



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ



Πειραματική και Θεωρητική Διερεύνηση της Ποιότητας του Εσωτερικού
Περιβάλλοντος του Κτιρίου της ΔΕΥΑΚ Κοζάνης

Αποτελέσματα Διερεύνησης Σεπτεμβρίου 2021

Επιστημονικός υπεύθυνος:

Γιώργος Πανάρας, Επίκουρος Καθηγητής (*Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών*)

Μέλη Ερευνητικής Ομάδας:

Ιωάννης Παπαδόπουλος, Υποψήφιος Διδάκτορας (*Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών*)

Κοζάνη, Μάιος 2022

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	3
2. Μετρητικός Εξοπλισμός και Εγκατάσταση.....	3
3. Αποτελέσματα	11
3.1 Εσωκλιματικοί παράμετροι.....	11
3.2 Ποιότητα εσωτερικού αέρα.....	13
3.3 Οπτική Άνεση.....	13
3.4 Ακουστική Άνεση	14
3.5 Θερμική Άνεση	14
3.5.1 Μοντέλο Fanger	14
3.5.2 Μοντέλο προσαρμογής (Adaptive Model)	18
4. Συμπεράσματα.....	20
5. Βιβλιογραφία	21

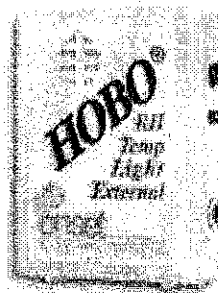
1. Εισαγωγή

Στην παρούσα έκθεση παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της διερεύνησης της εσωτερικής περιβαλλοντικής ποιότητας στο κτίριο της ΔΕΥΑΚ Κοζάνης, βάσει καμπάνιας μετρήσεων που υλοποιήθηκε στο Σεπτέμβριο του 2021. Η διερεύνηση έλαβε χώρα στο πλαίσιο του Ερευνητικού Προγράμματος “Περιφερειακής Αριστείας: Ανάπτυξη Νέων Καινοτόμων Ενεργειακών Τεχνολογιών Χαμηλού Ανθρακικού Αποτυπώματος για την Ενίσχυση της Αριστείας στην Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας», του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας. Μέσα από τις μετρήσεις πεδίου, και με τη χρήση κατάλληλων μοντέλων, θα προσδιοριστούν οι συνθήκες θερμικής, οπτικής και ακουστικής άνεσης του κτιρίου, καθώς επίσης και η ποιότητα του εσωτερικού αέρα.

2. Μετρητικός Εξοπλισμός και Εγκατάσταση

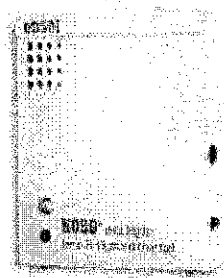
Για την πειραματική διερεύνηση της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος του κτιρίου χρησιμοποιήθηκε κατάλληλος πειραματικός εξοπλισμός που αποτελείται από τα παρακάτω αισθητήρια-όργανα μέτρησης (εικόνες 1-9):

- HOBO onset H08-003-02 για θερμοκρασία και σχετική υγρασία



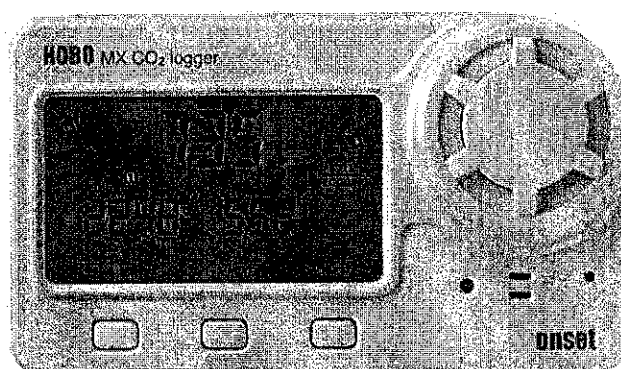
Εικόνα 1: HOBO onset H08-003-02

- HOBO onset U12-012 για θερμοκρασία, σχετική υγρασία και ένταση φωτισμού



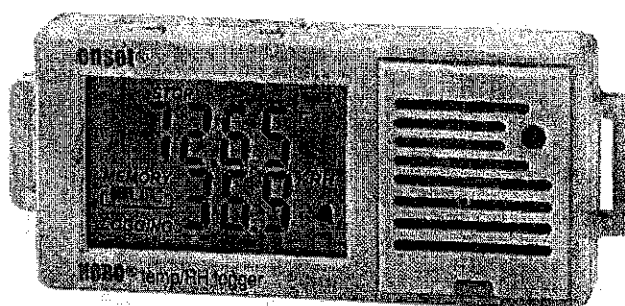
Εικόνα 2: HOBO onset U12-012

- HOBO onset MX1102 για θερμοκρασία, σχετική υγρασία και συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα (CO₂)



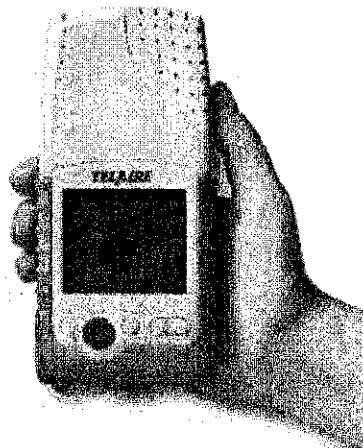
Εικόνα 3: HOBO onset MX1102

- HOBO onset UX100-003 για θερμοκρασία και σχετική υγρασία



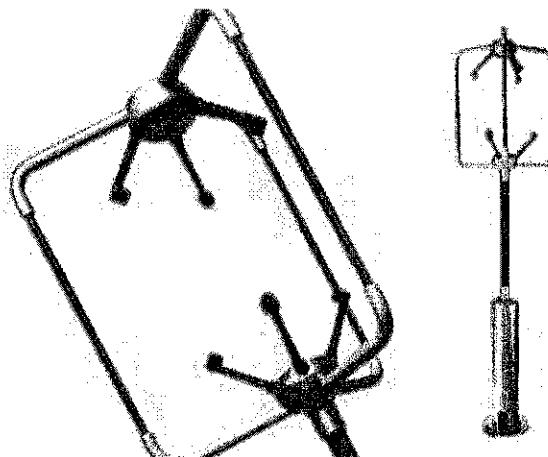
Εικόνα 4: HOBO onset UX100-003

- Telaire 7001 onset για διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)



Εικόνα 5: Telaire 7001 onset

- Ανεμόμετρο (Gill Instruments 3D anemometer)



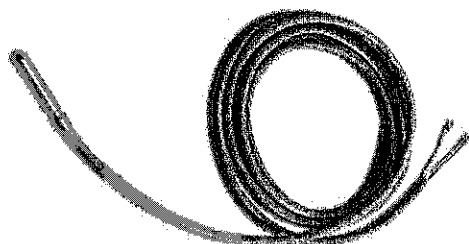
Εικόνα 6: Ανεμόμετρο

- Θερμοκάμερα Flir- E8



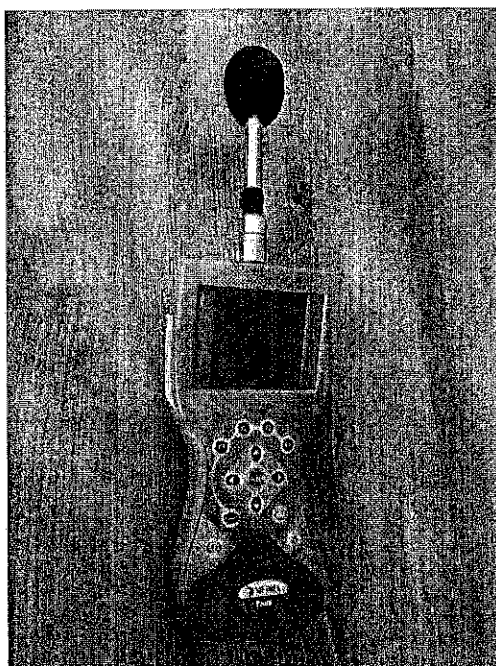
Εικόνα 7: Θερμοκάμερα Flir- E8

- Αισθητήρια μέτρησης θερμοκρασίας Pt100



Εικόνα 8: Αισθητήριο θερμοκρασίας τύπου Pt100

- Όργανο μέτρησης έντασης ήχου σε dB (ηχόμετρο), τύπου Sound Meter/Multinorm MI 6201



Εικόνα 9: Ηχόμετρο Multinorm MI 6201

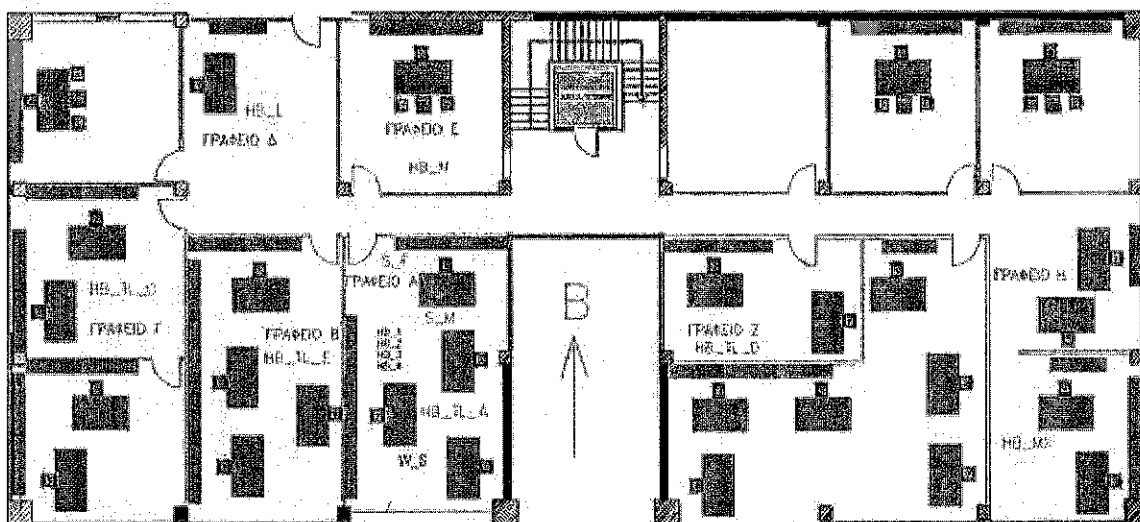
Στον Πίνακα 1, που ακολουθεί, παρουσιάζονται συνοπτικά τα παραπάνω όργανα μέτρησης, με την αντίστοιχη ονομασία που υιοθετήθηκε, καθώς και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο διάστημα 20-25/9/2021.

Ονομασία οργάνου	Τύπος οργάνου	Τεχνικά χαρακτηριστικά
HB_1,HB_2, HB_3,HB_4	T-RH / Hobo ONSET H08-003-02	Accuracy: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ (T) ^[2] , $\pm 5\%$ (RH) ^[2] Range: $-20 - 70^{\circ}\text{C}$ (T), 25-95% (RH)
HB_K,HB_L, HB_M	T-RH / Hobo ONSET UX100-003	Accuracy: $\pm 0.21^{\circ}\text{C}$ (T) ^[2] , $\pm 3.5\%$ (RH) ^[2] Range: $-20 - 70^{\circ}\text{C}$ (T), 15-95% (RH)
HB_TL_A,HB_TL_B, HB_TL_C,HB_TL_D HB_TL_E	T-RH- C _{CO2} /Telaire 7001, Hobo ONSET U12-012	Accuracy: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ (T) ^[2] , $\pm 5\%$ (RH) ^[2] , $\pm 5\%$ or ± 50 ppm (C _{CO2}) Range: $-20 - 70^{\circ}\text{C}$ (T), 5-95% (RH), 0-10000 ppm (C _{CO2})
HB_TL_A,HB_TL_B, HB_TL_C,HB_TL_D HB_TL_E	T-RH / Hobo ONSET U12-012	Accuracy: $\pm 0.35^{\circ}\text{C}$ (T) ^[2] , $\pm 3.5\%$ (RH) ^[2] Range: $-20 - 70^{\circ}\text{C}$ (T), 5-95% (RH)
HB_MX	T-RH- C _{CO2} / Hobo ONSET MX1102	Accuracy: $\pm 0.21^{\circ}\text{C}$ (T) ^[2] , $\pm 2\%$ (RH) ^[2] , $\pm 5\%$ or ± 50 ppm (C _{CO2}) Range: $0 - 50^{\circ}\text{C}$ (T), 1-95% (RH), 0-5000 ppm (C _{CO2})
W_S	Wind Speed (Gill Instruments 3D anemometer)	Accuracy: $\pm 1.5\%$ RMS Range: 0-50 m/s
S_F	Surface temperature	Accuracy: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ (T) ^[2] , $\pm 5\%$ (RH) ^[2] Range: $-20 - 70^{\circ}\text{C}$ (T), 25-95% (RH)
S_M	Sound Meter/ Multinorm MI 6201	Accuracy: ± 0.1 dB Range: 30 dB-130 dB

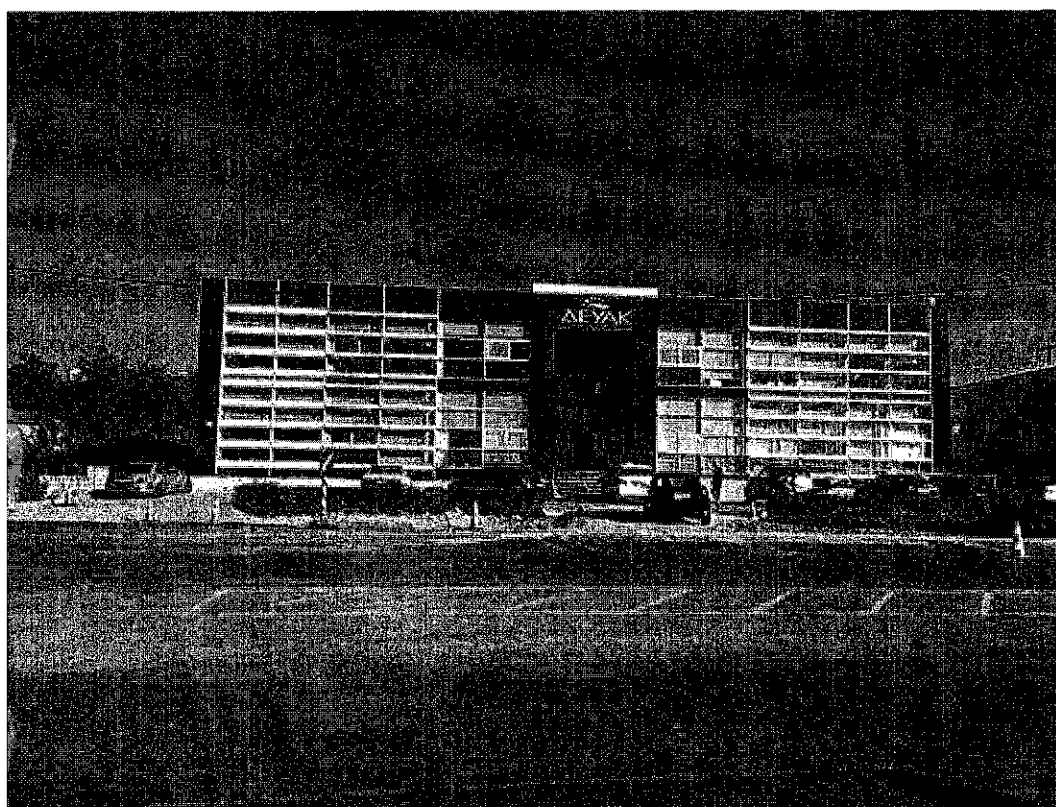
Πίνακας 1: Ονομασία και τεχνικά χαρακτηριστικά οργάνων μέτρησης

Στο σχήμα που ακολουθεί (εικόνα 10) παρουσιάζεται η κάτοψη του 1^ο ορόφου του κτιρίου της ΔΕΥΑΚ Κοζάνης απεικονίζοντας τα γραφεία που μελετήθηκαν σε συνδυασμό με την τοποθέτηση των οργάνων για τις μετρήσεις πεδίου.



Εικόνα 10: Κάτοψη πρώτου ορόφου κτιρίου Δ.Ε.Υ.Α.Κ.

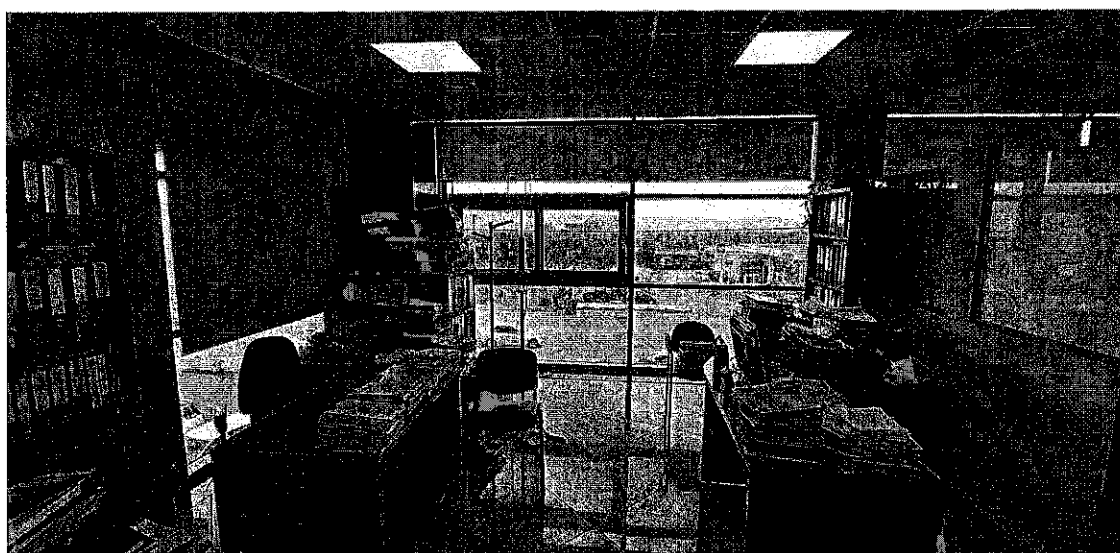
Στην συνέχεια (εικόνες 11-14) παρουσιάζονται φωτογραφίες από την εγκατάσταση του εξοπλισμού στους χώρους των γραφείων.



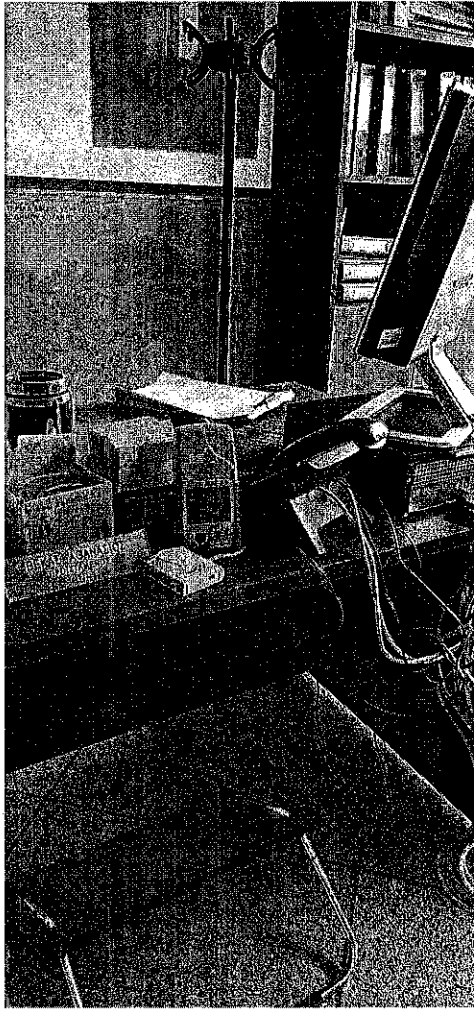
Εικόνα 11: Κόρια όψη κτιρίου Δ.Ε.Υ.Α.Κ.



Εικόνα 12: Εγκατάσταση οργάνων στο κεντρικό γραφείο (Γραφείο Α)



Εικόνα 13: Εγκατάσταση οργάνων στο κεντρικό γραφείο (Γραφείο Α)



Εικόνα 14: Εγκατάσταση οργάνων στο κεντρικό γραφείο (Γραφείο Α)

Στον Πίνακα 2, που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι επιφάνειες των γραφείων τα οποία έλαβαν μέρος στις μετρήσεις:

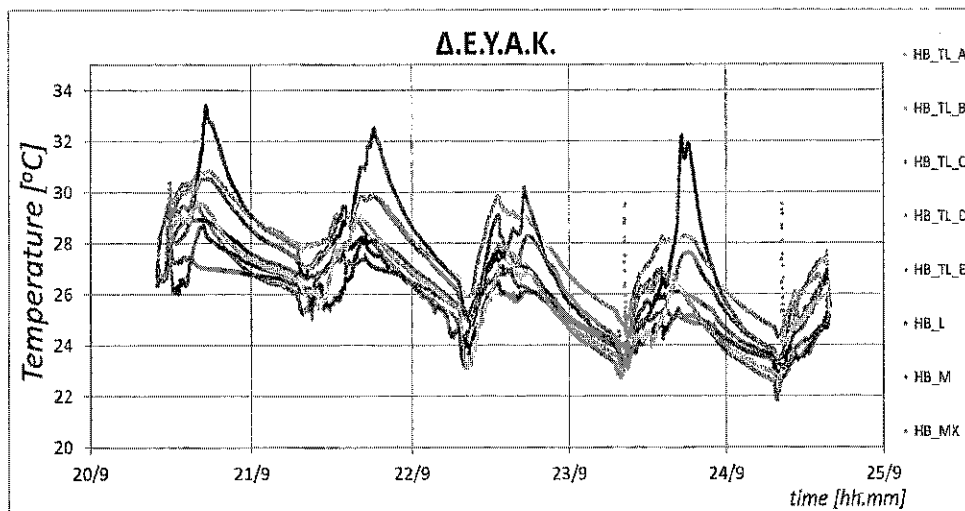
ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ (m ²)						
Δ.Ε.Υ.Α.Κ.	ΒΟΡΡΑΣ	ΝΟΤΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΗ	ΔΥΣΗ	ΟΡΟΦΗ	ΔΑΠΕΔΟ
ΓΡΑΦΕΙΟ Α	11,96	18,86	23,88	19,27	43	43
ΓΡΑΦΕΙΟ Β	11,27	13,97	19,27	19,27	42	42
ΓΡΑΦΕΙΟ Γ	15,93	12,85	11,5	14,25	27	27
ΓΡΑΦΕΙΟ Δ	13,94	11,25	14,68	14,68	30,77	30,77
ΓΡΑΦΕΙΟ Ε	14,82	11	14,68	14,68	26,15	26,15
ΓΡΑΦΕΙΟ Ζ	176,07	176,07	8,28	10,26	23,1	23,1
ΓΡΑΦΕΙΟ Η	11,22	13,91	14,08	11,36	23,2	23,2
ΓΡΑΦΕΙΟ Θ	22	45	22,5	11	54,2	54,2

Πίνακας 2: Εμβαδόν επιφανειών γραφείων στα οποία τοποθετήθηκαν όργανα μέτρησης

3. Αποτελέσματα

3.1 Εσωκλιματικοί παράμετροι

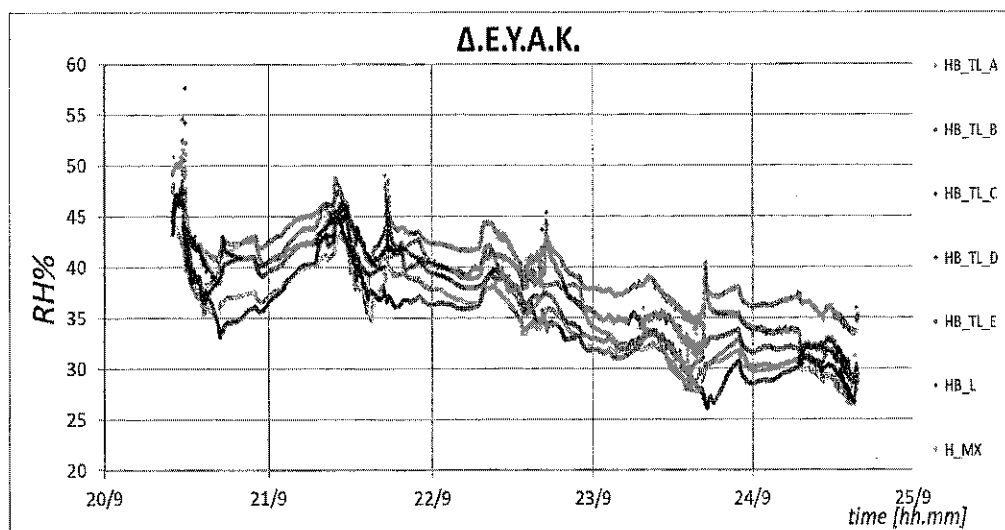
Στο διάγραμμα 1, που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας αέρα στα υπο-μελέτη γραφεία του κτιρίου για την περίοδο των μετρήσεων.



Διάγραμμα 1: Θερμοκρασία αέρα των υπό μελέτη γραφείων

Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα, παρατηρούμε ότι οι μεταβολές της εσωτερικής θερμοκρασίας είναι εξαρτώμενες από τις εξωτερικές θερμοκρασιακές συνθήκες που επικρατούν, ενώ στο σημείο αυτό να αναφερθεί πως δεν γίνεται χρήση συστημάτων θέρμανσης – ψύξης. Οι θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ των γραφείων οφείλονται κυρίως στον νότιο προσανατολισμό της κύριας όψης του κτιρίου, σε συνδυασμό με τις μεγάλες διαφανείς επιφάνειες στην πλειονότητα των χώρων.

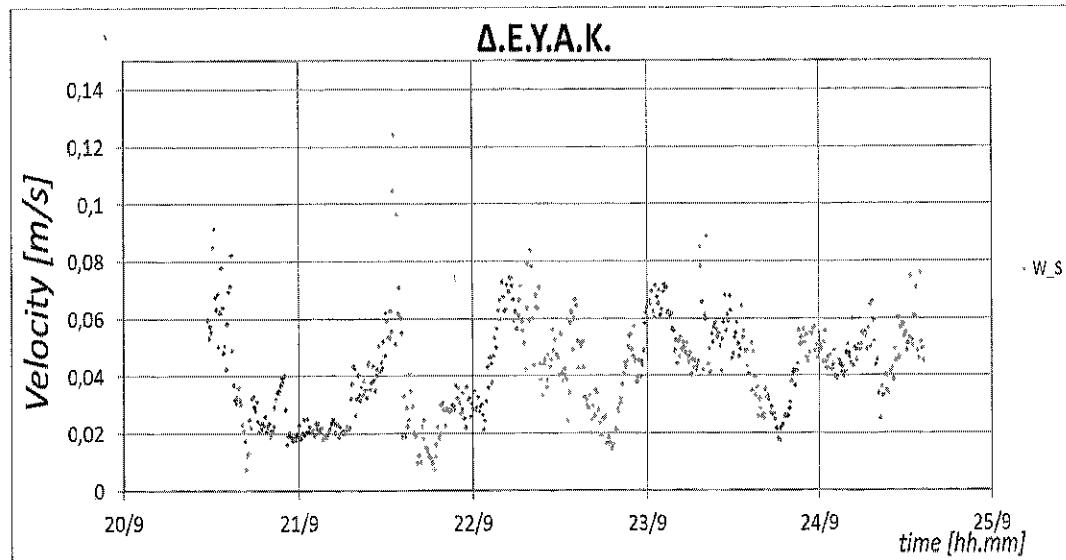
Στο διάγραμμα 2, παρουσιάζονται οι τιμές της σχετικής υγρασίας των γραφείων που καταγράφηκαν.



Διάγραμμα 2: Σχετική υγρασία των υπό μελέτη γραφείων

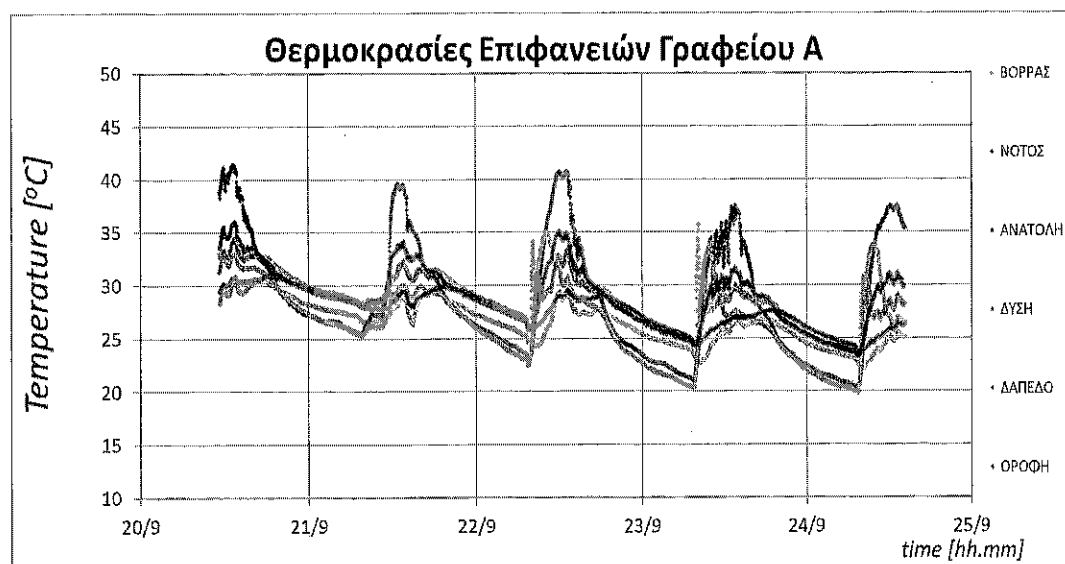
Στα διαγράμματα της σχετικής υγρασίας παρατηρούνται μικρές διαφορές μεταξύ των τιμών σε κάθε γραφείο. Οι τιμές αυτές βρίσκονται σε αποδεκτά επίπεδα σύμφωνα με τα πρότυπα ASHRAE/ANSI 55 (2020) και EN15251 (CEN, 2007).

Στο διάγραμμα 3 παρουσιάζονται οι τιμές της ταχύτητας αέρα του γραφείου Α.



Διάγραμμα 3: Ταχύτητα αέρα στο υπό μελέτη γραφείο Α

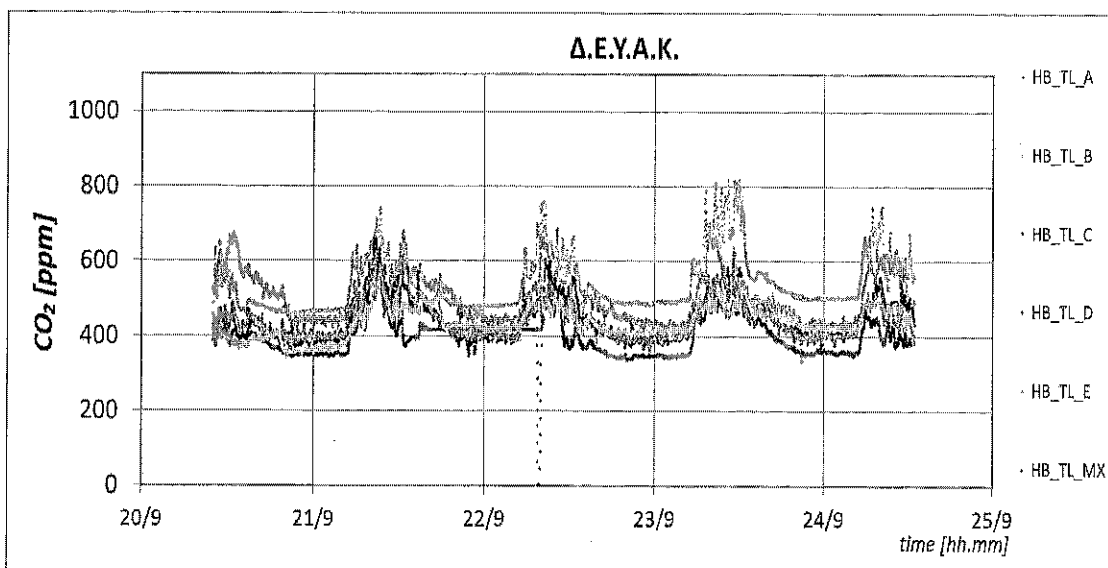
Στο διάγραμμα 4 παρουσιάζονται οι τιμές της επιφανειακής θερμοκρασίας του γραφείου ανά προσανατολισμό.



Διάγραμμα 4: Επιφανειακές θερμοκρασίες στο υπό μελέτη γραφείο Α

3.2 Ποιότητα εσωτερικού αέρα

Στο διάγραμμα 5 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις CO₂ στον αέρα των γραφείων που μελετήθηκαν.



Διάγραμμα 5: Συγκέντρωση CO₂ των υπό μελέτη γραφείων

Τα επίπεδα του CO₂, όπως είναι αναμενόμενο, αυξάνονται κατά τη διάρκεια παρουσίας των υπαλλήλων στο χώρο. Παρόλα, αυτά τα επίπεδα του κυμαίνονται σε αποδεκτές τιμές (≤ 1000 ppm) (ANSI/ASHRAE, 2018) καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων. Ενδεχομένως τα χαμηλά επίπεδα τιμών CO₂ να οφείλονται στο γεγονός πως τα γραφεία του κτιρίου ήταν ανοικτού τύπου.

3.3 Οπτική Άνεση

Στον Πίνακα 3, που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι μέσοι όροι φωτισμού ανά γραφείο, για κάθε μία από τις ημέρες που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις, κατά τη διάρκεια λειτουργίας της υπηρεσίας (7:00-15:00).

ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ (LUX) ΩΡΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΓΡΑΦΕΙΩΝ (7:00-15:00)					
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	20/9/2021	21/9/2021	22/9/2021	23/9/2021	24/9/2021
ΓΡΑΦΕΙΟ Α	1143,6	506,8	1136,7	1071,0	1139,4
ΓΡΑΦΕΙΟ Β	1396,7	543,4	1356,6	1255,4	1401,6
ΓΡΑΦΕΙΟ Γ	268,7	397,8	330,7	415,3	641,0
ΓΡΑΦΕΙΟ Ζ	409,3	198,4	468,5	270,1	139,0
ΓΡΑΦΕΙΟ Θ	799,2	354,3	874,1	865,8	866,6

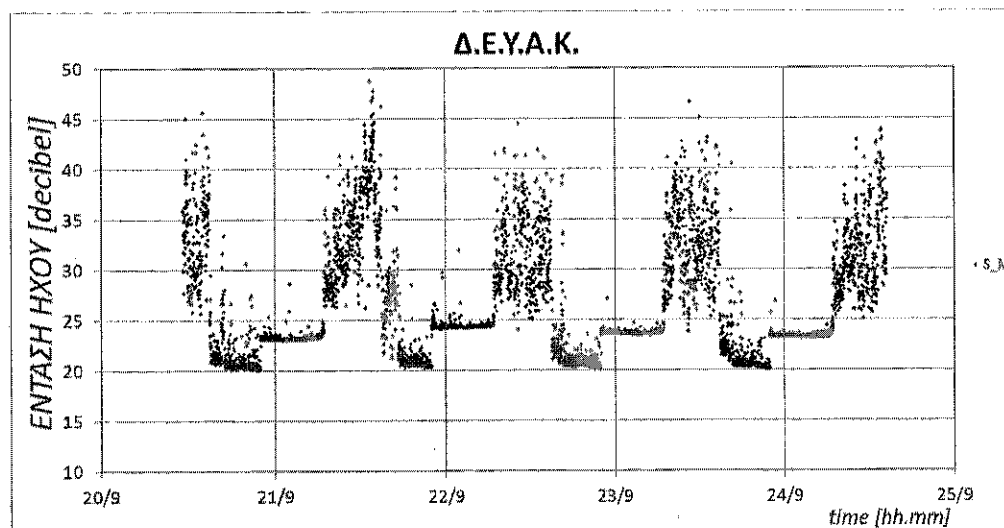
Πίνακας 3: Μέσοι όροι έντασης φωτισμού των υπό μελέτη γραφείων

Παρατηρείται από τον Πίνακα 3 ότι τα γραφεία Α, Β, Θ έχουν επίπεδα φωτισμού υψηλότερα από τα επιθυμητά όρια (500 lux) (CEN,2007), ενώ τα γραφεία Γ, Δ

παρουσιάζουν τα χαμηλότερα επίπεδα. Αυτό οφείλεται στις μεγάλες διαφανείς επιφάνειες του κτιρίου σε συνδυασμό με τον προσανατολισμό του.

3.4 Ακουστική Άνεση

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι τιμές της έντασης του ήχου του γραφείου Α.



Διάγραμμα 6: Ένταση ήχου στο υπό μελέτη γραφείο Α

Τα επίπεδα της έντασης του ήχου, όπως είναι φυσιολογικό, αυξάνονται κατά τη διάρκεια παρουσίας των υπαλλήλων στο χώρο. Παρατηρούμε τις τιμές αυτού να κυμαίνονται σε υψηλά επίπεδα (≥ 35 dB) (CEN, 2007), γεγονός που ενδεχομένως οφείλεται σε εξωτερικές εργασίες που λάμβαναν χώρα καθημερινά κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Η αύξηση περίπου 4dB που παρατηρείται τις βραδινές ώρες οφείλεται στην λειτουργία του συστήματος αερισμού.

3.5 Θερμική Άνεση

Για την εκτίμηση της θερμικής άνεσης χρησιμοποιήθηκε το ευρέως διαδεδομένο προσαρμοστικό μοντέλο (adaptive model), καθώς και το μοντέλο του Fanger που προτείνονται από την βιβλιογραφία.

3.5.1 Μοντέλο Fanger

Το μοντέλο του Fanger προβλέπει την θερμική αίσθηση συνδυάζοντας τις περιβαλλοντολογικές παραμέτρους της θερμοκρασίας του αέρα, της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας των εσωτερικών επιφανειών, της ταχύτητας εσωτερικού αέρα και της σχετικής υγρασίας με τις παραμέτρους που είναι ο ρουχισμός και η μεταβολική δραστηριότητα. Το συγκεκριμένο μοντέλο εισάγει δύο βασικούς δείκτες, τον δείκτη προβλεπόμενης μέσης ψήφου PMV (Predicted Mean Vote) και τον δείκτη δυσαρέσκειας PPD (Predicted Percent of Dissatisfied).

- Δείκτης PMV

Η προβλεπόμενη μέση ψήφος (PMV) είναι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο μοντέλο αξιολόγησης του βαθμού αποδοχής ενός θερμικού περιβάλλοντος. Το PMV εκφράζεται στην κλίμακα θερμικής αίσθησης ASHRAE, από -3 υπερβολικά ψυχρά έως + 3 υπερβολικά ζεστά και εξαρτάται από τη θερμοκρασία του αέρα, τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, τη σχετική ταχύτητα αέρα, την υγρασία, το επίπεδο δραστηριότητας και τη μόνωση των ενδυμάτων των χρηστών (Clo). Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 7730 (CEN, 2005), ο δείκτης PMV υπολογίζεται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$PMV = (0,303 * e^{-0,036 * M} + 0,028) * \{(M - W) - 3,05 * 10^3 * [5733 - 6,99 * (M - W) - p_a] - 0,42 * [(M - W) - 58,15] - 1,7 * 10^{-5} * M * (5867 - p_a) - 1,4 * 10^{-3} * M * (34 - t_a) - 3,96 * 10^{-8} * f_{cl} * [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - f_{cl} * h_c * (t_{cl} - t_a)\} \quad [1]$$

Και:

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028(M - W) - I_{cl} * \{3,96 * 10^{-8} * f_{cl} * [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] + f_{cl} * h_c * (t_{cl} - t_a)\} \quad [2]$$

$$h_c = \begin{cases} 2,38 * (t_{cl} - t_a)^{0,25}, & \text{για } 2,38 * (t_{cl} - t_a)^{0,25} > 12,1\sqrt{v_{ar}} \\ 12,1\sqrt{v_{ar}}, & \text{για } 2,38 * (t_{cl} - t_a)^{0,25} < 12,1\sqrt{v_{ar}} \end{cases} \quad [3]$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,290 * I_{cl}, & I_{cl} \leq 0,078 \\ 1,05 + 0,645 * I_{cl}, & I_{cl} > 0,078 \end{cases} \quad [4]$$

Όπου:

M: Ρυθμός μεταβολισμού (1 metabolic unit=1met=58,2 W/m²)

W: Το ωφέλιμο έργο (W/m²), στις περισσότερες περιπτώσεις ισούται με το μηδέν

I_{cl} : Θερμική αντίσταση των ρούχων (1 clothing unit=1, clo=0,155 m²°C/W)

f_{cl} : Ο λόγος επιφάνειας του ανθρώπου όταν είναι ντυμένος προς το λόγο επιφάνειας όταν είναι γυμνός

t_a : Η θερμοκρασία του αέρα (°C)

t_r : Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (°C)

v_{ar} : Ταχύτητα αέρα (m/sec)

P_a : Μερική πίεση υδρατμών στο χώρο (Pascals)

t_{cl} : Η επιφανειακή θερμοκρασία των ρούχων (°C)

h_c : Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας (W/m²K)

- Δείκτης PPD

Ο δείκτης PPD προκύπτει ως συνάρτηση του PMV και εκφράζει το ποσοστό των ατόμων που είναι δυσαρεστημένο από τις θερμικές συνθήκες που επικρατούν. Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 7730 (2005) ο PPD υπολογίζεται από την σχέση που ακολουθεί:

$$PPD = 100 - 95e^{-(0,033533*PMV^4+0,2179*PMV^2)} \quad [5]$$

Η μερική πίεση υδρατμών του εσωτερικού χώρου υπολογίζεται σύμφωνα με την ASHRAE (2020):

$$\ln(p_w) = \sum_{i=-1}^3 g_i Ta^i + g_4 \ln Ta \quad [6]$$

Όπου:

p_w : Η μερική πίεση των υδρατμών σε κεκορεσμένο αέρα θερμοκρασίας T_w (mm Hg)

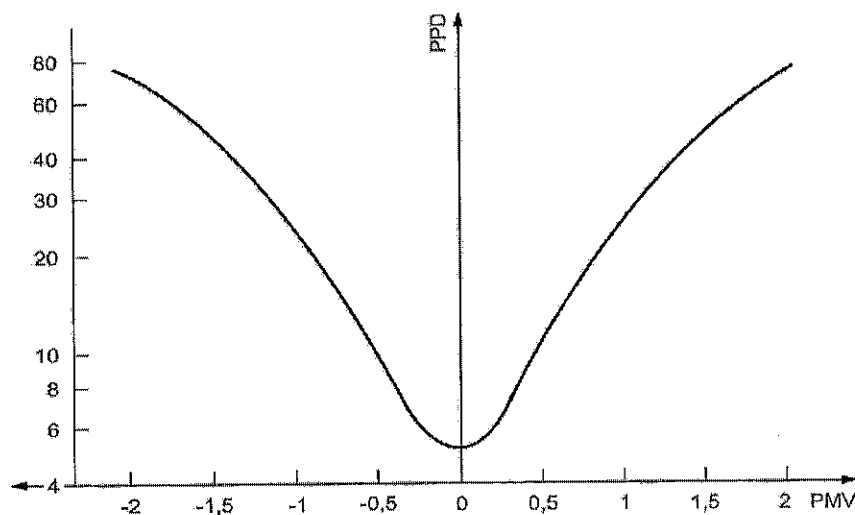
Ta : Η θερμοκρασία του αέρα ($^{\circ}C$)

g_i : Σταθερές της εξίσωσης που εμφανίζονται στο παρακάτω πίνακα

$g_{-1}=-0,58002206 \times 10^4$	$g_2=0,41764768 \times 10^{-4}$
$g_0=0,13914993 \times 10^1$	$g_3=-0,14452093 \times 10^{-7}$
$g_1=-0,48640239 \times 10^{-1}$	$g_4=0,65459673 \times 10^1$

Η μερική πίεση υδρατμών στο περιβάλλον υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας τη μερική πίεση των υδρατμών σε κεκορεσμένο αέρα (p_w) με τη σχετική υγρασία του χώρου.

$$p_a = p_w * RH \quad [7]$$

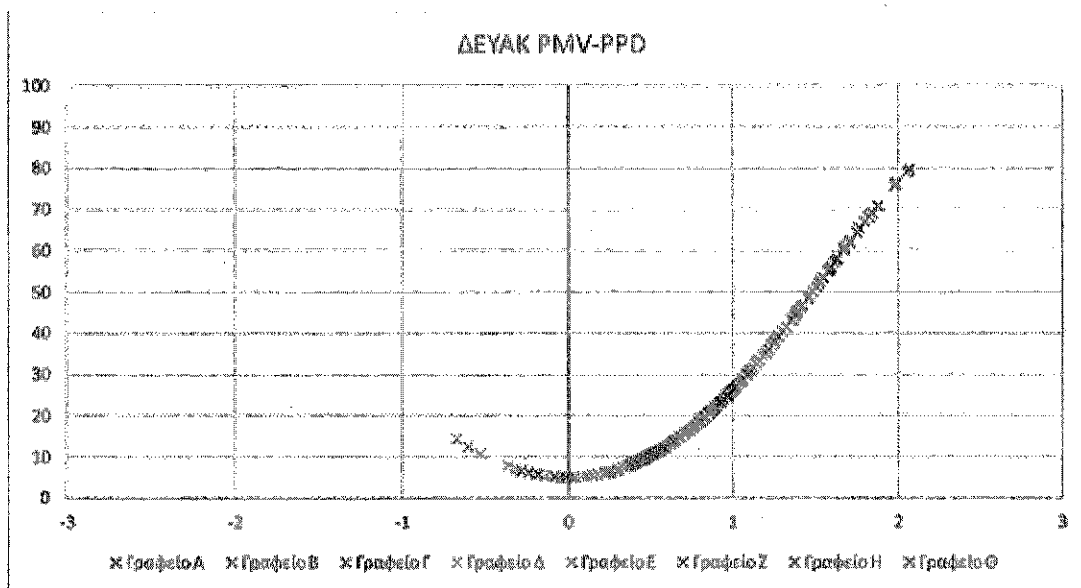


Διάγραμμα 7: Διάγραμμα συσχέτισης PMV-PPD (ASHRAE 55, 2020)

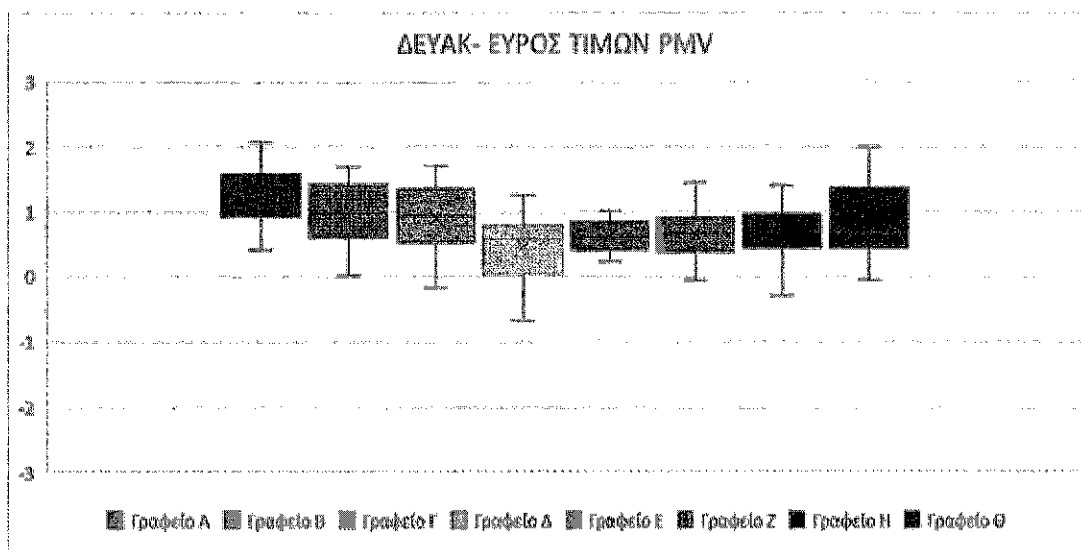
Το διάγραμμα 7 παρουσιάζει την συσχέτιση μεταξύ των δεικτών PMV-PPD. Παρατηρούμε ότι η καμπύλη είναι συμμετρική, ενώ επίσης για $PMV=0$ εμφανίζεται το

ελάχιστο ποσοστό δυσανεξίας, $PPD=5\%$. Αυτό σημαίνει ότι ακόμα και αν εξασφαλίσουμε τις βέλτιστες θερμικές συνθήκες ένα μικρό ποσοστό ατόμων θα παραμένει πάντα δυσανεκτικό. Αντίστοιχα για τις ακραίες συνθήκες PMV παρατηρούμε ότι ένα ποσοστό ατόμων παραμένει πάντα ικανοποιημένο. Όλα αυτά αποδεικνύουν τον υψηλό βαθμό υποκειμενικότητας όσον αφορά την θερμική αντίληψη και τις θερμικές απαιτήσεις του κάθε ατόμου. Γενικά, επικρατεί η κοινή παραδοχή ότι το PPD πρέπει να είναι μικρότερο του 10% και επομένως ο δείκτης PMV να κυμαίνεται μεταξύ -0,5 και 0,5.

Στη συνέχεια παρατίθεται το διάγραμμα 8, συσχέτισης PMV-PPD για κάθε γραφείο του κτιρίου, όπως έχει υπολογιστεί για κάθε χρήστη ξεχωριστά ανάλογα με τον ροντισμό του, και το διάγραμμα 9 που παρουσιάζει την διακύμανση του PMV ανά γραφείο.



Διάγραμμα 8: Διάγραμμα PMV - PPD του κτιρίου Δ.Ε.Υ.Α.Κ.



Διάγραμμα 9: Διάγραμμα εύρους τιμών PMV σε κάθε γραφείο για το κτίριο της Δ.Ε.Υ.Α.Κ.

Με βάση τα αποτελέσματα από το μοντέλο του Fanger (διαγράμματα 8 και 9) παρατηρείται ότι τα γραφεία του κτιρίου της ΔΕΥΑΚ είναι εκτός των ορίων $-0.5 \leq PMV \leq 0.5$ στις περισσότερες των περιπτώσεων. Πιο συγκεκριμένα τους υψηλότερους δείκτες PMV εμφανίζουν τα γραφεία Α, Β, Γ και Θ που έχουν το μεγαλύτερο ποσοστό διαφανών δομικών στοιχείων ως προς τα αδιαφανή. Αντίθετα τα γραφεία Δ και Ε που έχουν το μικρότερο ποσοστό διαφανών δομικών παρουσιάζουν χαμηλότερες και πιο αποδεκτές τιμές. Χαρακτηριστικό είναι το διάγραμμα PMV-PPD που αποδεικνύει υψηλά ποσοστά δυσaráσκειας.

3.5.2 Μοντέλο προσαρμογής (Adaptive Model)

Σύμφωνα με το πρότυπο ASHRAE 55 (2020), το μοντέλο προσαρμογής μπορεί να εφαρμοστεί σε φυσικά κλιματιζόμενα κτίρια, όπου οι χρήστες έχουν τον πλήρη έλεγχο των συνθηκών. Πιο συγκεκριμένα, η εφαρμογή του παραπάνω μοντέλου προϋποθέτει ότι (i) δεν έχει εγκατασταθεί/δεν λειτουργεί μηχανικό σύστημα ψύξης, (ii) το σύστημα θέρμανσης είναι ανενεργό, (iii) οι μεταβολικοί ρυθμοί των χρηστών κυμαίνονται μεταξύ 1,0 και 1,3 met, (iv) οι συμμετέχοντες είναι ελεύθεροι να προσαρμόσουν τα ρούχα τους, με θερμική αντίσταση που κυμαίνεται, τουλάχιστον, μεταξύ 0,5 clo και 1,0 clo, και (v) η επικρατούσα μέση εξωτερική θερμοκρασία βρίσκεται μεταξύ 10°C και 33,5°C. Για χώρους που πληρούν τα προαναφερθέντα κριτήρια, είναι αποδεκτός ο καθορισμός των επιτρεπόμενων εσωτερικών θερμοκρασιών λειτουργίας από το διάγραμμα της εικόνας 4. Το διάγραμμα αυτό περιλαμβάνει δύο ζώνες αποδεκτού εύρους θερμοκρασιών λειτουργίας, μία για αποδοχή 80% και μία για αποδοχή 90%. Τα όρια αποδοχής 80% είναι για τυπικές εφαρμογές, ενώ τα όρια αποδοχής 90% αφορούν ειδικούς χώρους υψηλών θερμικών απαιτήσεων, όπως οίκους ευγηρίας, νοσοκομεία κλπ.

Η ιδανική θερμοκρασία εσωτερικού χώρου σύμφωνα με το πρότυπο ASHRAE 55 (2020) και ανάλογα με την ζώνη θερμικής άνεσης που απαιτείται, προκύπτει από τους παρακάτω τύπους:

$$\text{Upper 80\% acceptability limit (}^{\circ}\text{C)} = 0.31 f(T_{out}) + 21.3 \text{ [8]}$$

$$\text{Upper 90\% acceptability limit (}^{\circ}\text{C)} = 0.31 f(T_{out}) + 20.3 \text{ [9]}$$

$$\text{Optimal comfort temperature (}^{\circ}\text{C)} = 0.31 f(T_{out}) + 17.8 \text{ [10]}$$

$$\text{Lower 90\% acceptability limit (}^{\circ}\text{C)} = 0.31 f(T_{out}) + 15.3 \text{ [11]}$$

$$\text{Lower 80\% acceptability limit (}^{\circ}\text{C)} = 0.31 f(T_{out}) + 14.3 \text{ [12]}$$

Η ιδανική θερμοκρασία εσωτερικού χώρου σύμφωνα με το πρότυπο EN 15251 (CEN, 2007) και ανάλογα με την ζώνη θερμικής άνεσης που απαιτείται, προκύπτει από τους παρακάτω τύπους:

$$\text{Upper limit of Category III (}^{\circ}\text{C)} = 0.33 (T_{out}) + 18.8 + 4 \text{ [13]}$$

$$\text{Upper limit of Category II (}^{\circ}\text{C)} = 0.33 (T_{out}) + 18.8 + 3 \text{ [14]}$$

$$\text{Upper limit of Category I (}^{\circ}\text{C)} = 0.33 (T_{out}) + 18.8 + 2 \text{ [15]}$$

$$\text{Optimal comfort temperature (}^{\circ}\text{C)} = 0.33 (T_{out}) + 18.8 \text{ [16]}$$

$$\text{Lower limit of Category I} (^{\circ}\text{C}) = 0.33 (T_{out}) + 18.8 - 2 \quad [17]$$

$$\text{Lower limit of Category II} (^{\circ}\text{C}) = 0.33 (T_{out}) + 18.8 - 3 \quad [18]$$

$$\text{Lower limit of Category III} (^{\circ}\text{C}) = 0.33 (T_{out}) + 18.8 - 4 \quad [19]$$

Η μεταβλητή εισόδου στο προσαρμοστικό μοντέλο του προτύπου ASHRAE 55 (2020), είναι η επικρατούσα μέση θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα T_{out} ή διαφορετικά ($t_{pma(out)}$). Αυτή η θερμοκρασία βασίζεται στον αριθμητικό μέσο όρο των ημερήσιων μέσων εξωτερικών θερμοκρασιών για ορισμένες ημέρες (από 7-30 ημέρες). Τα στοιχεία για τον υπολογισμό της μπορούμε να τα αντλήσουμε από τα κατά τόπους μετεωρολογικά κέντρα. Η προτιμώμενη έκφραση για τον υπολογισμό της T_{out} είναι ένας εκθετικά σταθμισμένος μέσος όρος μιας ακολουθίας μέσων ημερήσιων εξωτερικών θερμοκρασιών πριν από την εν λόγω ημέρα. Οι μέρες στο πιο απομακρυσμένο παρελθόν έχουν μικρότερη επίδραση στην υπολογιζόμενη θερμοκρασία άνεσης του κτιρίου σε αντίθεση με τις πιο πρόσφατες μέρες, και αυτό αντικατοπτρίζεται μαθηματικά με την χρήση ενός συνεχώς μειούμενου συντελεστή (α) στην ακολουθία των μέσων ημερήσιων εξωτερικών θερμοκρασιών.

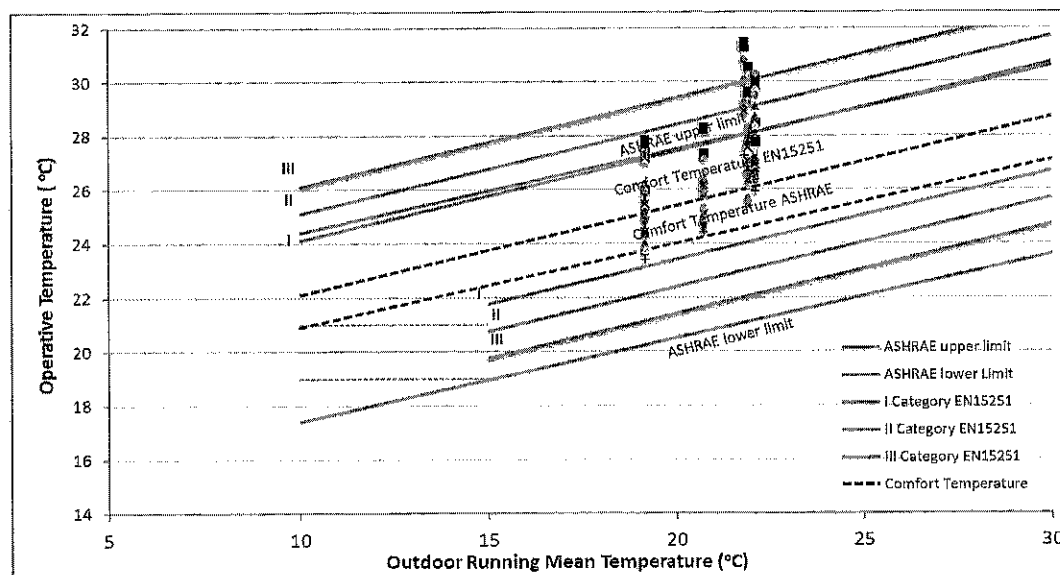
$$\overline{t_{pma(out)}} = (1 - \alpha) [t_{e(d-1)} + \alpha t_{e(d-2)} + \alpha^2 t_{e(d-3)} + \alpha^3 t_{e(d-4)} + \dots] \quad [20]$$

Όπου:

α : Σταθερά μεταξύ 0 και 1 που ελέγχει την ταχύτητα με την οποία ο μέσος όρος της θερμοκρασίας λειτουργίας ανταποκρίνεται στις αλλαγές του καιρού (εξωτερική θερμοκρασία). Οι συνιστώμενες τιμές για το α είναι μεταξύ 0,9 και 0,6 και αντιστοιχούν σε αργή και γρήγορη απόκριση του μέσου όρου λειτουργίας, αντίστοιχα. Το πρότυπο ASHRAE 55 (2020) προτείνει μια τιμή για το α της τάξης του 0,9 για κλίματα, όπως τα υγρά τροπικά, όπου η διακύμανση της θερμοκρασίας από μέρα σε μέρα είναι σχετικά ελάχιστος σημασίας και αντίστοιχα μια χαμηλότερη τιμή α (π.χ. 0,6) για κλίματα μεσαίου γεωγραφικού πλάτους, όπου η καθημερινή διακύμανση της θερμοκρασίας είναι πιο έντονη.

$t_{e(d-i)}$: Το $t_{e(d-i)}$ αντιπροσωπεύει τη μέση ημερήσια εξωτερική θερμοκρασία για την ημέρα $(d-i)$, με $7 \leq i \leq 30$.

Στη συνέχεια παρατίθεται το διάγραμμα του προσαρμοστικού μοντέλου που συσχετίζει τη θερμοκρασία λειτουργίας με την μέση εξωτερική θερμοκρασία για το κτίριο της Δ.ΕΥ.Α.Κ..



■: Γραφείο Α, ◆: Γραφείο Β, ▲: Γραφείο Γ, +: Γραφείο Δ, ●: Γραφείο Ε, Χ: Γραφείο Ζ, ●: Γραφείο Η, ●: Γραφείο Θ

Διάγραμμα 10: Διάγραμμα αποδεκτών τιμών θερμοκρασίας λειτουργίας κτηρίου Δ.Ε.Υ.Α.Κ.

Τα γραφεία του κτιρίου της Δ.Ε.Υ.Α.Κ. παρουσιάζουν γενικά υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας κυρίως κατά τις μεσημεριανές ώρες. Η πλειοψηφία των τιμών είναι εντός των ορίων της ASHRAE και του ευρωπαϊκού προτύπου EN 15251 (ASHRAE, 2020; CEN, 2012), όμως παρατηρείται και πλήθος τιμών που ξεπερνάει τα δεδομένα όρια. Οι τιμές αυτές αφορούν κυρίως τα Γραφεία Α και Θ που έχουν υψηλό ποσοστό διαφανών προς τις αδιαφανείς επιφάνειες όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω. Οι υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας εμφανίζονται όπως είναι αναμενόμενο κατά τις μεσημεριανές ώρες, όταν και η εξωτερική θερμοκρασία αέρα αυξάνεται. Τα αποτελέσματα του προσαρμοστικού μοντέλου σε σύγκριση με το αυτό του Fanger αποκλίνουν αρκετά όσον αφορά την εκτίμηση της θερμικής άνεσης. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην αδυναμία που έχει το μοντέλο του Fanger για φυσικά κλιματιζόμενα κτίρια.

4. Συμπεράσματα

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας διερεύνησης, η εσωτερική θερμοκρασία του αέρα είναι εξαρτώμενη από την εξωτερική, αφού κατά την περίοδο την μετρήσεων τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης ήταν ανενεργά. Παρατηρήθηκε, όπως ήταν αναμενόμενο, αύξηση της θερμοκρασίας κατά τις μεσημεριανές ώρες, σε όλα τα γραφεία, ανεξαρτήτως προσανατολισμού. Διαφορές ανάμεσα στα γραφεία ενδεχομένως οφείλονται αφενός εξαιτίας διαφορετικού προσανατολισμού τους και αφετέρου εξαιτίας της λειτουργίας των υπηρεσιών (άνοιγμα-κλείσιμο παραθύρων από τους υπαλλήλους κατά τη διάρκεια της εργασίας τους). Οι τιμές της σχετικής υγρασίας παρατηρούνται σε ικανοποιητικά επίπεδα για όλα τα γραφεία των κτιρίων. Η ταχύτητα του αέρα κυμαίνεται σε φυσιολογικές τιμές για εσωτερικούς χώρους, ενώ τα επίπεδα συγκέντρωσης CO₂ στην πλειοψηφία των υπό μελέτη γραφείων κυμαίνονται σε αποδεκτά επίπεδα, με μικρές αυξήσεις ανά διαστήματα τοπικού χαρακτήρα. Για την

ύπαρξη χαμηλών τιμών συγκεντρώσεων CO₂ συνέβαλε ο φυσικός αερισμός που λάμβανε χώρα σε πολλά γραφεία, αλλά και το γεγονός ότι αυτά ήταν ανοικτού τύπου. Όσον αφορά την ακουστική άνεση παρατηρούνται ανά διαστήματα αυξημένες τιμές έντασης του ήχου εξαιτίας κυρίως των εργασιών που διεκπεραιώνονταν εκτός του κτιρίου την περίοδο των μετρήσεων. Επιπλέον, τα επίπεδα φωτισμού ήταν αυξημένα, μιας και ο φυσικός φωτισμός ήταν έντονος, εξαιτίας του μεγάλου ποσοστού διαφανών δομικών στοιχείων στην πλειονότητα των γραφείων.

Από την εφαρμογή του μοντέλου του Fanger για την θερμική άνεση, παρατηρείται ότι στην πλειοψηφία των περιπτώσεων τα όρια άνεσης δεν ικανοποιούνται, ιδιαιτέρως για τα γραφεία που διαθέτουν μεγάλο ποσοστό διαφανών δομικών στοιχείων. Αντίθετα, με την εφαρμογή του προσαρμοστικού μοντέλου, το οποίο είναι κατάλληλο για φυσικά αεριζόμενα κτίρια, παρατηρείται ότι οι θερμοκρασίες λειτουργίας είναι εντός των ορίων κατά τις πρωινές ώρες, ενώ κατά τις μεσημεριανές παρατηρούνται περίοδοι υπερθέρμανσης.

5. Βιβλιογραφία

- ANSI/ASHRAE, 2017. ANSI/ASHRAE Standard 55-2017. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta.
- ANSI/ASHRAE, 2018. ANSI/ASHRAE Addendum d to ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2016: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Atlanta.
- CEN, 2005. EN ISO 7730. Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Brussels.
- CEN, 2007. EN 15251. Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings- addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustic. Brussels.

