη βαθύτερη κατανόηση της οικολογικής υπόστασης του άχυρου. Τα οικολογικά “πράσινα” υλικά είναι εκείνα που χρησιμοποιούν τους φυσικούς πόρους της γης με οικολογικό και υπεύθυνο τρόπο σεβόμενα τους περιορισμούς των μη ανανεώσιμων πόρων. Τα υλικά αυτά ακολουθούν το μοτίβο των κύκλων της φύσης και τους συσχετισμούς του οικοσυστήματος. Πρόκειται για μη τοξικά ανακυκλώσιμα υλικά που οδηγούν σε εξοικονόμηση ενέργειας και σε θετική επίδραση στην εσωτερική ποιότητα αέρα (IAQ). Τα “πράσινα” υλικά είναι πράσινα στο τρόπο που κατασκευάζονται, στον τρόπο που χρησιμοποιούνται και στον τρόπο που ανακτούνται έπειτα από τη χρήση τους.

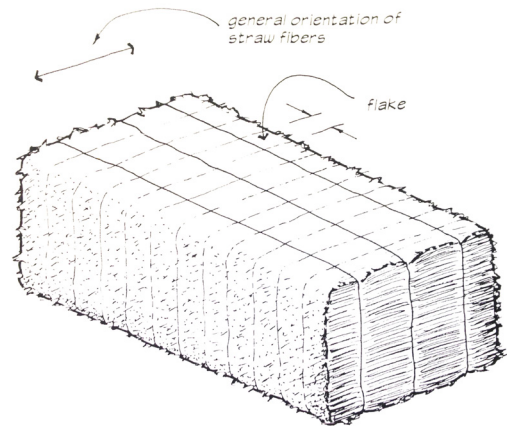
Το άχυρο παρουσιάζει αυξημένη τιμή θερμικής αντίστασης που, σύμφωνα με το Oak Ridge National Laboratory<sup>[15]</sup>, κυμαίνεται από 6.51 έως 7.82 W/m<sup>2</sup> για αχυρόμπαλα πάχους 55 cm. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του άχυρου κυμαίνεται από 0.04 έως 0.07 W/(m K), τιμή αρκετά μικρή ιδίως όταν το άχυρο είναι συμπιεσμένο καλά. Το άχυρο επηρεάζεται από την υγρασία, η ύπαρξη της οποίας μπορεί να προκαλέσει την ανάπτυξη μούχλας και μικροοργανισμών μέσα στο υλικό. Για το λόγο αυτό, οι κατασκευές από άχυρο θα πρέπει να ακολουθούν επαρκή διαδικασία ξήρανσης πριν την εφαρμογή επιχρίσματος. Είναι γενικώς αποδεκτό μία αχυρόμπαλα που θα χρησιμοποιηθεί σε κατασκευή να έχει ποσοστό υγρασίας κάτω από 15-20 % (εκφρασμένο ως ποσοστό βάρους νερού προς το βάρος μίας αχυρόμπαλας έπειτα από επαρκή διαδικασία ξήρανσης)<sup>[16]</sup>. Η φωτιά αποτελεί κίνδυνο για τις κατασκευές με άχυρο καθώς το άχυρο είναι άκρως εύφλεκτο. Αντίθετα, ένας συμπαγής επιχρισμένος τοίχος από άχυρο λειτουργεί ως φράγμα για τη φωτιά καθώς το καλά συμπυκνωμένο άχυρο περιέχει πολύ λίγο οξυγόνο και η φωτιά δε μπορεί να αναπτυχθεί<sup>[16]</sup>.

Το δεμάτι άχυρου (ή αχυρόμπαλα) σχηματίζεται με τη βοήθεια ειδικής μηχανής. Το άχυρο μαζεύεται από το χωράφι και εισάγεται στη μηχανή, έπειτα συμπιέζεται σχηματίζοντας ορθογωνικά μπλοκ τα οποία δένονται με μεταλλικό σύρμα ή σπάγκο πολυπροπυλενίου. Οι αχυρόμπαλες δένονται είτε σε δύο είτε σε τρία σημεία, προέρχονται από σιτηρά όλων των ειδών (σιτάρι, ρύζι, βρώμη, κριθάρι κ.α.) και δεν είναι ομοιογενείς.

Αρκετές μελέτες για το άχυρο έχουν γίνει στο παρελθόν. Σε μία μελέτη κατοικίας με τοίχους από δεμάτια άχυρου στη Γερμανία, μελετήθηκαν πολλές ιδιότητες και το άχυρο επέδειξε εξαιρετικά αποτελέσματα ως προς τις υγιεινές συνθήκες διαβίωσης<sup>[17]</sup>. Στη μελέτη του Deverell αποδείχθηκε η εξαιρετική ηχομονωτική ικανότητα του άχυρου, ενώ η μελέτη του Ashour κατέδειξε ότι η αντοχή της αχυρόμπαλας κατά την κατακόρυφη διεύθυνση είναι μεγαλύτερη από εκείνη στην οριζόντια κατεύθυνση.



Εικόνα 2.1.1 Δεμάτι αχύρου (αχυρόμπαλα)



Εικόνα 2.1.2 Μορφή αχυρόμπαλας

## 2.2 ΤΟ ΑΧΥΡΟ ΩΣ ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ <sup>[16]</sup>

Οι πρώτες κατασκευές από δεμάτια αχύρου κατασκευάστηκαν περίπου πριν από 100 χρόνια από Ευρωπαίους και Άγγλους αποίκους στην δυτική Νεμπράσκα. Οι περιορισμένες επιλογές υλικών για την στέγασή τους – σχεδόν καθόλου ξυλεία ή πέτρα, και σχετικά κακής ποιότητας χώμα – τους οδήγησε στον αυτοσχεδιασμό. Ως αποτέλεσμα, δημιουργούσαν δεμάτια από το χορτάρι που τους περιέβαλλε, έπειτα τα στοίβαζαν δημιουργώντας τοίχους και τέλος εφαρμόζαν στρώσεις από λάσπη ή τσιμεντοκονίαμα στην εσωτερική και την εξωτερική παρειά του τοίχου. Μερικές από αυτές τις δομές υπάρχουν έως και σήμερα σε καλή κατάσταση, ενώ δημιουργήθηκαν ακόμα περισσότερες στα χρόνια που ακολούθησαν. Η αναβίωση της δόμησης με άχυρο ξεκίνησε στην αμερικανική δύση τη δεκαετία του 1970 και έλαβε ώθηση κυρίως από ιδιοκτήτες-κτίστες με ενδιαφέρον για την βιώσιμη δόμηση. Τα περισσότερα κτίρια από άχυρο έχουν απλή ορθογωνική κάτοψη, έναν όροφο και ξύλινη στέγη.

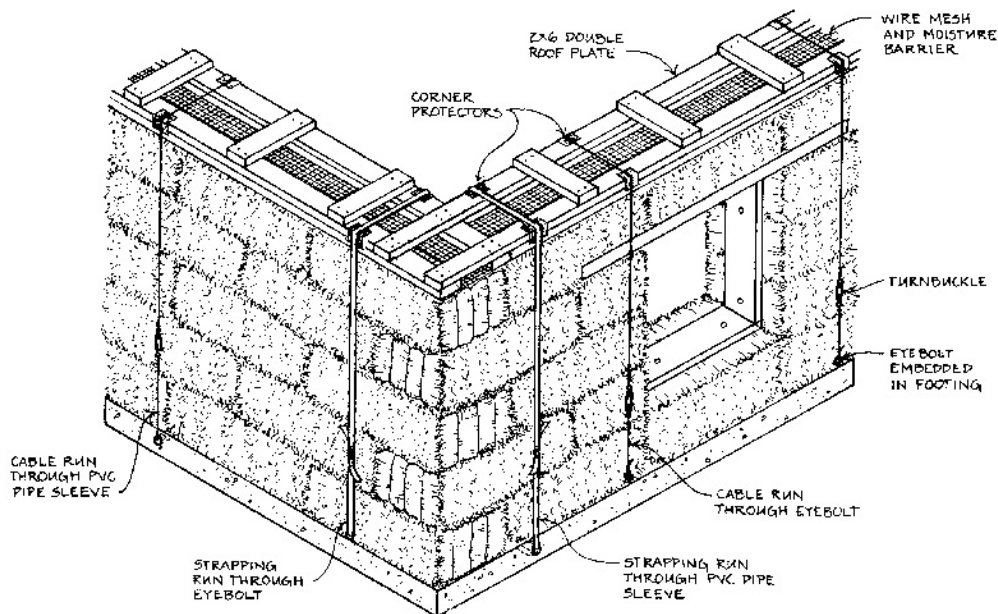
Οι δύο πιο σημαντικοί τρόποι δόμησης τοίχου με άχυρο είναι εκείνος κατά τον οποίο το άχυρο φέρει τα φορτία της κατασκευής και εκείνος κατά τον οποίο δεν φέρει φορτία και αποτελεί την πλήρωση του τοίχου. Σύμφωνα με τον πρώτο τρόπο δόμησης (Εικόνα 2.2.1), οι αχυρόμπαλες στηρίζουν τις στέγες και τους ορόφους πάνω από το έδαφος και γενικά όλη την κατασκευή. Οι αχυρόμπαλες τοποθετούνται η μία πάνω στη άλλη σταυρωτά και καρφώνονται κάθετα προσδίδοντας αυξημένη σταθερότητα στον τοίχο. Αυτός ο τρόπος δόμησης έχει περιορισμούς καθώς δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κατασκευές άνω του ενός ορόφου και είναι ακατάλληλος για μεγάλα ανοίγματα. Σύμφωνα με τον δεύτερο τρόπο δόμησης, οι τοίχοι από άχυρο δεν στηρίζουν την κατασκευή αλλά προσφέρουν την πλήρωση και μόνωση των τοίχων. Τα φορτία λαμβάνονται από ένα πρωτεύων κατασκευαστικό σύστημα από ξύλο, μέταλλο ή σκυρόδεμα. Αυτός ο τρόπος δόμησης επιτρέπει την κατασκευή πιο περίπλοκων δομών καθιστώντας τον πιο διαδεδομένο.

Η δομική αντοχή των τοίχων από δεμάτια αχύρου εξαρτάται από την ενίσχυση με τη μορφή ακίδων που οδηγούνται μέσα στα δεμάτια ώστε να συνδέσει δύο ή τρία μαζί καθώς και με τα κουφώματα και τα δομικά πλαίσια. Διάφορα υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το σκοπό αυτό όπως μπάρες χάλυβα οπλισμού, μπάρες γαλβανιζέ με σπείρωμα, ξυλεία, όπως βέργες ιτιάς ή μπαμπού ή ξύλινους πείρους. Η χρήση φυσικών υλικών, όπως οι ξύλινες βέργες, πρέπει

να προτιμάται από τη χρήση χάλυβα καθώς έχουν επαρκή αντοχή και μπορούν εύκολα να οδηγούνται μέσα από τα δεμάτια.

Η πρώτη σειρά δεματίων συνδέεται με τη βάση (θεμελίωση) με ράβδους χάλυβα που είναι τοποθετημένες στο τσιμέντο πριν τη ρίψη του ή στον ξύλινο σκελετό. Τα δεμάτια καρφώνονται στη βάση με τις ράβδους. Οι γωνίες είναι ευπαθείς και πρέπει επίσης να καρφώνονται τα δεμάτια στα σημεία αυτά. Η επιλογή του υλικού εξαρτάται από την ευκολία της κατασκευής, τη διαθεσιμότητα και το κόστος.

Το μέγιστο ύψος των τοίχων από άχυρο δεν πρέπει να ξεπερνά 5.5 φορές το πλάτος του δεματίου αχύρου που χρησιμοποιείται. Ένας τοίχος αχύρου χωρίς στήριξη δεν πρέπει να ξεπερνά σε μήκος 15.5 φορές το πλάτος του δεματίου. Τα ανοίγματα χρειάζονται υποστηρικτικό πλαίσιο-σκελετό (συνήθως ξύλινο).



Εικόνα 2.2.1 Δόμηση με άχυρο - οι αχυρόμπαλες φέρουν τα φορτία

Αναφορικά με το επίχρισμα των τοίχων από άχυρο, υπάρχουν πολλά σημεία που πρέπει να ληφθούν υπόψη:

1. Σε κατασκευές κατά τις οποίες οι τοίχοι από άχυρο φέρουν τα φορτία πρέπει οι τοίχοι αυτοί να επιχριστούν αφού περάσει ένα διάστημα σταθεροποίησης και καθίζησής τους.
2. Είναι προτιμότερο να ψαλιδίζονται οι αχυρόμπαλες πριν το επίχρισμα ώστε να δημιουργηθεί μία κατά το δυνατόν επίπεδη επιφάνεια πάνω στην οποία θα απλωθεί καλύτερα το επίχρισμα.
3. Η χρήση ασβέστη, γύψου ή χώματος στο επίχρισμα βοηθάει στο να δημιουργηθεί ένας τοίχος που "αναπνέει". Αν η υγρασία και ο αέρας μπορεί να κινηθεί μέσω του τοίχου, τότε μειώνεται η υγρασία μέσα στο άχυρο και βελτιώνονται οι συνθήκες του εσωτερικού περιβάλλοντος.
4. Το επίχρισμα από τσιμέντο σφραγίζει κατά κάποιον τρόπο τον τοίχο χωρίς να τον αφήνει να αναπνέει. Τα βινυλικά χρώματα ενισχύουν το φαινόμενο αυτό.
5. Συνήθως χρησιμοποιούνται τοπικά υλικά για το επίχρισμα των τοίχων, όπως το χώμα του οικοπέδου ενισχυμένο συχνά με άχυρο.

### 3.1 2 ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΜΕΛΕΤΗΣ - ΟΙ ΚΑΤΟΙΚΙΕΣ

#### ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΗΝ ΑΙΓΙΝΑ

Η κατοικία βρίσκεται στο δυτικό τμήμα της Αίγινας σε ένα κτήμα φυσικόδεντρων και είναι πανταχόθεν ελεύθερο. Συμπεραίνουμε ότι το εξεταζόμενο κτίριο είναι πλήρως εκτεθειμένο στις καιρικές συνθήκες καθώς δεν γειτνιάζει με κανένα κτίσμα ή κατασκευή. Η κατοικία αναπτύσσεται σε 2 επίπεδα. Στο ισόγειο συναντάμε το καθιστικό και την κουζίνα σε ανοιχτή οργάνωση καθώς και ένα WC, ενώ στον όροφο το υπνοδωμάτιο και ένα μπάνιο. Μία μεγάλη ξύλινη σκάλα συνδέει τα δύο επίπεδα. Ο όροφος καλύπτει περίπου το μισό τμήμα του ισογείου, ενώ το υπόλοιπο αποτελεί μία μεγάλη βεράντα η οποία είναι προσβάσιμη από το υπνοδωμάτιο. Το καθιστικό είναι προσανατολισμένο κυρίως προς τα νοτιοδυτικά όπου και συναντάμε τα μεγαλύτερα ανοίγματα. Το υπνοδωμάτιο είναι εκτεθειμένο από όλες τις κατευθύνσεις έχοντας όμως το μεγάλο άνοιγμα που οδηγεί στην βεράντα στα νοτιοδυτικά. Το δάπεδο είναι ξύλινο καθώς επίσης και τα κουφώματα.

Η κατοικία στην Αίγινα έχει κατασκευαστεί με δεμάτια αχύρου (αχυρόμπαλες) χωρίς αυτά να φέρουν τα φορτία της κατασκευής. Ο φορέας της κατοικίας είναι ένας ξύλινος σκελετός με υποστύλωμα 10 x 10 cm, ο οποίος πληρώνεται από δεμάτια αχύρου διατομής 40 x 30 cm. Τα δεμάτια αχύρου τοποθετήθηκαν πάνω σε μία υπερυψωμένη, κατά 25 cm, βάση από μπετόν με σκοπό την αποφυγή εισροής υγρασίας στους τοίχους από το έδαφος. Η σύνδεση των δεματίων μεταξύ τους και με το μπετόν ενισχύθηκε με αγκυρώσεις από μεταλλικές ράβδους. Ο τοίχος από δεμάτια κατασκευάστηκε από τη εξωτερική μεριά του ξύλινου σκελετού και προσαρμόστηκε με κατάλληλες μεθόδους (αφαίρεση μάζας) ώστε να προκύψει επίπεδη επιφάνεια στα σημεία συμβολής με το σκελετό. Στα σημεία των ανοιγμάτων τοποθετούνται ξύλινα εγκάρσια “τοιχία” που καλύπτουν όλο το πάχος του ανοίγματος (40 cm) και κατασκευάστηκαν από ξύλινα υποστύλωμα και επίστρωση από κόντρα πλακέ θαλάσσης. Οι αχυρένιοι τοίχοι καλύφθηκαν με επίχρισμα το οποίο στρώθηκε σε 3 στάδια τόσο στην εσωτερική όσο και στην εξωτερική πλευρά τους. Στο πρώτο και το δεύτερο στάδιο στρώθηκε μίγμα αχύρου και αργιλοχώματος (πηλού) από το ίδιο το οικόπεδο. Στο τρίτο στάδιο στρώθηκε κονίαμα ίδιας σύστασης με την προσθήκη ασβέστη. Λόγω παρατήρησης ρωγμών του επιχρίσματος, στρώθηκε ένα επιπλέον στρώμα στο οποίο προστέθηκε κοπριά. Έπειτα από πολλές επιτυχημένες εφαρμογές σε σπίτια από άχυρο, έχει προκύψει ότι η κοπριά προσδίδει συνεκτικότητα στο επίχρισμα.



Εικόνα 3.1.1 Κατοικία στην Αίγινα - Στάδιο κατασκευής

## ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΟΝ ΩΡΩΠΟ

Η κατοικία βρίσκεται στο βορειοανατολικό μέρος της Αττικής σε δασική περιοχή. Πρόκειται για κτίσμα πανταχόθεν ελεύθερο και αναπτύσσεται σε ένα επίπεδο. Η κατοικία εμβαδού 85τ.μ. αποτελείται από το καθιστικό και την κουζίνα σε ανοιχτή οργάνωση, δύο υπνοδωμάτια και ένα μπάνιο προσβάσιμα από το καθιστικό, ένα γραφείο με ένα μπάνιο και ένα μικρό αποθηκευτικό χώρο. Ακόμη συναντάμε μικρής έκτασης πατάρια στην κουζίνα, στο βόρειο υπνοδωμάτιο και στο γραφείο. Αντίθετα με το σπίτι στην Αίγινα, ο χώρος εδώ χωρίζεται σε μεμονωμένα ανεξάρτητα δωμάτια με εσωτερικές πόρτες που συχνά μένουν κλειστές. Συγκεκριμένα, η κατοικία χωρίζεται νοητά σε δύο περιοχές λόγω μίας εσωτερικής πόρτας που επιδιώκεται να μένει πάντα κλειστή. Από τη μία είναι το καθιστικό, η κουζίνα, τα δύο υπνοδωμάτια και το μπάνιο, και από την άλλη το γραφείο με το μπάνιο του, ο αποθηκευτικός χώρος και το χωλ της κεντρικής εισόδου. Το καθιστικό είναι ανοιχτό προς τα νότια - νοτιοδυτικά, ενώ οι υπόλοιποι χώροι του σπιτιού είναι προσανατολισμένοι προς τα βόρεια. Το δάπεδο είναι κατασκευασμένο από κεραμικά πλακίδια και τα κουφώματα είναι αλουμινίου. Το σπίτι διαθέτει κεραμοσκεπή, ενδοδαπέδια θέρμανση και τροφοδοτείται ενεργειακά από φωτοβολταϊκά πάνελ.

Ο φέρων σκελετός της κατασκευής είναι ξύλινος με υποστηλώματα 20 x 8 cm και το άχυρο χρησιμοποιείται ως στοιχείο πλήρωσης. Χρησιμοποιείται ένα συρμάτινο πλέγμα - πλαίσιο πάχους 30 cm το οποίο γεμίζεται με άχυρο. Το πλαίσιο αυτό τοποθετείται κεντρικά σε σχέση με τα ξύλινα υποστηλώματα και στηρίζεται με τη βοήθεια κατάλληλων αποστατών. Το πλαίσιο λειτουργεί ως δομή στήριξης για το άχυρο το οποίο εισάγεται με χειρωνακτικό τρόπο. Οι αχυρένιοι τοίχοι κατασκευάζονται πάνω σε μία υπερυψωμένη, κατά 25 cm, βάση από μπετόν με σκοπό την αποφυγή εισροής υγρασίας στους τοίχους από το έδαφος. Οι τοίχοι από άχυρο καλύφθηκαν με επίχρισμα πάχους 5 cm, τόσο στην εξωτερική όσο και στη εσωτερική πλευρά τους. Το τελικό πάχος του τοίχου προκύπτει 40 cm. Το κονίαμα αποτελείται από αργιλόχωμα από το έδαφος, ασβέστη και μικρή ποσότητα τσιμέντου. Στην οροφή χρησιμοποιήθηκε μόνωση από κάνναβη.



Εικόνα 3.1.2 Κατοικία στον Ωρωπό - Στάδιο κατασκευής

## 3.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΤΡΗΤΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

### ΕΠΙΤΟΠΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ & ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ

Το πρώτο κομμάτι του πειραματικού μέρους αφορά στις επιτόπιες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στις δύο κατοικίες. Οι βασικές κατευθυντήριες οι οποίες ακολουθήθηκαν για τις μετρήσεις είναι οι παρακάτω:

1. Οι μετρήσεις και στις δύο περιπτώσεις διήρκησαν συνολικά 5 ημέρες με σκοπό να ελεγχθούν οι εσωτερικές συνθήκες υπό διαφορετικά κλιματικά δεδομένα και να περιοριστούν τα σφάλματα. Οι μετρήσεις θερμικής άνεσης διεξάγονταν 3 φορές την ημέρα, το πρωί (περίπου 11.00 πμ), το μεσημέρι (περίπου 14.30 μμ) και το απόγευμα (περίπου 17.30 μμ), ώστε να ληφθούν τα περισσότερα δυνατά δεδομένα μέσα στο διαθέσιμο χρονικό διάστημα και να συγκριθούν μετέπειτα σε σχέση με τις εξωτερικές κλιματικές αλλαγές κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η μέτρηση ποιότητας αέρα ήταν συνεχής από το πρωί μέχρι το απόγευμα με μικρή διακοπή το μεσημέρι ώστε να ληφθεί δείγμα στον εξωτερικό χώρο.

2. Η επιλογή των χώρων στους οποίους διεξήχθησαν οι μετρήσεις έγινε βάσει της χρονικής διάρκειας και συχνότητας διαμονής των ενοίκων αλλά και βάσει των παραπόνων των ενοίκων. Συγκεκριμένα επιλέχθηκαν και στις δύο κατοικίες οι χώροι του καθιστικού και των υπνοδωματίων, και στην περίπτωση του Ωρωπού προστέθηκε ο χώρος του γραφείου καθώς ο ένοικος ξόδευε αρκετές ώρες της ημέρας σε αυτόν.

3. Οι μετρήσεις ποιότητας αέρα περιορίστηκαν στο καθιστικό θεωρώντας ότι η λήψη δεδομένων στο χώρο αυτό είναι αντιπροσωπευτική όλης της κατοικίας. Σκοπός ήταν να πραγματοποιηθεί μία όσο το δυνατόν συνεχής λήψη κατά τη διάρκεια της ημέρας και να αξιολογηθούν έπειτα τα αίτια των πιθανών διαφοροποιήσεων μέσα στη μέρα.

4. Η θέση του μετρητικού εξοπλισμού τοποθετούνταν κάθε φορά όσο το δυνατόν πιο κοντά στην νοητή θέση στην οποία θα καθόταν ο ένοικος στον συγκεκριμένο χώρο με σκοπό να εξετασθούν τα σημεία στα οποία οι ένοικοι περνούν τις περισσότερες ώρες.

5. Παράλληλα με τις μετρήσεις στο εσωτερικό των κατοικιών, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της θερμοκρασίας και της υγρασίας στον εξωτερικό χώρο με σκοπό την μετέπειτα σύγκρισή τους. Αυτό ήταν δυνατό καθώς ο μετρητικός εξοπλισμός ποιότητας αέρα είχε τη δυνατότητα μέτρησης των δύο αυτών παραμέτρων.

Ένα σημαντικό στοιχείο διαφοροποίησης των συνθηκών μέτρησης των δύο κατοικιών είναι ότι οι μετρήσεις έλαβαν χώρα σε διαφορετικές χρονικές περιόδους και σε διαφορετικό βάθος χρόνου λόγω διαθεσιμότητας των ενοίκων. Συγκεκριμένα, οι μετρήσεις στην κατοικία στον Ωρωπό πραγματοποιήθηκαν τον Μάρτιο 2016 το διάστημα 16-21 (πλην της 20ης Μαρτίου που δεν ήταν δυνατό), ενώ οι μετρήσεις στην Αίγινα πραγματοποιήθηκαν σε διάρκεια 3 μηνών (Μάρτιος, Απρίλιος, Μάιος) τις 5 Κυριακές που ήταν δυνατό τόσο από τον ένοικο όσο και από εμένα (20/3, 10/4, 17/4, 15/5, 22/5). Το γεγονός αυτό δεν επιτρέπει την απόλυτη σύγκριση των δύο περιπτώσεων. Αυτό βέβαια δε θα ήταν δυνατό καθώς το κάθε κτίριο εντάσσεται σε διαφορετικό τελείως πλαίσιο και περιβάλλον. Δεδομένα όπως το κλίμα, η τοποθεσία, η μορφή, ο προσανατολισμός καθορίζουν τη συμπεριφορά του κτιρίου και οφείλουν να ληφθούν υπόψη κατά την εξαγωγή των συμπερασμάτων. Αντίθετα, το στοιχείο αυτό διαφοροποίησης δίνει τη δυνατότητα να εξετασθούν περισσότερες περιπτώσεις συνθηκών οδηγώντας τελικά σε μία ολοκληρωμένη εικόνα για την θερμική συμπεριφορά των κτιρίων.

### ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΤΡΗΤΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ

Οι επιτόπιες μετρήσεις θερμικής άνεσης διεξήχθησαν με το μετρητικό εξοπλισμό Comfort-Sence της εταιρείας Dantec Dynamics. Η συσκευή ComfortSense περιλαμβάνει ένα κεντρικό

πλαίσιο 54N90 με κανάλια εισόδου για 16 αισθητήρες το οποίο διαθέτει ενσωματωμένο A/D μετατροπέα με USB 2.0 interface. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν είναι 3 αισθητήρες μέτρησης της ταχύτητας του αέρα και της θερμοκρασίας, ένας αισθητήρας μέτρησης της λειτουργικής θερμοκρασίας (54T38) και ένας αισθητήρας μέτρησης της σχετικής υγρασίας (54T37). Οι αισθητήρες ComfortSense είναι κατασκευασμένοι από ανοξείδωτο χάλυβα. Στοιχεία όπως η ακρίβεια και η συχνότητα απάντησης έχουν βελτιωθεί σημαντικά ακολουθώντας τα διεθνή πρότυπα.

#### **Αισθητήρας λειτουργικής θερμοκρασίας - 54T38**

Ο αισθητήρας αυτός έχει ένα ελλειψοειδούς μορφής μετρητικό στοιχείο με διάμετρο 56 mm και μήκος 160 mm. Ο αισθητήρας είναι πηνίο σύρματος από νικέλιο, η οποία υπολογίζει τη μέση θερμοκρασία επιφάνειας του ελλειψοειδούς στοιχείου. Η μορφή και το μέγεθος του μετρητικού στοιχείου διευκολύνει την άμεση μέτρηση της λειτουργικής θερμοκρασίας. Το μέγεθος είναι τέτοιο ώστε η αναλογία θερμικών απωλειών μεταξύ ακτινοβολίας και συναγωγής να προσομοιάζει εκείνη του ανθρώπινου σώματος. Το σχήμα του μετρητικού στοιχείου έχει επιλεγεί έτσι ώστε τόσο οι κρύες όσο και οι ζεστές επιφάνειες να έχουν παρόμοια επίδραση στον αισθητήρα όπως στον άνθρωπο. Ο αισθητήρας προσομοιάζει ένα άτομο που στέκεται όρθιο όταν τοποθετείται κατακόρυφα, ένα άτομο που κάθεται όταν τοποθετείται υπό γωνία 30ο από την κατακόρυφο και ένα άτομο σε ανάκλιση όταν τοποθετείται οριζόντια. Το χρώμα και η επιφανειακή δομή του μετρητικού στοιχείου προσομοιάζει όσο το δυνατόν καλύτερα ένα ντυμένο άτομο.

#### **Αισθητήρας υγρασίας - 54T37**

Ο αισθητήρας υγρασίας μετρά τη σχετική υγρασία άμεσα. Η λογική της μέτρησης βασίζεται στις υγροσκοπικές ιδιότητες ενός πολυμερούς που βρίσκεται ανάμεσα σε δύο ηλεκτρόδια. Το λεπτό πολυμερικό φιλμ είτε απορροφά είτε απελευθερώνει υδρατμούς όταν η σχετική υγρασία στο χώρο μεταβάλλεται. Οι διηλεκτρικές ιδιότητες του πολυμερικού φιλμ εξαρτώνται από την ποσότητα υδρατμών που περιλαμβάνεται σε αυτό. Όσο μεταβάλλεται η σχετική υγρασία, τόσο αλλάζουν οι διηλεκτρικές ιδιότητες του φιλμ και συνεπώς η χωρητικότητα του αισθητήρα. Η τιμή της σχετικής υγρασίας προκύπτει από τη μέτρηση της τιμής της χωρητικότητας.

#### **Αισθητήρες αέρα - 54T33 και 54T34**

Πρόκειται για αισθητήρες μέτρησης της ταχύτητας του αέρα πολλαπλών κατευθύνσεων με ενσωματωμένους αισθητήρες θερμοκρασίας άμεσης απόκρισης. Ο αισθητήρας 54T33 είναι εξοπλισμένος με ένα πολλαπλών κατευθύνσεων λεπτό φιλμ για τη μέτρηση της ταχύτητας αέρα και ένα μικρό άμεσης απόκρισης θερμίστορ για τη μέτρηση της θερμοκρασίας αέρα. Ο αισθητήρας ταχύτητας αποτελείται από δύο σφαίρες χαλαζία διαμέτρου 3 mm, καλυμμένες με ένα λεπτό στρώμα νικελίου και έπειτα ένα στρώμα χαλαζία. Μία από τις σφαίρες διατηρείται σε σταθερά υψηλότερη θερμοκρασία από την άλλη και η ενέργεια που απαιτείται για τη διατήρηση αυτής της θερμοκρασίας είναι αυτή που μετρείται. Μία μοναδική συνάρτηση μεταφοράς μετατρέπει τη μετρούμενη απώλεια θερμότητας σε ταχύτητα αέρα. Ο ευαίσθητος σφαιρικός αισθητήρας προστατεύεται από ένα μεταλλικό κάλυμμα. Η λεπτεπίλεπτη μορφή του αισθητήρα καθιστά την



Εικόνα 3.2.1 Αισθητήρες Comfort Sense



Εικόνα 3.2.2 Κεντρικό πλαίσιο Comfort Sense

παρεμπόδιση της ροής μηδαμινή.

#### Θέση αισθητήρων

Σύμφωνα με το πρότυπο ASHRAE 55-2004, η θερμοκρασία αέρα και η ταχύτητα αέρα πρέπει να μετριοούνται στα επίπεδα 0.1 m, 0.6 m και 1.1 m πάνω από το δάπεδο του χώρου για ενοίκους που παραμένουν καθιστοί. Στην περίπτωση που ο μεταβολικός ρυθμός αντιστοιχεί σε ενοίκους που παραμένουν όρθιοι, οι παραπάνω παράγοντες μετριοούνται στα επίπεδα 0.1 m, 1.1 m και 1.7 m. Η λειτουργική θερμοκρασία πρέπει να μετριοείται σε επίπεδο 0.6 m πάνω από το δάπεδο για ενοίκους καθιστούς, ενώ σε επίπεδο 1.1 m για ενοίκους όρθιους. Η σχετική υγρασία μπορεί να μετριοηθεί σε οποιοδήποτε επίπεδο. Στην εικόνα 3.2.3 φαίνονται οι θέσεις των αισθητήρων που



Εικόνα 3.2.3 Θέσεις αισθητήρων Comfort Sense κατά την μέτρηση

επιλέχθηκαν.

#### Λογισμικό

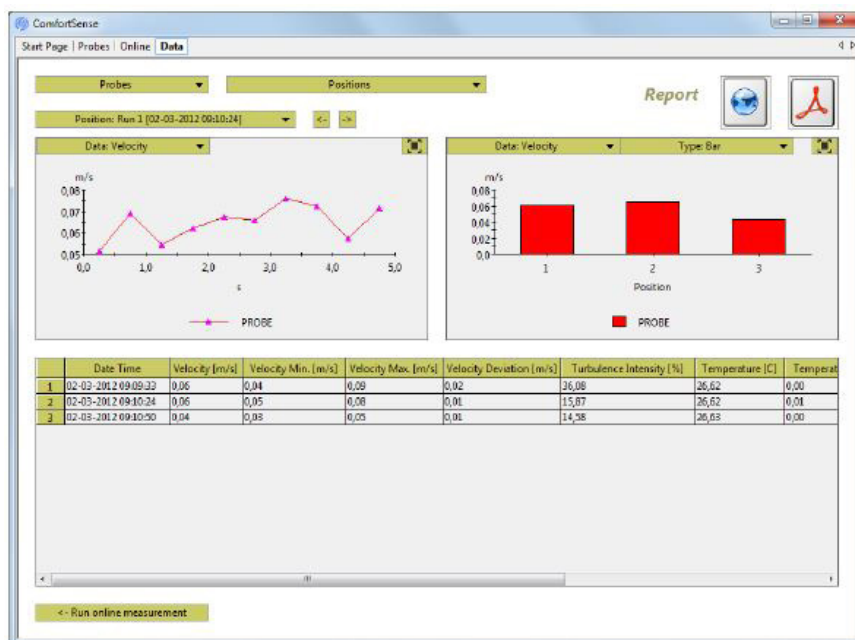
Το ευέλικτο λογισμικό περιλαμβάνει μία βιβλιοθήκη αισθητήρων από την οποία επιλέγονται οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται κάθε φορά. Όταν τοποθετούνται οι αισθητήρες σε διάταξη, το λογισμικό επιτρέπει τον χωρικό προσδιορισμό των αισθητήρων. Στην γραφική παρουσίαση των



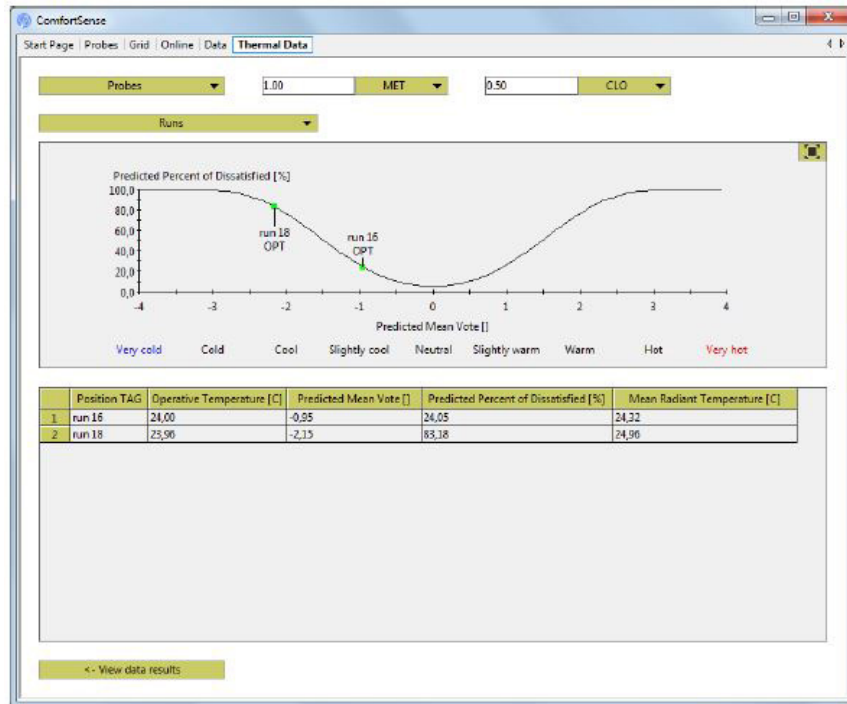
αποτελεσμάτων εμφανίζεται μία προειδοποιητική ένδειξη στα σημεία όπου η ταχύτητα αέρα ή η θερμοκρασία υπερβαίνει τα επιτρεπτά επίπεδα για την ομαλή διαβίωση των χρηστών ενός χώρου. Το λογισμικό προβαίνει σε γραμμικοποίηση των δεδομένων ταχύτητας αέρα και θερμοκρασίας καθώς και σε υπολογισμό των στατιστικών τιμών και παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε μορφή πίνακα, γραφικής παράστασης. Ακόμη, υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης σε αρχείο Excel.

### Διαδικασία μέτρησης

Η αρχική σελίδα (Data Manager) περιλαμβάνει όλες τις μετρήσεις και τα project που έγιναν με το Comfort Sense. Στη σελίδα αυτή ο χρήστης δημιουργεί ένα νέο φάκελο και εμφανίζεται μία σειρά από άλλες καρτέλες τις οποίες είναι προς επεξεργασία. Στην πρώτη καρτέλα (Probes) επιλέγονται οι αισθητήρες που θα χρησιμοποιηθούν στις μετρήσεις με τη σειρά που έχουν τοποθετηθεί από το έδαφος προς τα πάνω. Στην επόμενη καρτέλα (Grid) καθορίζονται οι ακριβείς θέσεις των αισθητήρων εισάγοντας τις αποστάσεις τους από το έδαφος. Στη συνέχεια, στην επόμενη καρτέλα (Online) επιλέγεται ο αριθμός των μετρήσεων, η διάρκεια της κάθε μέτρησης και η πιθανή χρονική απόσταση μεταξύ των μετρήσεων. Αφού ξεκινήσει η μέτρηση, η καρτέλα Online δίνει τη δυνατότητα της εποπτείας της μέτρησης σε πραγματικό χρόνο παρακολουθώντας τα διαγράμματα και τα αποτελέσματα. Με τον τρόπο αυτό προλαμβάνονται λάθη και σφάλματα που μπορεί να εμφανιστούν κατά τη μέτρηση. Μετά το πέρας της μέτρησης, τα αποτελέσματα εμφανίζονται σε νέα καρτέλα (Data) από όπου ο χρήστης μπορεί να τα αποθηκεύσει στη μορφή που επιθυμεί. Στην καρτέλα Thermal Data παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δεικτών PMV και PPD, αφού όμως επιλέξουμε το κατάλληλο επίπεδο ρουχισμού και την τιμή μεταβολικού ρυθμού που ισχύουν για τον εξεταζόμενο χώρο. Τα αποτελέσματα λαμβάνονται και σε αυτή την περίπτωση σε μορφή Excel, διαγραμμάτων και συνοπτικών πινάκων.



Εικόνα 3.2.4 Λογισμικό Comfort Sense - Καρτέλα αποτελεσμάτων (Data)



Εικόνα 3.2.5 Λογισμικό Comfort Sense - Καρτέλα αποτελεσμάτων (Thermal Data)

## ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΤΡΗΤΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ

Οι επιτόπιες μετρήσεις ποιότητας αέρα διεξήχθησαν με το μετρητικό εξοπλισμό WolfPack της εταιρείας GreyWolf Sensing Solutions. Η συσκευή WolfPack περιλαμβάνει μία κινητή κεντρική μονάδα και 2 αισθητήρες. Η κεντρική μονάδα διαθέτει 3 θέσεις υποδοχής αισθητήρων, δυνατότητα σύνδεσης με υπολογιστή και οθόνη επαφής για την επιλογή των δεδομένων μέτρησης. Οι διαθέσιμοι αισθητήρες έχουν τη δυνατότητα ελέγχου των επιπέδων πολλών παραμέτρων ποιότητας αέρα, και συγκεκριμένα, του μονοξειδίου του αζώτου (NO), του διοξειδίου του αζώτου (NO<sub>2</sub>), του διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>), του μονοξειδίου του άνθρακα (CO), του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και των πτητικών οργανικών ενώσεων (TVOCs). Ακόμη, οι αισθητήρες έχουν τη δυνατότητα μέτρησης της θερμοκρασίας αέρα και της σχετικής υγρασίας του εξεταζόμενου χώρου. Το όργανο μέτρησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για μετρήσεις σε εσωτερικό χώρο όσο και σε εξωτερικό. Κατά τη διάρκεια της μέτρησης, η κεντρική μονάδα δεν χρειάζεται να είναι συνδεδεμένη με υπολογιστή. Τα αποτελέσματα αποθηκεύονται σε κάρτα μνήμης στην κεντρική μονάδα και μεταφέρονται αργότερα στον υπολογιστή για ανάγνωση και επεξεργασία.



Εικόνα 3.2.6 Κεντρική μονάδα WolfPack

### Λογισμικό WolfSense PC

Το λογισμικό WolfSense PC επιτρέπει την ανάγνωση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων και προσφέρει τη δυνατότητα παραγωγής γραφημάτων και εξαγωγής των αποτελεσμάτων σε μορφή Excel.

#### Διαδικασία μέτρησης

Αρχικά προσαρμόζονται οι αισθητήρες στην κεντρική μονάδα. Με την ενεργοποίηση της κεντρικής συσκευής WolfPack εντοπίζονται αυτόματα οι αισθητήρες που είναι συνδεδεμένοι μέσα σε λίγα λεπτά. Η ένδειξη "FIND" εμφανίζεται στην οθόνη της συσκευής κατά την αναζήτηση των αισθητήρων. Οι παράμετροι εμφανίζονται αχνά με γκρι χρώμα κατά τη διάρκεια της σταθεροποίησής τους. Αφού επιβεβαιωθεί ότι όλοι οι αισθητήρες είναι ενεργοί και έτοιμοι για μέτρηση, γίνεται η έναρξη της καταγραφής της μέτρησης, επιλέγοντας πρώτα το "Log Menu" και έπειτα το "Locations". Στο φάκελο αυτό δημιουργείται νέα θέση καταγραφής με τον επιθυμητό τίτλο και ορίζεται το βήμα μέτρησης, δηλαδή το διάστημα ανάμεσα στις μετρήσεις που καταγράφονται. Έπειτα επιλέγεται το "Log Menu" και μετά το "Start Trend Log" για να ξεκινήσει η μέτρηση. Στην κεντρική σελίδα υπάρχει η δυνατότητα εποπτείας των μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο. Μετά το πέρας του επιθυμητού χρόνου μέτρησης, διακόπτεται η μέτρηση επιλέγοντας το "Stop Trend Log" και τα αποτελέσματα έχουν αποθηκευτεί στο σύστημα. Για τη μεταφορά των δεδομένων της μέτρησης χρησιμοποιείται ένα καλώδιο USB που συνδέει τη συσκευή WolfPack με τον υπολογιστή και χρησιμοποιείται το λογισμικό WolfSense PC.

Date Time	Nitric Oxide ppm(3)	Nitrogen Dioxide ppm(3)	Ozone ppm(3)	Sulfur Dioxide ppm(3)	Temperature °C(3)	TVOC ppb(4)	Carbon
16-Mar-16 11:47:15 μμ	0.0	0.00	0.00	0.0	12.8		247
16-Mar-16 11:52:20 μμ	0.0	0.00	0.00	0.0	13.2		240
16-Mar-16 11:57:25 μμ	0.0	0.00	0.00	0.0	13.7		236
17-Mar-16 12:02:30 μμ	0.0	0.00	0.00	0.0	14.0		232
17-Mar-16 12:07:35 μμ	0.0	0.00	0.00	0.0	14.2		228
17-Mar-16 12:12:40 μμ	0.0	0.00	0.00	0.0	14.4		223
17-Mar-16 12:17:45 μμ	0.0	0.00	0.00	0.0	14.6		221
17-Mar-16 12:22:50 μμ	0.0	0.00	0.00	0.0	14.7		220
17-Mar-16 12:27:55 μμ	0.0	0.00	0.00	0.0	14.8		220
17-Mar-16 12:33:00 μμ	0.0	0.00	0.00	0.0	14.9		220
17-Mar-16 12:38:05 μμ	0.0	0.00	0.00	0.0	15.0		219
17-Mar-16 12:43:10 μμ	0.0	0.00	0.00	0.0	15.0		217
17-Mar-16 12:48:15 μμ	0.0	0.00	0.00	0.0	15.0		215
17-Mar-16 12:53:20 μμ	0.0	0.00	0.00	0.0	15.0		205
17-Mar-16 12:58:25 μμ	0.0	0.00	0.00	0.0	15.0		199
17-Mar-16 01:03:30 μμ	0.0	0.00	0.00	0.0	15.0		203
17-Mar-16 01:08:35 μμ	0.0	0.00	0.00	0.0	15.0		205
17-Mar-16 01:13:40 μμ	0.0	0.00	0.00	0.0	15.0		205
17-Mar-16 01:18:45 μμ	0.0	0.00	0.00	0.0	15.0		205
17-Mar-16 01:23:50 μμ	0.0	0.00	0.00	0.0	15.0		205

Εικόνα 3.2.7 Λογισμικό WolfSense - Καρτέλα αποτελεσμάτων

## ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ

Η πειραματική διάταξη TLP 300 DT της εταιρίας TAURUS instruments GmbH χρησιμοποιείται για το προσδιορισμό του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας των εξεταζόμενων δοκιμίων με τη μέθοδο Προστατευμένης Θερμής Πλάκας (guarded hot plate) σύμφωνα με τα πρότυπα ISO8302, DIN 52612, DIN EN 1946-2, EN 12664, EN 12667 και EN 12939. Η διάταξη βρίσκεται στο εργαστήριο Τεχνικών Υλικών στο κτίριο Αντοχής Υλικών του ΕΜΠ και αποτελείται από τα παρακάτω στοιχεία:

- Μονωμένος θάλαμος μέτρησης με μονωμένη πόρτα
- Ισοθερμικό μπλοκ
- 2 ψυχρές πλάκες-επιφάνειες
- 1 θερμή πλάκα-επιφάνεια με προστατευτικό δαχτυλίδι θέρμανσης
- Μετρητικό και ελεγκτικό ηλεκτρονικό σύστημα
- 20 θερμοστοιχεία για τον άμεσο προσδιορισμό της μέσης θερμοκρασιακής διαφοράς

Τα εξεταζόμενα δοκίμια τοποθετούνται ανάμεσα στις ψυχρές πλάκες και τη θερμή πλάκα. Η θερμότητα ρέει από τη θερμή πλάκα διαμέσου των δοκιμίων προς τις ψυχρές πλάκες από όπου και απάγεται. Το μέγεθος των εξεταζόμενων δοκιμίων κυμαίνεται από 100 × 100 mm έως 300 × 300 mm και το πάχος 20 – 90 mm ανάλογα με τη θερμική αγωγιμότητα του δοκιμίου.

### Θερμή πλάκα

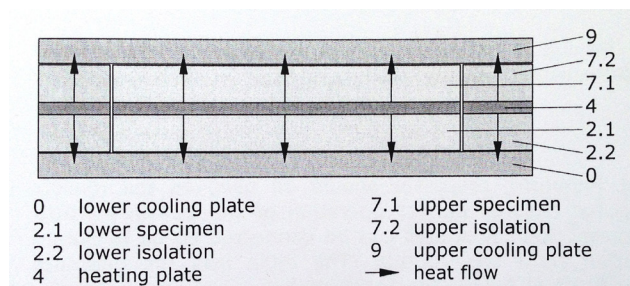
Σκοπός της θερμής πλάκας είναι η δημιουργία ροής θερμότητας διαμέσου του εξεταζόμενου δοκιμίου. Ένα προστατευτικό δαχτυλίδι θέρμανσης περιβάλλει τη θερμή πλάκα εμποδίζοντας τη διαφυγή θερμότητας από τις άκρες και προσφέροντας μόνωση για τη προστασία του δοκιμίου. Η θερμή πλάκα είναι σχεδιασμένη με τέτοιο τρόπο ώστε η εισερχόμενη ηλεκτρική δύναμη (σε όλη την επιφάνεια του δοκιμίου) να μετατρέπεται σε εξερχόμενη θερμότητα. Οι ιδιότητες αυτές διασφαλίζονται από μία απόλυτα ομογενή δομή σε συνδυασμό με πολύ χαμηλής τάσης πλάκες αλουμινίου. Η θερμή πλάκα είναι κατασκευασμένη από αλουμίνιο και έχει διαστάσεις 100x100mm ενώ μαζί με την προστατευτική ζώνη είναι 300 x 300mm.



Εικόνα 3.2.8 TLP 300 DT

### Ψυχρές πλάκες

Η θερμοκρασία των ψυχρών πλακών προσαρμόζεται μέσω ενός ελεγκτή θερμοκρασίας Peltier ώστε να διασφαλιστεί μία διαφορά θερμοκρασίας 10 K με τη θερμή πλάκα (ανάλογα με τις δεδομένες παραμέτρους). Η μορφή και το υλικό που επιλέγεται συμβάλλουν στην ομογενή κατανομή της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της πλάκας. Στην εικόνα 3.2.9 παρουσιάζεται η διάταξη του συστήματος. Οι ψυχρές πλάκες είναι κατασκευασμένες από αλουμίνιο και έχουν διαστάσεις 300 × 300 mm.



Εικόνα 3.2.9

### **Θερμοστοιχεία**

Τα θερμοστοιχεία είναι τύπου T (Cu/Co) και χρησιμοποιούνται για τον άμεσο προσδιορισμό της μέσης θερμοκρασιακής διαφοράς σύμφωνα με το πρότυπο DIN 52612. Πρόκειται για κυκλικά στοιχεία διαμέτρου 10 mm ενσωματωμένα σε φύλλα διαστάσεων 300 × 300 mm τα οποία τοποθετούνται στις άνω και κάτω επιφάνειες των δοκιμίων. Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 8302: 1991, αφού επιτευχθεί θερμική ισορροπία μεταξύ της συσκευής και του ατμοσφαιρικού αέρα, προσδιορίζεται η ομοιομορφία της μέτρησης της θερμοκρασίας συγκρίνοντας τη θερμοκρασία με εκείνη του ατμοσφαιρικού αέρα.

### **Έλεγχος θερμοκρασίας Peltier**

Η θερμοκρασία των πλακών ψύξης προσαρμόζονται με τα στοιχεία Peltier. Κάθε πλάκα διαθέτει 4 στοιχεία Peltier για την μεταφορά θερμότητας. Η περίσσεια θερμότητας αποβάλλεται μέσω ενός συνεχούς κύκλου ψύξης. Κάθε στοιχείο Peltier ενεργοποιείται ξεχωριστά διασφαλίζοντας έτσι ομογενή έλεγχο της θερμοκρασίας για τις πλάκες. Ακόμη, η θερμοκρασία της πλάκας μετρείται σε 4 σημεία κοντά στα στοιχεία Peltier και τα δεδομένα μέτρησης χρησιμοποιούνται για τις απαιτούμενες προσαρμογές. Ένας αξιόπιστος κύκλος ψύξης είναι απαραίτητος για την σωστή λειτουργία του θερμοκρασιακού ελέγχου. Για τον λόγο αυτό και για την πρόληψη των ζημιών που προκαλούνται από τυχόν δυσλειτουργία στην ψύξη, ενσωματώνεται ένας αισθητήρας ροής για τον έλεγχο της κυκλοφορίας του ψυκτικού μέσου.

### **Λογισμικό διάταξης**

Το λογισμικό λειτουργίας της διάταξης Lambda 2008 χρησιμοποιείται για τη μεταφορά των απαραίτητων παραμέτρων στο σύστημα μέτρησης, την παρακολούθηση της διαδικασίας μέτρησης και την παρουσίαση, εξαγωγή και αποθήκευση των αποτελεσμάτων. Όλα τα δεδομένα επεξεργασίας όπως οι θερμοκρασίες, οι θερμοκρασιακές διαφορές, οι ροές θερμότητας, τα ρεύματα και οι τάσεις καθορίζονται και παρακολουθούνται από το πρόγραμμα. Επίσης παράμετροι όπως οι χρόνοι σάρωσης, παράμετροι ελέγχου ή θερμοκρασιών καθορίζονται από το λογισμικό. Το λογισμικό έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε τα σημαντικά δεδομένα της επεξεργασίας και οι μετρήσεις να είναι διαθέσιμα και να μπορούν να παρακολουθούνται συνεχώς. Στο τέλος της διαδικασίας τα αποτελέσματα εμφανίζονται σε ένα γράφημα μιας αναφοράς με τις σημαντικότερες πληροφορίες της μέτρησης και των δοκιμίων.

### **Διαδικασία τοποθέτησης των δοκιμίων**

Αρχικά, ανοίγουμε το θάλαμο μέτρησης και κατευθύνουμε την άνω ψυχρή πλάκα και τη θερμή πλάκα στην ανώτατη δυνατή θέση. Τοποθετούμε τα δοκίμια στο θάλαμο μέτρησης κεντρικά σε σχέση με τη θερμή πλάκα. Στην επάνω θέση τοποθετείται το δοκίμιο προς εξέταση και στην κάτω θέση το δοκίμιο αναφοράς. Για να εξασφαλισθεί η καλή διεπαφή των θερμοστοιχείων με τα δοκίμια γίνεται χρήση φύλλων σιλικόνης πάχους 2 mm μαζί με την τοποθέτηση των φύλλων που είναι ενσωματωμένα τα θερμοστοιχεία, σε κάθε πλευρά του δείγματος. Έπειτα, κατευθύνουμε την άνω ψυχρή πλάκα και τη θερμή πλάκα προς τα κάτω μέχρι να σταματήσουν. Η ταχύτητα της κίνησης ελέγχεται μέσω ενός ποτενσιόμετρου που βρίσκεται στο εμπρόσθιο μέρος της συσκευής. Η ταχύτητα πρέπει να μειωθεί όταν προσεγγίζεται το κάτω δοκίμιο. Η δύναμη επαφής μπορεί επίσης να προσαρμοσθεί από ένα διακόπτη ελέγχου στη μονάδα ελέγχου. Όταν φτάσει στην επιθυμητή τιμή δύναμης, το σύστημα σταματά αυτόματα. Αφού κλείσει η πόρτα του θαλάμου μέτρησης, μπορούμε να ξεκινήσουμε τη μέτρηση.

### **Διαδικασία μέτρησης**

Κατά την πραγματοποίηση της μέτρησης η πόρτα παραμένει κλειστή για όλο το χρονικό

διάστημα. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα βήματα της διαδικασίας:

1. Τοποθέτηση των δοκιμίων στο μετρητικό θάλαμο.
2. Ενεργοποίηση του συστήματος μέτρησης και ελέγχου.
3. Εκκίνηση του προγράμματος Lambda2009.

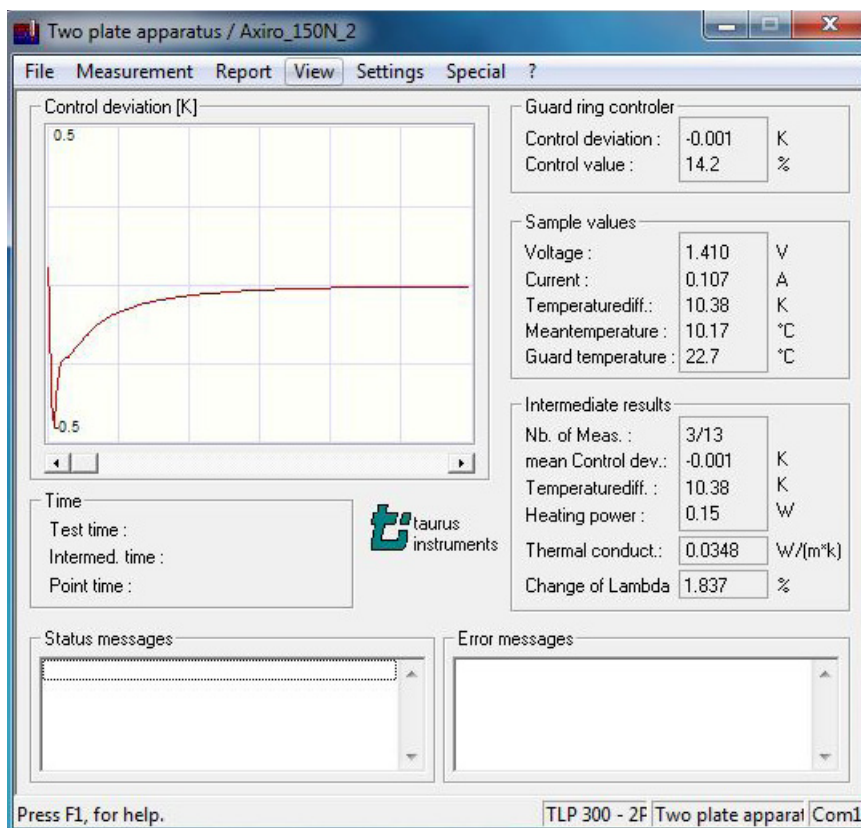
Στην επιλογή του μενού Measurement και πριν ξεκινήσει η μέτρηση, γίνονται οι παρακάτω ρυθμίσεις:

3.1 Στην επιλογή του μενού Sample συμπληρώνουμε το πάχος του υλικού σε mm όπως αυτό έχει μετρηθεί από τη διάταξη.

3.2 Στο παράθυρο διαλόγου Sample description γίνεται μια βασική περιγραφή του δοκιμίου π.χ. ονοματολογία, ημερομηνία, χαρακτηριστικές τιμές του υλικού (αν υπάρχουν).

3.3 Στην επιλογή Parameters καθορίζονται συγκεκριμένες παράμετροι που είναι απαραίτητες για την διεξαγωγή της μέτρησης π.χ. η μέση θερμοκρασία δείγματος ( $^{\circ}\text{C}$ ), η διαφορά θερμοκρασίας (K) των θερμών και των ψυχρών πλευρών, ο συνολικός χρόνος μέτρησης (min) για μια μέση θερμοκρασία.

4. Εκκίνηση της μέτρησης με την επιλογή Start measurement.
5. Διακοπή της διαδικασίας είτε με την ολοκλήρωσή της είτε χειροκίνητα με την επιλογή Stop.
6. Εξαγωγή της αναφοράς των αποτελεσμάτων και αποθήκευση.



Εικόνα 3.2.5 Λογισμικό Lambda 2008 - Καρτέλα μέτρησης

---

# ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

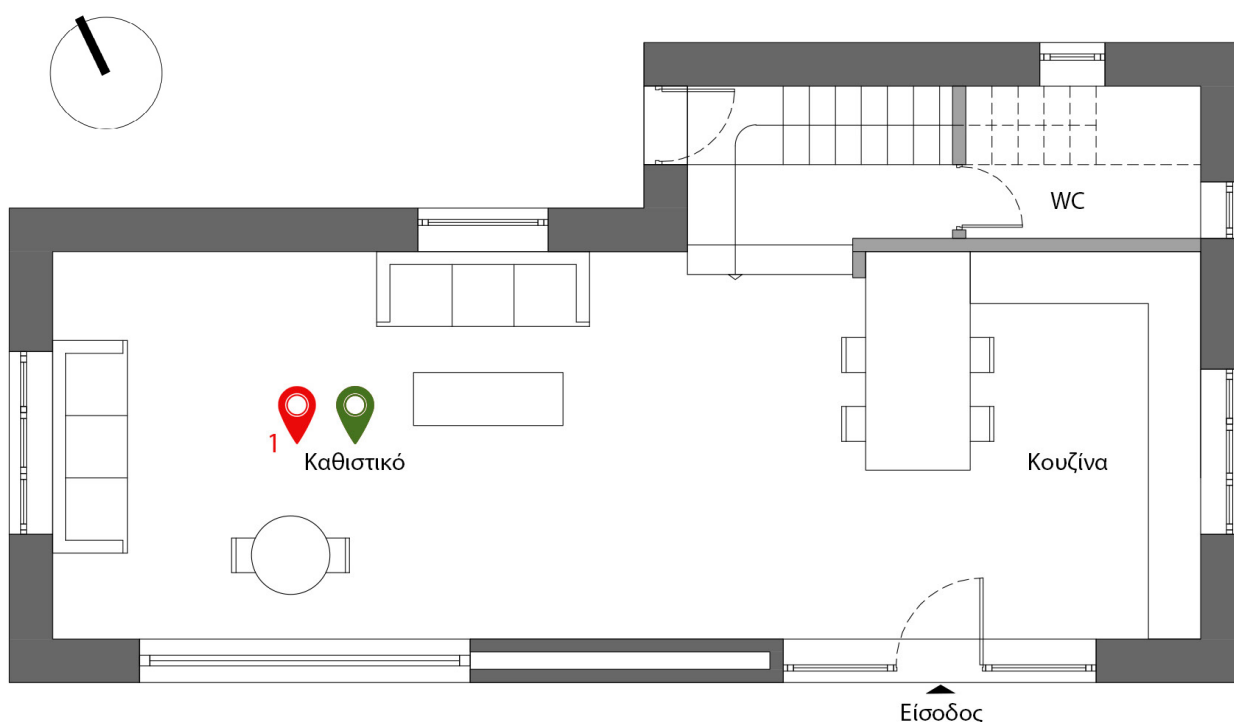
---

## 4.1 ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΗΝ ΑΙΓΙΝΑ - ΕΠΙΤΟΠΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

### ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΠΙΤΟΠΙΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Οι επιτόπιες μετρήσεις στην κατοικία στην Αίγινα πραγματοποιήθηκαν κατά τους μήνες Μάρτιο, Απρίλιο και Μάιο 2016, ακολουθώντας τη διαθεσιμότητα του ιδιοκτήτη. Συγκεκριμένα, οι μετρήσεις έγιναν τις Κυριακές (μία τον Μάρτιο, δύο τον Απρίλιο, δύο τον Μάιο), πρωί, μεσημέρι και απόγευμα. Ταυτόχρονα με τις μετρήσεις θερμικής άνεσης στον εσωτερικό χώρο, καταγράφονταν και οι τιμές της θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας στον εξωτερικό χώρο με τη βοήθεια του οργάνου μέτρησης της ποιότητας του αέρα που έχει αυτή την επιπλέον δυνατότητα. Η κάθε μέτρηση θερμικής άνεσης διαρκούσε 300 sec, δηλαδή 5 min. Το χρονικό αυτό διάστημα είναι ικανό για την ακριβή μέτρηση των παραμέτρων θερμικής άνεσης σύμφωνα με το πρότυπο ASHRAE και το εγχειρίδιο λειτουργίας του οργάνου. Η μέτρηση ποιότητας αέρα ήταν συνεχής από το πρωί έως το απόγευμα, με μία μικρή διακοπή το μεσημέρι καθώς το όργανο μεταφερόταν στον εξωτερικό χώρο για την προγραμματισμένη καταγραφή των εξωτερικών συνθηκών. Οι χώροι που εξετάστηκαν ήταν το καθιστικό στο ισόγειο και το υπνοδωμάτιο στον όροφο. Τα σημεία των μετρήσεων παρουσιάζονται στις εικόνες 4.1.1 και 4.1.2 και οι εξεταζόμενοι χώροι στις εικόνες 4.1.3 έως 4.1.7. Τα κόκκινα σύμβολα υποδεικνύουν τις θέσεις μέτρησης της θερμικής άνεσης και το πράσινο σύμβολο τη θέση μέτρησης της ποιότητας του αέρα.

Το σπίτι κατοικείται από 1 άτομο (69 ετών) κυρίως τα σαββατοκύριακα και σπανίως ολόκληρη την εβδομάδα. Το επίπεδο ρουχισμού για όλες τις μετρήσεις ορίστηκε στο 1.0 clo, τιμή που αντιστοιχεί σε τυπική ένδυση την άνοιξη και είναι σύμφωνη με την καθημερινή ενδυμασία του ενοίκου. Ο μεταβολικός ρυθμός διαφοροποιείται ανάλογα με τον εξεταζόμενο χώρο λόγω της διαφορετικής δραστηριότητας που πραγματοποιείται στον καθένα. Στο καθιστικό η τιμή μεταβολικού ρυθμού ορίστηκε στο 1.2 met (standing relaxed), ενώ στο υπνοδωμάτιο ορίστηκε στο 1.0 met (resting, seated quiet).



Εικόνα 4.1.1 Κάτοψη ισογείου σε κλίμακα 1/100 της κατοικίας - Θέσεις αισθητήρων





Εικόνα 4.1.2 Κάτοψη ορόφου σε κλίμακα 1/100 της κατοικίας - Θέσεις αισθητήρων

Παράλληλα με τις επιτόπιες μετρήσεις θερμικής άνεσης και ποιότητας αέρα, ο ένοικος απαντούσε ειδικά διαμορφωμένο ερωτηματολόγιο κατά τη διάρκεια της κάθε μέτρησης καθώς η αντίληψη των συνθηκών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από προσωπικές παραμέτρους όπως το φύλο, η ηλικία και οι συνήθειες του χρήστη. Σύμφωνα με τις απαντήσεις, ο ένοικος θεωρεί τις θερμικές συνθήκες του σπιτιού ικανοποιητικές χαρακτηρίζοντας το χώρο θερμό το πρωί και πολύ θερμό το μεσημέρι και το απόγευμα, δεν επιθυμεί μεταβολή των συνθηκών και δεν παρατηρεί ανεπιθύμητα ρεύματα σε κανένα σημείο της κατοικίας. Ακόμη, ο ένοικος αξιολογεί την ποιότητα του αέρα ως πολύ καλή και δεν παρατηρεί καμία δυσάρεστη οσμή.



Εικόνα 4.1.3 Εξωτερική άποψη της κατοικίας - 1



Εικόνα 4.1.4 Εξωτερική άποψη της κατοικίας - 2



Εικόνα 4.1.5 Καθιστικό



Εικόνα 4.1.6 Κουζίνα



Εικόνα 4.1.7 Υπνοδωμάτιο

## ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΤΟΜΗ

Η τομή σε κλίμακα 1/25 αποκαλύπτει τα βασικά στοιχεία κατασκευής του σπιτιού και συγκεκριμένα τον ξύλινο φορέα και τα επιμέρους στοιχεία του, τα δεμάτια αχύρου που τοποθετούνται από την εξωτερική μεριά του ξύλινου φορέα και σχηματίζουν τον τοίχο, τις συνδέσεις των δεματίων μεταξύ τους, την ανύψωση της βάσης από σκυρόδεμα κατά 25 cm από το έδαφος, το επίχρισμα κ.α. Οι εικόνες 4.1.8 έως 4.1.11 είναι ενδεικτικές της διαδικασίας κατασκευής.



Εικόνα 4.1.8 Στάδιο κατασκευής - 1



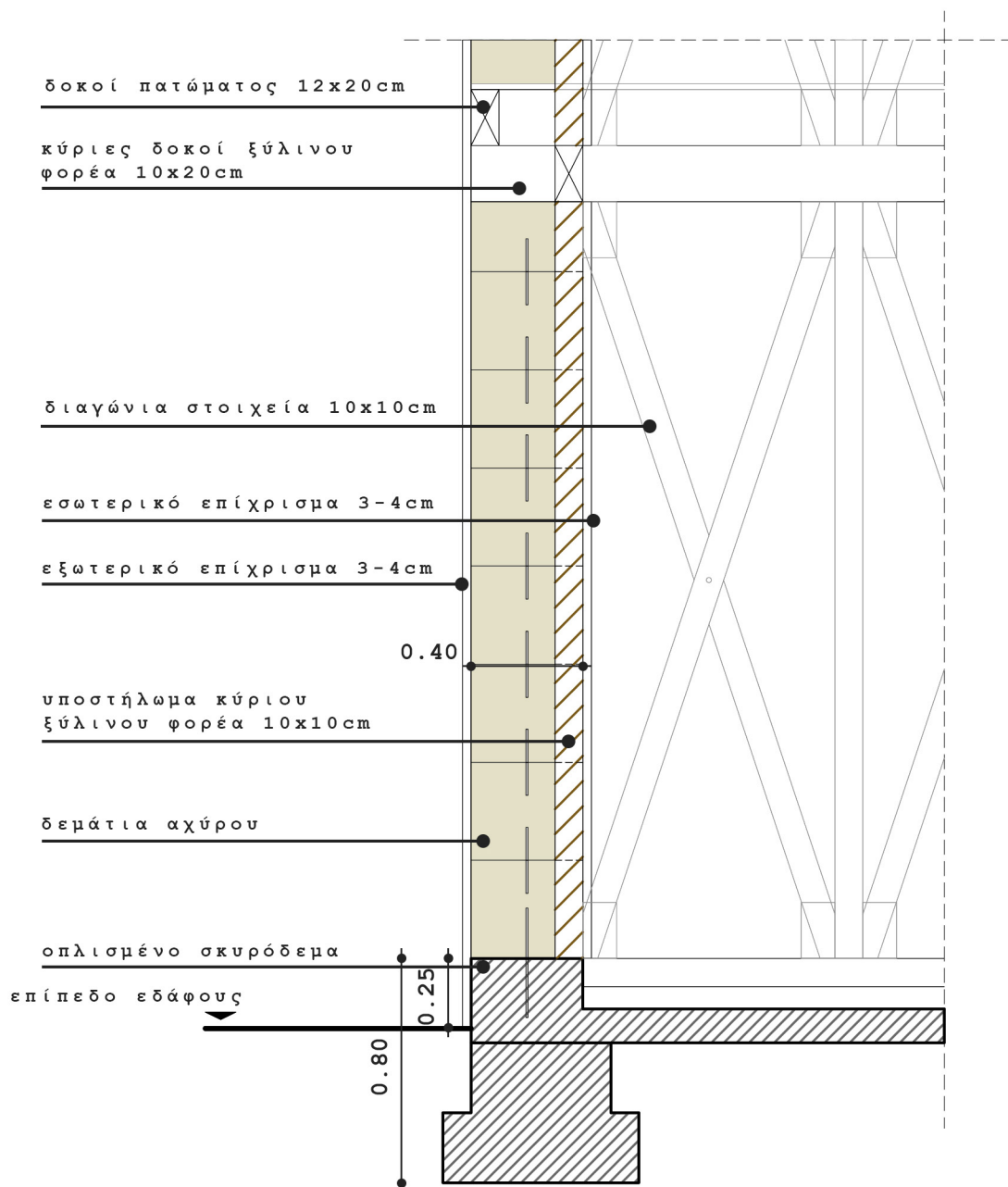
Εικόνα 4.1.9 Στάδιο κατασκευής - 2



Εικόνα 4.1.10 Στάδιο κατασκευής - 3



Εικόνα 4.1.11 Στάδιο κατασκευής - 4



Εικόνα 4.1.12 Κατασκευαστική τομή σε κλίμακα 1/25 του τοίχου της κατοικίας στην Αίγινα

**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΙΤΟΠΙΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ**

Τα διαγράμματα παρουσιάζουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων της θερμικής άνεσης που αντιστοιχούν στην κάθε θέση μέτρησης. Η θερμοκρασία αέρα, η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας και η λειτουργική θερμοκρασία παρουσιάζονται συγκριτικά με την εξωτερική θερμοκρασία. Η λειτουργική θερμοκρασία συνυπολογίζει την ταχύτητα αέρα δίνοντας μία πιο συνολική εικόνα της θερμικής άνεσης.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν 3 φορές την κάθε ημέρα εξέτασης, πρωί, μεσημέρι και απόγευμα. Οι πίνακες παρουσιάζουν την ελάχιστη τιμή, τη μέγιστη τιμή και τη μέση τιμή των τιμών των παραμέτρων που εξετάστηκαν ανά ημέρα. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατή η σύγκριση των τιμών μεταξύ τους και η μετέπειτα αξιολόγηση τους ανά χώρο και ανά ημέρα γνωρίζοντας παράλληλα και τις εξωτερικές θερμικές συνθήκες. Οι αναλυτικοί πίνακες με όλες τις τιμές των παραμέτρων θερμικής άνεσης που καταγράφηκαν παρατίθενται στο παράρτημα της εργασίας.

Σύμφωνα με τα εξαγόμενα αποτελέσματα, η εξωτερική θερμοκρασία κυμαίνεται από 17 έως 27 °C, διαφορά η οποία είναι αναμενόμενη καθώς οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε διάστημα 3 μηνών. Οι πιο υψηλές τιμές θερμοκρασίας καταγράφηκαν στις 15 Μαΐου με μέγιστη τιμή τους 27.02 °C. Την ίδια μέρα παρατηρήθηκε και η χαμηλότερη τιμή σχετικής υγρασίας (26.54 %). Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, δεν υπήρξε βροχόπτωση, γεγονός που δικαιολογεί την απουσία υψηλών τιμών σχετικής υγρασίας καθώς η μέγιστη τιμή που καταγράφηκε είναι 51.82 %. Κατά την πλειονότητα των ημερών μέτρησης υπήρχε ηλιοφάνεια με περιόδους αραιής συννεφιάς.

		ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ		ΑΙΓΙΝΑ - ΚΑΘΙΣΤΙΚΟ							
		ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ [°C]	ΥΓΡΑΣΙΑ [%]	ΕΣΩΤ. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ [°C]			ΥΓΡΑΣΙΑ [%]	ΤΑΧΥΤΗΤΑ [m/s]	DRAUGHT RATE [%]	PPD [%]	PMV
				ΑΕΡΑ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ					
20 ΜΑΡΤΙΟΥ	Average	19,20	42,20	21,78	22,15	21,98	45,81	0,058	4,13	7,17	-0,15
	Min	17,81	37,38	20,27	19,87	20,00	42,02	0,033	0,00	5,10	-0,53
	Max	21,31	47,44	22,92	23,99	23,54	48,86	0,075	8,90	10,89	0,16
10 ΑΠΡΙΛΙΟΥ	Average	22,17	39,72	23,95	23,84	23,87	42,25	0,050	1,10	8,05	0,26
	Min	20,54	35,04	22,57	22,29	22,39	38,11	0,040	0,00	5,04	-0,04
	Max	24,19	44,34	25,97	25,52	25,69	47,75	0,062	3,24	13,48	0,64
17 ΑΠΡΙΛΙΟΥ	Average	23,13	45,37	23,71	25,09	24,21	45,27	0,238	36,90	8,62	0,12
	Min	22,05	33,12	21,36	23,60	22,19	35,28	0,09	6,58	6,09	-0,41
	Max	24,25	51,82	25,52	26,26	25,45	54,17	0,32	55,01	11,26	0,54
15 ΜΑΙΟΥ	Average	25,59	31,37	26,60	26,54	26,49	38,01	0,103	9,21	17,75	0,74
	Min	24,08	26,54	25,09	26,02	25,49	29,04	0,038	0,00	8,87	0,43
	Max	27,02	40,4	27,89	27,42	27,6	42,52	0,197	24,66	26,25	1,00
22 ΜΑΙΟΥ	Average	23,45	41,49	25,26	24,93	25,04	46,21	0,063	2,95	10,30	0,49
	Min	22,36	39,64	24,49	24,43	24,43	44,17	0,053	2,07	7,81	0,37
	Max	24,61	42,55	26,08	25,39	25,63	49,51	0,073	4,27	13,05	0,62

Πίνακας 4.1.10 Αποτελέσματα επιτόπιων μετρήσεων θερμικής άνεσης - Αίγινα - Καθιστικό

		ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ		ΑΙΓΙΝΑ - ΥΠΝΟΔΩΜΑΤΙΟ							
		ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ [°C]	ΥΓΡΑΣΙΑ [%]	ΕΣΩΤ. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ [°C]			ΥΓΡΑΣΙΑ [%]	ΤΑΧΥΤΗΤΑ [m/s]	DRAUGHT RATE [%]	PPD [%]	PMV
				ΑΕΡΑ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ					
20 ΜΑΡΤΙΟΥ	Average	19,20	42,20	22,68	22,68	22,68	44,41	0,035	0,00	10,48	-0,45
	Min	17,81	37,38	21,32	21,40	21,36	42,38	0,033	0,00	5,85	-0,78
	Max	21,31	47,44	23,85	23,43	23,58	47,05	0,040	0,00	17,96	-0,20
10 ΑΠΡΙΛΙΟΥ	Average	22,17	39,72	22,53	23,26	22,83	44,36	0,173	29,85	12,46	-0,59
	Min	20,54	35,04	22,38	22,18	22,27	40,58	0,116	15,66	10,85	-0,63
	Max	24,19	44,34	22,68	23,92	23,17	48,96	0,245	51,41	13,45	-0,52
17 ΑΠΡΙΛΙΟΥ	Average	23,13	45,37	23,66	24,64	24,04	48,36	0,209	27,19	12,40	-0,33
	Min	22,05	33,12	21,72	23,19	22,30	36,62	0,09	6,19	7,02	-0,88
	Max	24,25	51,82	25,85	25,81	25,83	56,21	0,28	38,88	21,29	0,31
15 ΜΑΙΟΥ	Average	25,59	31,37	26,49	27,71	26,93	39,72	0,252	38,35	10,56	0,44
	Min	24,08	26,54	25,93	27,59	26,56	33,86	0,033	0,00	5,65	0,17
	Max	27,02	40,4	27,56	27,91	27,6	45,26	0,493	94,59	18,61	0,80
22 ΜΑΙΟΥ	Average	23,45	41,49	25,73	25,33	25,47	45,55	0,041	0,22	7,79	0,28
	Min	22,36	39,64	24,88	24,49	24,63	43,63	0,037	0,00	5,09	0,07
	Max	24,61	42,55	26,60	27,00	26,86	48,71	0,043	0,39	12,66	0,60

Πίνακας 4.1.11 Αποτελέσματα επιτόπιων μετρήσεων θερμικής άνεσης - Αίγινα - Υπνοδωμάτιο

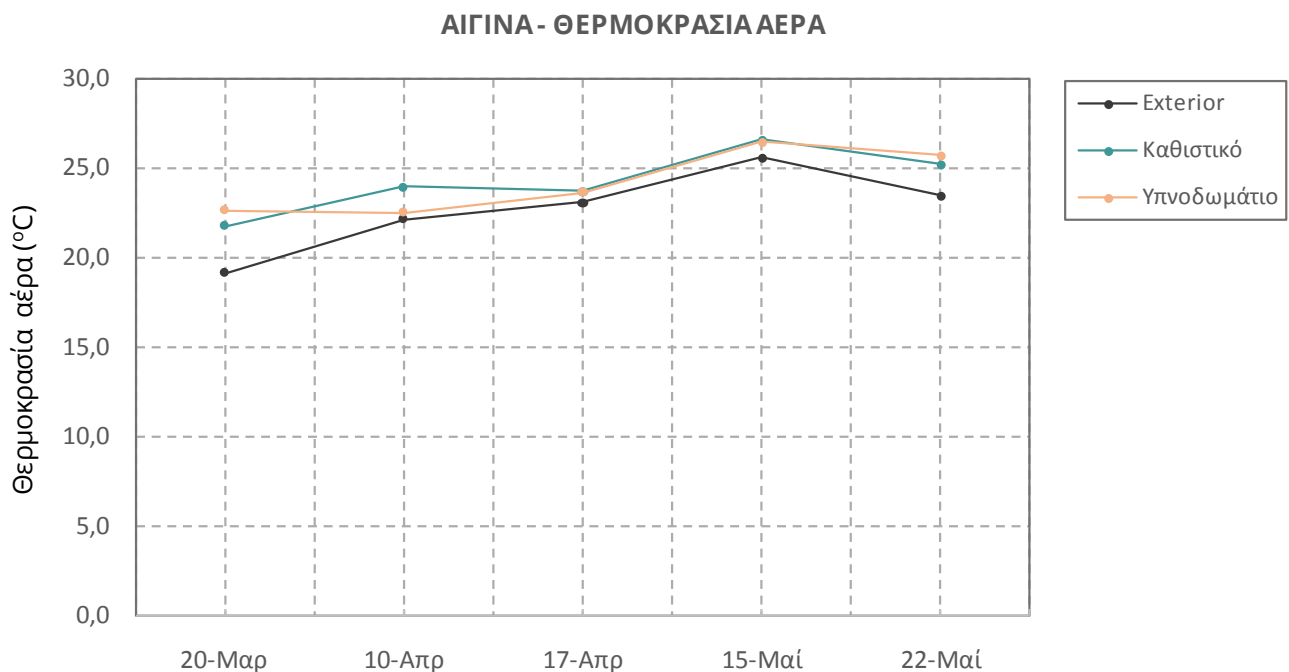
Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ξεχωριστά για το καθιστικό – ισόγειο και για το υπνοδωμάτιο – όροφος με σκοπό τη σύγκριση και τη μελέτη πιθανών διαφορών που θα εμφανιστούν στους δύο χώρους λόγω των διαφορετικών χαρακτηριστικών που παρουσιάζουν.

Η θερμοκρασία του αέρα στο καθιστικό κυμαίνεται από 20.3 έως 27.9 °C, με μία μέση τιμή στους 24.3 °C. Η θερμοκρασία του αέρα στο υπνοδωμάτιο κυμαίνεται από 21.3 έως 27.6 °C, με μία μέση τιμή στους 24.2 °C. Σύμφωνα με το πρότυπο EN 15251:2006 <sup>[18]</sup>, η προτεινόμενη κατώτατη τιμή θερμοκρασίας αέρα σε εσωτερικό χώρο το χειμώνα είναι 20 °C και η προτεινόμενη μέγιστη τιμή το καλοκαίρι είναι 26 °C. Συνεπώς, οι τιμές της θερμοκρασίας του αέρα και στους δύο εξεταζόμενους χώρους κυμαίνονται μέσα στα επιθυμητά επίπεδα, αναλογιζόμενοι ότι οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν κυρίως την άνοιξη. Η θερμοκρασία λειτουργίας, τόσο στο καθιστικό όσο και στο υπνοδωμάτιο, δεν παρουσιάζει διαφορά άνω του 1 °C σε σχέση με την αντίστοιχη θερμοκρασία του αέρα. Η σχετική υγρασία στο καθιστικό παρουσίασε τιμές από 29.0 % έως 54.2 %, με μία μέση τιμή 43.5 %. Αντίστοιχα, στο υπνοδωμάτιο η σχετική υγρασία έλαβε τιμές από 33.8 % έως 56.2 %, με μία μέση τιμή 44.5 %. Σύμφωνα με το Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-1/2010, η προτεινόμενη κατώτατη τιμή σχετικής υγρασίας το χειμώνα είναι 40 % και η προτεινόμενη ανώτατη τιμή το καλοκαίρι είναι 45 %. Συνεπώς, η μέση τιμή της σχετικής υγρασίας των εξεταζόμενων χώρων της κατοικίας δεν ξεπερνά τα επιθυμητά όρια. Η ταχύτητα του αέρα στο καθιστικό κυμαίνεται μεταξύ 0.03 – 0.32 m/s, με μέση τιμή 0.099 m/s, και στο υπνοδωμάτιο μεταξύ 0.03 – 0.49 m/s, με μέση τιμή 0.141 m/s. Ο δείκτης ρευμάτων (draught rate) κυμαίνεται στο καθιστικό από 0 % έως 55.04 %, με μέση τιμή 10.86 %, και στο υπνοδωμάτιο από 0 % - 94.59 %, με μέση τιμή 19.12 %.

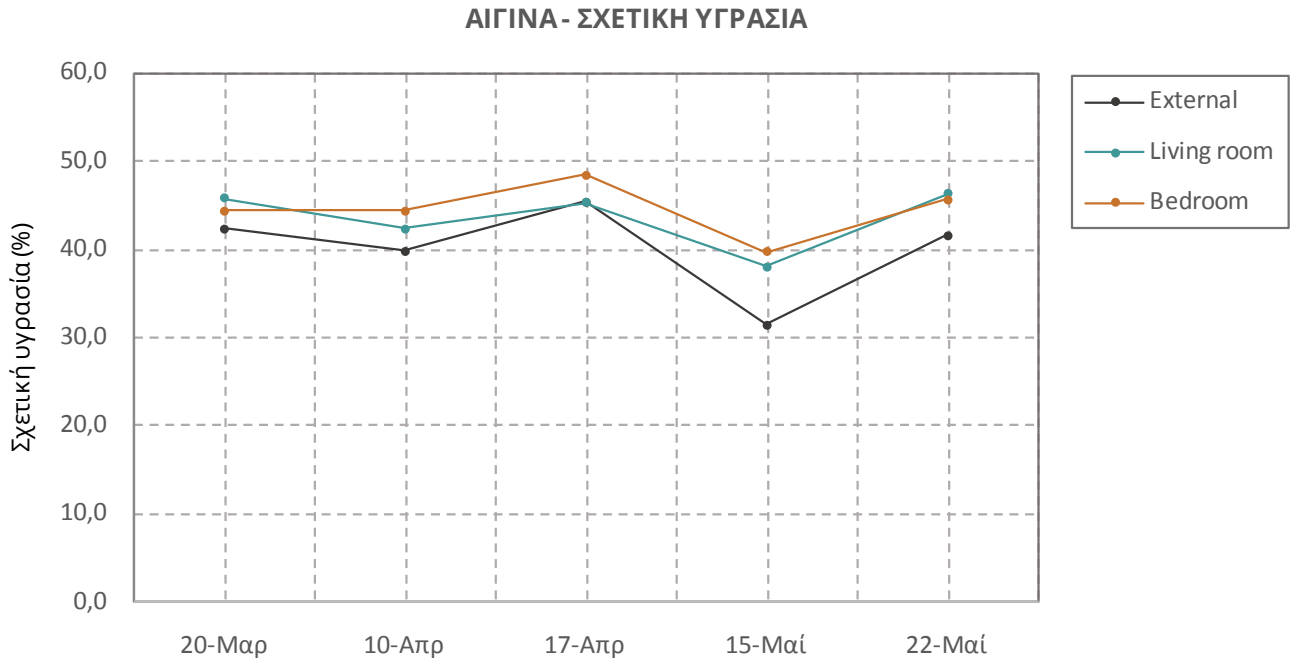
Η σύγκριση των τιμών της θερμοκρασίας και της υγρασίας εντός της κατοικίας με τις εξωτερικές τιμές οδηγεί λογικά στο συμπέρασμα ότι οι εξωτερικές συνθήκες επηρεάζουν έντονα τις εσωτερικές συνθήκες. Μία σημαντική παράμετρος που συμβάλλει στο γεγονός αυτό είναι ότι τα παράθυρα παρέμεναν πολύ συχνά ανοιχτά κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Η θερμοκρασία του

αέρα στο εσωτερικό της κατοικίας είναι συνήθως υψηλότερη από την εξωτερική θερμοκρασία κατά 1 – 3 °C. Η σχετική υγρασία επίσης παρουσιάζει αύξηση κατά 2 -7 βαθμούς σε σχέση με την εξωτερική υγρασία. Ωστόσο, η τιμή της σχετικής υγρασίας τις περισσότερες φορές είναι κοντά στο 40 %, η οποία είναι η προτεινόμενη τιμή σύμφωνα με το Τεχνικό Επιμελητήριο της Ελλάδας. Η πολύ χαμηλή τιμή (29.04 %) που παρατηρείται στις 15 Μαΐου το απόγευμα στο καθιστικό οφείλεται στην αρκετά υψηλή εξωτερική θερμοκρασία εκείνη τη στιγμή (27.04 °C) η οποία είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία αίσθησης ξηρότητας στην ατμόσφαιρα. Ακόμη, τη συγκεκριμένη μέρα μετρήσεων το απόγευμα όλα τα παράθυρα παρέμειναν κλειστά με αποτέλεσμα να μην πραγματοποιείται ανανέωση του αέρα. Ταυτόχρονα, την ίδια στιγμή στο υπνοδωμάτιο η σχετική υγρασία παρουσιάζει τιμή 33.9 % καθώς το παράθυρο του υπνοδωματίου ήταν διάπλατα ανοιχτό. Όσον αφορά την ταχύτητα του αέρα, οι τιμές μεταξύ 0.1 – 0.3 m/s αντιστοιχούν σε στιγμές κατά τις οποίες τα παράθυρα ήταν ανοιχτά. Παρατηρείται ακόμη ότι οι υψηλές τιμές ταχύτητας αέρα συνοδεύονται από υψηλές τιμές του δείκτη ρευμάτων. Στις 17 Απριλίου το πρωί στο καθιστικό η ταχύτητα αέρα είναι 0.3 m/s και ο δείκτης ρευμάτων 55 %. Το απόγευμα της ίδιας ημέρας, η ταχύτητα αέρα πέφτει στο 0.08 m/s και ο δείκτης ρευμάτων είναι 6.58 %. Αυτή η απότομη αλλαγή των συγκεκριμένων παραγόντων μέτρησης οφείλεται στο γεγονός ότι το απόγευμα τα παράθυρα ήταν κλειστά, ενώ παρέμειναν ανοιχτά κατά τη διάρκεια της υπόλοιπης ημέρας.

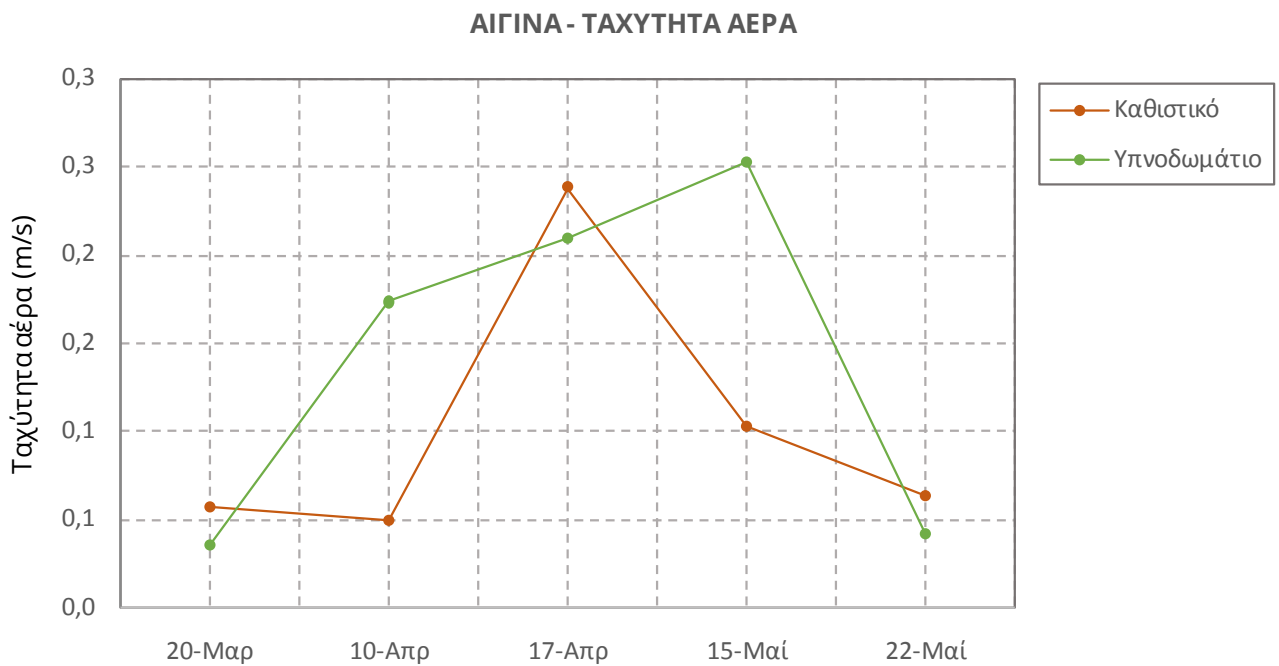
Η σύγκριση των αποτελεσμάτων της θερμοκρασίας στο καθιστικό και στο υπνοδωμάτιο καταδεικνύει ότι η θερμοκρασία στο υπνοδωμάτιο είναι ελαφρώς υψηλότερη τις περισσότερες φορές. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι ο θερμός αέρας, όντας ελαφρύτερος, οδηγείται προς τα άνω καθώς δεν υπάρχουν εσωτερικά χωρίσματα που να διαχωρίζουν τα δύο επίπεδα. Αυτή η διαφορά θερμοκρασίας βέβαια αντιστρέφεται κάποιες φορές όταν ο ιδιοκτήτης διατηρούσε κλειστά τα παράθυρα του καθιστικού και ανοιχτά εκείνα του υπνοδωματίου (15 Μαΐου το απόγευμα).



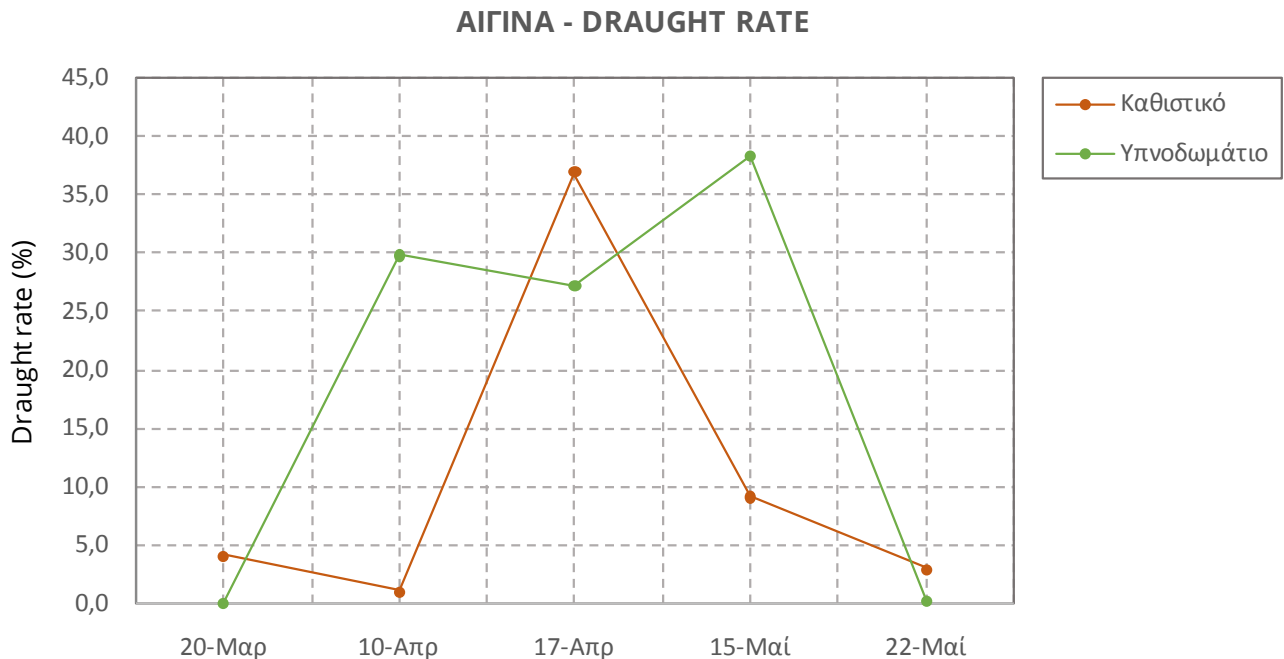
Διάγραμμα 4.1.12 Διάγραμμα θερμοκρασίας αέρα και σύγκριση τιμών καθιστικού, υπνοδωματίου και εξωτερικού περιβάλλοντος



Διάγραμμα 4.1.13 Διάγραμμα σχετικής υγρασίας και σύγκριση τιμών καθιστικού, υπνοδωματίου και εξωτερικού περιβάλλοντος



Διάγραμμα 4.1.14 Διάγραμμα ταχύτητας αέρα και σύγκριση τιμών καθιστικού και υπνοδωματίου



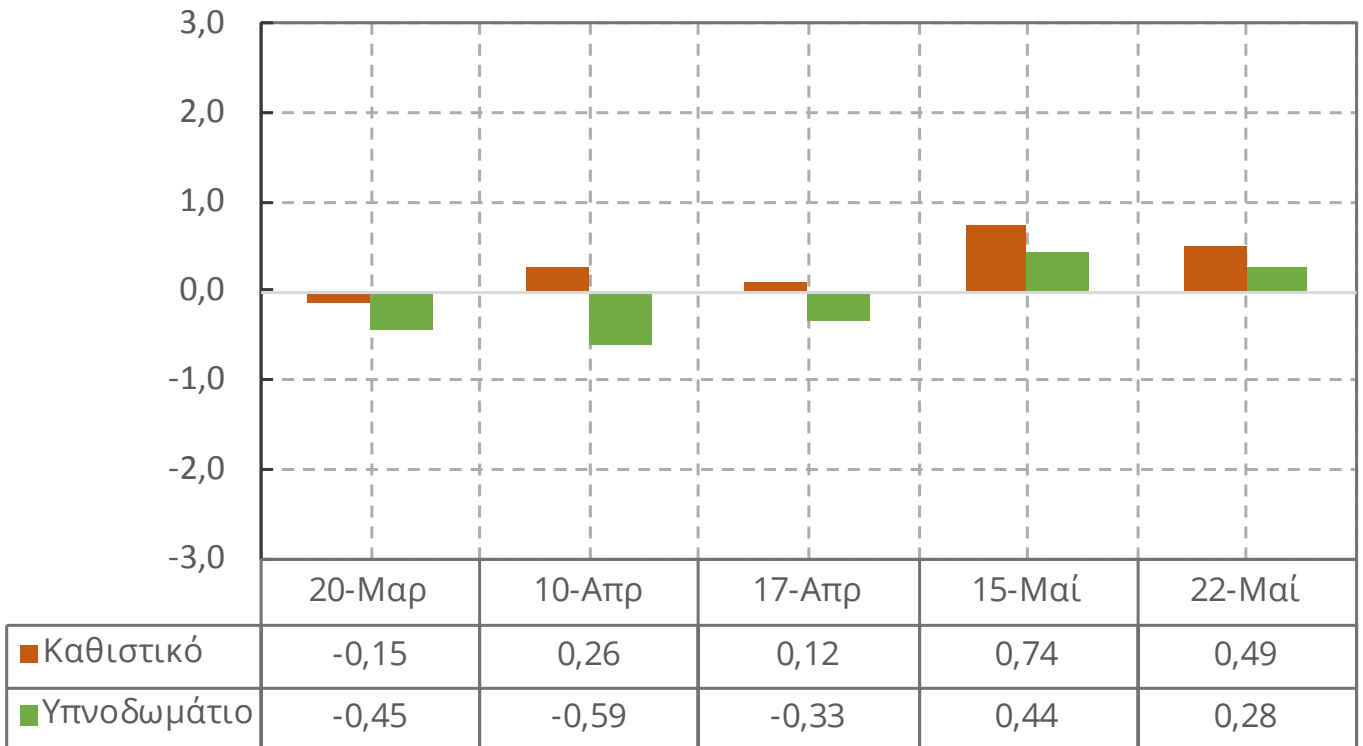
**Διάγραμμα 4.1.15** Διάγραμμα δείκτη ρευμάτων και σύγκριση τιμών καθιστικού και υπνοδωματίου

Οι δείκτες PMV και PPD αποκαλύπτουν τον αριθμό των δυσαρεστημένων ατόμων με τη μορφή ποσοστού καθώς και τη φύση της δυσαρέσκειας (αίσθηση ζεστού ή ψυχρού). Στο καθιστικό ο δείκτης PMV κυμαίνεται από -0.53 έως 1.00 με αντίστοιχες τιμές PPD από 5.04 % έως 26.25. %. Στο υπνοδωμάτιο ο δείκτης PMV κυμαίνεται από -0.88 έως 0.80 με αντίστοιχες τιμές PPD από 5.09 % έως 21.29. %. Οι τιμές των δεικτών και στους δύο εξεταζόμενους χώρους δείχνουν μικρή δυσαρέσκεια με τις θερμικές συνθήκες της κατοικίας η οποία αποδίδεται κυρίως στο σχετικά θερμό εσωτερικό περιβάλλον. Ωστόσο, παρατηρείται τους μήνες Μάρτιο και Απρίλιο, κυρίως τα πρωινά, μικρή δυσαρέσκεια που οφείλεται σε αίσθηση ψυχρού περιβάλλοντος, γεγονός που σχετίζεται με τις χαμηλότερες εξωτερικές θερμοκρασιακές τιμές την περίοδο εκείνη. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται πιο έντονα στο υπνοδωμάτιο όπου συναντάμε χαμηλότερες τιμές PMV λόγω του χαμηλότερου μεταβολικού ρυθμού που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο χώρο (1.0 met). Η αντίστοιχη τιμή του μεταβολικού ρυθμού στο καθιστικό είναι 1.2 met. Στο διάγραμμα 4.1.17 φαίνονται τα σημεία που συμβολίζουν τις μέσες τιμές PMV στο καθιστικό να βρίσκονται κυρίως άνω του 0 ενώ τα σημεία που συμβολίζουν τις τιμές PMV του υπνοδωματίου κάτω του 0. Αντίστοιχα το ποσοστό των δυσαρεστημένων στο καθιστικό βρίσκεται κυρίως κάτω από 10% με εξαίρεση στις 15 Μαΐου που παρουσιάζεται μέση τιμή 17.75 %, και στο υπνοδωμάτιο επίσης κάτω από 10 % με εξαίρεση στις 10 Απριλίου που παρουσιάζεται μέση τιμή 12.46 %.

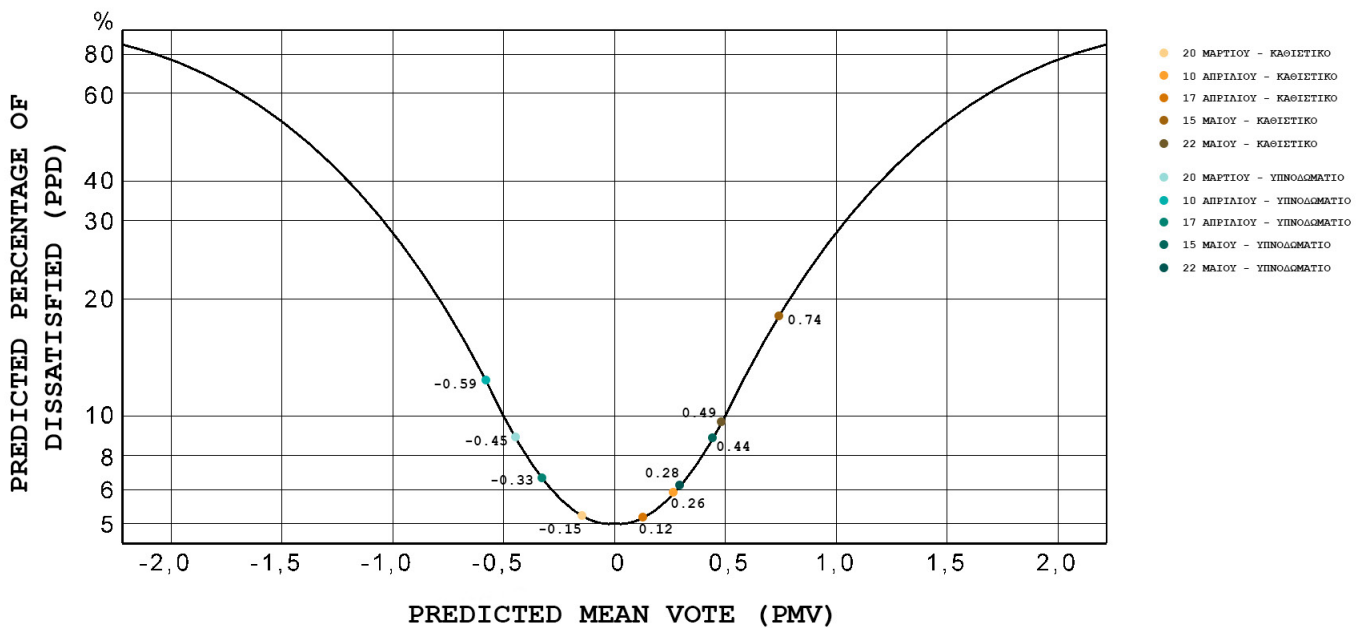
Σύμφωνα με τη θεωρία του Fanger, η κατάσταση που επικρατεί σε έναν χώρο θεωρείται ικανοποιητική όταν το ποσοστό των δυσαρεστημένων (PPD) δεν ξεπερνά το 10%. Στην περίπτωση της κατοικίας στην Αίγινα η συνθήκη αυτή φαίνεται να ικανοποιείται. Συμπερασματικά, οι συνθήκες θερμικής άνεσης της κατοικίας είναι καλές και συμφωνούν ως ένα βαθμό με την θερμική αντίληψη του ένοικου.



PMV



Διάγραμμα 4.1.16 Διάγραμμα δείκτη PMV και σύγκριση τιμών καθιστικού και υπνοδωματίου



Διάγραμμα 4.1.17 Διάγραμμα PMV - PPD και σύγκριση τιμών καθιστικού και υπνοδωματίου

**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΙΤΟΠΙΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ**

Οι επιτόπιες μετρήσεις της ποιότητας του αέρα στην κατοικία στην Αίγινα κατέδειξαν την απουσία μονοξειδίου του αζώτου (NO), διοξειδίου του αζώτου (NO<sub>2</sub>), διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>) και μονοξειδίου του άνθρακα (CO), ενώ παράλληλα ανιχνεύτηκαν χαμηλές συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και πτητικών οργανικών ενώσεων (TVOCs). Σύμφωνα με το "Industrial Hygienist's Guide to Indoor Air Quality" <sup>[12]</sup>, το αποδεκτό ανώτατο όριο TVOCs σε εσωτερικό χώρο είναι 1000 ppb. Τα επίπεδα TVOCs στο εσωτερικό της κατοικίας κυμαίνονται μεταξύ 87 – 350 ppb, τιμές που αποδεικνύονται ικανοποιητικές για τη διαβίωση των ενοίκων. Οι απότομες κορυφές στο διάγραμμα 4.1.20, που υποδεικνύουν αύξηση των TVOCs, εμφανίζονται λόγω του ανεπαρκούς αερισμού τη δεδομένη στιγμή. Για παράδειγμα, στις 17 Απριλίου τα παράθυρα και οι πόρτες ήταν ανοιχτά το πρωί και το μεσημέρι, ενώ παρέμειναν κλειστά το απόγευμα, όπου και παρατηρείται αύξηση της συγκέντρωσης TVOCs. Τα υψηλά επίπεδα TVOCs σε εσωτερικό χώρο οφείλονται κυρίως στο χαμηλό ρυθμό ανταλλαγής αέρα ανάμεσα στο εσωτερικό και στο εξωτερικό περιβάλλον ως αποτέλεσμα των απόλυτα στεγανών και κλειστών παραθύρων και του ανεπαρκούς αερισμού. Είναι λοιπόν λογικό να παρουσιάζονται υψηλότερες συγκεντρώσεις TVOCs το χειμώνα σε σχέση με το καλοκαίρι (3 με 4 φορές υψηλότερες). Σύμφωνα με το "Industrial Hygienist's Guide to Indoor Air Quality" <sup>[12]</sup>, τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα πρέπει να βρίσκονται κάτω από 850 ppm. Τα επίπεδα CO<sub>2</sub> που ανιχνεύθηκαν στην κατοικία κυμαίνονται μεταξύ 355 – 648 ppm, τιμές που βρίσκονται εντός του επιτρεπόμενου εύρους.

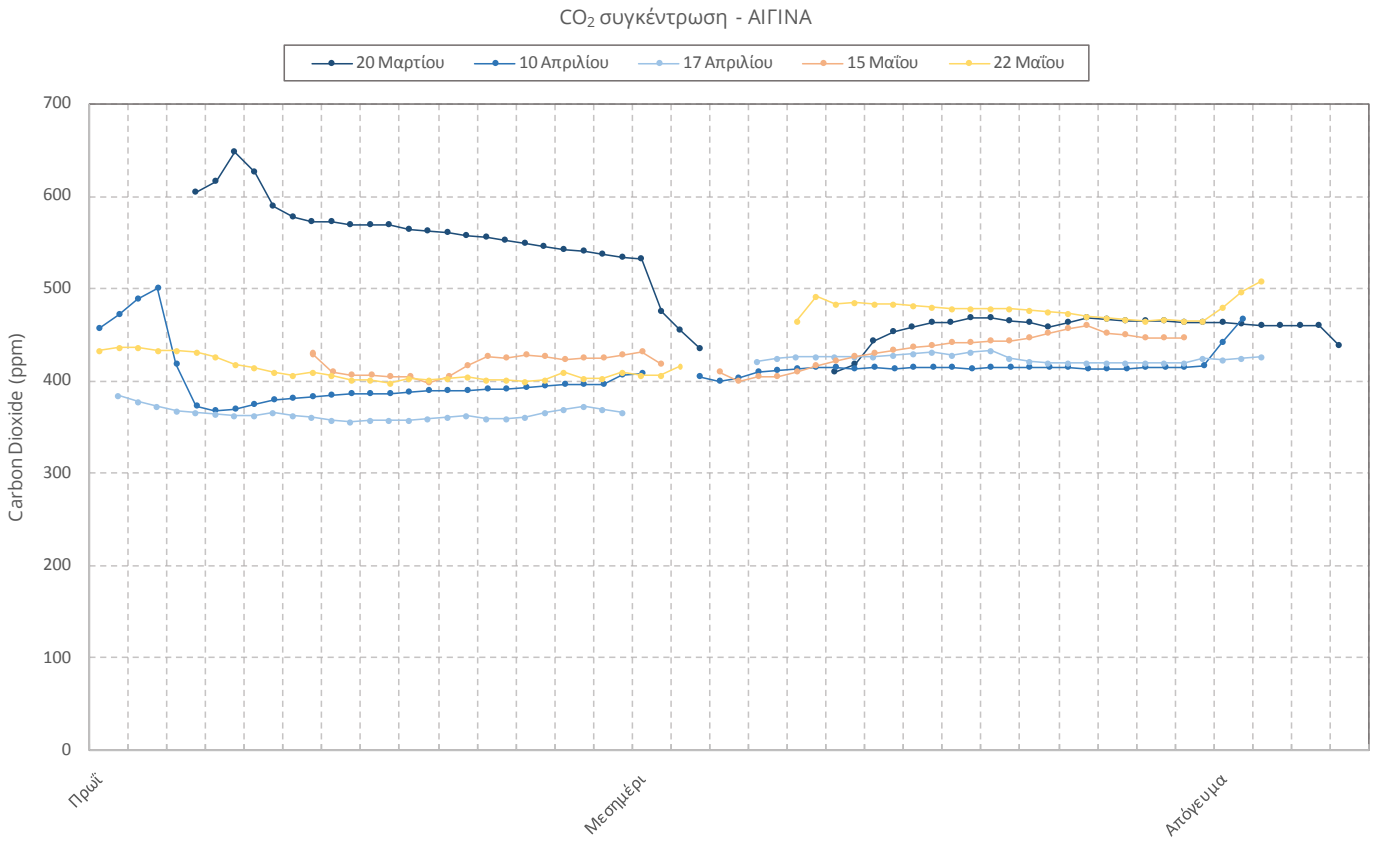
Η σύγκριση των τιμών TVOCs και CO<sub>2</sub> που ανιχνεύτηκαν στο εσωτερικό της κατοικίας και στον εξωτερικό χώρο φανερώνει μία μικρή αύξηση της συγκέντρωσης στο εσωτερικό. Η παρατήρηση αυτή δείχνει ότι τα υλικά κατασκευής του σπιτιού και οι δραστηριότητες στο εσωτερικό επιβαρύνουν ελάχιστα την ποιότητα του αέρα οδηγώντας σε υγιεινές συνθήκες διαβίωσης.

		Αίγινα - Καθιστικό				
		20 Μαρτίου	10 Απριλίου	17 Απριλίου	15 Μαΐου	22 Μαΐου
TVOC (ppb)	min	122	87	114	131	157
	max	195	120	315	333	350
	average	158	99	165	187	199
CO <sub>2</sub> (ppm)	min	410	368	355	398	397
	max	648	500	432	460	508
	average	507	408	394	427	440

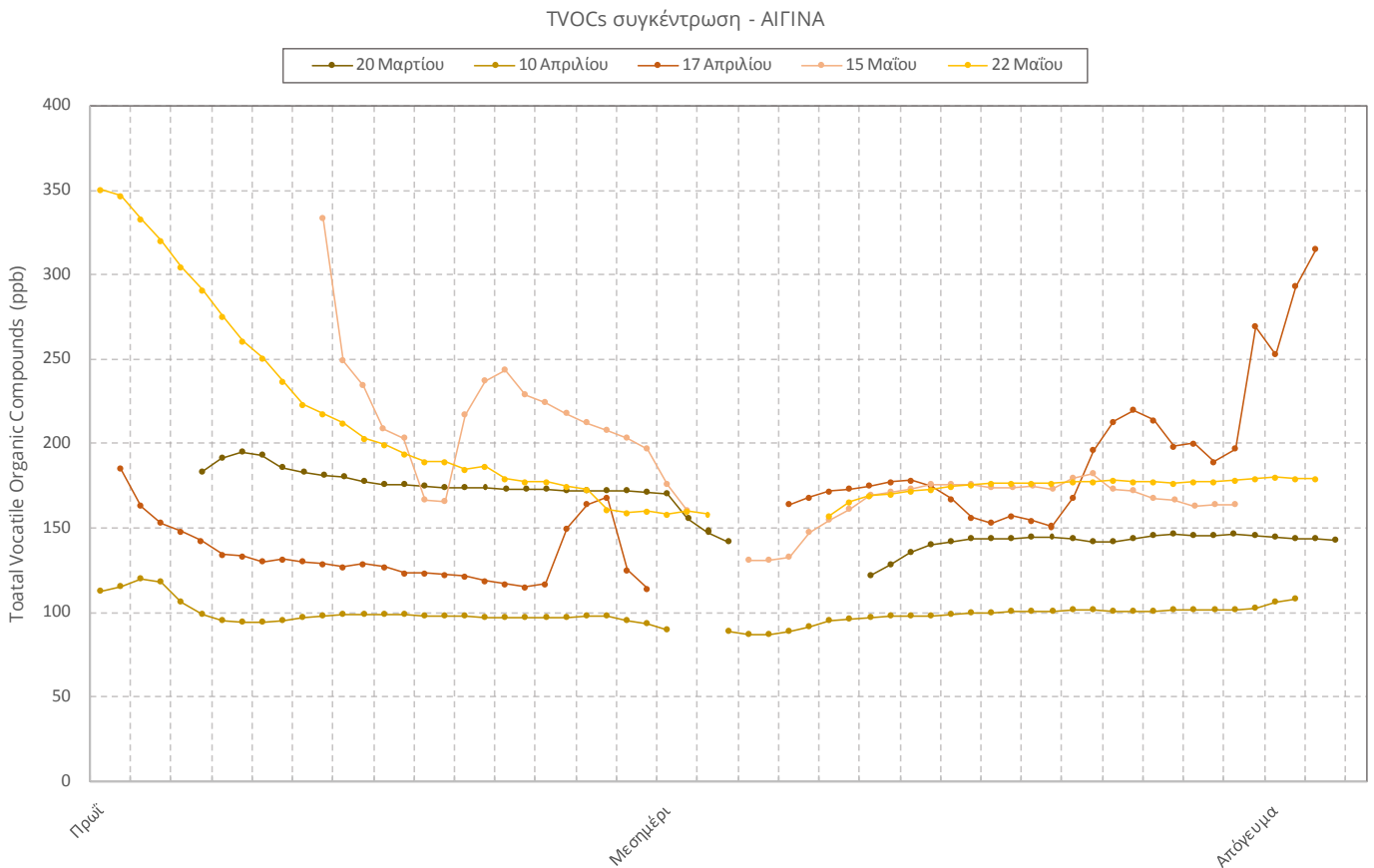
Πίνακας 4.1.18 Αποτελέσματα επιτόπιων μετρήσεων ποιότητας αέρα - Αίγινα - Καθιστικό

		Αίγινα - Εξωτερικός χώρος				
		20 Μαρτίου	10 Απριλίου	17 Απριλίου	15 Μαΐου	22 Μαΐου
TVOC (ppb)	πρωί	131	95	212	250	328
	μεσημέρι	96	68	98	117	123
	απόγευμα	78	62	103	127	101
	average	102	75	138	165	184
CO <sub>2</sub> (ppm)	πρωί	349	372	373	402	381
	μεσημέρι	359	372	357	407	384
	απόγευμα	388	389	411	445	393
	average	365	378	380	418	386

Πίνακας 4.1.19 Αποτελέσματα επιτόπιων μετρήσεων ποιότητας αέρα - Αίγινα - Εξωτερικός χώρος



Διάγραμμα 4.1.19 Διάγραμμα συγκέντρωσης CO<sub>2</sub> - Αίγινα



Διάγραμμα 4.1.20 Διάγραμμα συγκέντρωσης TVOCs - Αίγινα

## 4.2 ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΟΝ ΩΡΩΠΟ - ΕΠΙΤΟΠΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

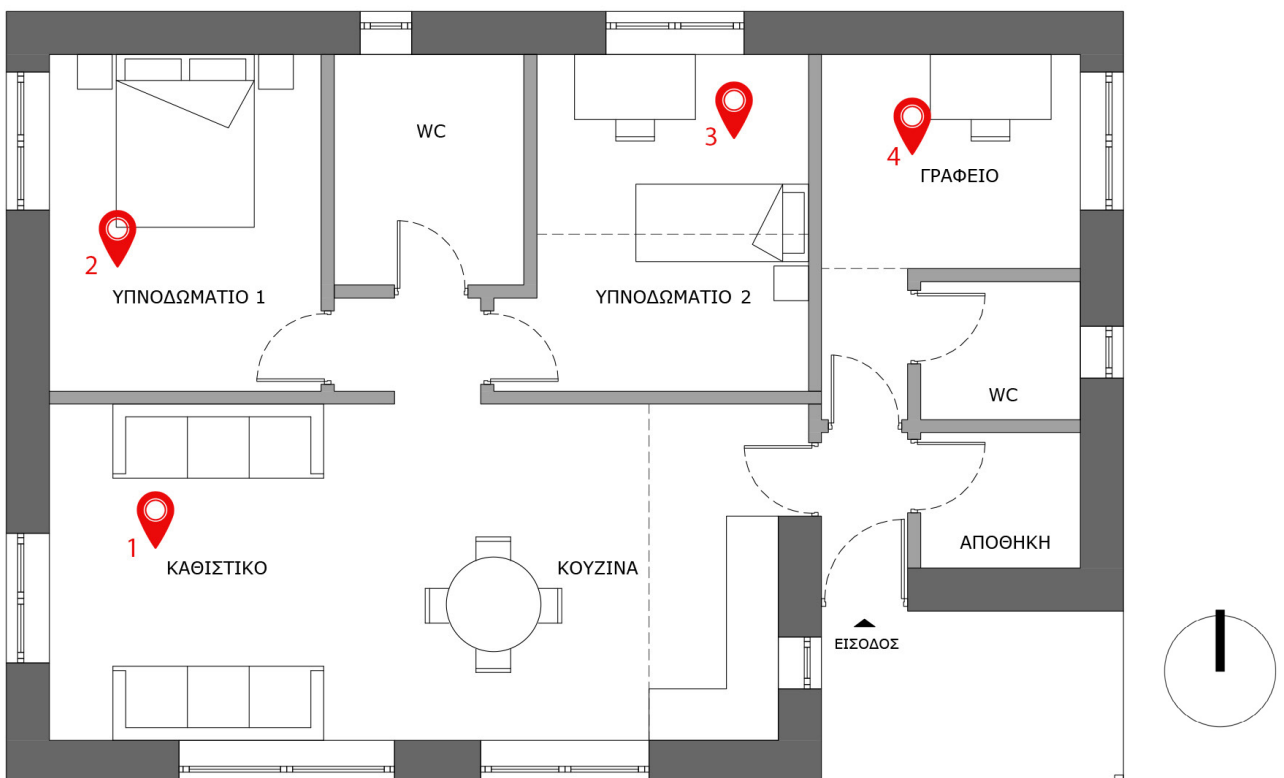
### ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΠΙΤΟΠΙΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Οι επιτόπιες μετρήσεις στην κατοικία στον Ωρωπό, αντίθετα με την κατοικία στην Αίγινα, διεξήχθησαν 5 συνεχόμενες ημέρες μέσα σε μία εβδομάδα του Μαρτίου 2016, πρωί, μεσημέρι και απόγευμα. Οι χώροι που εξετάστηκαν είναι το καθιστικό, τα δύο υπνοδωμάτια και το γραφείο. Η κάθε μέτρηση θερμικής άνεσης διαρκούσε 300 sec, δηλαδή 5 min. Οι μετρήσεις της ποιότητας του αέρα πραγματοποιήθηκαν καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας στο χώρο του καθιστικού, με μία μικρή διακοπή το μεσημέρι καθώς το όργανο μεταφερόταν στον εξωτερικό χώρο για την προγραμματισμένη καταγραφή των εξωτερικών συνθηκών. Τα ακριβή σημεία των μετρήσεων φαίνονται στην κάτοψη του σπιτιού στην εικόνα 4.2.2. Τα κόκκινα σύμβολα δείχνουν τις θέσεις μέτρησης της θερμικής άνεσης ενώ το πράσινο σύμβολο τη θέση μέτρησης της ποιότητας του αέρα.

Το σπίτι κατοικείται από 2 άτομα (περίπου 40 ετών). Το επίπεδο ρουχισμού ορίστηκε στα 1.12 clo, σύμφωνα με τον καθημερινό ρουχισμό των ενοίκων, και διατηρήθηκε στην τιμή αυτή για όλες τις μετρήσεις. Ο μεταβολικός ρυθμός διαφοροποιείται σε κάθε χώρο καθώς βασίζεται στο επίπεδο δραστηριότητας που αντιστοιχεί στον κάθε χώρο. Στο καθιστικό ορίστηκε 1.2 met (standing relaxed), στα υπνοδωμάτια 1.0 met (resting, seated quiet) και στο γραφείο 1.0 met (office activities, seated, reading or writing).



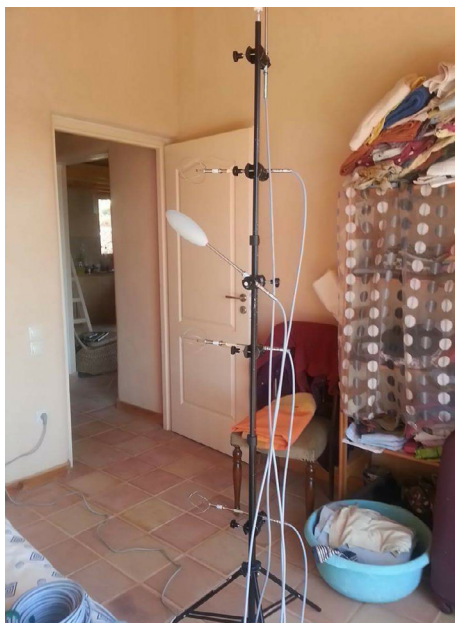
Εικόνα 4.2.1 Εξωτερική άποψη της κατοικίας - 1



Εικόνα 4.2.2 Κάτοψη σε κλίμακα 1/100 της κατοικίας - Θέσεις αισθητήρων



Εικόνα 4.2.3 Καθιστικό

Εικόνα 4.2.4 Υπνοδωμάτιο  
βορειοδυτικόΕικόνα 4.2.5 Γραφείο  
βορειοανατολικό

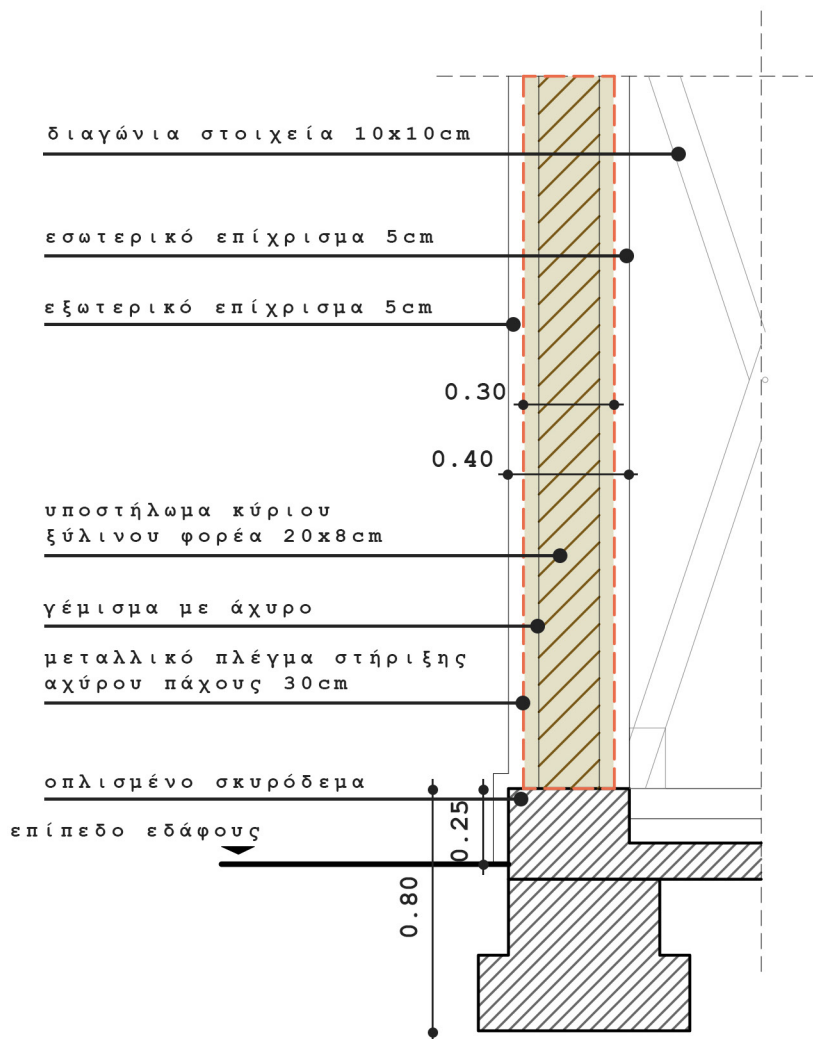
Εικόνα 4.2.6 Εκωτερική άποψη της κατοικίας - 2

Εικόνα 4.2.7 Άποψη προς κουζίνα  
και βόρειο υπνοδωμάτιο

Οι απαντήσεις των ενοίκων στο ειδικά διαμορφωμένο ερωτηματολόγιο κατά τη διάρκεια της κάθε μέτρησης έχουν μεγάλο ενδιαφέρον καθώς παρατηρήθηκαν διαφορές στην αντίληψη των συνθηκών τόσο μεταξύ τους όσο και με τον ένοικο της κατοικίας στην Αίγινα. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει τη μεγάλη εξάρτηση της αντίληψης των θερμικών συνθηκών από προσωπικές παραμέτρους όπως το φύλο, η ηλικία και οι συνήθειες του χρήστη. Σύμφωνα με τις απαντήσεις, και οι δύο ένοικοι θεωρούν τις θερμικές συνθήκες του σπιτιού μη ικανοποιητικές χαρακτηρίζοντας το χώρο από πολύ ψυχρό έως και θερμό με τον άνδρα ένοικο να παρουσιάζεται λίγο πιο ανεκτικός στην ψυχρότητα. Οι δύο ένοικοι επιθυμούν συχνά μεταβολή των συνθηκών ώστε να νιώθουν λίγο θερμότερα ενώ κάποιες φορές προς το τέλος τις εβδομάδας που βελτιώθηκαν λίγο οι εξωτερικές συνθήκες δεν επιθυμούσαν καμία αλλαγή. Δεν παρατηρούν ανεπιθύμητα ρεύματα σε κανένα σημείο της κατοικίας. Ακόμη, οι ένοικοι αξιολογούν την ποιότητα του αέρα ως καλή ενώ παρατηρούν συχνά σκόνη στην ατμόσφαιρα.

**ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΤΟΜΗ**

Στην παρακάτω τομή παρουσιάζεται σε κλίμακα 1/25 το δομικό σύστημα του σπιτιού και συγκεκριμένα ο ξύλινος φορέας, το μεταλλικό πλέγμα που συγκρατεί το άχυρο, η ανύψωση της βάσης από σκυρόδεμα, το επίχρισμα κ.α.



Εικόνα 4.2.8 Κατασκευαστική τομή σε κλίμακα 1/25 του τοίχου της κατοικίας στον Ωρωπό

**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΙΤΟΠΙΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ**

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων, η θερμοκρασία αέρα στον εξωτερικό χώρο κυμαίνεται από 11.6 έως 20.1 °C, ένα εύρος αρκετά μεγάλο για περίοδο μίας εβδομάδας (5 ημέρες). Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, οι κλιματικές συνθήκες ποικίλουν καθώς εμφανίστηκε ηλιοφάνεια, βροχόπτωση και συννεφιασμένη ατμόσφαιρα.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ξεχωριστά για τον κάθε χώρο με σκοπό τη σύγκριση και τη μελέτη πιθανών διαφορών που θα εμφανιστούν στους χώρους λόγω των διαφορετικών χαρακτηριστικών που παρουσιάζουν και κυρίως του προσανατολισμού τους.

		ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ		ΩΡΩΠΟΣ - ΚΑΘΙΣΤΙΚΟ							
		ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ [°C]	ΥΓΡΑΣΙΑ [%]	ΕΣΩΤ. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ [°C]			ΥΓΡΑΣΙΑ [%]	ΤΑΧΥΤΗΤΑ [m/s]	DRAUGHT RATE [%]	PPD [%]	PMV
				ΑΕΡΑ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ					
16 ΜΑΡΤΙΟΥ	Average	11,86	56,58	14,78	14,22	14,41	71,23	0,030	0,00	47,22	-1,43
	Min	11,64	53,43	14,51	13,98	14,15	68,86	0,025	0,00	44,51	-1,48
	Max	12,10	58,72	14,93	14,63	14,74	75,24	0,032	0,00	49,88	-1,38
17 ΜΑΡΤΙΟΥ	Average	12,05	47,19	14,88	14,64	14,73	66,81	0,055	2,90	44,82	-1,38
	Min	11,76	45,37	14,54	14,29	14,37	66,11	0,047	0,28	40,31	-1,45
	Max	12,45	48,45	15,36	15,02	15,17	67,43	0,069	7,68	48,43	-1,30
18 ΜΑΡΤΙΟΥ	Average	15,04	51,11	17,76	17,27	17,45	68,82	0,043	0,22	20,57	-0,85
	Min	14,50	49,21	17,19	16,56	16,80	68,23	0,041	0,00	16,18	-0,97
	Max	15,57	53,00	18,32	17,98	18,10	69,41	0,045	0,43	24,95	-0,73
19 ΜΑΡΤΙΟΥ	Average	16,03	43,86	18,62	18,86	18,75	63,76	0,052	2,69	13,88	-0,62
	Min	13,58	36,07	17,95	17,79	17,84	61,56	0,037	0,00	7,56	-0,79
	Max	17,50	54,78	19,66	20,69	20,24	65,65	0,066	5,44	18,01	-0,35
21 ΜΑΡΤΙΟΥ	Average	19,76	41,73	19,65	19,40	19,51	50,25	0,052	2,02	9,57	-0,46
	Min	19,10	36,68	19,27	18,92	19,12	44,41	0,050	1,24	8,33	-0,53
	Max	20,11	46,93	20,29	19,91	19,73	56,36	0,057	3,18	10,99	-0,40

Πίνακας 4.2.9 Αποτελέσματα επιτόπιων μετρήσεων θερμικής άνεσης - Ωρωπός - Καθιστικό

		ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ		ΩΡΩΠΟΣ - ΥΠΝΟΔΩΜΑΤΙΟ ΒΔ							
		ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ [°C]	ΥΓΡΑΣΙΑ [%]	ΕΣΩΤ. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ [°C]			ΥΓΡΑΣΙΑ [%]	ΤΑΧΥΤΗΤΑ [m/s]	DRAUGHT RATE [%]	PPD [%]	PMV
				ΑΕΡΑ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ					
16 ΜΑΡΤΙΟΥ	Average	11,86	56,58	14,53	13,69	13,99	71,13	0,034	0,00	88,46	-2,31
	Min	11,64	53,43	14,28	13,50	13,83	70,90	0,032	0,00	87,16	-2,35
	Max	12,10	58,72	14,69	13,98	14,20	71,38	0,035	0,00	89,82	-2,27
17 ΜΑΡΤΙΟΥ	Average	12,05	47,19	15,04	14,25	14,56	69,30	0,054	4,04	83,79	-2,18
	Min	11,76	45,37	14,67	13,79	14,10	69,26	0,031	0,00	76,76	-2,28
	Max	12,45	48,45	15,72	15,12	15,41	69,38	0,090	12,13	87,56	-2,00
18 ΜΑΡΤΙΟΥ	Average	15,04	51,11	17,46	16,60	16,93	70,46	0,047	1,32	56,85	-1,61
	Min	14,50	49,21	17,13	16,26	16,58	69,71	0,041	0,64	52,56	-1,69
	Max	15,57	53,00	17,79	16,93	17,28	71,20	0,052	2,00	61,13	-1,53
19 ΜΑΡΤΙΟΥ	Average	16,03	43,86	18,28	18,09	18,16	65,19	0,041	0,00	43,04	-1,34
	Min	13,58	36,07	17,42	16,26	16,69	64,16	0,038	0,00	27,58	-1,65
	Max	17,50	54,78	19,34	19,65	19,55	66,84	0,045	0,00	59,12	-1,03
21 ΜΑΡΤΙΟΥ	Average	19,76	41,73	19,61	19,80	19,63	50,27	0,155	26,83	34,94	-1,16
	Min	19,10	36,68	18,46	17,81	18,04	39,80	0,033	0,00	17,00	-1,39
	Max	20,11	46,93	21,13	22,79	21,81	60,16	0,233	44,91	45,03	-0,75

Πίνακας 4.2.10 Αποτελέσματα επιτόπιων μετρήσεων θερμικής άνεσης - Ωρωπός - Υπνοδωμάτιο Βορειοδυτικό

		ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ		ΩΡΩΠΟΣ - ΥΠΝΟΔΩΜΑΤΙΟ Β							
		ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ [°C]	ΥΓΡΑΣΙΑ [%]	ΕΣΩΤ. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ [°C]			ΥΓΡΑΣΙΑ [%]	ΤΑΧΥΤΗΤΑ [m/s]	DRAUGHT RATE [%]	PPD [%]	PMV
				ΑΕΡΑ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ					
16 ΜΑΡΤΙΟΥ	Average	11,86	56,58	14,44	13,85	14,05	71,22	0,032	0,00	88,39	-2,30
	Min	11,64	53,43	14,38	13,81	14,02	70,04	0,030	0,00	87,97	-2,31
	Max	12,10	58,72	14,50	13,90	14,11	73,08	0,035	0,00	88,67	-2,29
17 ΜΑΡΤΙΟΥ	Average	12,05	47,19	14,76	14,04	14,30	70,06	0,036	0,23	86,17	-2,24
	Min	11,76	45,37	14,48	13,91	14,10	69,85	0,027	0,00	82,73	-2,29
	Max	12,45	48,45	15,29	14,29	14,68	70,16	0,046	0,69	88,01	-2,14
18 ΜΑΡΤΙΟΥ	Average	15,04	51,11	16,96	16,17	16,51	72,60	0,068	6,46	62,93	-1,72
	Min	14,50	49,21	16,81	16,06	16,36	71,98	0,060	5,01	61,24	-1,75
	Max	15,57	53,00	17,11	16,27	16,65	73,22	0,075	7,90	64,61	-1,69
19 ΜΑΡΤΙΟΥ	Average	16,03	43,86	17,42	16,31	16,72	69,75	0,040	0,41	58,74	-1,64
	Min	13,58	36,07	16,83	15,87	16,20	69,27	0,033	0,00	51,62	-1,77
	Max	17,50	54,78	18,03	16,80	17,25	70,07	0,048	1,22	65,49	-1,51
21 ΜΑΡΤΙΟΥ	Average	19,76	41,73	18,47	16,89	17,63	56,32	0,091	14,50	51,95	-1,52
	Min	19,10	36,68	17,59	16,43	16,86	46,86	0,039	0,00	49,05	-1,61
	Max	20,11	46,93	19,53	17,46	18,66	64,01	0,191	43,51	56,89	-1,47

Πίνακας 4.2.11 Αποτελέσματα επιτόπιων μετρήσεων θερμικής άνεσης - Ωρωπός - Υπνοδωμάτιο Βόρειο

		ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ		ΩΡΩΠΟΣ - ΓΡΑΦΕΙΟ ΒΑ							
		ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ [°C]	ΥΓΡΑΣΙΑ [%]	ΕΣΩΤ. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ [°C]			ΥΓΡΑΣΙΑ [%]	ΤΑΧΥΤΗΤΑ [m/s]	DRAUGHT RATE [%]	PPD [%]	PMV
				ΑΕΡΑ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ					
16 ΜΑΡΤΙΟΥ	Average	11,86	56,58	14,10	13,25	13,57	69,81	0,038	0,00	91,36	-2,41
	Min	11,64	53,43	14,00	13,19	13,50	69,11	0,031	0,00	90,74	-2,43
	Max	12,10	58,72	14,27	13,31	13,66	70,48	0,047	0,00	91,76	-2,39
17 ΜΑΡΤΙΟΥ	Average	12,05	47,19	14,26	13,43	13,80	67,18	0,071	7,66	90,40	-2,38
	Min	11,76	45,37	13,95	13,01	13,44	66,97	0,051	1,57	87,54	-2,44
	Max	12,45	48,45	14,77	13,90	14,33	67,61	0,099	15,29	92,10	-2,28
18 ΜΑΡΤΙΟΥ	Average	15,04	51,11	16,57	15,78	16,13	68,72	0,073	8,72	67,81	-1,82
	Min	14,50	49,21	16,51	15,69	16,09	67,39	0,065	5,70	67,70	-1,82
	Max	15,57	53,00	16,62	15,87	16,17	70,05	0,080	11,74	67,91	-1,81
19 ΜΑΡΤΙΟΥ	Average	16,03	43,86	16,72	15,70	16,12	66,62	0,058	7,58	67,48	-1,80
	Min	13,58	36,07	16,39	15,59	15,97	63,87	0,034	0,00	64,47	-1,86
	Max	17,50	54,78	17,10	15,89	16,33	69,27	0,086	19,38	70,03	-1,73
21 ΜΑΡΤΙΟΥ	Average	19,76	41,73	18,17	16,98	17,60	51,66	0,131	32,05	55,80	-1,59
	Min	19,10	36,68	17,51	16,44	16,90	48,26	0,063	5,45	49,04	-1,69
	Max	20,11	46,93	18,54	17,26	17,98	56,85	0,214	73,22	61,00	-1,47

Πίνακας 4.2.12 Αποτελέσματα επιτόπιων μετρήσεων θερμικής άνεσης - Ωρωπός - Γραφείο Βορειοανατολικό

Η θερμοκρασία αέρα στο καθιστικό κυμαίνεται από 14.5 έως 20.3 °C, με μία μέση τιμή 17.1 °C. Η μεταβολή της θερμοκρασίας αέρα ακολουθεί την αντίστοιχη διαβάθμιση των εξωτερικών θερμικών συνθηκών. Η θερμοκρασία αέρα στο βορειοδυτικό υπνοδωμάτιο κυμαίνεται από 14.3 έως 21.1 °C, με μία μέση τιμή 16.9 °C., στο βόρειο υπνοδωμάτιο από 14.4 έως 19.5 °C, με μία μέση τιμή 16.4 °C, και στο βορειοανατολικό γραφείο από 13.9 έως 18.5 °C, με μία μέση τιμή 15.9 °C.



Συγκρίνοντας τις μέσες τιμές θερμοκρασίας αέρα όλων των εξεταζόμενων χώρων παρατηρείται ότι σταδιακά η θερμοκρασία αέρα μειώνεται όσο πλησιάζουμε στα βορινά δωμάτια. Είναι εμφανές ότι στο καθιστικό, το οποίο είναι προσανατολισμένο προς το νότο και διαθέτει τα μεγάλα ανοίγματα, η ηλιακή ακτινοβολία χρησιμοποιείται αποτελεσματικά. Το γραφείο, το οποίο βρίσκεται βορειοανατολικά και έχει ένα άνοιγμα προς τα ανατολικά, παρουσιάζει τιμές θερμοκρασίας αέρα χαμηλότερες από τις τιμές του βόρειου υπνοδωματίου. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι το γραφείο είναι απομονωμένο από το υπόλοιπο σπίτι καθώς η πόρτα είναι μόνιμα κλειστή και παρεμβάλλεται ο χώρος της εισόδου, ενώ το υπνοδωμάτιο συνδέεται άμεσα με το καθιστικό και η πόρτα που χωρίζει τους δύο χώρους παραμένει πάντα ανοιχτή. Το βόρειο υπνοδωμάτιο, καθώς και το βορειοδυτικό υπνοδωμάτιο, λοιπόν επωφελούνται από τα θετικά κλιματικά χαρακτηριστικά του καθιστικού. Σύμφωνα με το πρότυπο EN 15251:2006, η προτεινόμενη κατώτατη τιμή θερμοκρασίας αέρα σε εσωτερικό χώρο το χειμώνα είναι 20 °C, γεγονός που καταδεικνύει ότι οι τιμές του σπιτιού δεν βρίσκονται στα επιθυμητά επίπεδα. Η σύγκριση των θερμοκρασιών στον εσωτερικό και στον εξωτερικό χώρο αποκαλύπτει ότι η θερμοκρασία αέρα μέσα στο σπίτι είναι σχεδόν σταθερά υψηλότερη από την εξωτερική κατά 2-5 °C, γεγονός που σημαίνει ότι το κέλυφος της κατασκευής λειτουργεί ως ένα προστατευτικό και θερμομονωτικό στρώμα. Την τελευταία ημέρα των μετρήσεων, τα αποτελέσματα διαφοροποιούνται καθώς τα περισσότερα παράθυρα παρέμειναν ανοιχτά καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Έτσι, το εσωτερικό μικροκλίμα του σπιτιού επηρεάζεται σε μεγαλύτερο βαθμό από τις εξωτερικές συνθήκες.

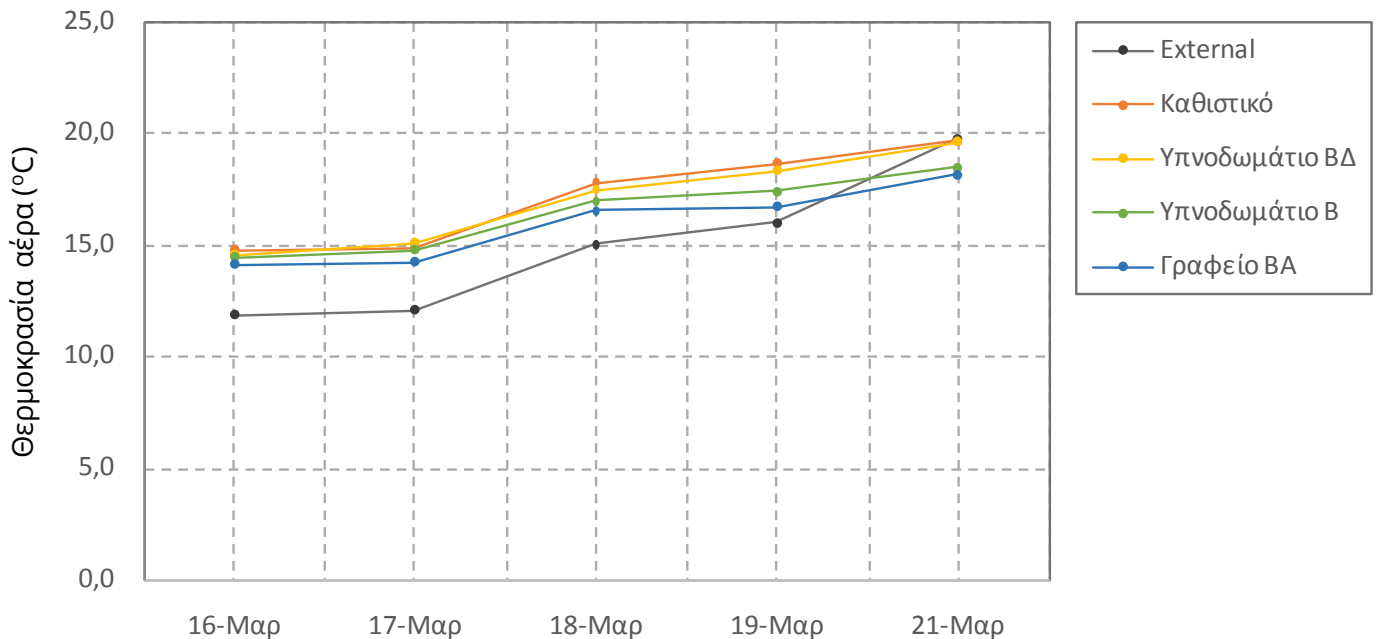
Η σχετική υγρασία στο εσωτερικό της κατοικίας είναι υψηλότερη από την εξωτερική υγρασία και κυμαίνεται από 39.8 % έως 75.2 %. Οι πιθανοί παράγοντες για τις υψηλές τιμές σχετικής υγρασίας που συναντώνται στο εσωτερικό είναι ο ανεπαρκής φυσικός αερισμός και πιθανή ύπαρξη υγρασίας στους τοίχους λόγω ανεπαρκούς ξήρανσης του αχύρου κατά την κατασκευή. Η σχετική υγρασία στο καθιστικό κυμαίνεται από 44.4 % έως 75.2 %, με μία μέση τιμή 63.8 %, στο βορειοδυτικό υπνοδωμάτιο από 39.8 % έως 71.4 %, με μία μέση τιμή 64.9 %, στο βόρειο υπνοδωμάτιο από 46.8 % έως 73.2 %, με μία μέση τιμή 67.6 %, και στο βορειοδυτικό γραφείο από 48.3 % έως 70.4 %, με μία μέση τιμή 64.5 %. Παρατηρείται ότι η σχετική υγρασία παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές στο καθιστικό όπου και παρατηρούνται και οι υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας αέρα. Στο βόρειο υπνοδωμάτιο παρατηρείται η υψηλότερη σχετική υγρασία. Στο γραφείο τα επίπεδα σχετικής υγρασίας βρίσκονται ελάχιστα πιο ψηλά από εκείνα του καθιστικού, παρόλο που οι τιμές της θερμοκρασίας του αέρα στο γραφείο είναι οι χαμηλότερες που καταγράφηκαν. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι το παράθυρο στο γραφείο ανοιχτό κατά το μεγαλύτερο μέρος της διάρκειας των μετρήσεων. Συνολικά, την τελευταία ημέρα των μετρήσεων (21 Μαρτίου) τα παράθυρα παρέμειναν ανοιχτά σε όλο το σπίτι και η εξωτερική θερμοκρασία ήταν πιο υψηλή με αποτέλεσμα τα επίπεδα υγρασίας του σπιτιού να μειωθούν αισθητά.

Η ταχύτητα αέρα εμφανίζει τιμές κυρίως κάτω από 0.1 m/s, που αντιστοιχούν σε σχεδόν στάσιμο αέρα. Η ταχύτητα του αέρα στο καθιστικό κυμαίνεται από 0.02 έως 0.07 m/s, με μία μέση τιμή 0.047 m/s, στο βορειοδυτικό υπνοδωμάτιο από 0.03 έως 0.023 m/s, με μία μέση τιμή 0.067 m/s, στο βόρειο υπνοδωμάτιο από 0.03 έως 0.19 m/s, με μία μέση τιμή 0.052 m/s, και στο βορειοδυτικό γραφείο από 0.03 έως 0.21 m/s, με μία μέση τιμή 0.074 m/s. Συγκρίνοντας τις μέσες τιμές της ταχύτητας του αέρα που καταγράφηκαν σε όλους τους χώρους, παρατηρείται ότι όλοι οι χώροι παρουσιάζουν τιμές περίπου στα ίδια επίπεδα με το καθιστικό και το βόρειο υπνοδωμάτιο να παρουσιάζουν ελάχιστα χαμηλότερες ταχύτητες. Την τελευταία ημέρα των μετρήσεων (21 Μαρτίου), όπου οι εξωτερικές θερμικές συνθήκες ήταν αισθητά βελτιωμένες σε σχέση με τις προηγούμενες ημέρες, καταγράφηκαν υψηλές τιμές ταχύτητας αέρα στο βορειοδυτικό υπνοδωμάτιο και στο γραφείο κυρίως καθώς τα παράθυρα των χώρων αυτών παρέμειναν ανοιχτά κατά το μεγαλύτερο διάστημα των μετρήσεων. Από το διάγραμμα ταχύτητας αέρα είναι φανερό ότι το γραφείο παρουσιάζει σταθερά λίγο υψηλότερες τιμές από τους

υπόλοιπους χώρους καθώς το παράθυρο του χώρου παρέμενε συχνά ανοιχτό.

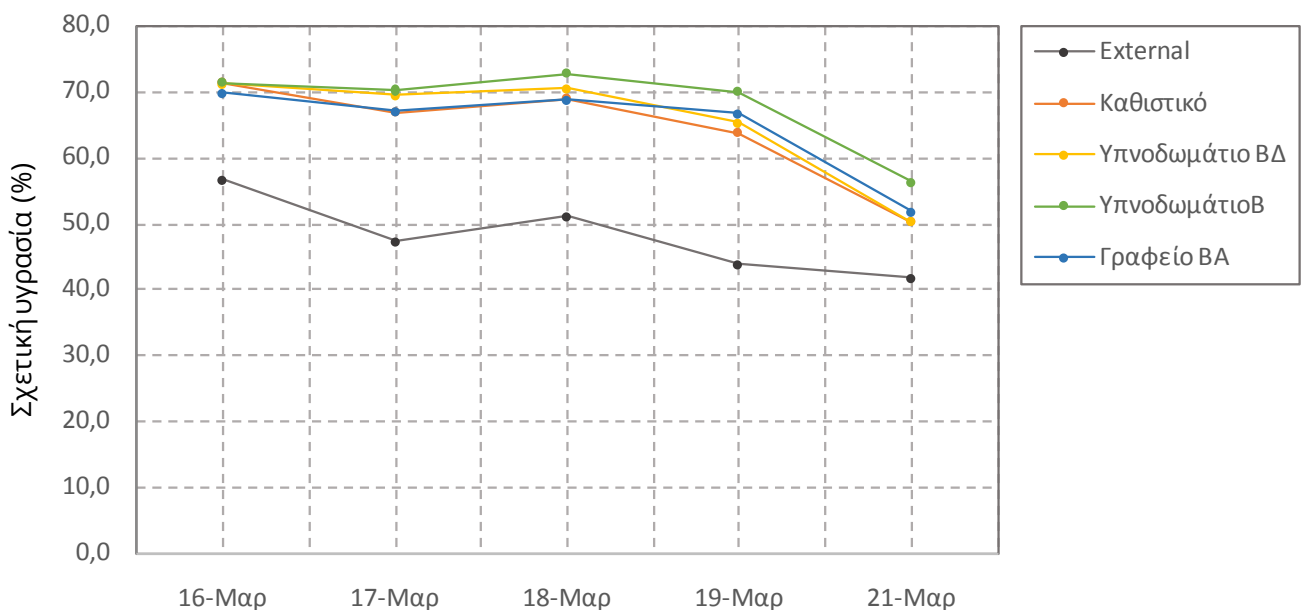
Ο δείκτης ρευμάτων (Draught Rate) ακολουθεί τις διακυμάνσεις της ταχύτητας αέρα υποδεικνύοντας την ύπαρξη ανεπιθύμητων ρευμάτων όταν η ταχύτητα του αέρα είναι υψηλή. Ο δείκτης ρευμάτων κυμαίνεται στο καθιστικό από 0 % έως 7.68 %, με μέση τιμή 1.66 %, στο βορειοδυτικό υπνοδωμάτιο από 0 % - 44.91 %, με μέση τιμή 6.80 %, στο βόρειο υπνοδωμάτιο από 0 % έως 43.51 %, με μέση τιμή 4.16 %, και στο βορειοανατολικό γραφείο από 0 % έως 73.22 %, με μέση τιμή 11.37 %. Στο διάγραμμα 4.2.14 είναι εμφανής η ύπαρξη πιο έντονων ρευμάτων στο χώρο του γραφείου.

#### ΩΡΩΠΟΣ - ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ

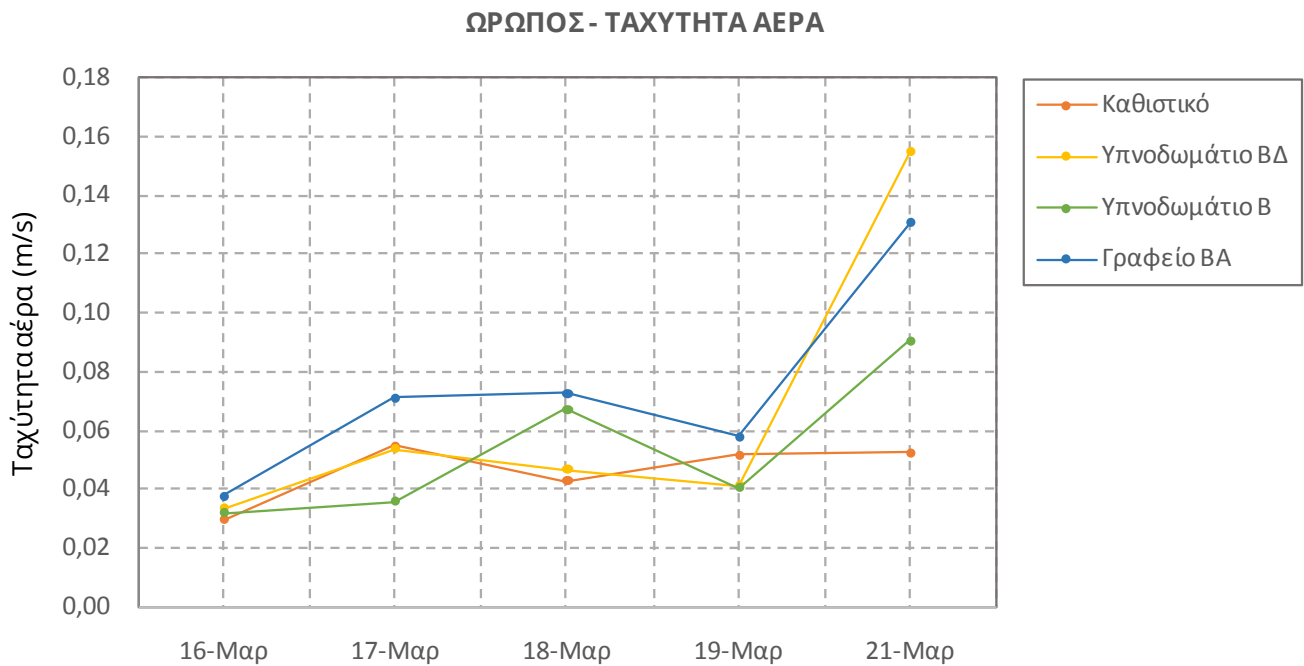


Διάγραμμα 4.2.13 Διάγραμμα θερμοκρασίας αέρα και σύγκριση τιμών καθιστικού, υπνοδωματίου ΒΔ, υπνοδωματίου Β, γραφείου ΒΑ και εξωτερικού περιβάλλοντος

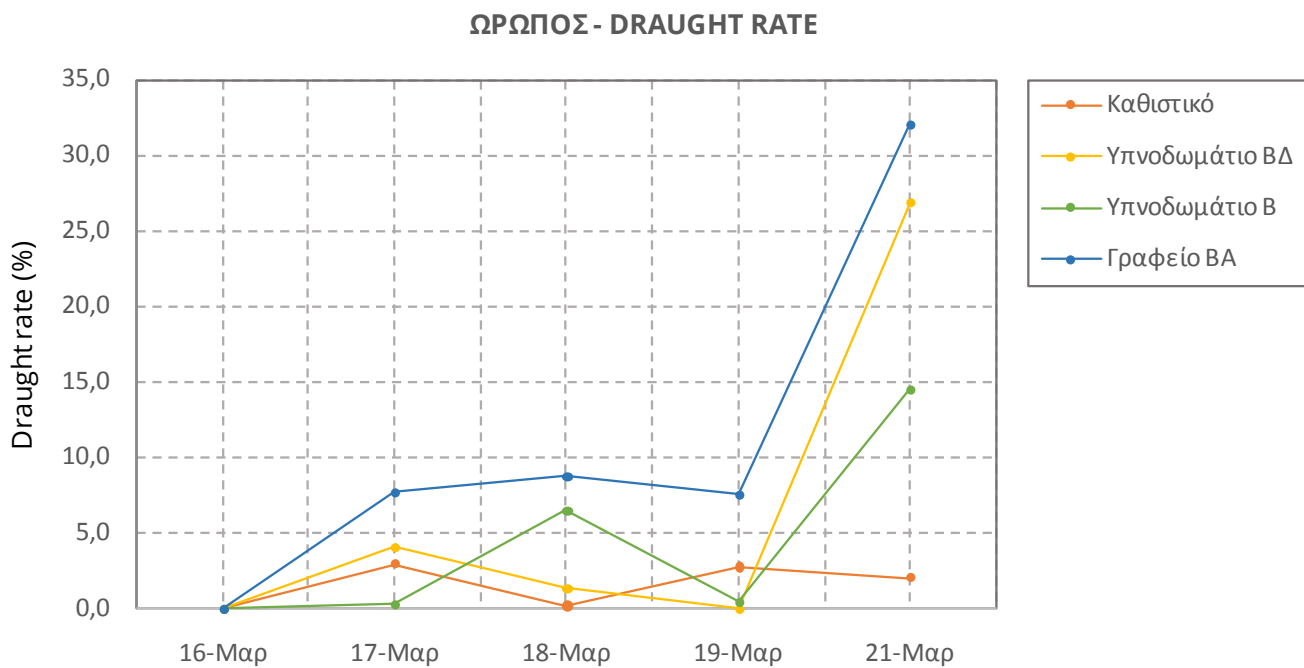
#### ΩΡΩΠΟΣ - ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ



Διάγραμμα 4.2.14 Διάγραμμα σχετικής υγρασίας και σύγκριση τιμών καθιστικού, υπνοδωματίου ΒΔ, υπνοδωματίου Β, γραφείου ΒΑ και εξωτερικού περιβάλλοντος



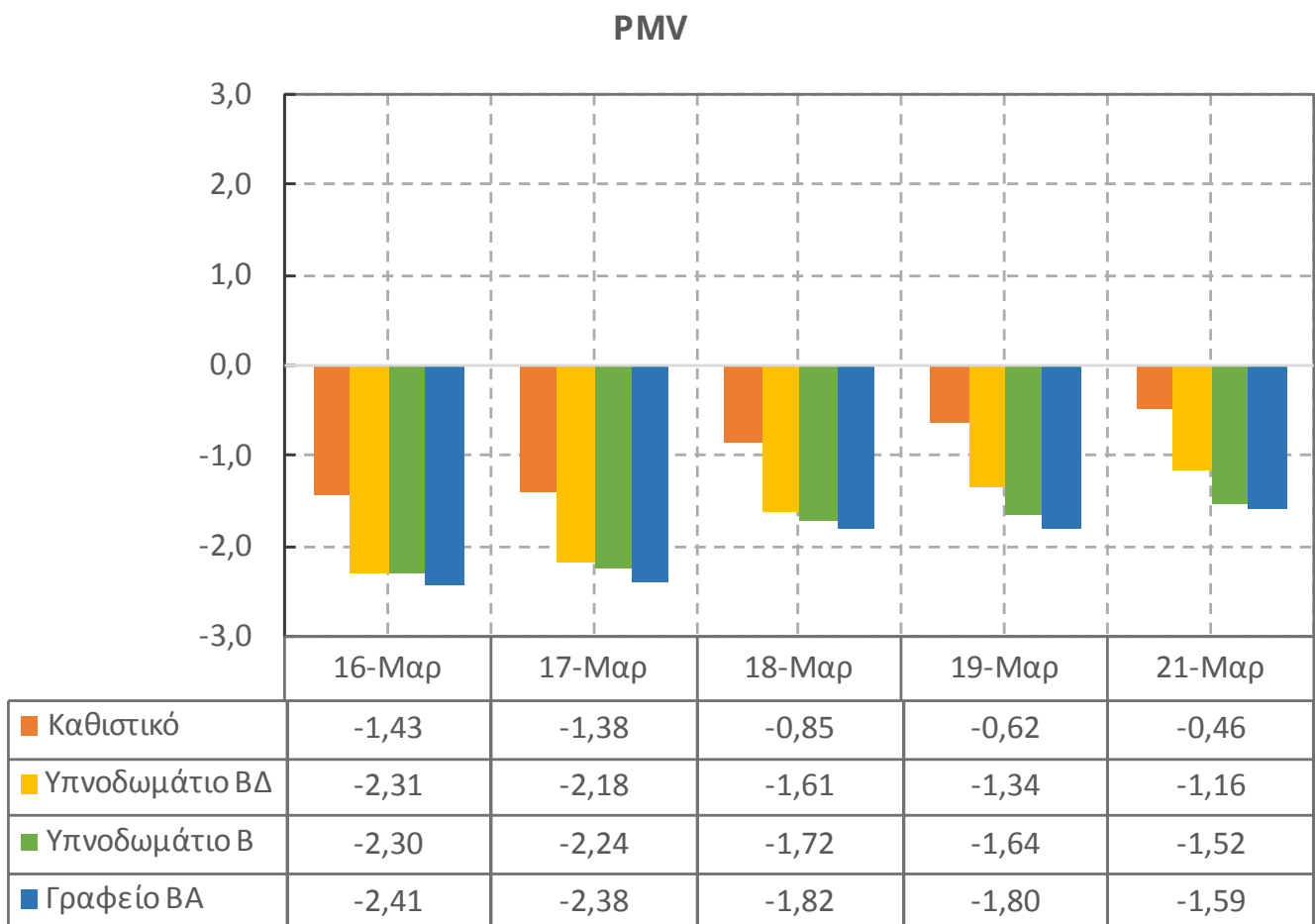
**Διάγραμμα 4.2.15** Διάγραμμα ταχύτητας αέρα και σύγκριση τιμών καθιστικού, υπνοδωματίου ΒΔ, υπνοδωματίου Β και γραφείου ΒΑ



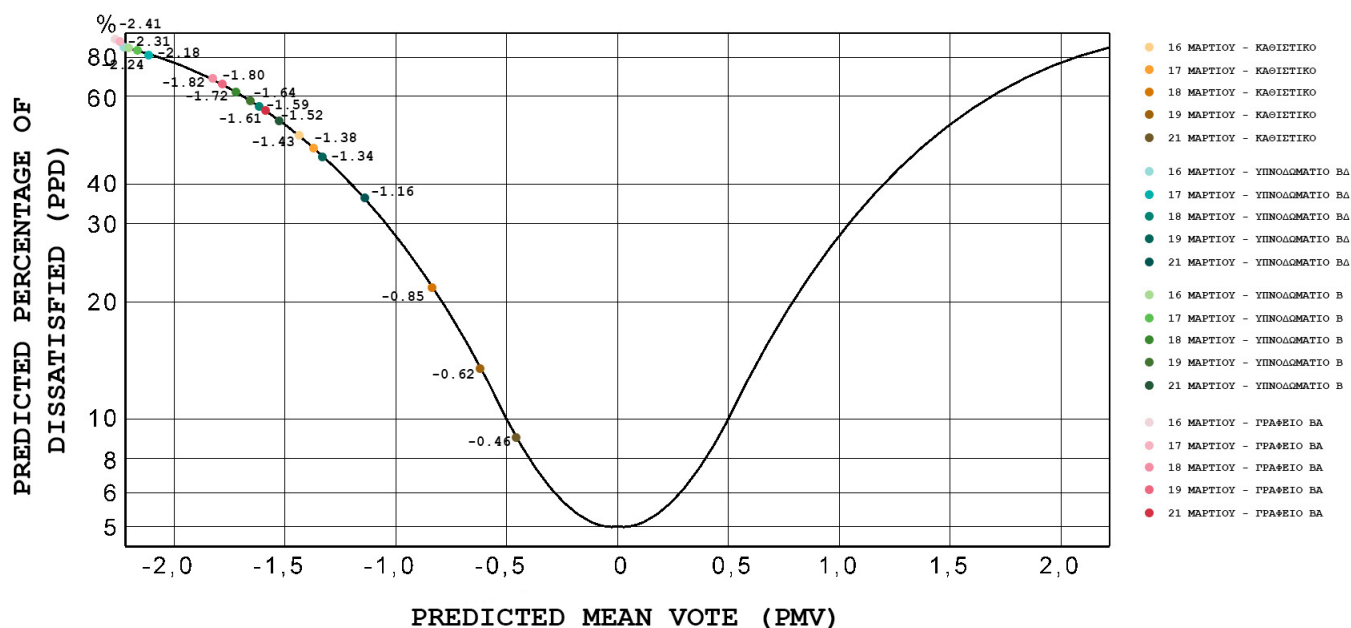
**Διάγραμμα 4.2.16** Διάγραμμα δείκτη ρευμάτων και σύγκριση τιμών καθιστικού, υπνοδωματίου ΒΔ, υπνοδωματίου Β και γραφείου ΒΑ

Οι ιδιαιτέρως χαμηλές τιμές του δείκτη PMV οδηγούν σε υψηλό ποσοστό ατόμων δυσαρεστημένων με τις θερμικές συνθήκες του σπιτιού. Στο καθιστικό ο δείκτης PMV κυμαίνεται από -1.48 έως -0.35 με αντίστοιχες τιμές PPD από 7.59 % έως 49.88. %. Στο βορειοδυτικό υπνοδωμάτιο ο δείκτης PMV κυμαίνεται από -2.35 έως -0.75 με αντίστοιχες τιμές PPD από 17 % έως 89.82 %. Στο βόρειο υπνοδωμάτιο ο δείκτης PMV κυμαίνεται από -2.31 έως -1.47 με αντίστοιχες τιμές PPD από 49.05 % έως 88.67 %. Στο βορειοανατολικό γραφείο ο δείκτης PMV κυμαίνεται από -2.44 έως -1.47 με αντίστοιχες τιμές PPD από 49.04 % έως 92.1 %. Η θερμική αίσθηση που επικρατεί είναι από ελαφρώς ψυχρή έως ψυχρή και ο χώρος που παρουσιάζει τις δυσμενέστερες θερμικές συνθήκες, με τιμές PMV που κυμαίνονται από -2.44 έως -1.47, είναι το γραφείο. Η θερμική αίσθηση βελτιώνεται σταδιακά μέσα στην εβδομάδα ακολουθώντας και τη βελτίωση των εξωτερικών κλιματικών συνθηκών. Στο διάγραμμα 4.2.17 φαίνονται τα σημεία που συμβολίζουν τις μέσες τιμές PMV όλων των χώρων να βρίσκονται κάτω του 0 και πολύ κοντά στις οριακές τιμές. Οι τιμές στο γραφείο αντιστοιχούν στις δυσμενέστερες συνθήκες, στοιχείο που φαίνεται και στο διάγραμμα 4.2.18.

Σύμφωνα με τη θεωρία του Fanger, οι συνθήκες θερμικής άνεσης της κατοικίας στον Ωρωπό είναι δυσμενείς χωρίς να συμφωνούν απόλυτα με την άποψη των ενοίκων οι οποίοι παρουσίασαν μία μέση θερμική αντίληψη ελαφρώς ψυχρή έως ουδέτερη.



Διάγραμμα 4.2.17 Διάγραμμα δείκτη PMV και σύγκριση τιμών καθιστικού υπνοδωματίου



Διάγραμμα 4.2.18 Διάγραμμα PMV - PPD και σύγκριση τιμών καθιστικού, υπνοδωματίου ΒΔ, υπνοδωματίου Β και γραφείου ΒΑ

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΙΤΟΠΙΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ

Οι επιτόπιες μετρήσεις της ποιότητας του αέρα στην κατοικία στον Ωρωπό κατέδειξαν την απουσία μονοξειδίου του αζώτου (NO), διοξειδίου του αζώτου (NO<sub>2</sub>), διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>) και μονοξειδίου του άνθρακα (CO), ενώ παράλληλα ανιχνεύτηκαν χαμηλές συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και πτητικών οργανικών ενώσεων (TVOCs). Τα επίπεδα συγκέντρωσης TVOCs αποδεικνύονται ικανοποιητικά για τους ενοίκους καθώς κυμαίνονται μεταξύ 127 – 969 ppb, τιμές που βρίσκονται εντός του επιτρεπόμενου εύρους (0-1000 ppb). Οι υψηλές τιμές TVOCs που ξεπερνούν το επιτρεπόμενο όριο παρατηρούνται στις 18 Μαρτίου (2285 ppb) το μεσημέρι όταν οι ένοικοι μαγειρεύαν με τη χρήση αερίου. Είναι εμφανές ότι θα έπρεπε να αερίζεται ο χώρος κατά τη διάρκεια αυτής της δραστηριότητας. Τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) που ανιχνεύτηκαν στο σπίτι κυμαίνονται μεταξύ 353 – 1279 ppm. Οι υψηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν κατά την συγκέντρωση περισσότερων ατόμων στο σπίτι ως φυσικού παραπροϊόντος της αναπνευστικής διαδικασίας. Για παράδειγμα, στις 19 Μαρτίου, δύο επιπλέον άτομα επισκέφτηκαν το χώρο του σπιτιού, γεγονός που εξηγεί την αυξημένη τιμή CO<sub>2</sub> (1259 ppm). Είναι λοιπόν σημαντικό να τονιστεί μία ακόμα φορά η ανάγκη επαρκούς φυσικού αερισμού για την επίτευξη ικανής ανταλλαγής αέρα ανάμεσα στο εσωτερικό και το εξωτερικό περιβάλλον. Η ευνοϊκή επίδραση του αερισμού αποδεικνύεται την τελευταία ημέρα των μετρήσεων όπου παρατηρούνται χαμηλότερα επίπεδα CO<sub>2</sub> λόγω του ότι τα περισσότερα παράθυρα ήταν ανοιχτά καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας.

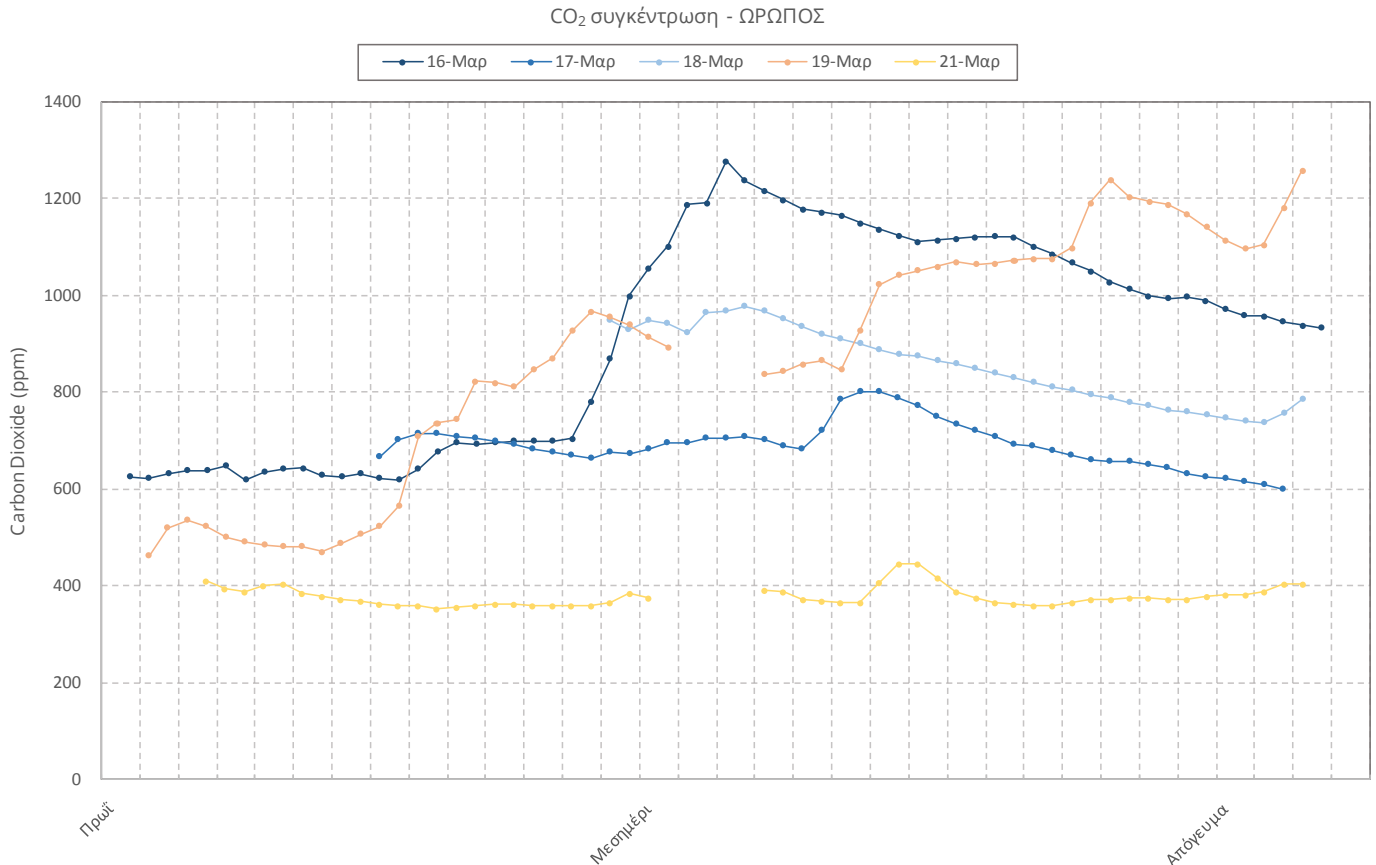
Συγκρίνοντας τις τιμές TVOCs και CO<sub>2</sub> που ανιχνεύτηκαν στο εσωτερικό της κατοικίας και στον εξωτερικό χώρο παρατηρείται μεγάλη αύξηση της συγκέντρωσης στο εσωτερικό. Η παρατήρηση αυτή δείχνει ότι τα υλικά κατασκευής του σπιτιού και οι δραστηριότητες στο εσωτερικό επιβαρύνουν την ποιότητα του αέρα όχι όμως σε βαθμό ώστε οι συνθήκες διαβίωσης να επηρεάζονται αρνητικά. Είναι όμως φανερό ότι θα μπορούσε η ποιότητα του αέρα να είναι ακόμα καλύτερη.

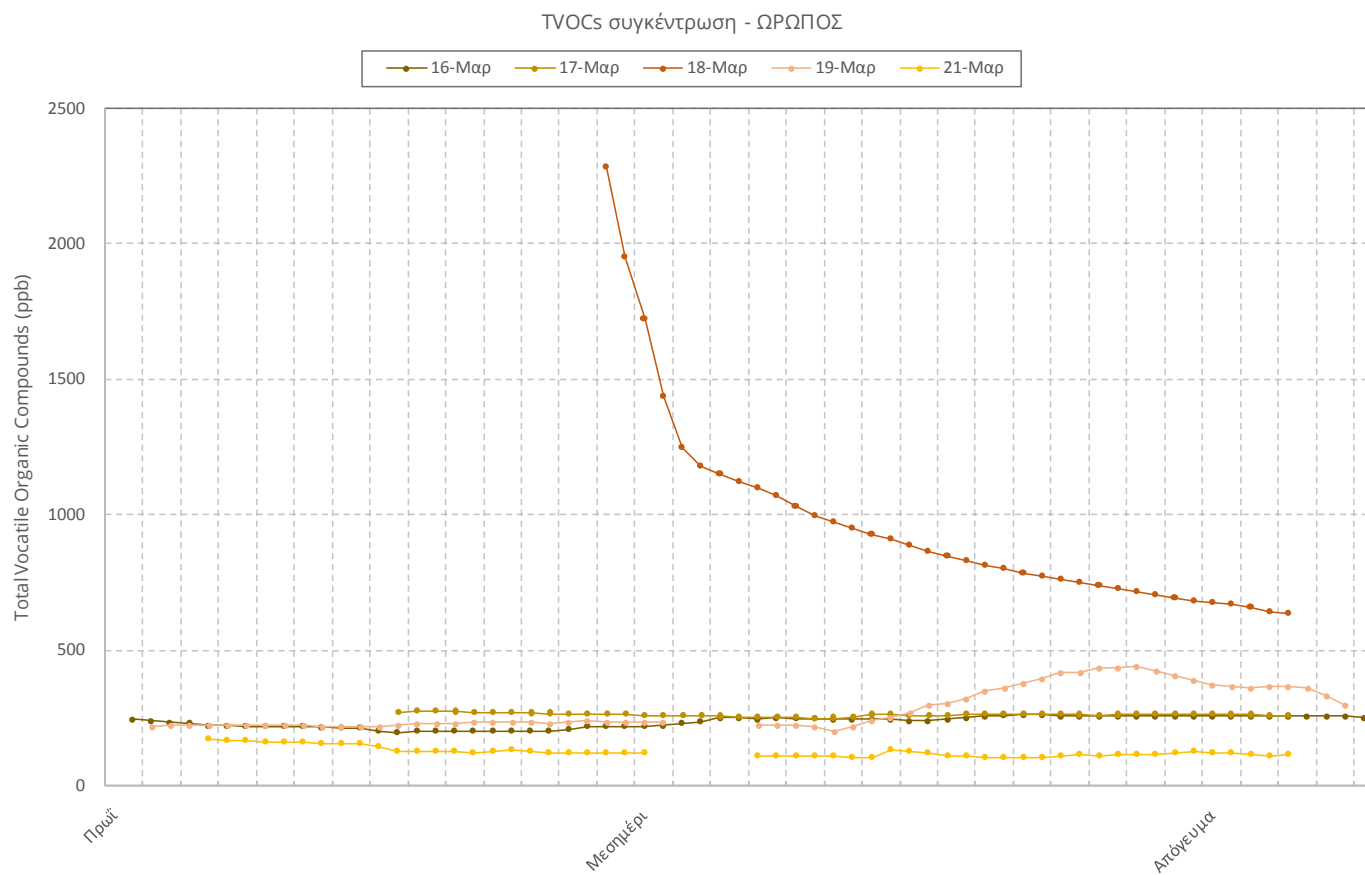
		Ωρωπός - Καθιστικό				
		16 Μαρτίου	17 Μαρτίου	18 Μαρτίου	19 Μαρτίου	21 Μαρτίου
TVOC (ppb)	min	199	251	639	200	106
	max	263	277	2285	441	175
	average	237	264	969	284	127
CO <sub>2</sub> (ppm)	min	621	601	738	463	353
	max	1279	802	979	1259	446
	average	915	693	858	888	379

Πίνακας 4.2.19 Αποτελέσματα επιτόπιων μετρήσεων ποιότητας αέρα - Ωρωπός - Καθιστικό

		Ωρωπός - Εξωτερικός χώρος				
		16 Μαρτίου	17 Μαρτίου	18 Μαρτίου	19 Μαρτίου	21 Μαρτίου
TVOC (ppb)	πρωί	108	89		91	147
	μεσημέρι		95	92	61	95
	απόγευμα		63	164	73	84
	average	108	82	128	75	109
CO <sub>2</sub> (ppm)	πρωί	302	310		285	381
	μεσημέρι		326	312	364	364
	απόγευμα		329	387	358	383
	average	302	322	350	336	376

Πίνακας 4.2.20 Αποτελέσματα επιτόπιων μετρήσεων ποιότητας αέρα - Ωρωπός - Καθιστικό

Διάγραμμα 4.2.21 Διάγραμμα συγκέντρωσης CO<sub>2</sub> - Ωρωπός



Διάγραμμα 4.2.22 Διάγραμμα συγκέντρωσης TVOCs - Ωρωπός

### 4.3 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ

#### Προετοιμασία δοκιμών

Σκοπός των εργαστηριακών μετρήσεων είναι η μελέτη της θερμομονωτικής ικανότητας του αχύρου και της επίδρασης διαφόρων παραμέτρων (πυκνότητα, θερμοκρασία, υγρασία) στη θερμική αγωγιμότητα του εξεταζόμενου υλικού. Η δοκιμή αυτή, σε συνδυασμό με τις επιτόπιες μετρήσεις στις κατοικίες, θα μας οδηγήσει σε σημαντικά συμπεράσματα για την καταλληλότητα του αχύρου στη δόμηση. Κατασκευάστηκαν λοιπόν δύο δοκίμια από άχυρο σε μορφή πλακών με διαστάσεις περίπου  $300 \times 300$  mm και πάχος 80 - 90 mm, με τη βοήθεια κατάλληλου καλουπιού. Οι διαστάσεις αυτές καθορίζονται από τις οδηγίες του οργάνου μέτρησης του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας TLP 300 DT, σύμφωνα με τις οποίες το μέγεθος των εξεταζόμενων δοκιμών πρέπει να κυμαίνεται από  $100 \times 100$  mm έως  $300 \times 300$  mm και το πάχος 20 - 90 mm. Τα δοκίμια κατασκευάστηκαν από το ίδιο δεμάτι αχύρου επιδιώκοντας όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ομοιομορφία στη σύνθεσή τους. Το άχυρο από το οποίο αποτελούνται τα δοκίμια παρουσιάζει μία κατευθυντικότητα με αποτέλεσμα το άχυρο να στρέφεται κυρίως προς τη μία διάσταση του δοκιμίου, όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.3.1 Για τους σκοπούς της μέτρησης, τα δοκίμια τυλίχθηκαν με διαφανή μεμβράνη ώστε να αποφευχθεί τυχόν διασπορά υλικού μέσα στο θάλαμο του οργάνου. Κατά τη δοκιμή μέτρησης του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, παρεμβλήθηκαν φύλλα σιλικόνης ανάμεσα στα δοκίμια και στις πλάκες του οργάνου λόγω ανεπαρκούς επιπεδότητας των επιφανειών των δοκιμών αχύρου. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας των φύλλων είναι γνωστός και, με τις κατάλληλες ρυθμίσεις στο πρόγραμμα του οργάνου, αφαιρείται από τον τελικό υπολογισμό. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια ενός δοκιμίου αναφοράς, μία εμπορική πλάκα διογκωμένης πολυστερίνης (EPS) πάχους 30.82 cm και γνωστού συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Τα δεδομένα του δοκιμίου αναφοράς εισάγονται στο λογισμικό και, έπειτα από κατάλληλες ρυθμίσεις, το όργανο μετρά τη θερμομονωτική ικανότητα του δοκιμίου προς εξέταση.



Εικόνα 4.3.1 Δοκίμιο αχύρου



Εικόνα 4.3.2 Εισαγωγή δοκιμίου στο όργανο μέτρησης της θερμικής αγωγιμότητας



### Προσδιορισμός των διαστάσεων, του βάρους και της πυκνότητας των δοκιμών

Ο προσδιορισμός των διαστάσεων και του πάχους των δοκιμών γίνεται σύμφωνα με τις οδηγίες των προτύπων EN 822, EN 823 και EN 12085, ενώ η πυκνότητα των δοκιμών,  $\rho_a$  (kg m<sup>-3</sup>), καθορίζεται ως αναλογία της μάζας προς τον όγκο του εξεταζόμενου δοκιμίου σύμφωνα με το πρότυπο EN 1602. Η μάζα των δοκιμών προσδιορίζεται με τη χρήση του ζυγού ακριβείας Oertling TP 20 του Εργαστηρίου Τεχνικών Υλικών στο κτίριο Αντοχής Υλικών του ΕΜΠ. Έπειτα, γνωρίζοντας τη μάζα,  $m$  (kg), και τον όγκο,  $V$  (m<sup>3</sup>), του δοκιμίου, υπολογίζεται η φαινόμενη πυκνότητα,  $\rho_a$  (kg m<sup>-3</sup>), μέσω της εξίσωσης:

$$\rho_a = \frac{m}{V}$$



Εικόνα 4.3.3 Ζυγός ακριβείας

### Προσδιορισμός του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας

Τα δοκίμια υπεβλήθησαν στη δοκιμή μέτρησης του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας με τη μέθοδο προστατευμένης θερμής πλάκας (guarded hot plate). Τα δοκίμια εξετάσθηκαν στην φυσική κατάσταση υγρασίας, αφού έχει σταθεροποιηθεί έπειτα από παραμονή των δοκιμών σε εργαστηριακές συνθήκες  $T = 23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  και σχετική υγρασία  $RH = 50 \pm 5 \%$ . Το κάθε δοκίμιο εξετάσθηκε σε θερμοκρασίες  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  και  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  και διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στην θερμή πλάκα και στις ψυχρές πλάκες  $\Delta T = 10 \text{ K}$ . Η δοκιμή εκτελέσθηκε σε πίεση 150 N, 300 N και 500 N με μετακίνηση κάθε φορά της άνω ψυχρής πλάκας του οργάνου προς τα κάτω, οδηγώντας κατά συνέπεια σε σταδιακή μείωση του πάχους των δοκιμών και ταυτόχρονη αύξηση της πυκνότητάς τους. Σκοπός της διαδικασίας αυτής είναι ο προσδιορισμός του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας των δοκιμών συναρτήσει της θερμοκρασίας και της πυκνότητάς τους και η εξαγωγή συμπερασμάτων για την επιρροή των παραμέτρων αυτών στη θερμομονωτική ικανότητα του αχύρου. Πριν και μετά την κάθε δοκιμή, γινόταν μέτρηση της μάζας και υπολογισμός της πυκνότητας του κάθε δοκιμίου.

### Βήματα πειραματικής διαδικασίας:

1. Μέτρηση των διαστάσεων και του πάχους του δοκιμίου.
2. Προσδιορισμός της μάζας του δοκιμίου σε ζυγό ακριβείας.
3. Υπολογισμός της φαινόμενης πυκνότητας του δοκιμίου.
4. Εισαγωγή του δοκιμίου στο θάλαμο του οργάνου μέτρησης του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, επιβολή φορτίου 150 N και μέτρηση σε θερμοκρασίες  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  και  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  και διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στην θερμή πλάκα και στις ψυχρές πλάκες  $\Delta T = 10 \text{ K}$ . Διάρκεια μέτρησης: 400 min
5. Μέτρηση της μάζας του δοκιμίου έπειτα από την ολοκλήρωση της μέτρησης.
6. Εισαγωγή του δοκιμίου στο θάλαμο του οργάνου μέτρησης του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, επιβολή φορτίου 300 N και μέτρηση σε θερμοκρασίες  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  και  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  και διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στην θερμή πλάκα και στις ψυχρές πλάκες  $\Delta T = 10 \text{ K}$ . Διάρκεια μέτρησης: 400 min
7. Μέτρηση της μάζας του δοκιμίου έπειτα από την ολοκλήρωση της μέτρησης.

8. Εισαγωγή του δοκιμίου στο θάλαμο του οργάνου μέτρησης του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, επιβολή φορτίου 500 N και μέτρηση σε θερμοκρασίες 10 °C, 20 °C και 30 °C και διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στην θερμή πλάκα και στις ψυχρές πλάκες  $\Delta T = 10$  K. Διάρκεια μέτρησης: 400 min

9. Μέτρηση της μάζας του δοκιμίου έπειτα από την ολοκλήρωση της μέτρησης.

Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε με τον ίδιο ακριβώς τρόπο για όλα τα δοκίμια.

### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Τα αποτελέσματα των εργαστηριακών μετρήσεων παρουσιάζονται συνοπτικά στον πίνακα 4.3.4. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του αχύρου κυμαίνεται μεταξύ  $0.0291 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$  και  $0.0636 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ , με μία μέση τιμή  $0.0445 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ . Οι τιμές αυτές συγκλίνουν με εκείνες της βιβλιογραφίας και είναι φανερό ότι το άχυρο παρουσιάζει πολύ καλή θερμομονωτική ικανότητα και αποτελεί μία επιλογή συγκρίσιμη με τα συμβατικά μονωτικά υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή. Στην εικόνα 4.3.5 παρατίθενται οι τιμές θερμικής αγωγιμότητας των συνηθισμένων μονωτικών υλικών με σκοπό τη σύγκρισή τους με τις τιμές του αχύρου. Είναι φανερό ότι η θερμική αγωγιμότητα του αχύρου βρίσκεται σε κοντινά επίπεδα με εκείνη των οργανικών φυσικών μονωτικών υλικών όπως το βαμβάκι, ο φελλός, οι πλάκες ινών ξύλου κ.α. εμφανίζοντας και τιμές λίγο υψηλότερες. Το άχυρο εμφανίζει καλύτερη θερμομονωτική ικανότητα από το αφρώδες γυαλί, το κυψελωτό γυαλί και το ξυλόμαλλο, ενώ εμφανίζει υψηλότερες τιμές από τη διογκωμένη πολυστερίνη, την εξηλασμένη πολυστερίνη, τον υαλοβαμβάκα, τον πετροβάμβακα και το πολυστυρένιο.

	Μέτρηση	Ασκούμενη δύναμη (N)	Πάχος (mm)	Βάρος (kg)	Πυκνότητα ( $\text{kg/m}^3$ )	Μέση θερμοκρασία δείγματος (°C)	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας ( $\text{W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ )
Δοκίμιο Α	1η	150	79,70	0,369	60,314	10	0,035
						20	0,043
						30	0,057
	2η	300	72,66	0,370	66,409	10	0,037
						20	0,044
						30	0,055
	3η	500	66,80	0,371	72,449	10	0,039
						20	0,044
						30	0,051
Δοκίμιο Β	1η	150	89,32	0,433	64,622	10	0,030
						20	0,044
						30	0,064
	2η	300	81,65	0,433	70,774	10	0,031
						20	0,043
						30	0,060
	3η	500	73,79	0,434	78,475	10	0,029
						20	0,040
						30	0,054

Πίνακας 4.3.4 Αποτελέσματα εργαστηριακών μετρήσεων συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας του αχύρου

ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ	ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ, λ (W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )
ΥΑΛΟΒΑΜΒΑΚΑΣ	0,032-0,040
ΠΕΤΡΟΒΑΜΒΑΚΑΣ	0,030-0,040
ΑΦΡΩΔΕΣ ΓΥΑΛΙ	0,070-0,092
ΔΙΟΓΚΩΜΕΝΗ ΠΟΛΥΣΤΕΡΙΝΗ EPS	0,035-0,040
ΕΞΗΛΑΣΜΕΝΗ ΠΟΛΥΣΤΕΡΙΝΗ XPS	0,030-0,040
ΑΦΡΟΣ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ	0,024-0,039
ΚΥΨΕΛΩΤΟ ΓΥΑΛΙ	0,050-0,052
ΠΟΛΥΣΤΥΡΕΝΙΟ - ΑΦΡΟΣ	0,033-0,035
ΞΥΛΟΜΑΛΛΟ	0,09
ΦΕΛΛΟΣ	0,045-0,060
ΙΝΕΣ ΚΥΤΤΑΡΙΝΗΣ	0,040-0,045
ΒΑΜΒΑΚΙ	0,04
ΜΑΛΛΙ ΠΡΟΒΑΤΟΥ	0,040-0,045
ΚΑΝΝΑΒΙΣ	0,040-0,050
ΠΛΑΚΕΣ ΙΝΩΝ ΞΥΛΟΥ	0,040-0,090

Πίνακας 4.3.5 Τιμές συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας των συνηθισμένων μονωτικών υλικών

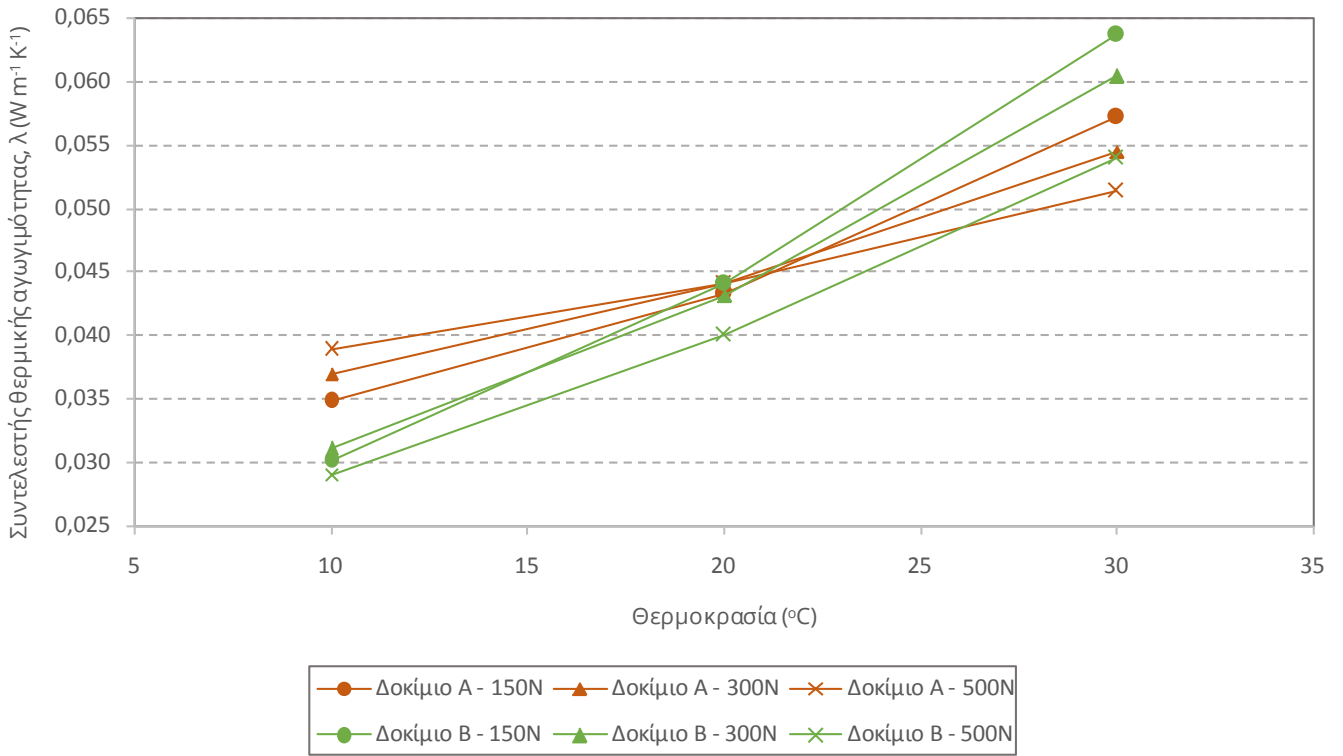
Η μέτρηση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας έγινε σε δοκίμια με πάχος περίπου 70 - 90 mm. Γνωρίζοντας την εξίσωση της θερμικής αντίστασης, είναι φανερό ότι αυξάνοντας το πάχος του δοκιμίου αυξάνεται και η θερμική αντίστασή του.

Η φαινόμενη πυκνότητα των δοκιμίων μεταβάλλεται μέσω της μετακίνησης της άνω ψυχρής πλάκας του οργάνου μέτρησης. Το φορτίο που επιβάλλεται από την πλάκα μειώνει το πάχος του δοκιμίου και κατά συνέπεια τον όγκο των κενών αέρα στο εσωτερικό του υλικού. Κατά τη μεταβολή του φορτίου από 150N σε 500N το πάχος των δοκιμίων μειώνεται κατά 17 % περίπου. Το βάρος των δοκιμίων παρουσιάζει μία πολύ μικρή αύξηση, της τάξεως του 0.5 %, έπειτα από κάθε κύκλο μετρήσεων, γεγονός που καταδεικνύει μία μικρή αύξηση της υγρασίας των δοκιμίων. Η αύξηση αυτή οφείλεται στην ανάπτυξη χαμηλών θερμοκρασιών κατά τις μετρήσεις στους 10 °C καθώς ο κάθε κύκλος μετρήσεων ξεκινούσε από την μέτρηση στους 30 °C και κατέληγε στη μέτρηση των 10 °C. Μετά το πέρας κάποιων κύκλων μετρήσεων παρατηρήθηκε υγρασία και στο εσωτερικό του θαλάμου του οργάνου. Οι υπόλοιπες διαστάσεις του δοκιμίου, το μήκος και το πλάτος, παρουσιάζουν ελάχιστη μεταβολή, της τάξεως λίγων χιλιοστών, κατά την συμπίεση του δοκιμίου, στοιχείο που δεν συνυπολογίστηκε στον υπολογισμό της πυκνότητας των δοκιμίων. Συγκεκριμένα η διάσταση που παρουσιάζει μία ελάχιστη μεταβολή ήταν η κάθετη στη διεύθυνση των ινών του αχύρου. Δεδομένων λοιπόν όλων των παραπάνω παραμέτρων, ήταν δυνατός ο υπολογισμός της πυκνότητας των δοκιμίων σε κάθε μέτρηση. Κατά τη μεταβολή του φορτίου από 150N σε 500N η πυκνότητα των δοκιμίων παρουσιάζει αύξηση περίπου 21% και συγκεκριμένα το δοκίμιο A παρουσιάζει αύξηση 20.12% και το δοκίμιο B 21.43%. Συνεπώς, η μεταβολή της πυκνότητας είναι περίπου ίδια και για τα δύο δοκίμια ανεξάρτητα από το πάχος τους που διαφοροποιείται.

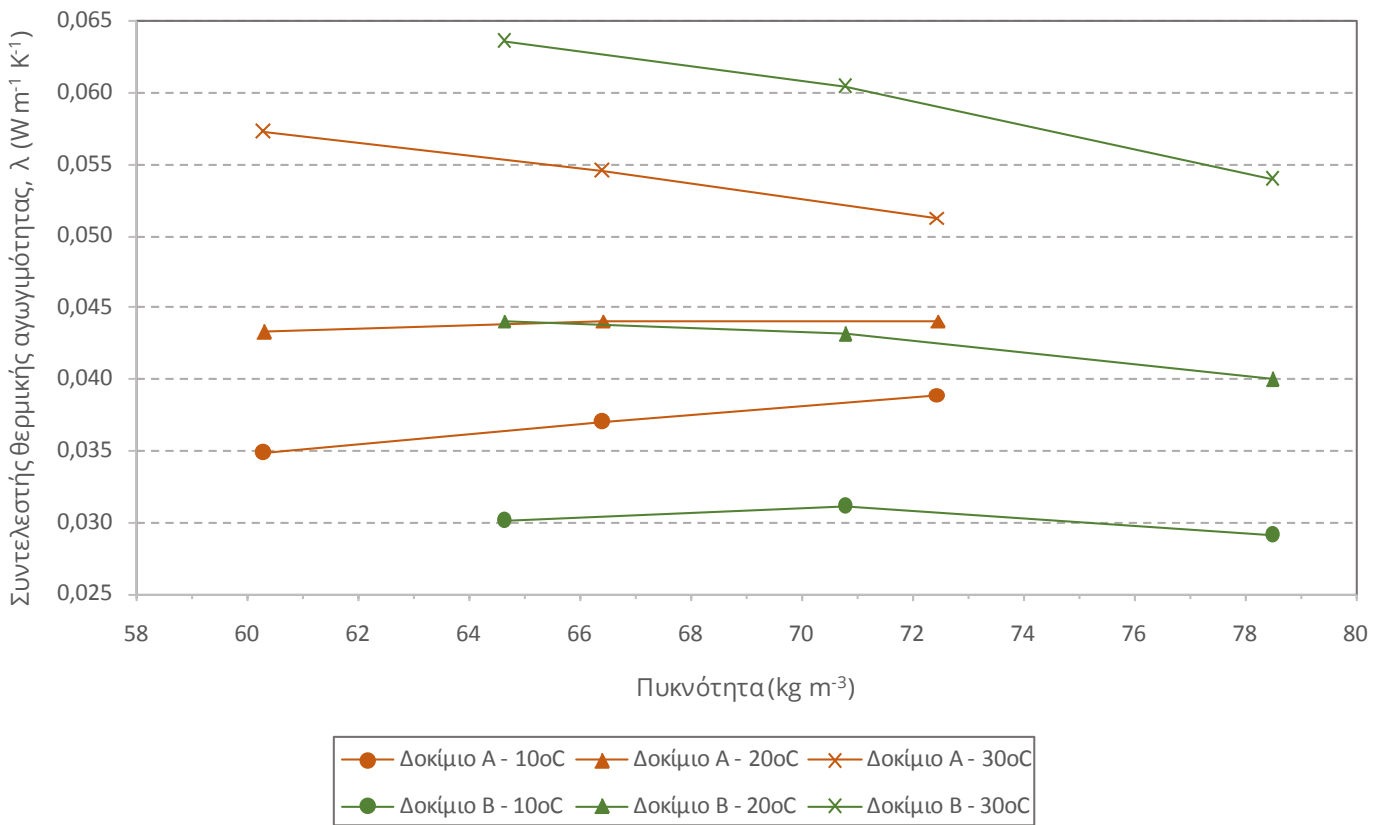
Στο διάγραμμα 4.3.6 παρουσιάζεται η μεταβολή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας συναρτήσει της θερμοκρασίας εξέτασης. Με την αύξηση της θερμοκρασίας παρατηρείται αύξηση και του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, δηλαδή μείωση της θερμομονωτικής ικανότητας του υλικού. Η παρατήρηση αυτή αφορά και τα δύο δοκίμια σε όλες τις μετρήσεις. Κατά την αύξηση της θερμοκρασίας από 10 °C σε 30 °C, η μεγαλύτερη αύξηση της τιμής του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας του δοκιμίου A (64.37 %) εμφανίζεται κατά την επιβολή των 150 N, δηλαδή αντιστοιχεί στην χαμηλότερη πυκνότητα των 60.314 kg m<sup>-3</sup>, ενώ η μικρότερη αύξηση (31.88 %)

εμφανίζεται κατά την επιβολή των 500 N, δηλαδή αντιστοιχεί στην υψηλότερη πυκνότητα των  $72.448 \text{ kg m}^{-3}$ . Συνεπώς, εξάγεται το συμπέρασμα ότι, κατά την αύξηση της πυκνότητας του υλικού, η θερμομονωτική ικανότητα του υλικού επηρεάζεται σε μικρότερο βαθμό από τη μεταβολή της θερμοκρασίας. Η παρατήρηση αυτή αντιστοιχεί και στο δοκίμιο B, με τη διαφορά ότι το δοκίμιο B παρουσιάζει μεγαλύτερη μεταβολή του συντελεστή θερμοαγωγιμότητας σε σχέση με το δοκίμιο A. Το στοιχείο αυτό δεν μπορεί να αποδοθεί σε κάτι άλλο πέραν της φύσης του υλικού και της ανομοιογένειας που χαρακτηρίζει τα δοκίμια, δεδομένου ότι και τα δύο δοκίμια προέρχονται από την ίδια αχυρόμπαλα και προετοιμάστηκαν με τον ίδιο τρόπο. Ταυτόχρονα παρατηρείται ότι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας και των δύο δοκιμίων λαμβάνει πολύ κοντινές τιμές στις μετρήσεις των  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  παραμένοντας σχεδόν σταθερός (περίπου  $0.043 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ) χωρίς να επηρεάζεται από τη μεταβολή του φορτίου που επιβάλλεται στα δοκίμια και κατ' επέκταση τη μεταβολή της πυκνότητάς τους. Σε θερμοκρασίες λοιπόν κοντά στη θερμοκρασία περιβάλλοντος (περίπου  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ) η θερμομονωτική ικανότητα του αχύρου δεν παρουσιάζει μεγάλη ευαισθησία στη μεταβολή της πυκνότητάς του και λαμβάνει τιμή συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας περίπου  $0.043 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ .

Στο διάγραμμα 4.3.7 παρουσιάζεται η μεταβολή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας συναρτήσει της πυκνότητας του δοκιμίου. Στις περισσότερες δοκιμές η τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας φαίνεται να μειώνεται κατά την αύξηση της πυκνότητας του εκάστοτε δοκιμίου, με αποτέλεσμα να βελτιώνεται η θερμομονωτική του ικανότητα. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται λογικά στο ότι οι ίνες του αχύρου στην χαμηλότερη πυκνότητα όντας πιο απομακρυσμένες δημιουργούν κανάλια που επιτρέπουν την κίνηση του αέρα με μεγαλύτερη ένταση μέσα από το σώμα του υλικού. Κατά την αύξηση της πυκνότητας, οι ίνες πλησιάζουν περισσότερο μεταξύ τους δημιουργώντας κλειστούς πόρους με εγκλωβισμένο αέρα μέσα τους που δεν επιτρέπει την έντονη κίνηση του αέρα αλλά ο αέρας παραμένει στάσιμος στο σώμα του υλικού. Η μεγαλύτερη μεταβολή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας παρατηρείται με για τα δύο δοκίμια στη μέτρηση των  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ , όπου το δοκίμιο A παρουσιάζει μείωση της τιμής του συντελεστή κατά 10.5 % και το δοκίμιο B μείωση κατά 15.6 %. Το δοκίμιο A παρουσιάζει διαφορετική συμπεριφορά στις μετρήσεις των  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  και  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  η οποία αποδίδεται στην ανισοτροπικότητα και ανομοιογένεια του υλικού. Συγκεκριμένα, το δοκίμιο A στην μέτρηση των  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  παρουσιάζει αύξηση 38.6 % του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας με την αύξηση της πυκνότητάς του πηγαίνοντας από την τιμή  $0.035 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$  στην τιμή  $0.057 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ . Το ίδιο δοκίμιο στην μέτρηση των  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  δεν παρουσιάζει μεταβολή της θερμομονωτικής του ικανότητας με τη μεταβολή της πυκνότητας και ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας παραμένει σχεδόν σταθερός.



Διάγραμμα 4.3.6 Τιμές του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας συναρτήσει της μεταβολής της θερμοκρασίας



Διάγραμμα 4.3.7 Τιμές του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας συναρτήσει της μεταβολής της πυκνότητας

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής ήταν η θερμική και περιβαλλοντική αξιολόγηση της δόμησης από άχυρο. Η έρευνα αποτελείται από δύο σκέλη. Το ένα σκέλος περιλαμβάνει επιτόπιες μετρήσεις εξετάζοντας τις συνθήκες θερμικής άνεσης και της ποιότητας του αέρα σε δύο κατοικίες στην Ελλάδα που κατασκευάστηκαν από άχυρο. Το δεύτερο σκέλος αφορά εργαστηριακές μετρήσεις προσδιορισμού του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας του αχύρου και κατ' επέκταση της θερμομονωτικής του ικανότητας.

Οι εξεταζόμενες κατοικίες διαθέτουν ξύλινο φέροντα σκελετό και το άχυρο αποτελεί την πλήρωση των τοίχων. Στην περίπτωση της κατοικίας στην Αίγινα, οι τοίχοι πληρώθηκαν από δεμάτια αχύρου (αχυρόμπαλες). Στην περίπτωση της κατοικίας στον Ωρωπό, οι τοίχοι κατασκευάστηκαν από ένα μεταλλικό πλέγμα – πλαίσιο με το άχυρο ως υλικό γεμίματος με χειρωνακτική εργασία. Η μελέτη λοιπόν των θερμικών και περιβαλλοντικών συνθηκών των δύο κτιρίων δύναται να οδηγήσει σε σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με την αποτελεσματικότητα των δύο αυτών τύπων δόμησης και τις πιθανές βελτιώσεις που πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Η κατοικία στην Αίγινα επέδειξε πολύ καλές συνθήκες θερμικής άνεσης. Η θερμοκρασία του αέρα και η σχετική υγρασία στο εσωτερικό του σπιτιού παρουσιάζουν τιμές αποδεκτές και εντός του προτιμώμενου εύρους. Το κέλυφος λοιπόν λειτουργεί αποτελεσματικά ως ένα προστατευτικό στρώμα μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού χώρου. Τα επίπεδα ταχύτητας του αέρα στο εσωτερικό είναι χαμηλά παραμένοντας κυρίως κάτω από 0.1 m/s. Οι υψηλές τιμές της ταχύτητας του αέρα σε συνδυασμό με υψηλές θερμοκρασίες αέρα οδηγούν σε υψηλά επίπεδα ρευμάτων, γεγονός που παρατηρείται την τελευταία ημέρα των μετρήσεων.

Η κατοικία στον Ωρωπό δεν επέδειξε καλές συνθήκες θερμικής άνεσης. Παρόλο που η θερμοκρασία αέρα στο εσωτερικό του σπιτιού βρισκόταν περίπου 4 – 5 °C υψηλότερα από την εξωτερική, χωρίς τη βοήθεια μηχανικής θέρμανσης, οι τιμές της σχετικής υγρασίας ήταν υψηλές και συχνά υψηλότερες από αυτή του εξωτερικού περιβάλλοντος. Οι υψηλές τιμές της σχετικής υγρασίας οφείλονται κατά κύριο λόγο στον ανεπαρκή φυσικό αερισμό καθώς επίσης και σε πιθανή ύπαρξη υγρασίας στο εσωτερικό του τοίχου. Η συγκέντρωση υγρασίας στο άχυρο μπορεί να οφείλεται σε ανεπαρκή διαδικασία ξήρανσης κατά την κατασκευή. Ακόμη, το κατασκευαστικό σύστημα του Ωρωπού μπορεί να οδηγήσει εύκολα σε απουσία συνεκτικότητας του υλικού και σε μη συμπαγές υλικό λόγω του ανθρώπινου παράγοντα. Η ταχύτητα του αέρα βρίσκεται κυρίως κάτω από 0.1 m/s όταν τα παράθυρα παραμένουν κλειστά υποδεικνύοντας την ύπαρξη στάσιμου αέρα στην ατμόσφαιρα. Όταν τα παράθυρα παρέμεναν ανοιχτά, η ταχύτητα του αέρα λάμβανε υψηλότερες τιμές, πάντα όμως σε ανεκτά επίπεδα, οδηγώντας σε ευχάριστη κίνηση του αέρα.

Οι τιμές των δεικτών PMV και PPD αντικατοπτρίζουν το επίπεδο δυσφορίας στις δύο κατοικίες καθώς συνυπολογίζουν τη θερμοκρασία, την υγρασία, την ταχύτητα αέρα, το μεταβολικό ρυθμό και το επίπεδο ρουχισμού. Ο μεταβολικός ρυθμός και η ένδυση διαφοροποιούνται σύμφωνα με τον εξεταζόμενο χώρο. Τα αποτελέσματα δείχνουν καλές θερμικές συνθήκες για το σπίτι στην Αίγινα και κακές για το σπίτι στον Ωρωπό. Το στοιχείο αυτό πρέπει να μελετηθεί περαιτέρω και το κατασκευαστικό σύστημα στον Ωρωπό πρέπει να ερευνηθεί σε βάθος.

Τα αποτελέσματα ποιότητας του αέρα είναι πολύ ικανοποιητικά και για τις δύο κατοικίες καθώς τα περισσότερα ανεπιθύμητα αέρια δεν ανιχνεύθηκαν καθόλου και εκείνα που ανιχνεύθηκαν παρουσίασαν χαμηλές τιμές. Ο φυσικός αερισμός παίζει πολύ σημαντικό ρόλο για τη διατήρηση των αερίων κάτω από τα προτεινόμενα επίπεδα. Είναι φανερό ότι το άχυρο είναι ένα οικολογικό υλικό το οποίο συμβάλλει σε ένα υγιεινό εσωτερικό περιβάλλον. Κατά τη σύγκριση των

αποτελεσμάτων των δύο κατοικιών, εξάγεται το συμπέρασμα ότι η διαφορά των τιμών των ρυπαντών στον εσωτερικό και στον εξωτερικό χώρο είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση του Ωρωπού υποδεικνύοντας την ύπαρξη υλικών αλλά και καθημερινών πρακτικών που επιβαρύνουν περισσότερο το εσωτερικό περιβάλλον απ' ό,τι στην περίπτωση της Αίγινας, όπως το μαγείρεμα με αέριο και τον ανεπαρκή αερισμό,.

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι οι δύο κατοικίες εξετάσθηκαν σε διαφορετικές τοπικές συνθήκες οδηγώντας έτσι σε συμπεράσματα που επηρεάστηκαν από πολλές παραμέτρους όπως ο προσανατολισμός, η σχετική θέση των δωματίων, η αρχιτεκτονική μορφή, η θέση και το μέγεθος των ανοιγμάτων. Το στοιχείο αυτό φανερώνει την αδυναμία ευθείας σύγκρισης των συνθηκών των δύο κατοικιών καθώς κάτι τέτοιο θα οδηγούσε σε άστοχα συμπεράσματα. Είναι όμως δυνατό να αξιολογηθούν μεμονωμένα λαμβάνοντας υπόψη τα ξεχωριστά χαρακτηριστικά του καθενός.

Τέλος, οι εργαστηριακές μετρήσεις προσδιορισμού του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας επιβεβαίωσαν τις τιμές της βιβλιογραφίας αναδεικνύοντας την πολύ καλή θερμομονωτική ικανότητα του άχυρου. Παρατηρήθηκε η αύξηση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας με την αύξηση της θερμοκρασίας, ενώ στους 20 °C η τιμή σταθεροποιήθηκε ανεξάρτητα από τη μεταβολή της πυκνότητας. Η αύξηση της πυκνότητας των δοκιμών επέφερε κατά κύριο λόγο τη μείωση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, δηλαδή την αύξηση της θερμομονωτικής ικανότητας του υλικού.

Η παρούσα έρευνα καταδεικνύει ότι η δόμηση με άχυρο αποτελεί μία συγκρίσιμη κατασκευαστική επιλογή σε σχέση με τους συμβατικές μεθόδους δόμησης. Το άχυρο λειτουργεί ως ένα καλό θερμομονωτικό υλικό δημιουργώντας ένα προστατευτικό στρώμα ανάμεσα στον εσωτερικό και τον εξωτερικό χώρο. Πρόκειται για ένα οικολογικό υλικό που μπορεί να συμβάλλει στις υγιεινές συνθήκες διαβίωσης. Τα υψηλά επίπεδα σχετικής υγρασίας στην κατοικία στον Ωρωπό αναδεικνύουν την ανάγκη περαιτέρω έρευνας στο συγκεκριμένο δομικό σύστημα. Όπως συμβαίνει με κάθε κατασκευαστική μέθοδο, πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή κατά την κατασκευή του κτιρίου για την αποφυγή μελλοντικών προβλημάτων. Η εργασία αυτή στοχεύει στο να οδηγήσει σε μελλοντική έρευνα βελτιστοποίησης και εκσυγχρονισμού των κατασκευαστικών μεθόδων δόμησης με άχυρο και να υπογραμμίσει την ανάγκη για δημιουργία Ευρωπαϊκών προτύπων για τη δόμηση με άχυρο.

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ****ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ**

- [1] UNEP Buildings and Climate Change [<http://www.unep.org/sbci/pdfs/SBCI-BCCSummary.pdf>]
- [2] Magwood, Chris, and Peter Mack. "More Straw Bale Building: A Complete Guide to Designing and Building with Straw". New Society Publishers, 2005.
- [3] Ασημακόπουλος Δ, Λυγερού Β, Αραμπατζής Γ, "Μεταφορά Θερμότητας". Παπασωτηρίου, 2009.
- [4] ΤΕΧΝΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟΥ ΕΛΛΑΔΑΣ Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010, "Κλιματικά Δεδομένα Ελληνικών Περιοχών".
- [5] ASHRAE STANDARD 55-2004 "Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy".
- [6] Cameron J, Skofronick J, Grant R, "Φυσική του ανθρώπινου σώματος", Επιστημονικές Εκδόσεις Παρισιανού Α.Ε., Αθήνα, 2001.
- [7] T. H. Benzinger, "The physiological Basis for Thermal Comfort". INDOOR CLIMATE, Danish Building Research Institute, Copenhagen (1979).
- [8] Parsons K, "Human Thermal Environments". CRC Press, 2002.
- [9] Szokolay S, "Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design". Architectural Press, 2004
- [10] Hoppe P. "Comfort Requirements in Indoor Climate." Energy and Buildings 11 (1988).
- [11] Egan D, "Concepts in thermal Comfort". Prentice Hall, March 1975.
- [12] Hays M. Steve, Gobbell V. Ronald, Ganick R. Nicholas. "Indoor Air Quality: Solutions and Strategies". Mcgraw-Hill, 1995.
- [13] Spengler D. John, Samet M. Jonathan, McMarthy F. John, "Indoor Air Quality Handbook". Mcgraw-Hill, 2000
- [14] Woolley, Tom, and Sam Kimmins. "Green Building Handbook: Volume 2: A Guide to Building Products and Their Impact on the Environment". Taylor & Francis, 2003.
- [15] Pruteanu, Marian. "Investigations Regarding the Thermal Conductivity of Straw." The Bulletin of the Polytechnic Institute of Jassy, Construction. Architecture Section LVI (LX), no. 3 (2010): 9–16.
- [16] King B. "Buildings of earth and straw: Structural design for rammed earth and straw-bale architecture". Ecological Design Press, 1996
- [17] Ashour T, Georg H, Wei W, "Performance of straw bale wall: A case of study". Energy and Buildings 43 (2011)



[18] EN 15251:2006 "Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings- addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics".

[19] ΤΕΧΝΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟΥ ΕΛΛΑΔΑΣ Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010, "Αναλυτικές Εθνικές Προδιαγραφές Παραμέτρων για τον Υπολογισμό της Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων και την Έκδοση του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης".

## **ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

Bokalders V, Block M. "The Whole Building Handbook – How to design healthy, efficient sustainable buildings". RIBA Publishing, 2010.

Woolley T. "Natural Building – A guide to materials and technology". Crowood Press, 2006.

Berge J. "The Ecology of Building Materials". Architectural Press, 2001.

Spiegel R, Meadows D. "Green Building Materials: A guide to product selection and specification". John Wiley & Sons, Inc, 2006.

Thomson, Andrew, and Pete Walker. "Durability Characteristics of Straw Bales in Building Envelopes." *Construction and Building Materials* 68 (October 2014).

Palermo, M., L.M. Gil-Martin, E. Hernandez-Montes, and M. Aschheim. "Refined Compression Field Theory for Plastered Straw Bale Walls." *Construction and Building Materials* 58 (May 2014).

Latha P.K, Darshana Y, Venugopal V, "Role of building material in thermal comfort in tropical climates – A review". *Journal of Building Engineering* 3 (2015)



---

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

---

**ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ & ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ**

1. Ηλικία:

2. Φύλο:

3. Ύψος, βάρος:

4. Σημειώστε τον πλήρη ρουχισμό σας:

5. Θεωρείτε τις θερμικές συνθήκες του χώρου ικανοποιητικές/αποδεκτές;

Καθιστικό	Ναι	Όχι
Υπνοδωμάτιο	Ναι	Όχι
Κουζίνα	Ναι	Όχι

6. Πως νιώθετε το χώρο θερμικά;

	Πολύ Ψυχρό (Cold)	Ψυχρό (Cool)	Λίγο Ψυχρό (Slightly cool)	Ουδέτερα (Neutral)	Λίγο θερμό (Slightly warm)	Θερμό (Warm)	Πολύ θερμό (Hot)
Πρωί							
Μεσημέρι							
Απόγευμα							

7. Πως θα θέλατε να νιώθετε;

	Πολύ ψυχρότερα	Λίγο ψυχρότερα	Καμία αλλαγή	Λίγο θερμότερα	Πολύ θερμότερα
Πρωί					
Μεσημέρι					
Απόγευμα					

8. Νιώθετε ρεύματα αέρα σε κάποια σημεία της κατοικίας; Αν ναι, σε ποια;

Νιώθετε δυσφορία/ενόχληση από αυτά τα ρεύματα;

9. Αξιολογήστε την ποιότητα αέρα του χώρου (γενική εντύπωση).

Πολύ κακή	Κακή	Κακή με θετικά στοιχεία	Απροσδιόριστη	Καλή με αρνητικά στοιχεία	Καλή	Πολύ καλή
-----------	------	----------------------------	---------------	------------------------------	------	-----------

10. Παρατηρείτε δυσάρεστες οσμές;

Ναι Όχι

**11. Παρατηρείτε ξηρότητα στον αέρα;**

Ναι Όχι

**12. Αν μπορούσατε να ελέγξετε την θερμοκρασία του αέρα, θα προτιμούσατε:**

A. Η θερμοκρασία να κυμαίνεται ανάλογα με τις εξωτερικές κλιματικές συνθήκες.

B. Να διατηρείται σταθερή η θερμοκρασία καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου ανεξάρτητα από τις εξωτερικές κλιματικές συνθήκες.

**ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ - ΑΙΓΙΝΑ**

20 MARCH - AEGINA - LIVING ROOM										
	Probe TAG	Velocity [m/s]	Turbulence Intensity [%]	Temperature [C]	Draught Rate [%]	Relative Humidity [%]	Operative Temperature [C]	Mean Radiant Temperature [C]	PMV	PPD [%]
<b>MORNING</b>	LIVING ROOM	0,032	77,72	19,93	0,00	48,86	20,00	20,04	-0,90	22,28
		0,031	77,53	20,39	0,00			19,82	-0,87	20,94
		0,037	35,93	20,48	0,00			19,75	-0,86	20,76
	BEDROOM	0,05	48,83	20,92	0,00	47,05	21,36	21,62	-0,61	12,78
		0,02	28,29	21,50	0,00			21,30	-0,57	11,79
		0,03	26,24	21,55	0,00			21,27	-0,57	11,74
<b>NOON</b>	LIVING ROOM	0,07	59,10	22,70	4,78	46,55	23,54	24,17	-0,11	5,24
		0,06	55,77	23,03	2,61			23,89	-0,10	5,19
		0,06	34,64	23,02	3,06			23,91	-0,10	5,19
	BEDROOM	0,04	57,61	23,11	0,00	43,80	23,58	23,83	-0,09	5,18
		0,04	39,25	24,12	0,00			23,30	-0,03	5,02
		0,04	17,93	24,31	0,00			23,17	-0,02	5,01
<b>AFTERNOON</b>	LIVING ROOM	0,09	163,23	21,89	15,63	42,02	22,39	22,83	-0,36	7,69
		0,07	128,30	22,18	6,40			22,55	-0,35	7,54
		0,06	120,97	22,35	4,66			22,42	-0,34	7,43
	BEDROOM	0,03	44,25	22,50	0,00	42,38	23,11	23,39	-0,22	5,98
		0,03	40,94	22,89	0,00			23,20	-0,19	5,73
		0,04	31,54	23,20	0,00			23,05	-0,17	5,57

10 APRIL - AEGINA											
	Probe TAG	Velocity [m/s]	Turbulence Intensity [%]	Temperature [C]	Draught Rate [%]	Relative Humidity [%]	Operative Temperature [C]	Mean Radiant Temperature [C]	PMV	PPD [%]	
<b>MORNING</b>	<b>LIVING ROOM</b>	0,04	81,04	22,48	0,00	47,75	22,39	22,34	-0,33	7,32	
		0,04	87,43	22,59	0,00			22,27	-0,33	7,23	
		0,03	52,39	22,62	0,00			22,27	-0,32	7,18	
	<b>BEDROOM</b>	0,14	88,71	22,14	20,39	48,96	22,27	22,41	-0,50	10,15	
		0,12	106,74	22,47	16,43			22,07	-0,44	9,01	
		0,09	88,76	22,51	10,16			22,06	-0,38	7,95	
<b>NOON</b>	<b>LIVING ROOM</b>	0,06	72,36	23,14	3,14	38,11	23,54	23,82	-0,09	5,17	
		0,06	80,13	23,38	2,91			23,65	-0,08	5,13	
		0,06	64,89	23,40	3,68			23,64	-0,08	5,12	
	<b>BEDROOM</b>	0,20	74,40	22,27	32,21	40,58	23,05	24,09	-0,43	8,84	
		0,16	77,53	22,56	22,83			23,62	-0,36	7,69	
		0,11	74,62	22,76	12,42			23,32	-0,25	6,35	
<b>AFTERNOON</b>	<b>LIVING ROOM</b>	0,05	53,79	25,52	0,18	40,90	25,69	25,78	0,42	8,67	
		0,05	144,61	26,14	0,00			25,41	0,45	9,20	
		0,04	62,11	26,24	0,00			25,37	0,46	9,33	
	<b>BEDROOM</b>	0,33	110,69	22,43	86,03	43,55	23,17	24,44	-0,54	11,22	
		0,22	94,07	22,80	39,82			23,68	-0,42	8,65	
		0,19	78,23	22,82	28,38			23,62	-0,38	7,94	

17 APRIL - AEGINA										
	Probe TAG	Velocity [m/s]	Turbulence Intensity [%]	Temperature [C]	Draught Rate [%]	Relative Humidity [%]	Operative Temperature [C]	Mean Radiant Temperature [C]	PMV	PPD [%]
<b>MORNING</b>	<b>LIVING ROOM</b>	0,39	61,06	21,13	77,61	54,17	22,19	24,19	-0,86	20,55
		0,29	62,46	21,41	50,47			23,45	-0,76	17,02
		0,25	51,96	21,53	36,95			23,17	-0,71	15,62
	<b>BEDROOM</b>	0,30	60,39	21,72	51,82	56,21	22,30	23,27	-0,74	16,68
		0,26	37,87	21,74	30,95			23,16	-0,69	14,94
		0,22	42,70	21,69	26,69			23,15	-0,63	13,38
<b>NOON</b>	<b>LIVING ROOM</b>	0,43	78,39	24,08	84,67	46,37	24,99	26,78	-0,14	5,41
		0,26	59,74	24,33	33,17			25,99	-0,01	5,00
		0,26	50,19	24,31	29,48			26,02	-0,01	5,00
	<b>BEDROOM</b>	0,32	65,06	23,37	50,79	52,26	23,99	25,05	-0,32	7,16
		0,29	49,88	23,41	36,82			24,93	-0,29	6,79
		0,22	60,95	23,43	29,03			24,78	-0,22	6,01
<b>AFTERNOON</b>	<b>LIVING ROOM</b>	0,13	87,63	25,41	13,18	35,28	25,45	25,49	0,27	6,47
		0,08	102,47	25,57	6,13			25,35	0,36	7,73
		0,05	76,55	25,58	0,44			25,37	0,38	7,99
	<b>BEDROOM</b>	0,10	65,02	26,55	6,28	36,62	25,83	25,20	0,42	8,62
		0,10	71,01	25,57	7,31			26,06	0,41	8,50
		0,08	60,31	25,42	5,00			26,16	0,44	9,08



15 MAY - AEGINA										
	Probe TAG	Velocity [m/s]	Turbulence Intensity [%]	Temperature [C]	Draught Rate [%]	Relative Humidity [%]	Operative Temperature [C]	Mean Radiant Temperature [C]	PMV	PPD [%]
<b>MORNING</b>	<b>LIVING ROOM</b>	0,04	61,53	26,61	0,00	42,52	26,39	26,27	0,60	12,60
		0,03	61,25	26,88	0,00					
		0,04	33,09	26,96	0,00					
	<b>BEDROOM</b>	0,03	49,85	27,44	0,00	45,26	27,60	27,68	0,86	20,63
		0,03	44,27	27,58	0,00					
		0,04	35,74	27,65	0,00					
<b>NOON</b>	<b>LIVING ROOM</b>	0,29	81,32	24,89	43,87	42,47	25,49	26,44	0,09	5,18
		0,16	73,82	25,17	17,17					
		0,14	63,67	25,23	12,93					
	<b>BEDROOM</b>	0,23	59,55	25,98	23,24	40,03	26,64	27,57	0,43	8,88
		0,23	45,66	25,97	19,11					
		0,23	41,92	25,98	19,04					
<b>AFTERNOON</b>	<b>LIVING ROOM</b>	0,10	61,35	27,37	5,70	29,04	27,60	27,80	0,81	18,79
		0,06	104,54	28,08	1,64					
		0,06	40,32	28,23	1,53					
	<b>BEDROOM</b>	0,59	83,25	25,76	120,82	33,86	26,56	28,40	0,21	5,94
		0,55	91,07	25,88	114,17					
		0,34	82,69	26,14	48,79					

22 MAY - AEGINA										
	Probe TAG	Velocity [m/s]	Turbulence Intensity [%]	Temperature [C]	Draught Rate [%]	Relative Humidity [%]	Operative Temperature [C]	Mean Radiant Temperature [C]	PMV	PPD [%]
<b>MORNING</b>	<b>LIVING ROOM</b>	0,08	62,07	24,16	6,22	49,51	24,43	24,65	0,12	5,32
		0,04	115,90	24,61	0,00			24,34	0,15	5,45
		0,04	45,92	24,69	0,00			24,30	0,15	5,48
	<b>BEDROOM</b>	0,05	90,41	24,67	0,78	48,71	24,63	24,60	0,19	5,71
		0,04	75,66	25,01	0,00			24,43	0,21	5,88
		0,04	37,62	24,96	0,00			24,46	0,20	5,85
<b>NOON</b>	<b>LIVING ROOM</b>	0,09	69,56	25,04	6,09	44,96	25,06	25,08	0,26	6,45
		0,07	69,36	25,27	4,23			24,90	0,29	6,74
		0,06	68,55	25,32	2,50			24,89	0,29	6,77
	<b>BEDROOM</b>	0,05	41,58	25,43	1,16	44,30	24,93	24,61	0,27	6,56
		0,03	41,48	25,83	0,00			24,46	0,31	6,93
		0,04	25,87	25,84	0,00			24,41	0,30	6,87
<b>AFTERNOON</b>	<b>LIVING ROOM</b>	0,10	67,51	25,41	7,51	44,17	25,63	25,83	0,36	7,72
		0,05	112,28	26,30	0,00			25,24	0,45	9,17
		0,04	51,22	26,55	0,00			25,11	0,46	9,45
	<b>BEDROOM</b>	0,05	63,45	26,17	0,00	43,63	26,86	27,26	0,67	14,31
		0,03	47,53	26,81	0,00			26,88	0,69	15,14
		0,04	39,63	26,82	0,00			26,87	0,70	15,18

**ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ - ΩΡΩΠΟΣ**

		16 MARCH - OROPOS - LIVING ROOM								
	Probe TAG	Velocity [m/s]	Turbulence Intensity [%]	Temperature [C]	Draught Rate [%]	Relative Humidity [%]	Operative Temperature [C]	Mean Radiant Temperature [C]	PMV	PPD [%]
MORN-ING	LIVING ROOM	0,035	75,24	14,72	0,00	68,86	14,35	14,14	-1,44	47,92
		0,030	83,81	14,96	0,00			14,03	-1,43	46,97
		0,031	42,24	14,98	0,00			14,01	-1,43	46,89
	BED-ROOM N-W	0,031	59,38	14,42	0,00	71,11	14,20	14,09	-2,28	87,68
		0,028	67,02	14,73	0,00			13,94	-2,25	86,79
		0,038	40,31	14,70	0,00			13,91	-2,26	87,02
	BED-ROOM N	0,039	50,47	14,21	0,00	70,04	14,02	13,91	-2,33	89,15
		0,021	70,36	14,56	0,00			13,75	-2,30	88,17
		0,030	66,72	14,37	0,00			13,84	-2,31	88,70
	OFFICE N-E	0,022	87,47	14,06	0,00	69,11	13,50	13,22	-2,42	91,61
		0,042	80,20	13,99	0,00			13,20	-2,43	91,89
		0,042	67,81	14,04	0,00			13,17	-2,43	91,78
NOON	LIVING ROOM	0,031	73,04	14,69	0,00	75,24	14,74	14,76	-1,40	45,38
		0,030	40,28	15,01	0,00			14,60	-1,37	44,18
		0,036	47,85	15,10	0,00			14,53	-1,37	43,95
	BED-ROOM N-W	0,019	89,31	14,64	0,00	71,38	13,94	13,56	-2,31	88,44
		0,037	64,63	14,71	0,00			13,49	-2,30	88,34
		0,043	41,85	14,72	0,00			13,44	-2,31	88,45
	BED-ROOM N	0,029	67,55	14,31	0,00	73,080	14,024	13,88	-2,32	88,81
		0,030	96,63	14,53	0,00			13,77	-2,30	88,24
		0,035	84,53	14,46	0,00			13,78	-2,31	88,49
	OFFICE N-E	0,049	81,03	14,23	0,00	70,48	13,66	13,27	-2,39	90,85
		0,046	97,37	14,31	0,00			13,24	-2,38	90,66
		0,045	127,62	14,28	0,00			13,26	-2,38	90,70
AFTER-NOON	LIVING ROOM	0,024	86,05	14,37	0,00	69,59	14,15	14,05	-1,49	50,41
		0,023	93,01	14,51	0,00			13,98	-1,48	49,84
		0,027	64,75	14,64	0,00			13,91	-1,47	49,41
	BED-ROOM N-W	0,032	92,63	14,17	0,00	70,90	13,83	13,65	-2,36	90,03
		0,034	114,50	14,32	0,00			13,56	-2,35	89,72
		0,038	59,15	14,34	0,00			13,54	-2,35	89,71
	BED-ROOM N	0,032	66,39	14,41	0,00	70,53	14,11	13,95	-2,30	88,16
		0,035	66,68	14,54	0,00			13,88	-2,29	87,86
		0,039	74,09	14,54	0,00			13,86	-2,29	87,89
	OFFICE N-E	0,021	52,33	14,09	0,00	69,84	13,55	13,28	-2,41	91,33
		0,031	76,94	13,97	0,00			13,34	-2,42	91,62
		0,040	78,10	13,93	0,00			13,33	-2,43	91,77

		17 MARCH - OROPOS - LIVING ROOM								
	Probe TAG	Velocity [m/s]	Turbulence Intensity [%]	Temperature [C]	Draught Rate [%]	Relative Humidity [%]	Operative Temperature [C]	Mean Radiant Temperature [C]	PMV	PPD [%]
MORN- ING	LIVING ROOM	0,05	85,71	14,61	0,00	66,90	14,66	14,70	-1,41	46,10
		0,05	123,68	14,80	0,00			14,57	-1,40	45,52
		0,05	78,82	14,80	2,26			14,57	-1,40	45,55
	BED- ROOM N-W	0,03	58,32	14,70	0,00	69,38	14,18	13,91	-2,26	87,04
		0,04	37,56	14,80	0,00			13,82	-2,26	86,88
		0,05	38,40	14,73	0,00			13,82	-2,27	87,19
	BED- ROOM N	0,03	88,09	14,39	0,00	69,85	14,10	13,96	-2,30	88,24
		0,02	110,28	14,54	0,00			13,89	-2,29	87,82
		0,03	74,14	14,51	0,00			13,88	-2,29	87,98
	OF- FICE N-E	0,05	102,06	13,96	0,00	67,61	13,63	13,42	-2,41	91,43
		0,07	63,06	13,96	7,90			13,37	-2,42	91,56
		0,08	58,86	13,92	10,47			13,38	-2,42	91,67
NOON	LIVING ROOM	0,05	91,52	14,49	0,00	67,43	14,37	14,30	-1,46	48,60
		0,05	69,60	14,62	0,85			14,21	-1,45	48,22
		0,04	64,60	14,52	0,00			14,29	-1,46	48,47
	BED- ROOM N-W	0,02	56,52	14,70	0,00	69,26	14,10	13,79	-2,27	87,46
		0,03	56,57	14,70	0,00			13,78	-2,27	87,45
		0,04	50,20	14,62	0,00			13,80	-2,28	87,76
	BED- ROOM N	0,04	57,25	14,42	0,00	70,158	14,133	13,97	-2,29	88,07
		0,03	94,23	14,58	0,00			13,90	-2,28	87,62
		0,04	62,92	14,57	0,00			13,89	-2,28	87,67
	OF- FICE N-E	0,05	83,23	14,02	0,00	66,97	13,44	13,06	-2,44	92,12
		0,05	87,59	14,12	1,48			12,96	-2,44	92,01
		0,06	55,66	14,05	3,23			13,00	-2,44	92,18
AFTER- NOON	LIVING ROOM	0,07	72,87	15,37	7,59	66,11	15,17	15,02	-1,30	40,29
		0,08	63,74	15,35	9,43			15,02	-1,30	40,35
		0,06	59,79	15,36	6,03			15,03	-1,30	40,28
	BED- ROOM N-W	0,09	54,43	15,82	11,98	67,85	15,41	15,03	-1,99	76,47
		0,10	51,65	15,67	15,30			15,15	-2,01	77,15
		0,08	56,34	15,68	9,12			15,18	-2,00	76,65
	BED- ROOM N	0,05	65,90	15,29	0,00	70,43	14,68	14,27	-2,14	82,80
		0,04	89,63	15,33	0,00			14,31	-2,13	82,43
		0,05	64,67	15,25	2,06			14,29	-2,15	82,97
	OF- FICE N-E	0,07	76,02	14,83	8,60	66,64	14,33	13,92	-2,24	86,43
		0,11	53,33	14,77	18,11			13,85	-2,29	87,81
		0,12	52,14	14,70	19,17			13,93	-2,30	88,39

		18 MARCH - OROPOS - LIVING ROOM								
	Probe TAG	Velocity [m/s]	Turbulence Intensity [%]	Temperature [C]	Draught Rate [%]	Relative Humidity [%]	Operative Temperature [C]	Mean Radiant Temperature [C]	PMV	PPD [%]
NOON	LIVING ROOM	0,04	82,97	18,17	0,00	68,23	18,10	18,06	-0,74	16,46
		0,04	162,72	18,36	0,00			17,95	-0,73	16,13
		0,04	72,65	18,44	0,00			17,92	-0,72	15,94
	BED-ROOM N-W	0,04	69,20	17,87	0,00	69,71	17,28	16,91	-1,52	52,10
		0,05	95,87	17,79	1,88			16,93	-1,53	52,59
		0,06	48,25	17,71	4,12			16,96	-1,54	52,99
	BED-ROOM N	0,06	64,32	17,14	4,58	73,223	16,648	16,29	-1,69	60,96
		0,07	77,64	17,22	7,04			16,20	-1,68	60,86
		0,10	46,00	16,97	12,07			16,34	-1,70	61,90
	OFFICE N-E	0,06	54,37	16,62	5,12	67,39	16,09	15,70	-1,82	67,88
		0,06	76,07	16,66	6,01			15,66	-1,81	67,78
		0,07	45,81	16,58	5,98			15,71	-1,82	68,07
AFTER-NOON	LIVING ROOM	0,04	91,32	17,16	0,00	69,41	16,80	16,60	-0,97	24,93
		0,05	124,69	17,20	1,30			16,53	-0,97	24,99
		0,05	51,77	17,20	0,00			16,54	-0,97	24,95
	BED-ROOM N-W	0,03	69,78	17,18	0,00	71,20	16,58	16,29	-1,68	60,69
		0,04	76,36	17,13	0,00			16,27	-1,69	61,13
		0,05	50,04	17,09	1,93			16,24	-1,70	61,58
	BED-ROOM N	0,03	88,34	16,89	0,00	71,98	16,36	16,08	-1,74	63,87
		0,06	74,58	16,85	5,46			16,00	-1,75	64,62
		0,08	47,04	16,68	9,56			16,08	-1,77	65,35
	OFFICE N-E	0,07	85,37	16,54	7,72	70,05	16,17	15,88	-1,81	67,50
		0,10	105,08	16,52	18,41			15,83	-1,82	67,91
		0,07	72,52	16,49	9,07			15,90	-1,81	67,69

		19 MARCH - OROPOS - LIVING ROOM								
	Probe TAG	Velocity [m/s]	Turbulence Intensity [%]	Temperature [C]	Draught Rate [%]	Relative Humidity [%]	Operative Temperature [C]	Mean Radiant Temperature [C]	PMV	PPD [%]
MORN- ING	LIV- ING ROOM	0,06	106,01	18,09	5,70	64,08	18,16	18,22	-0,73	16,31
		0,05	111,75	18,33	2,16			18,05	-0,72	15,96
		0,04	56,45	18,33	0,00			18,07	-0,72	15,92
	BED- ROOM N-W	0,03	57,86	17,20	0,00	66,84	16,69	16,41	-1,66	59,84
		0,03	39,89	17,61	0,00			16,17	-1,64	58,26
		0,05	40,89	17,45	0,00			16,19	-1,65	59,26
	BED- ROOM N	0,03	74,44	16,73	0,00	69,27	16,20	15,94	-1,78	65,77
		0,03	80,39	16,85	0,00			15,86	-1,77	65,42
		0,04	92,30	16,91	0,00			15,80	-1,77	65,28
	OF- FICE N-E	0,08	162,56	16,32	14,05	63,87	15,97	15,67	-1,86	70,06
		0,09	175,70	16,42	19,27			15,56	-1,86	69,96
		0,10	181,34	16,44	24,82			15,52	-1,86	70,07
NOON	LIV- ING ROOM	0,04	90,88	17,65	0,00	65,65	17,84	17,95	-0,80	18,62
		0,04	117,29	18,07	0,00			17,71	-0,78	17,77
		0,03	69,68	18,12	0,00			17,70	-0,77	17,64
	BED- ROOM N-W	0,04	49,64	17,78	0,00	64,16	18,25	18,54	-1,36	43,49
		0,04	65,92	18,19	0,00			18,29	-1,33	42,01
		0,05	49,81	18,26	0,00			18,24	-1,33	41,74
	BED- ROOM N	0,04	67,25	17,28	0,00	70,071	16,719	16,40	-1,65	59,29
		0,05	70,51	17,47	0,00			16,24	-1,65	58,89
		0,06	65,00	17,47	3,66			16,18	-1,65	59,17
	OF- FICE N-E	0,04	99,01	16,61	0,00	66,71	16,05	15,71	-1,82	67,84
		0,06	112,57	16,69	5,27			15,58	-1,82	68,01
		0,06	71,67	16,72	4,83			15,55	-1,82	67,97
AFTER- NOON	LIV- ING ROOM	0,06	60,43	19,48	3,85	61,56	20,24	20,78	-0,36	7,72
		0,08	81,32	19,17	8,92			21,11	-0,37	7,77
		0,06	52,23	20,34	3,55			20,17	-0,32	7,18
	BED- ROOM N-W	0,04	52,55	18,82	0,00	64,56	19,55	19,97	-1,07	29,12
		0,03	50,47	19,37	0,00			19,64	-1,03	27,48
		0,05	39,80	19,84	0,00			19,36	-1,00	26,13
	BED- ROOM N	0,04	49,51	17,76	0,00	69,90	17,25	16,97	-1,53	52,57
		0,04	66,42	18,02	0,00			16,83	-1,51	51,54
		0,04	59,23	18,31	0,00			16,60	-1,50	50,77
	OF- FICE N-E	0,02	38,03	16,97	0,00	69,27	16,33	16,00	-1,74	63,78
		0,03	59,58	17,14	0,00			15,89	-1,73	63,21
		0,05	54,64	17,20	0,00			15,77	-1,73	63,43

		21 MARCH - OROPOS - LIVING ROOM								
	Probe TAG	Velocity [m/s]	Turbulence Intensity [%]	Temperature [C]	Draught Rate [%]	Relative Humidity [%]	Operative Temperature [C]	Mean Radiant Temperature [C]	PMV	PPD [%]
MORN-ING	LIV-ING ROOM	0,04	76,83	19,15	0,00	56,36	19,67	19,96	-0,47	9,58
		0,05	63,13	19,33	0,00			19,88	-0,46	9,34
		0,06	43,58	19,34	3,71			19,90	-0,45	9,29
	BED-ROOM N-W	0,03	36,95	18,31	0,00	60,16	18,04	17,91	-1,36	43,26
		0,03	32,35	18,56	0,00			17,78	-1,34	42,23
		0,05	30,52	18,51	0,00			17,74	-1,35	42,84
	BED-ROOM N	0,03	57,19	17,47	0,00	64,01	16,86	16,52	-1,62	57,20
		0,04	44,47	17,61	0,00			16,39	-1,61	56,96
		0,04	71,97	17,69	0,00			16,38	-1,60	56,50
	OF-FICE N-E	0,06	127,60	17,28	4,77	56,85	16,90	16,63	-1,63	57,95
		0,06	74,57	17,59	5,18			16,39	-1,61	57,10
		0,07	64,00	17,66	6,42			16,31	-1,61	57,05
NOON	LIV-ING ROOM	0,04	67,85	19,07	0,00	49,98	19,12	19,15	-0,55	11,29
		0,07	43,39	19,46	5,87			18,85	-0,53	10,93
		0,06	44,81	19,60	3,68			18,77	-0,52	10,75
	BED-ROOM N-W	0,21	55,41	18,86	35,73	50,84	19,05	19,33	-1,41	46,02
		0,19	75,39	19,41	37,69			18,57	-1,38	44,69
		0,19	64,13	19,47	33,29			18,49	-1,38	44,40
	BED-ROOM N	0,05	43,97	17,96	0,00	58,079	17,355	16,97	-1,50	51,12
		0,05	51,45	18,34	0,00			16,74	-1,48	49,71
		0,03	82,02	18,52	0,00			16,67	-1,46	48,87
	OF-FICE N-E	0,19	147,04	18,27	65,25	49,88	17,98	17,57	-1,65	59,16
		0,22	145,69	18,53	77,15			17,15	-1,70	61,60
		0,23	137,72	18,59	77,26			17,05	-1,71	62,24
AFTER-NOON	LIV-ING ROOM	0,04	54,11	20,19	0,00	44,41	19,73	19,49	-0,40	8,33
		0,05	63,53	20,71	2,03			19,08	-0,38	8,06
		0,06	50,60	19,96	2,92			19,58	-0,42	8,60
	BED-ROOM N-W	0,20	83,32	20,96	37,59	39,80	21,81	22,95	-0,71	15,70
		0,24	78,12	20,99	45,78			23,02	-0,76	17,17
		0,26	78,54	21,44	51,35			22,39	-0,79	18,14
	BED-ROOM N	0,14	112,19	19,31	29,43	46,86	18,66	17,92	-1,36	43,39
		0,19	102,37	19,56	43,95			17,45	-1,47	49,20
		0,25	86,82	19,72	57,15			17,00	-1,57	54,54
	OF-FICE N-E	0,09	83,50	18,26	13,50	48,26	17,91	17,59	-1,40	45,47
		0,12	74,21	18,66	19,10			17,11	-1,48	50,04
		0,13	62,65	18,69	19,81			17,05	-1,51	51,62

**ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ - ΑΙΓΙΝΑ**

	20 MARCH - AEGINA - LIVING ROOM	
	TVOC [ppb]	Carbon Dioxide [ppm]
20-Mar-16 12:37:56 PM	183	604
20-Mar-16 12:43:01 PM	191	616
20-Mar-16 12:48:06 PM	195	648
20-Mar-16 12:53:10 PM	193	626
20-Mar-16 12:58:16 PM	186	589
20-Mar-16 01:03:20 PM	183	577
20-Mar-16 01:08:26 PM	181	572
20-Mar-16 01:13:31 PM	180	572
20-Mar-16 01:18:36 PM	178	570
20-Mar-16 01:23:41 PM	176	569
20-Mar-16 01:28:46 PM	176	569
20-Mar-16 01:33:51 PM	175	565
20-Mar-16 01:38:56 PM	174	563
20-Mar-16 01:44:01 PM	174	561
20-Mar-16 01:49:06 PM	174	558
20-Mar-16 01:54:10 PM	173	555
20-Mar-16 01:59:16 PM	173	553
20-Mar-16 02:04:20 PM	173	549
20-Mar-16 02:09:26 PM	172	546
20-Mar-16 02:14:31 PM	172	543
20-Mar-16 02:19:36 PM	172	541
20-Mar-16 02:24:41 PM	172	537
20-Mar-16 02:29:46 PM	171	534
20-Mar-16 02:34:51 PM	170	532
20-Mar-16 02:39:56 PM	156	475
20-Mar-16 02:45:01 PM	148	456
20-Mar-16 02:50:06 PM	142	435
20-Mar-16 03:16:56 PM	122	410
20-Mar-16 03:22:01 PM	128	419
20-Mar-16 03:27:06 PM	136	443
20-Mar-16 03:32:10 PM	140	453
20-Mar-16 03:37:16 PM	142	458
20-Mar-16 03:42:20 PM	144	463
20-Mar-16 03:47:26 PM	144	464
20-Mar-16 03:52:31 PM	144	468
20-Mar-16 03:57:36 PM	145	468
20-Mar-16 04:02:41 PM	145	466
20-Mar-16 04:07:46 PM	144	464
20-Mar-16 04:12:51 PM	142	459
20-Mar-16 04:17:56 PM	142	464
20-Mar-16 04:23:01 PM	144	468
20-Mar-16 04:28:06 PM	146	467
20-Mar-16 04:33:10 PM	147	465

20-Mar-16 04:33:10 PM	147	465
20-Mar-16 04:38:16 PM	146	465
20-Mar-16 04:43:20 PM	146	465
20-Mar-16 04:48:26 PM	147	464
20-Mar-16 04:53:31 PM	146	464
20-Mar-16 04:58:36 PM	145	463
20-Mar-16 05:03:41 PM	144	462
20-Mar-16 05:08:46 PM	144	461
20-Mar-16 05:13:51 PM	143	460
20-Mar-16 05:18:56 PM	143	460
20-Mar-16 05:24:01 PM	142	460
20-Mar-16 05:29:06 PM	126	439



	10 APRIL - AEGINA - LIVING ROOM	
	TVOC [ppb]	Carbon Di-oxide [ppm]
10-Apr-16 010:16:13 PM	113	456
10-Apr-16 010:21:18 PM	115	472
10-Apr-16 010:26:23 PM	120	488
10-Apr-16 010:31:28 PM	118	500
10-Apr-16 010:36:33 PM	106	418
10-Apr-16 010:41:38 PM	99	373
10-Apr-16 010:46:43 PM	95	368
10-Apr-16 010:51:48 PM	94	370
10-Apr-16 010:56:53 PM	94	374
10-Apr-16 12:01:58 PM	95	379
10-Apr-16 12:07:03 PM	97	381
10-Apr-16 12:12:08 PM	98	383
10-Apr-16 12:17:13 PM	99	384
10-Apr-16 12:22:18 PM	99	386
10-Apr-16 12:27:23 PM	99	386
10-Apr-16 12:32:28 PM	99	387
10-Apr-16 12:37:33 PM	98	388
10-Apr-16 12:42:38 PM	98	389
10-Apr-16 12:47:43 PM	98	389
10-Apr-16 12:52:48 PM	97	390
10-Apr-16 12:57:53 PM	97	391
10-Apr-16 01:02:58 PM	97	392
10-Apr-16 01:08:03 PM	97	393
10-Apr-16 01:13:08 PM	97	395
10-Apr-16 01:18:13 PM	98	396
10-Apr-16 01:23:18 PM	98	396
10-Apr-16 01:28:23 PM	95	396
10-Apr-16 01:33:28 PM	93	406
10-Apr-16 01:38:33 PM	90	408
10-Apr-16 01:55:34 PM	89	396
10-Apr-16 02:00:39 PM	89	405
10-Apr-16 02:05:44 PM	87	399
10-Apr-16 02:10:49 PM	87	403
10-Apr-16 02:15:54 PM	89	410
10-Apr-16 02:20:59 PM	92	412
10-Apr-16 02:26:04 PM	95	413
10-Apr-16 02:31:09 PM	96	414
10-Apr-16 02:36:14 PM	97	414
10-Apr-16 02:41:19 PM	98	413
10-Apr-16 02:46:24 PM	98	414
10-Apr-16 02:51:29 PM	98	413
10-Apr-16 02:56:34 PM	99	414
10-Apr-16 03:01:39 PM	100	414

10-Apr-16 03:06:44 PM	100	414
10-Apr-16 03:10:49 PM	101	413
10-Apr-16 03:16:54 PM	101	414
10-Apr-16 03:21:59 PM	101	415
10-Apr-16 03:27:04 PM	102	415
10-Apr-16 03:32:09 PM	102	414
10-Apr-16 03:37:14 PM	101	414
10-Apr-16 03:42:19 PM	101	413
10-Apr-16 03:47:24 PM	101	413
10-Apr-16 03:52:29 PM	102	413
10-Apr-16 03:57:34 PM	102	414
10-Apr-16 04:02:39 PM	102	415
10-Apr-16 04:07:44 PM	102	414
10-Apr-16 04:12:49 PM	103	416
10-Apr-16 04:17:54 PM	106	441
10-Apr-16 04:22:59 PM	108	467

	17 APRIL - AEGINA - LIVING ROOM	
	TVOC [ppb]	Carbon Di-oxide [ppm]
17-Apr-16 11:17:43 PM	175	383
17-Apr-16 11:23:48 PM	163	377
17-Apr-16 11:28:53 PM	153	371
17-Apr-16 11:33:58 PM	148	367
17-Apr-16 11:39:03 PM	142	365
17-Apr-16 11:44:08 PM	134	363
17-Apr-16 11:49:13 PM	133	362
17-Apr-16 11:54:17 PM	130	362
17-Apr-16 11:59:23 PM	131	365
17-Apr-16 12:04:28 PM	130	362
17-Apr-16 12:09:33 PM	129	360
17-Apr-16 12:14:38 PM	127	357
17-Apr-16 12:19:43 PM	129	355
17-Apr-16 12:24:48 PM	127	357
17-Apr-16 12:29:53 PM	123	356
17-Apr-16 12:34:58 PM	123	356
17-Apr-16 12:40:03 PM	122	358
17-Apr-16 12:45:08 PM	121	360
17-Apr-16 12:50:13 PM	119	361
17-Apr-16 12:55:17 PM	117	359
17-Apr-16 01:00:23 PM	115	358
17-Apr-16 01:05:28 PM	117	360
17-Apr-16 01:10:33 PM	150	365
17-Apr-16 01:15:38 PM	164	369
17-Apr-16 01:20:43 PM	168	371
17-Apr-16 01:25:48 PM	125	369
17-Apr-16 01:30:53 PM	114	365
17-Apr-16 01:35:58 PM	109	362
17-Apr-16 01:57:57 PM	123	372
17-Apr-16 02:03:02 PM	117	383
17-Apr-16 02:08:07 PM	119	388
17-Apr-16 02:13:12 PM	146	389
17-Apr-16 02:17:17 PM	154	409
17-Apr-16 02:23:22 PM	164	421
17-Apr-16 02:28:27 PM	168	424
17-Apr-16 02:33:32 PM	172	425
17-Apr-16 02:38:37 PM	173	425
17-Apr-16 02:43:42 PM	175	425
17-Apr-16 02:48:47 PM	177	426
17-Apr-16 02:53:52 PM	178	426
17-Apr-16 02:58:57 PM	175	427
17-Apr-16 03:04:02 PM	167	429
17-Apr-16 03:09:07 PM	156	431

17-Apr-16 03:14:12 PM	153	427
17-Apr-16 03:19:17 PM	157	431
17-Apr-16 03:24:22 PM	154	432
17-Apr-16 03:29:27 PM	151	423
17-Apr-16 03:34:32 PM	168	421
17-Apr-16 03:39:37 PM	196	419
17-Apr-16 03:44:42 PM	213	419
17-Apr-16 03:49:47 PM	220	417
17-Apr-16 03:54:52 PM	214	419
17-Apr-16 03:59:57 PM	198	417
17-Apr-16 04:05:02 PM	200	417
17-Apr-16 04:10:07 PM	179	417
17-Apr-16 04:15:12 PM	197	419
17-Apr-16 04:20:17 PM	269	424
17-Apr-16 04:25:22 PM	253	422
17-Apr-16 04:30:27 PM	293	423
17-Apr-16 04:35:32 PM	315	426
17-Apr-16 04:40:37 PM	242	428
17-Apr-16 04:45:42 PM	213	426
17-Apr-16 04:50:47 PM	174	423
17-Apr-16 04:55:52 PM	164	423
17-Apr-16 05:00:57 PM	151	421
17-Apr-16 05:06:02 PM	149	420
17-Apr-16 05:11:07 PM	138	429

	15 MAY - AEGINA - LIVING ROOM	
	TVOC [ppb]	Carbon Dioxide [ppm]
15-May-16 12:14:55 PM	333	429
15-May-16 12:20:00 PM	249	410
15-May-16 12:25:05 PM	234	406
15-May-16 12:30:10 PM	209	407
15-May-16 12:35:15 PM	203	405
15-May-16 12:40:20 PM	167	404
15-May-16 12:45:25 PM	166	398
15-May-16 12:50:30 PM	217	405
15-May-16 12:55:35 PM	237	417
15-May-16 01:00:40 PM	243	427
15-May-16 01:05:45 PM	229	424
15-May-16 01:10:50 PM	224	428
15-May-16 01:15:55 PM	217	426
15-May-16 01:21:00 PM	212	423
15-May-16 01:26:05 PM	208	424
15-May-16 01:31:10 PM	203	424
15-May-16 01:36:15 PM	197	428
15-May-16 01:41:20 PM	176	431
15-May-16 01:46:25 PM	160	417
15-May-16 02:00:22 PM	131	410
15-May-16 02:05:27 PM	131	399
15-May-16 02:10:32 PM	133	404
15-May-16 02:15:37 PM	147	405
15-May-16 02:20:42 PM	155	410
15-May-16 02:25:47 PM	161	416
15-May-16 02:30:52 PM	169	421
15-May-16 02:35:57 PM	171	426
15-May-16 02:41:02 PM	173	430
15-May-16 02:46:07 PM	176	434
15-May-16 02:51:12 PM	176	437
15-May-16 02:56:17 PM	176	439
15-May-16 03:01:22 PM	174	441
15-May-16 03:06:27 PM	174	442
15-May-16 03:11:32 PM	175	443
15-May-16 03:16:37 PM	173	444
15-May-16 03:21:42 PM	179	447
15-May-16 03:26:47 PM	172	452
15-May-16 03:31:52 PM	173	456
15-May-16 03:36:57 PM	172	460
15-May-16 03:42:02 PM	168	452
15-May-16 03:47:07 PM	167	450
15-May-16 03:52:12 PM	163	447
15-May-16 03:57:17 PM	164	447
15-May-16 04:02:22 PM	164	446

	22 MAY - AEGINA - LIVING ROOM	
	TVOC [ppb]	Carbon Dioxide [ppm]
22-May-16 11:15:50 AM	350	432
22-May-16 11:20:55 AM	346	436
22-May-16 11:26:00 AM	333	435
22-May-16 11:31:05 AM	320	433
22-May-16 11:36:10 AM	304	432
22-May-16 11:41:15 AM	291	431
22-May-16 11:46:20 AM	275	426
22-May-16 11:51:25 AM	260	417
22-May-16 11:56:30 AM	250	414
22-May-16 12:01:35 PM	237	408
22-May-16 12:06:40 PM	223	405
22-May-16 12:11:45 PM	217	408
22-May-16 12:16:50 PM	212	405
22-May-16 12:21:55 PM	203	401
22-May-16 12:27:00 PM	199	400
22-May-16 12:32:05 PM	194	397
22-May-16 12:37:10 PM	189	402
22-May-16 12:42:15 PM	189	401
22-May-16 12:47:20 PM	184	402
22-May-16 12:52:25 PM	186	403
22-May-16 12:57:30 PM	179	400
22-May-16 01:02:35 PM	177	400
22-May-16 01:07:40 PM	177	398
22-May-16 01:12:45 PM	174	400
22-May-16 01:17:50 PM	173	409
22-May-16 01:22:55 PM	161	402
22-May-16 01:28:00 PM	159	402
22-May-16 01:33:05 PM	160	409
22-May-16 01:38:10 PM	158	405
22-May-16 01:43:15 PM	160	405
22-May-16 01:48:20 PM	158	415
22-May-16 02:06:48 PM	157	464
22-May-16 02:11:53 PM	165	491
22-May-16 02:16:58 PM	169	483
22-May-16 02:22:03 PM	170	484
22-May-16 02:27:08 PM	172	483
22-May-16 02:32:13 PM	173	483
22-May-16 02:37:18 PM	174	481
22-May-16 02:42:23 PM	175	480
22-May-16 02:47:28 PM	176	478
22-May-16 02:52:33 PM	176	478
22-May-16 02:57:38 PM	176	477
22-May-16 03:02:43 PM	176	477

23-May-16 03:07:48 PM	177	476
23-May-16 03:12:53 PM	177	474
23-May-16 03:17:58 PM	178	473
23-May-16 03:23:03 PM	177	470
23-May-16 03:28:08 PM	177	468
23-May-16 03:33:13 PM	176	466
23-May-16 03:38:18 PM	177	465
23-May-16 03:43:23 PM	177	466
23-May-16 03:48:28 PM	178	465
23-May-16 03:53:33 PM	179	464
23-May-16 03:58:38 PM	180	479
23-May-16 04:03:43 PM	179	497
23-May-16 04:08:48 PM	179	508

**ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ - ΩΡΩΠΟΣ**

	16 MARCH - OROPOS - LIVING ROOM	
	TVOC [ppb]	Carbon Di-oxide [ppm]
16-Mar-16 11:47:15 AM	247	626
16-Mar-16 11:52:20 AM	240	625
16-Mar-16 11:57:25 AM	236	635
16-Mar-16 12:02:30 PM	232	639
16-Mar-16 12:07:35 PM	225	640
16-Mar-16 12:12:40 PM	223	651
16-Mar-16 12:17:45 PM	221	621
16-Mar-16 12:22:50 PM	220	638
16-Mar-16 12:27:55 PM	220	644
16-Mar-16 12:33:00 PM	220	645
16-Mar-16 12:38:05 PM	219	630
16-Mar-16 12:43:10 PM	217	626
16-Mar-16 12:48:15 PM	215	633
16-Mar-16 12:53:20 PM	205	623
16-Mar-16 12:58:25 PM	199	622
16-Mar-16 01:03:30 PM	203	644
16-Mar-16 01:08:35 PM	205	679
16-Mar-16 01:13:40 PM	205	699
16-Mar-16 01:18:45 PM	205	696
16-Mar-16 01:23:50 PM	205	697
16-Mar-16 01:28:55 PM	205	701
16-Mar-16 01:34:00 PM	205	702
16-Mar-16 01:39:05 PM	205	701
16-Mar-16 01:44:10 PM	212	706
16-Mar-16 01:49:15 PM	220	780
16-Mar-16 01:54:20 PM	221	871
16-Mar-16 01:59:25 PM	221	1000
16-Mar-16 02:04:30 PM	222	1059
16-Mar-16 02:09:35 PM	223	1102
16-Mar-16 02:14:40 PM	232	1190
16-Mar-16 02:19:45 PM	238	1193
16-Mar-16 02:24:50 PM	251	1279
16-Mar-16 02:29:55 PM	250	1239
16-Mar-16 02:35:00 PM	248	1218
16-Mar-16 02:40:05 PM	250	1199
16-Mar-16 02:45:10 PM	249	1179
16-Mar-16 02:50:15 PM	249	1173
16-Mar-16 02:55:20 PM	248	1166
16-Mar-16 03:00:25 PM	246	1150
16-Mar-16 03:05:30 PM	245	1139
16-Mar-16 03:10:35 PM	245	1126

16-Mar-16 03:15:40 PM	242	1113
16-Mar-16 03:20:45 PM	242	1115
16-Mar-16 03:25:50 PM	246	1118
16-Mar-16 03:30:55 PM	253	1121
16-Mar-16 03:36:00 PM	257	1124
16-Mar-16 03:41:05 PM	260	1122
16-Mar-16 03:46:10 PM	263	1104
16-Mar-16 03:51:15 PM	261	1087
16-Mar-16 03:56:20 PM	259	1069
16-Mar-16 04:01:25 PM	259	1051
16-Mar-16 04:06:30 PM	259	1030
16-Mar-16 04:11:35 PM	259	1015
16-Mar-16 04:16:40 PM	259	1001
16-Mar-16 04:21:45 PM	259	996
16-Mar-16 04:26:50 PM	259	999
16-Mar-16 04:31:55 PM	259	991
16-Mar-16 04:37:00 PM	259	973
16-Mar-16 04:42:05 PM	258	961
16-Mar-16 04:47:10 PM	257	958
16-Mar-16 04:52:15 PM	257	948
16-Mar-16 04:57:20 PM	257	940
16-Mar-16 05:02:25 PM	257	935
16-Mar-16 05:07:30 PM	257	928
16-Mar-16 05:12:35 PM	255	931
16-Mar-16 05:17:40 PM	253	944
16-Mar-16 05:22:45 PM	253	955

	17 MARCH - OROPOS - LIVING ROOM	
	TVOC [ppb]	Carbon Dioxide [ppm]
17-Mar-16 01:05:47 PM	273	667
17-Mar-16 01:10:52 PM	277	704
17-Mar-16 01:15:57 PM	276	716
17-Mar-16 01:21:02 PM	275	716
17-Mar-16 01:26:07 PM	273	711
17-Mar-16 01:31:12 PM	272	706
17-Mar-16 01:36:17 PM	271	701
17-Mar-16 01:41:22 PM	270	693
17-Mar-16 01:46:27 PM	269	685
17-Mar-16 01:51:32 PM	268	677
17-Mar-16 01:56:37 PM	267	670
17-Mar-16 02:01:42 PM	266	665
17-Mar-16 02:06:47 PM	266	676
17-Mar-16 02:11:52 PM	263	673
17-Mar-16 02:16:57 PM	263	685
17-Mar-16 02:22:02 PM	261	696
17-Mar-16 02:27:07 PM	261	696
17-Mar-16 02:32:12 PM	259	706
17-Mar-16 02:37:17 PM	256	706
17-Mar-16 02:42:22 PM	256	711
17-Mar-16 02:47:27 PM	255	702
17-Mar-16 02:52:32 PM	254	691
17-Mar-16 02:57:37 PM	251	685
17-Mar-16 03:02:42 PM	253	721
17-Mar-16 03:07:47 PM	257	785
17-Mar-16 03:12:52 PM	264	802
17-Mar-16 03:17:57 PM	264	801
17-Mar-16 03:23:02 PM	263	789
17-Mar-16 03:28:07 PM	263	774
17-Mar-16 03:33:12 PM	263	752
17-Mar-16 03:38:17 PM	265	734
17-Mar-16 03:43:22 PM	266	722
17-Mar-16 03:48:27 PM	266	709
17-Mar-16 03:53:32 PM	266	695
17-Mar-16 03:58:37 PM	266	691
17-Mar-16 04:03:42 PM	267	682
17-Mar-16 04:08:47 PM	264	671
17-Mar-16 04:13:52 PM	262	662
17-Mar-16 04:18:57 PM	264	658
17-Mar-16 04:24:02 PM	266	657
17-Mar-16 04:29:07 PM	265	651
17-Mar-16 04:34:12 PM	266	645
17-Mar-16 04:39:17 PM	266	634

17-Mar-16 04:44:22 PM	265	628
17-Mar-16 04:49:27 PM	264	623
17-Mar-16 04:54:32 PM	264	617
17-Mar-16 04:59:37 PM	262	610
17-Mar-16 05:04:42 PM	261	601

	18 MARCH - OROPOS - LIVING ROOM	
	TVOC [ppb]	Carbon Dioxide [ppm]
18-Mar-16 02:13:07 PM	2285	949
18-Mar-16 02:18:12 PM	1956	932
18-Mar-16 02:23:17 PM	1726	950
18-Mar-16 02:28:22 PM	1437	945
18-Mar-16 02:33:27 PM	1248	924
18-Mar-16 02:38:32 PM	1182	966
18-Mar-16 02:43:37 PM	1152	970
18-Mar-16 02:48:42 PM	1125	979
18-Mar-16 02:53:47 PM	1100	969
18-Mar-16 02:58:52 PM	1076	954
18-Mar-16 03:03:57 PM	1032	937
18-Mar-16 03:09:02 PM	1001	920
18-Mar-16 03:14:07 PM	978	911
18-Mar-16 03:19:12 PM	956	901
18-Mar-16 03:24:17 PM	933	890
18-Mar-16 03:29:22 PM	913	879
18-Mar-16 03:34:27 PM	889	876
18-Mar-16 03:39:32 PM	865	868
18-Mar-16 03:44:37 PM	853	859
18-Mar-16 03:49:42 PM	835	849
18-Mar-16 03:54:47 PM	819	840
18-Mar-16 03:59:52 PM	805	830
18-Mar-16 04:04:57 PM	790	822
18-Mar-16 04:10:02 PM	779	813
18-Mar-16 04:15:07 PM	765	804
18-Mar-16 04:20:12 PM	753	796
18-Mar-16 04:25:17 PM	743	790
18-Mar-16 04:30:22 PM	732	781
18-Mar-16 04:35:27 PM	720	772
18-Mar-16 04:40:32 PM	707	765
18-Mar-16 04:45:37 PM	694	762
18-Mar-16 04:50:42 PM	687	755
18-Mar-16 04:55:47 PM	681	748
18-Mar-16 05:00:52 PM	674	741
18-Mar-16 05:05:57 PM	664	738
18-Mar-16 05:11:02 PM	644	758
18-Mar-16 05:16:07 PM	639	785

	19 MARCH - OROPOS - LIVING ROOM	
	TVOC [ppb]	Carbon Di-oxide [ppm]
19-Mar-16 11:52:20 AM	220	463
19-Mar-16 11:57:25 AM	223	520
19-Mar-16 12:02:30 PM	222	538
19-Mar-16 12:07:35 PM	223	525
19-Mar-16 12:12:40 PM	224	502
19-Mar-16 12:17:45 PM	224	493
19-Mar-16 12:22:50 PM	224	485
19-Mar-16 12:27:55 PM	224	482
19-Mar-16 12:33:00 PM	223	482
19-Mar-16 12:38:05 PM	219	471
19-Mar-16 12:43:10 PM	217	488
19-Mar-16 12:48:15 PM	218	509
19-Mar-16 12:53:20 PM	218	524
19-Mar-16 12:58:25 PM	223	565
19-Mar-16 01:03:30 PM	229	710
19-Mar-16 01:08:35 PM	226	737
19-Mar-16 01:13:40 PM	228	745
19-Mar-16 01:18:45 PM	233	824
19-Mar-16 01:23:50 PM	233	820
19-Mar-16 01:28:55 PM	232	813
19-Mar-16 01:34:00 PM	232	847
19-Mar-16 01:39:05 PM	231	872
19-Mar-16 01:44:10 PM	233	928
19-Mar-16 01:49:15 PM	238	967
19-Mar-16 01:54:20 PM	237	956
19-Mar-16 01:59:25 PM	237	940
19-Mar-16 02:04:30 PM	234	915
19-Mar-16 02:09:35 PM	232	893
19-Mar-16 02:14:40 PM	228	863
19-Mar-16 02:19:45 PM	228	851
19-Mar-16 02:24:50 PM	225	837
19-Mar-16 02:29:55 PM	224	845
19-Mar-16 02:35:00 PM	221	858
19-Mar-16 02:40:05 PM	220	866
19-Mar-16 03:00:27 PM	200	847
19-Mar-16 03:05:32 PM	218	928
19-Mar-16 03:10:37 PM	242	1024
19-Mar-16 03:15:42 PM	252	1043
19-Mar-16 03:20:47 PM	270	1052
19-Mar-16 03:25:52 PM	296	1061
19-Mar-16 03:30:57 PM	306	1069
19-Mar-16 03:36:02 PM	322	1065
19-Mar-16 03:41:07 PM	349	1068

19-Mar-16 03:46:12 PM	358	1072
19-Mar-16 03:51:17 PM	378	1076
19-Mar-16 03:56:22 PM	397	1077
19-Mar-16 04:01:27 PM	420	1100
19-Mar-16 04:06:32 PM	420	1192
19-Mar-16 04:11:37 PM	437	1239
19-Mar-16 04:16:42 PM	434	1205
19-Mar-16 04:21:47 PM	441	1195
19-Mar-16 04:26:52 PM	425	1189
19-Mar-16 04:31:57 PM	409	1170
19-Mar-16 04:37:02 PM	390	1142
19-Mar-16 04:42:07 PM	373	1115
19-Mar-16 04:47:12 PM	366	1097
19-Mar-16 04:52:17 PM	360	1106
19-Mar-16 04:57:22 PM	367	1181
19-Mar-16 05:02:27 PM	369	1259
19-Mar-16 05:07:32 PM	360	1208
19-Mar-16 05:12:37 PM	332	1106
19-Mar-16 05:17:42 PM	300	975



	21 MARCH - OROPOS - LIVING ROOM	
	TVOC [ppb]	Carbon Dioxide [ppm]
21-Mar-16 12:17:27 PM	175	410
21-Mar-16 12:22:32 PM	171	394
21-Mar-16 12:27:37 PM	168	389
21-Mar-16 12:32:42 PM	165	402
21-Mar-16 12:37:47 PM	162	405
21-Mar-16 12:42:52 PM	161	385
21-Mar-16 12:47:57 PM	159	378
21-Mar-16 12:53:02 PM	158	373
21-Mar-16 12:58:07 PM	157	369
21-Mar-16 01:03:12 PM	144	363
21-Mar-16 01:08:17 PM	131	360
21-Mar-16 01:13:22 PM	127	359
21-Mar-16 01:18:27 PM	128	353
21-Mar-16 01:23:32 PM	127	357
21-Mar-16 01:28:37 PM	126	360
21-Mar-16 01:33:42 PM	131	363
21-Mar-16 01:38:47 PM	132	362
21-Mar-16 01:43:52 PM	128	360
21-Mar-16 01:48:57 PM	125	360
21-Mar-16 01:54:02 PM	123	359
21-Mar-16 01:59:07 PM	122	359
21-Mar-16 02:04:12 PM	123	366
21-Mar-16 02:09:17 PM	123	384
21-Mar-16 02:14:22 PM	121	376
21-Mar-16 02:39:02 PM	111	391
21-Mar-16 02:44:07 PM	111	388
21-Mar-16 02:49:12 PM	113	373
21-Mar-16 02:54:17 PM	114	369
21-Mar-16 02:59:22 PM	111	366
21-Mar-16 03:04:27 PM	106	366
21-Mar-16 03:09:32 PM	106	407
21-Mar-16 03:14:37 PM	133	446
21-Mar-16 03:19:42 PM	130	446
21-Mar-16 03:24:47 PM	122	418
21-Mar-16 03:29:52 PM	113	387
21-Mar-16 03:34:57 PM	110	374
21-Mar-16 03:40:02 PM	107	366
21-Mar-16 03:45:07 PM	108	363
21-Mar-16 03:50:12 PM	107	361
21-Mar-16 03:55:17 PM	108	360
21-Mar-16 04:00:22 PM	114	366
21-Mar-16 04:05:27 PM	118	371
21-Mar-16 04:10:32 PM	114	373

21-Mar-16 04:15:37 PM	115	376
21-Mar-16 04:20:42 PM	116	375
21-Mar-16 04:25:47 PM	118	372
21-Mar-16 04:30:52 PM	123	373
21-Mar-16 04:35:57 PM	127	380
21-Mar-16 04:41:02 PM	124	383
21-Mar-16 04:46:07 PM	121	383
21-Mar-16 04:51:12 PM	117	388
21-Mar-16 04:56:17 PM	114	404
21-Mar-16 05:01:22 PM	117	405

## ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY of ATHENS

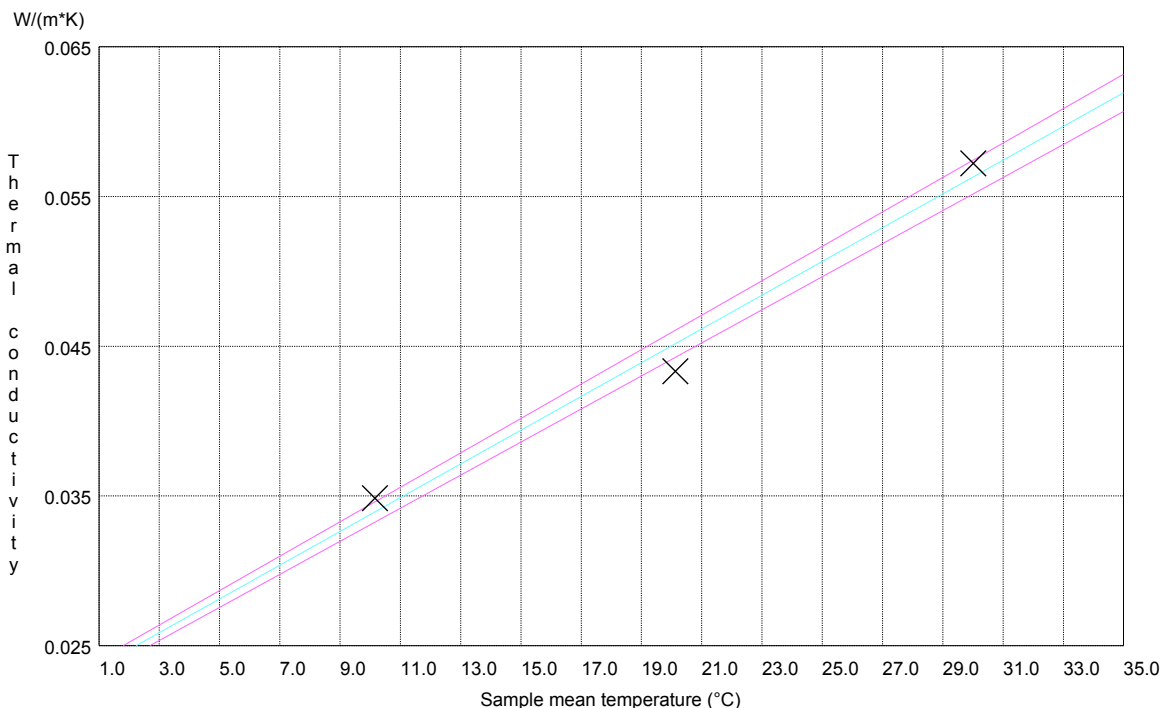
28 Oktovriou (Patision) 42  
10682 Athens  
Greece

## MEASURING THERMAL CONDUCTIVITY

Report No.: Axiro\_150N

**Sample Thickness :** 79,70 mm  
**Axiro** Axiro  
**EPS\_reference** T\_REF\_53a  
**Dimension** (295 x 260 x 79.72) mm  
**Dimension** (300 x 300 x 30.82) mm  
**Test date** 05/09/2016  
**Test with** TLP 300 - 2P, Two-plate-apparatus, Pressure: 150 N  
**Remarks** Measurement with silicone foam mats  
**Program version** Lambda V.2009, Two plates

Measuring No.	Heat flow (W)	Temperature warm sample surface (°C)	Temperature cold sample surface (°C)	Temperature-difference on sample (K)	Sample mean temperature (°C)	Thermal conductivity (W/m*K)
1	0.189	24.9	35.1	10.2	30.0	0.0572
2	0.168	15.0	25.3	10.3	20.1	0.0433
3	0.151	5.0	15.3	10.4	10.2	0.0348



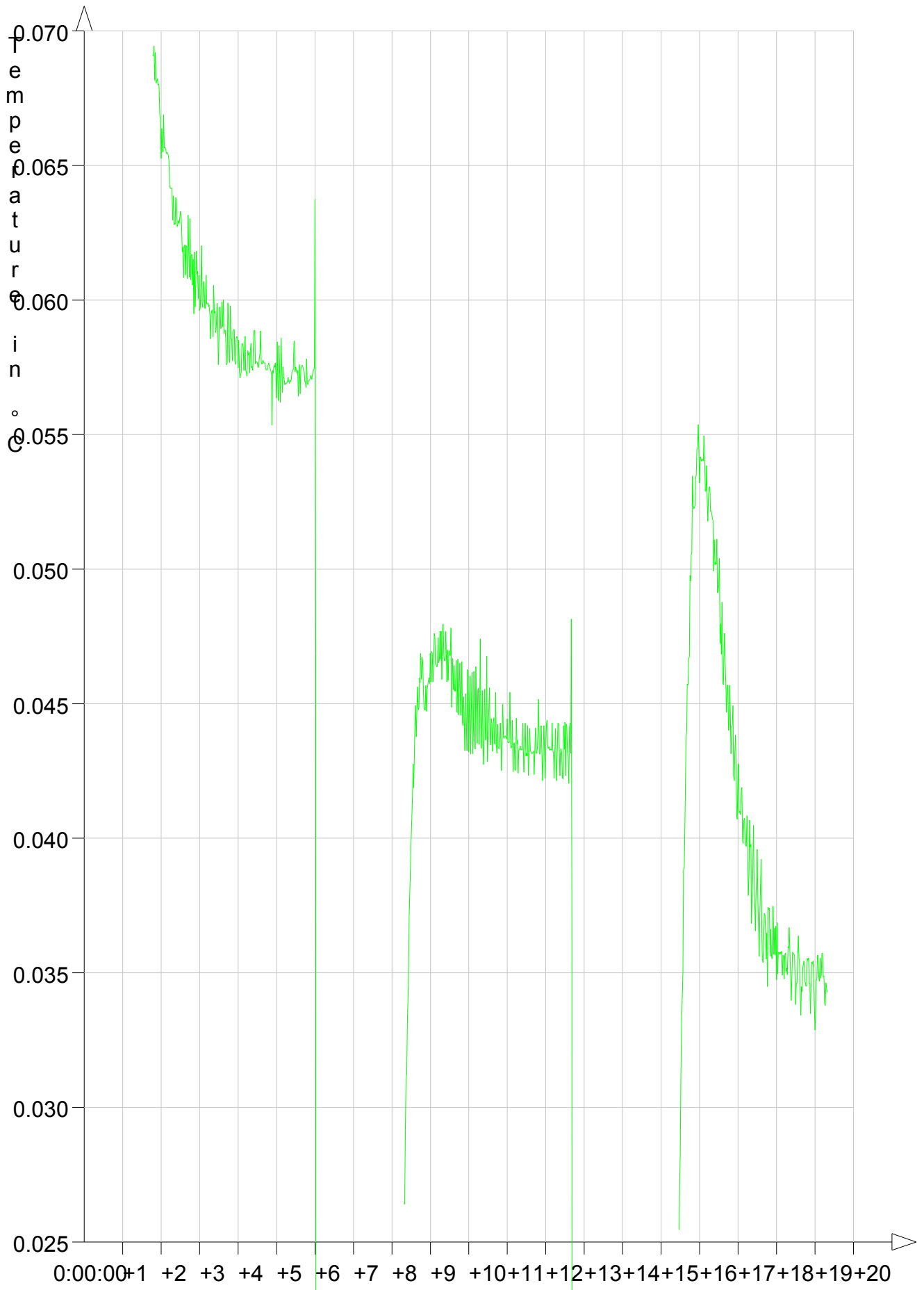
**Lambda (10°C) = (0.034 +/-0.001) W/(m\*K)**  
 Result +/- expanded uncertainty (factor 2)

Weimar, 06.09.2016

Section Thermal conductivity

Holger Ackermann

— Lambda





NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY of ATHENS

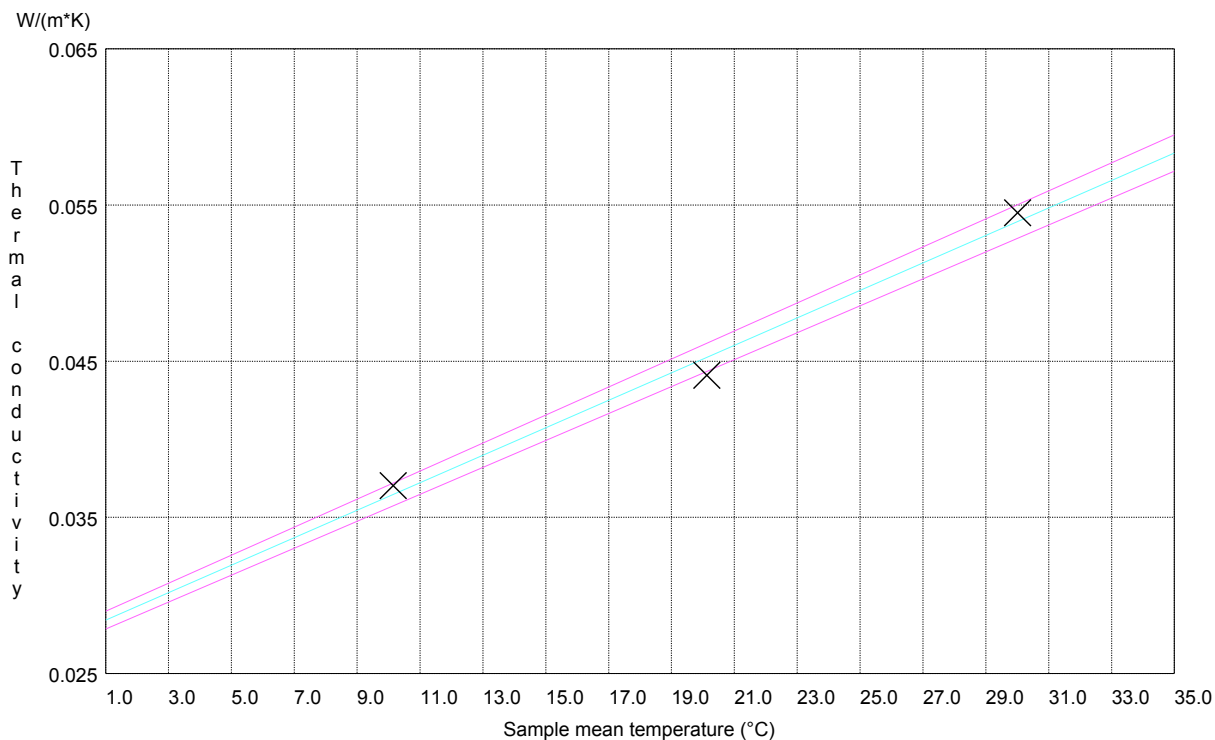
28 Oktovriou (Patision) 42  
10682 Athens  
Greece

### MEASURING THERMAL CONDUCTIVITY

Report No.: Axiro\_300N

**Sample Thickness :** 72,67 mm  
**Axiro** Axiro  
**EPS\_reference** T\_REF\_53a  
**Dimension** (295 x 260 x 72.66) mm  
**Dimension** (300 x 300 x 30.82) mm  
**Test date** 06/09/2016  
**Test with** TLP 300 - 2P, Two-plate-apparatus, Pressure: 150 N  
**Remarks** Measurement with silicone foam mats  
**Program version** Lambda V.2009, Two plates

Measuring No.	Heat flow (W)	Temperature warm sample surface (°C)	Temperature cold sample surface (°C)	Temperature-difference on sample (K)	Sample mean temperature (°C)	Thermal conductivity (W/m*K)
1	0.192	24.9	35.1	10.2	30.0	0.0545
2	0.174	15.0	25.3	10.3	20.1	0.0441
3	0.158	5.0	15.3	10.4	10.1	0.0370



**Lambda (10°C) = (0.036 +/-0.001) W/(m\*K)**

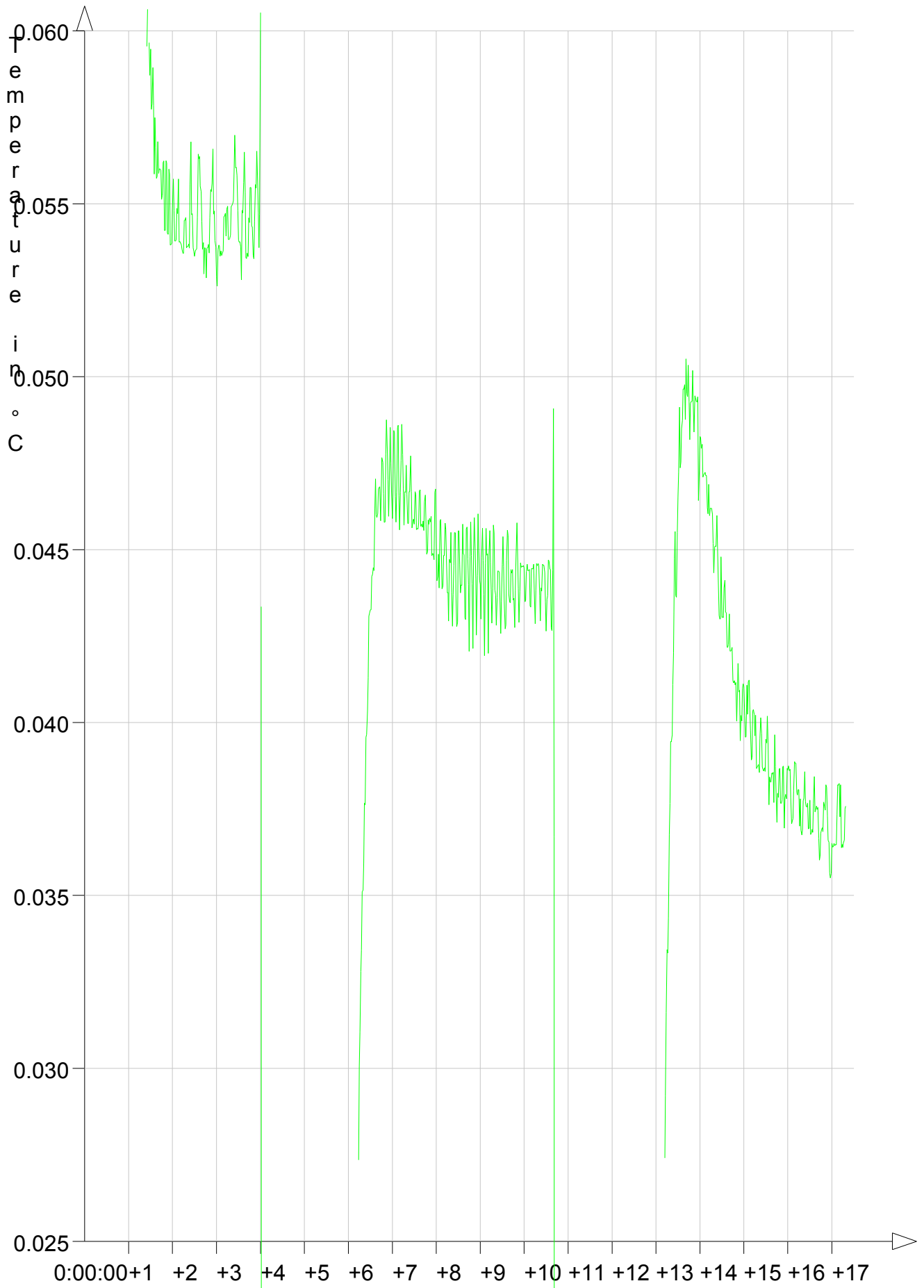
Result +/- expanded uncertainty (factor 2)

Weimar, 07.09.2016

Section Thermal conductivity

Holger Ackermann

- Lambda





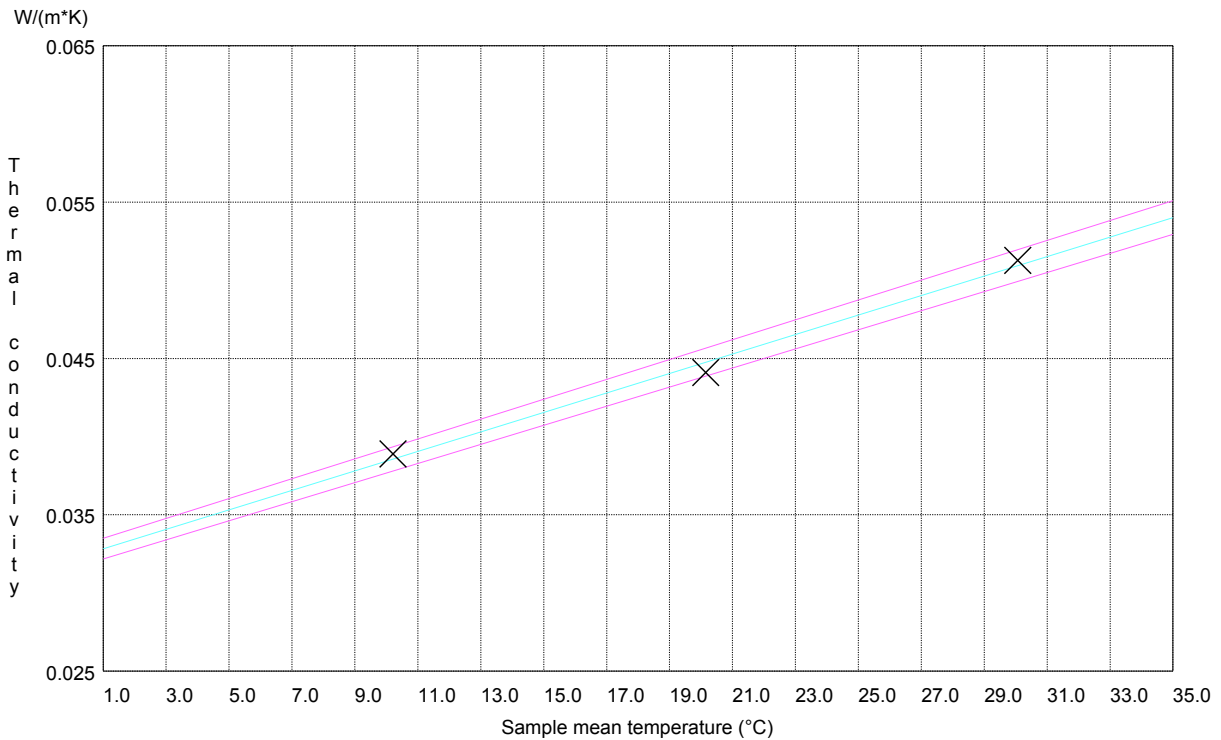
NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY of ATHENS  
 28 Oktovriou (Patision) 42  
 10682 Athens  
 Greece

MEASURING THERMAL CONDUCTIVITY

Report No.: Axiro 500N

**Sample Thickness :** 66,80 mm  
**Axiro** Axiro  
**EPS\_reference** T\_REF\_53a  
**Dimension** (295 x 260 x 66.80) mm  
**Dimension** (300 x 300 x 30.82) mm  
**Test date** 07/09/2016  
**Test with** TLP 300 - 2P, Two-plate-apparatus, Pressure: 150 N  
**Remarks** Measurement with silicone foam mats  
**Program version** Lambda V.2009, Two plates

Measuring No.	Heat flow (W)	Temperature warm sample surface (°C)	Temperature cold sample surface (°C)	Temperature-difference on sample (K)	Sample mean temperature (°C)	Thermal conductivity (W/m*K)
1	0.194	25.0	35.2	10.2	30.1	0.0513
2	0.181	15.0	25.3	10.3	20.2	0.0441
3	0.167	5.0	15.4	10.3	10.2	0.0389



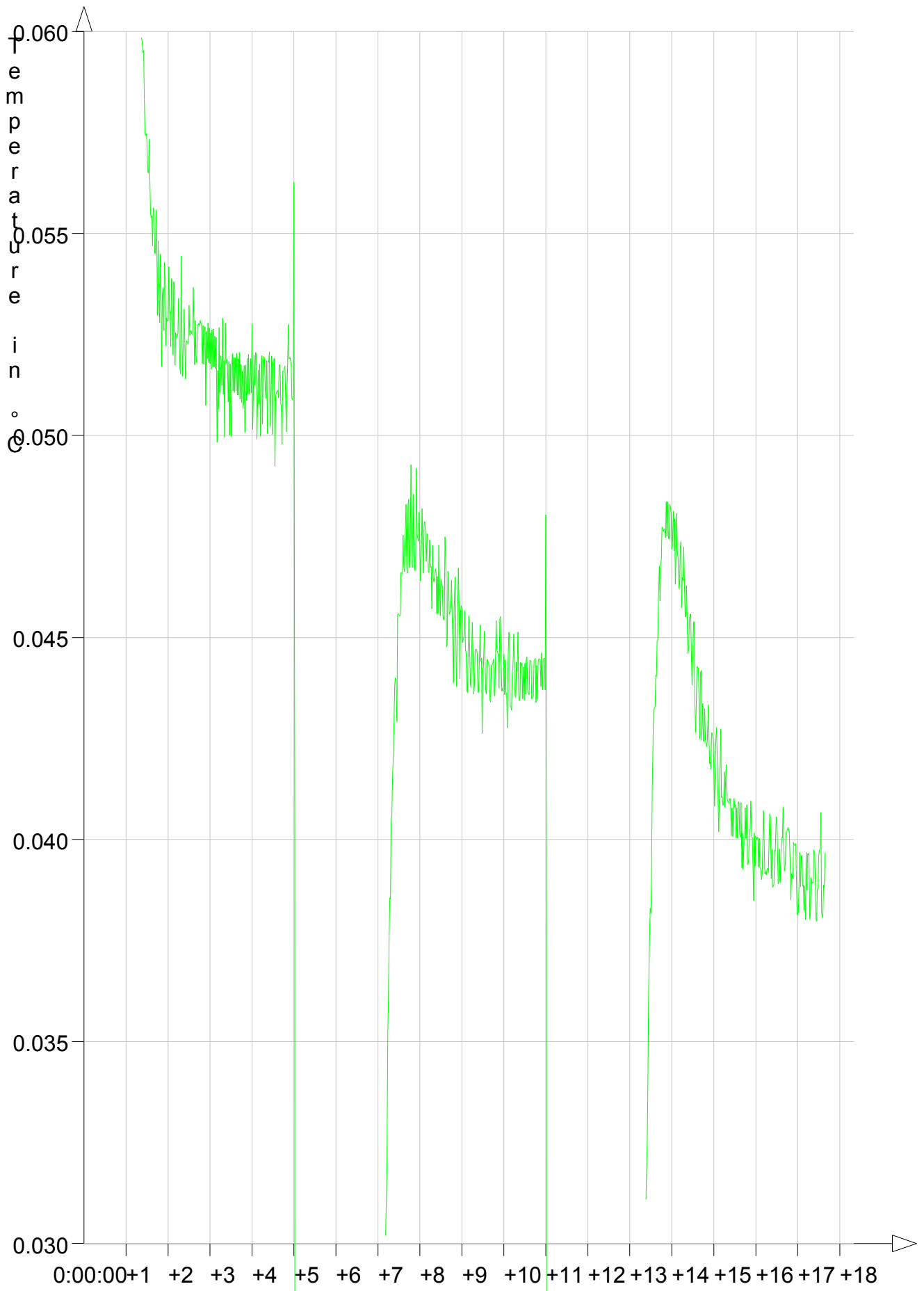
**Lambda (10°C) = (0.038 +/-0.001) W/(m\*K)**  
 Result +/- expanded uncertainty (factor 2)

Weimar, 08.09.2016

Section Thermal conductivity

Holger Ackermann

— Lambda





NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY of ATHENS

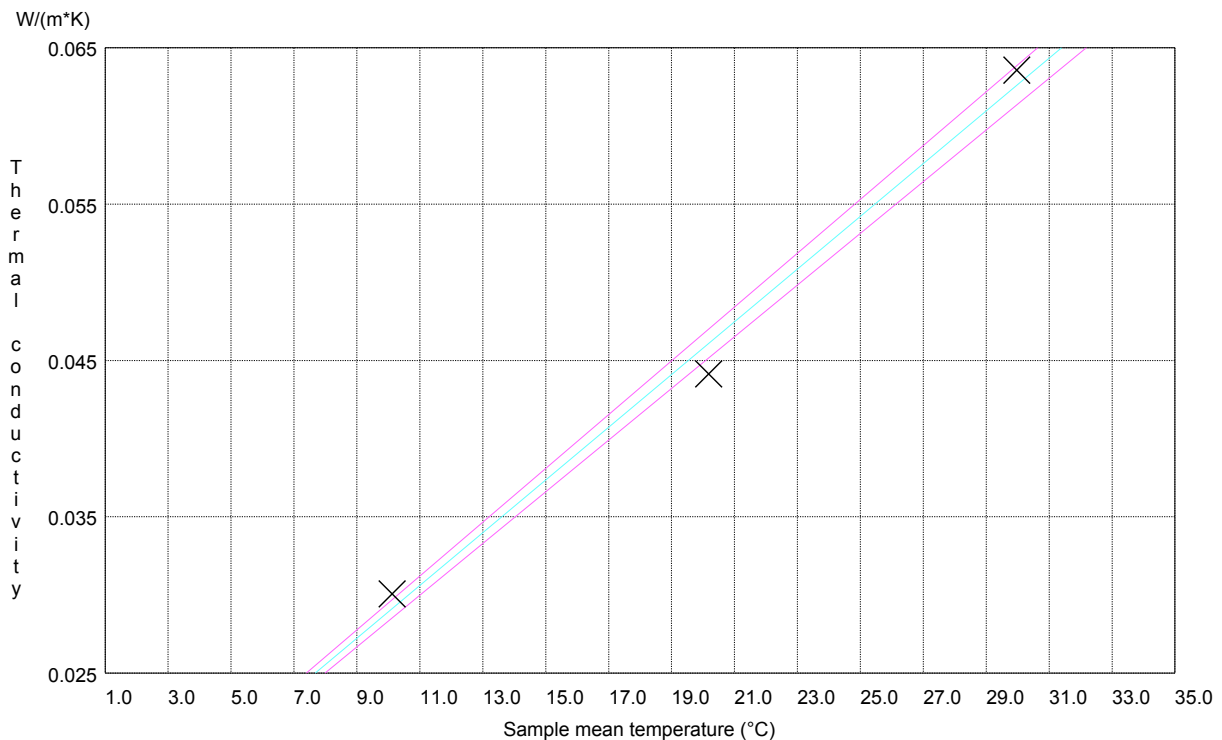
28 Oktovriou (Patision) 42  
10682 Athens  
Greece

## MEASURING THERMAL CONDUCTIVITY

Report No.: Axiro 150N 2

**Sample Thickness :** 89,32 mm  
**Axiro** Axiro  
**EPS\_reference** T\_REF\_53a  
**Dimension** (295 x 260 x 92.04) mm  
**Dimension** (300 x 300 x 30.82) mm  
**Test date** 11/09/2016  
**Test with** TLP 300 - 2P, Two-plate-apparatus, Pressure: 150 N  
**Remarks** Measurement with silicone foam mats  
**Program version** Lambda V.2009, Two plates

Measuring No.	Heat flow (W)	Temperature warm sample surface (°C)	Temperature cold sample surface (°C)	Temperature-difference on sample (K)	Sample mean temperature (°C)	Thermal conductivity (W/m*K)
1	0.188	24.9	35.1	10.2	30.0	0.0636
2	0.162	15.0	25.3	10.3	20.2	0.0441
3	0.138	4.9	15.3	10.4	10.1	0.0301



**Lambda (10°C) = (0.029 +/-0.001) W/(m\*K)**  
 Result +/- expanded uncertainty (factor 2)

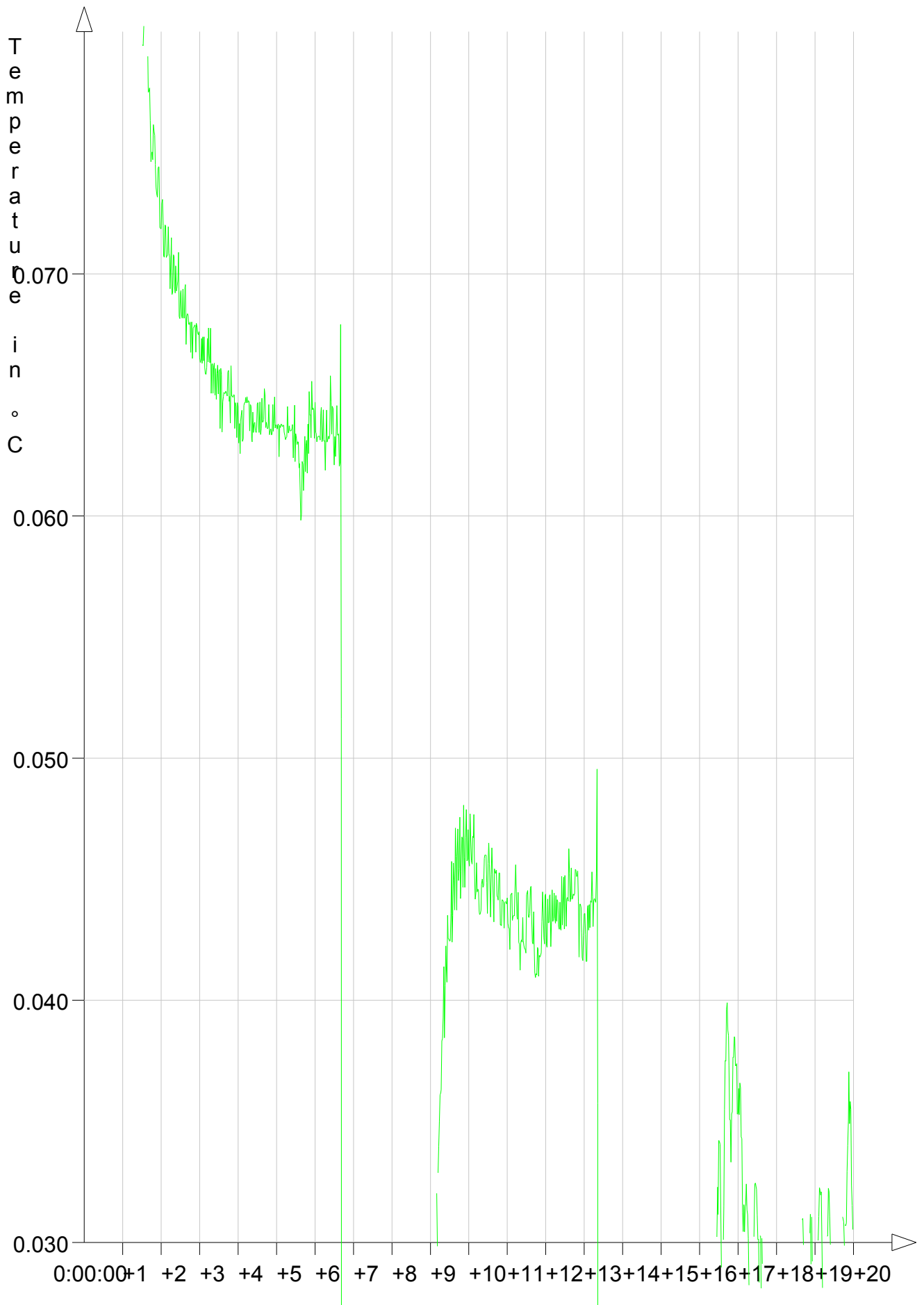
Weimar, 13.09.2016

Section Thermal conductivity

Holger Ackermann



— Lambda





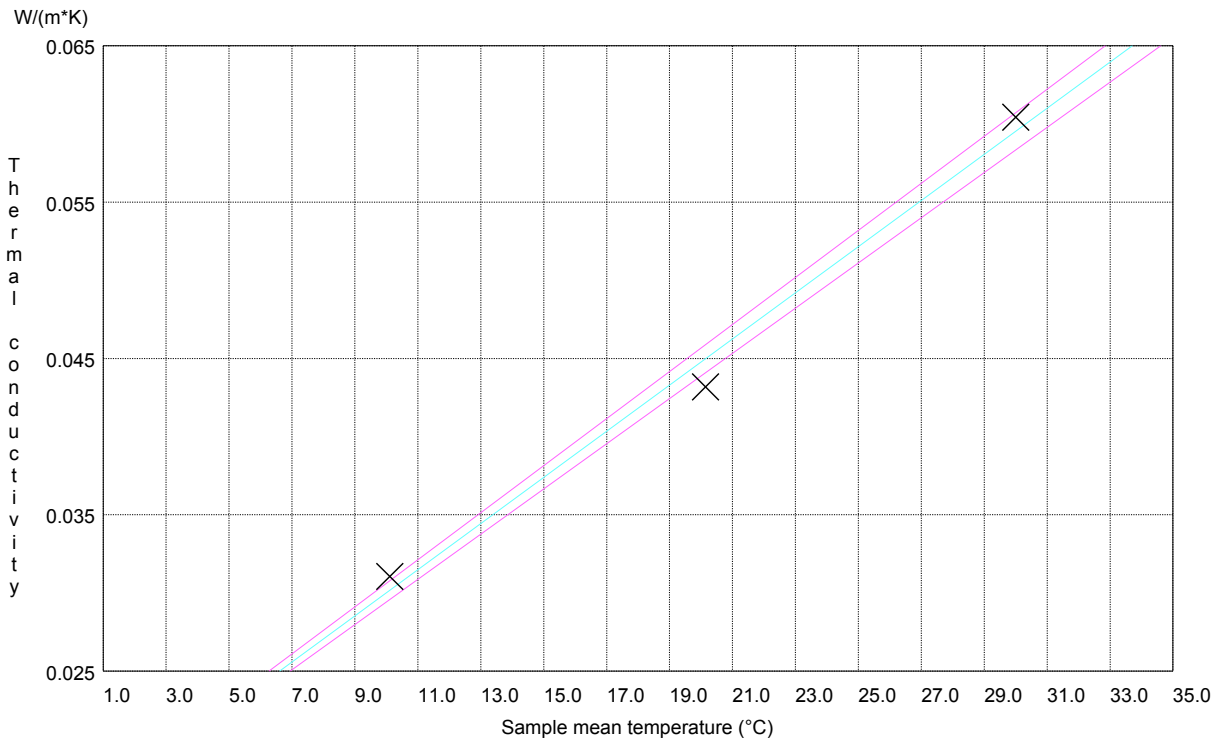
NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY of ATHENS  
 28 Oktovriou (Patision) 42  
 10682 Athens  
 Greece

MEASURING THERMAL CONDUCTIVITY

Report No.: Axiro 300N 2

**Sample Thickness :** 81,65 mm  
**Axiro** Axiro  
**EPS\_reference** T\_REF\_53a  
**Dimension** (295 x 260 x 81.65) mm  
**Dimension** (300 x 300 x 30.82) mm  
**Test date** 13/09/2016  
**Test with** TLP 300 - 2P, Two-plate-apparatus, Pressure: 300 N  
**Remarks** Measurement with silicone foam mats  
**Program version** Lambda V.2009, Two plates

Measuring No.	Heat flow (W)	Temperature warm sample surface (°C)	Temperature cold sample surface (°C)	Temperature-difference on sample (K)	Sample mean temperature (°C)	Thermal conductivity (W/m*K)
1	0.191	24.9	35.1	10.2	30.0	0.0604
2	0.165	15.0	25.3	10.3	20.1	0.0432
3	0.143	4.9	15.3	10.4	10.1	0.0311



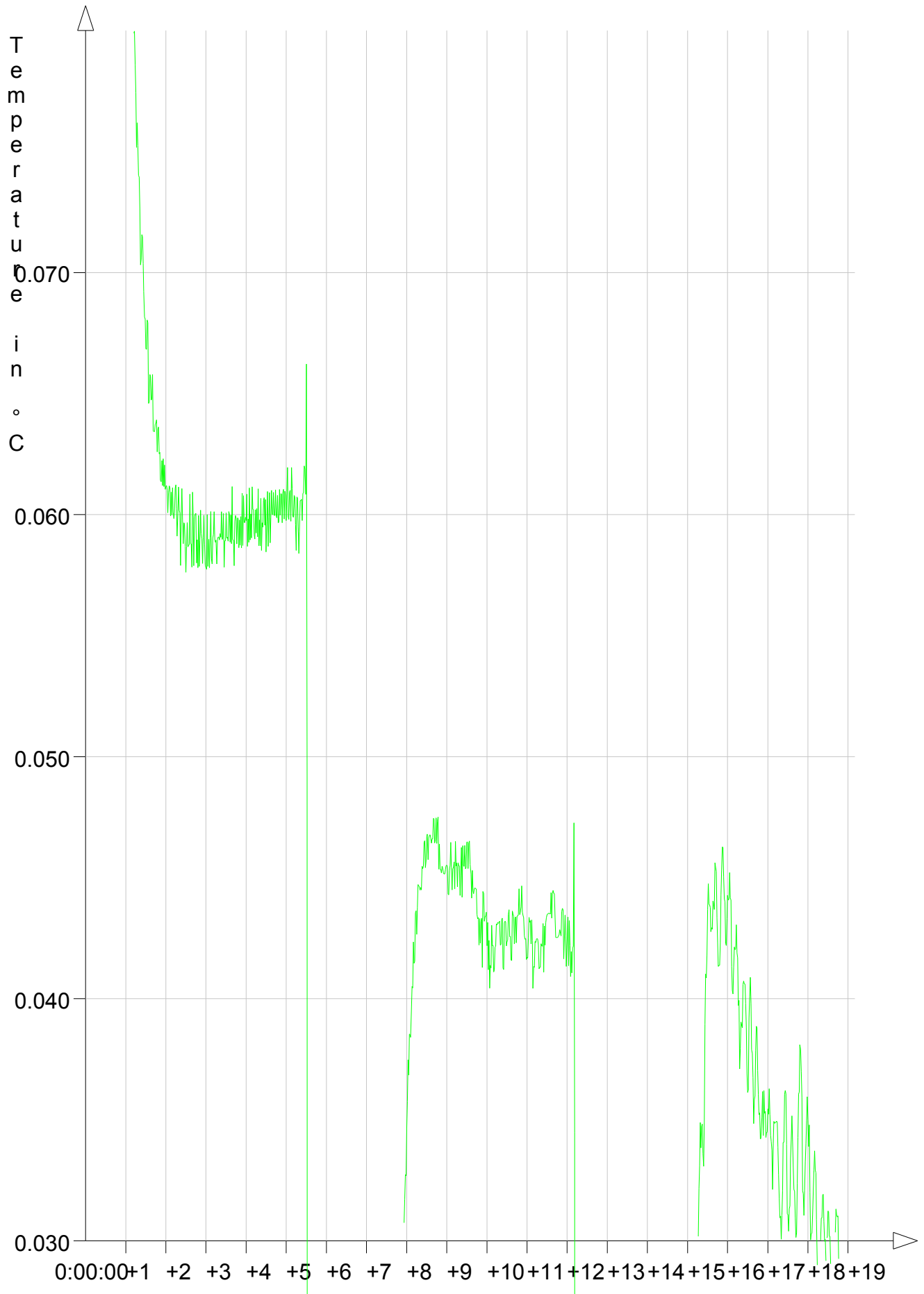
**Lambda (10°C) = (0.030 +/-0.001) W/(m\*K)**  
 Result +/- expanded uncertainty (factor 2)

Weimar, 14.09.2016

Section Thermal conductivity

Holger Ackermann

- Lambda





NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY of ATHENS

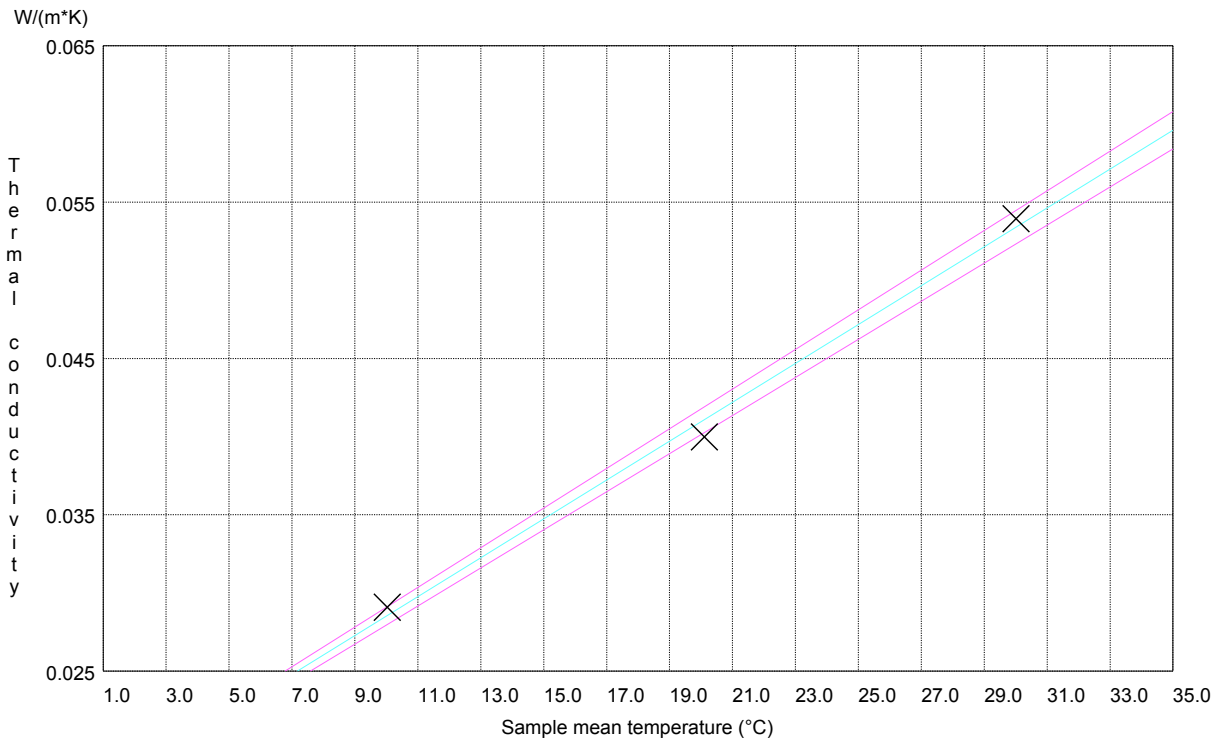
28 Oktovriou (Patision) 42  
10682 Athens  
Greece

MEASURING THERMAL CONDUCTIVITY

Report No.: Axiro 500N 2

**Sample Thickness :** 73,78 mm  
**Axiro** Axiro  
**EPS\_reference** T\_REF\_53a  
**Dimension** (295 x 260 x 73.79) mm  
**Dimension** (300 x 300 x 30.82) mm  
**Test date** 15/09/2016  
**Test with** TLP 300 - 2P, Two-plate-apparatus, Pressure: 500 N  
**Remarks** Measurement with silicone foam mats  
**Program version** Lambda V.2009, Two plates

Measuring No.	Heat flow (W)	Temperature warm sample surface (°C)	Temperature cold sample surface (°C)	Temperature-difference on sample (K)	Sample mean temperature (°C)	Thermal conductivity (W/m*K)
1	0.191	24.9	35.1	10.2	30.0	0.0539
2	0.167	14.9	25.3	10.3	20.1	0.0400
3	0.149	4.8	15.2	10.4	10.0	0.0291



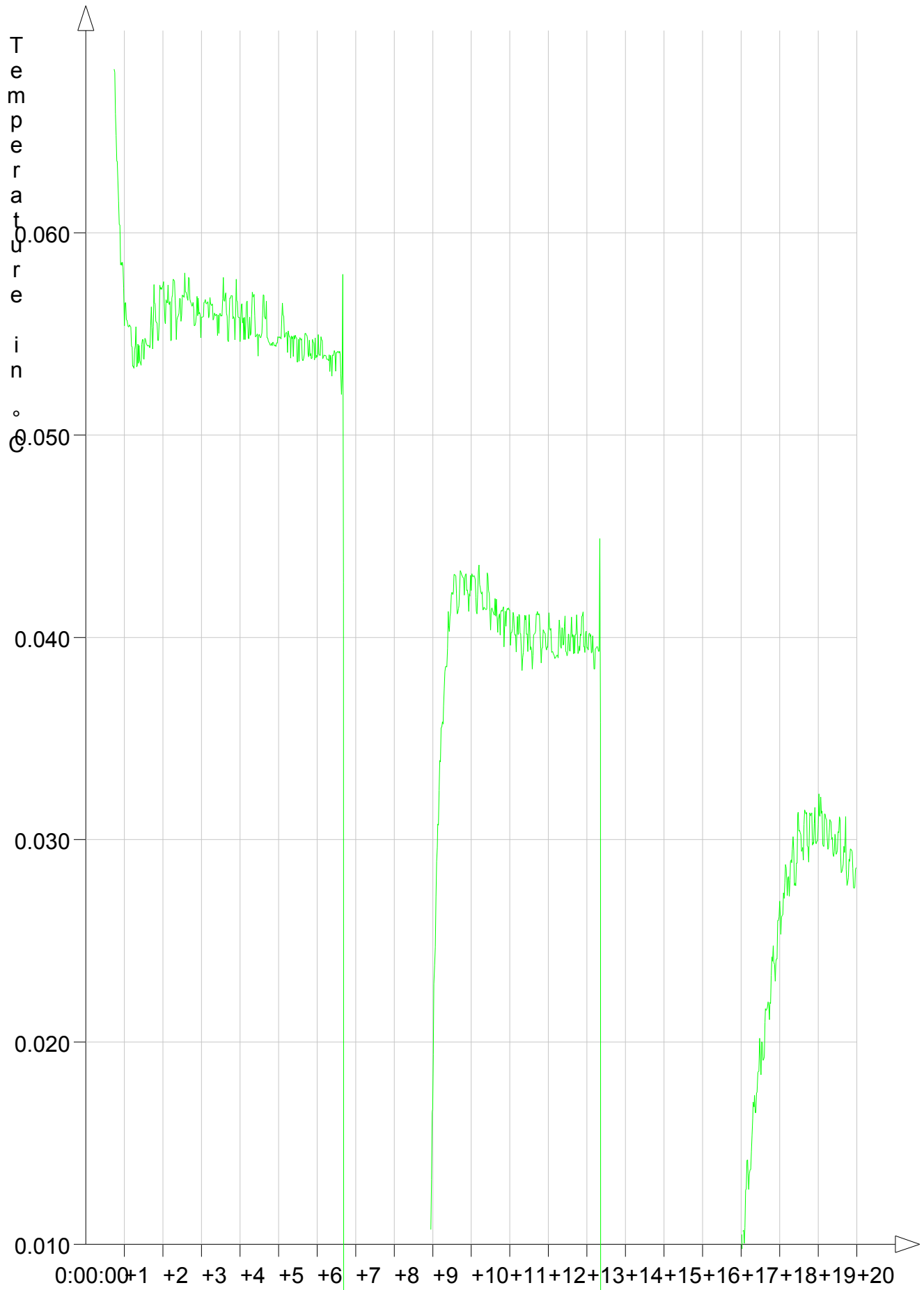
**Lambda (10°C) = (0.029 +/-0.001) W/(m\*K)**  
 Result +/- expanded uncertainty (factor 2)

Weimar, 16.09.2016

Section Thermal conductivity

Holger Ackermann

— Lambda



## ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

Η Ιωάννα Μπουντουβά γεννήθηκε το 1988 στην Αθήνα. Αποφοίτησε από τη Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών Ε.Μ.Π το 2014 και συνέχισε τις σπουδές της σε μεταπτυχιακό επίπεδο παρακολουθώντας το διατμηματικό πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών “Επιστήμη και Τεχνολογία Υλικών” στη Σχολή Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. Κατά τη διάρκεια των σπουδών της, παρακολούθησε σεμινάρια, συνέδρια και διαλέξεις με θέμα την αρχιτεκτονική, την κατασκευή και την υλικότητα. Το 2013 συμμετείχε σε ένα workshop στην Πορτογαλία. Παράλληλα, συμμετείχε σε πολλούς αρχιτεκτονικούς διαγωνισμούς, ενώ απέσπασε εύφημο μνεία (Honorable Mention) για τον διαγωνισμό “Archistart self-construction competition”. Γνωρίζει σε άριστο επίπεδο αγγλικά και γαλλικά. Η διπλωματική εργασία με τίτλο “Θερμική και Περιβαλλοντική αξιολόγηση της δόμησης από άχυρο - 2 περιπτώσεις μελέτης” εγκρίθηκε προς παρουσίαση στο διεθνές συνέδριο “The 4th International Conference in Transparency & Architecture”, το οποίο θα πραγματοποιηθεί 2-4 Νοεμβρίου 2016 στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.



