



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΨΥΞΗΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ ΣΕ ΚΤΗΡΙΑ ΓΡΑΦΕΙΩΝ



ΦΡΑΓΓΗΣ ΦΩΚΑΣ

A.M. 02103643

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Χ. ΤΖΙΒΑΝΙΔΗΣ, ΛΕΚΤΟΡΑΣ ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2011

Πρόλογος

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά το Λέκτορα κο. Χρήστο Τζιβανίδη για την ανάθεση του ενδιαφέροντος αυτού θέματος, αλλά κυρίως για την εξαιρετική του καθοδήγηση, την πολύτιμη βοήθεια και συνεργασία κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας. Επίσης τον Καθηγητή κο. Κ. Αντωνόπουλο για τη διδασκαλία του στα μαθήματα του Κλιματισμού, γεγονός που με ώθησε να ασχοληθώ περαιτέρω με τη μελέτη του αντικειμένου αυτού.

Πίνακας Περιεχομένων

Εισαγωγή	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Περί θερμικής άνεσης	3
1.1 Γενικά	3
1.2 Τι είναι θερμική άνεση.....	4
1.3 Άνθρωπος και περιβάλλον.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπου και θερμική άνεση.....	11
2.1 Ανταλλαγή θερμότητας.....	11
2.2 Παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η θερμική άνεση.....	15
2.2.1 Θερμοκρασία του αέρα.....	16
2.2.2 Μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία (T_{mrt})	19
2.2.3 Υγρασία.....	22
2.2.4 Ταχύτητα του αέρα.....	29
2.2.5 Ένδυση.....	33
2.2.6 Μεταβολισμός.....	37
2.2.7 Τοπική θερμική δυσφορία.....	40
2.2.7.1 Ρεύματα αέρα - τυρβώδης ροή.....	40
2.2.7.2 Ασυμμετρία στη θερμική ακτινοβολία.....	43
2.2.7.3 Κάθετη διαφορά θερμοκρασίας αέρα.....	44
2.2.7.4 Θερμοκρασία πατώματος.....	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Δείκτες εκτίμησης της θερμικής άνεσης.....	46
3.1 Θερμικοί δείκτες.....	46
3.2 Δείκτες μόνιμης κατάστασης για κτήρια και εσωτερικούς χώρους.....	48
3.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κάθε δείκτη.....	49
3.3.1 Προβλεπόμενη μέση ψήφος PMV.....	49
3.3.2 Λειτουργική θερμοκρασία T_o	51
3.3.3 Ισοδύναμη θερμοκρασία T_{eq}	52
3.3.4 Αισθητή θερμοκρασία ET ή αποτελεσματική θερμοκρασία T_{eff}	53
3.3.5 Προκύπτουσα θερμοκρασία RT.....	54
3.3.6 Δείκτης θερμικής επιβάρυνσης ITS.....	55
3.3.7 Διορθωμένη αισθητή θερμοκρασία CET.....	55
3.3.8 Τυπική αισθητή θερμοκρασία SET.....	55
3.4 Αξιολόγηση δεικτών.....	57
3.5 Συνδυασμός δεικτών - Εξέλιξη των μοντέλων.....	58
3.5.1 PMV-PPD Μοντέλο Fanger.....	58
3.5.2 PD Ποσοστό δυσαρεστημένων λόγω ρεύματος αέρα.....	61
3.5.3 Μοντέλο ET-DISC.....	62

3.5.4 Μοντέλα προσαρμόσιμης θερμικής άνεσης.....	63
3.5.5 Σύγκριση των μοντέλων PMV-PD.....	66
3.5.6 Αναθεώρηση του PMV.....	67
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Πρότυπα θερμικής άνεσης.....	69
4.1 Το πρότυπο της ASHRAE.....	69
4.1.1 Αναθεώρηση του προτύπου της ASHRAE.....	70
4.1.2 Όροι και περιορισμοί.....	70
4.1.3 Μέθοδος μετρήσεων.....	72
4.1.4 Μέθοδος καθορισμού αποδεκτών θερμικών συνθηκών σε μη κλιματιζόμενους χώρους.....	72
4.2 Το πρότυπο της ISO.....	74
4.2.1 Απαιτήσεις και περιορισμοί του προτύπου ISO.....	74
4.2.2 Αναθεώρηση του προτύπου της ISO.....	76
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Εφαρμογή του μοντέλου PMV-PPD σε χώρο γραφείων.....	77
5.1 Περίπτωση 1 ^η	81
5.2 Περίπτωση 2 ^η	94
5.3 Περίπτωση 3 ^η	101
5.4 Περίπτωση 4 ^η	108
5.5 Περίπτωση 5 ^η	117
5.6 Περίπτωση 6 ^η	123
5.7 Περίπτωση 7 ^η	132
5.8 Περίπτωση 8 ^η	139
Παραδοχές.....	149
Συμπεράσματα.....	150
Βιβλιογραφία.....	152

Εισαγωγή

Τα κτήρια, είτε αυτά εξυπηρετούν ως χώροι διαβίωσης είτε ως χώροι εργασίας, έχουν ως στόχο να υποβοηθήσουν την ανθρώπινη δραστηριότητα, καθώς και να παρέχουν προστασία από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες. Ωστόσο, συχνά στο εσωτερικό των κτηρίων εμφανίζονται προβλήματα όσον αφορά στις θερμικές συνθήκες που επικρατούν. Τα αποτελέσματα του προβλήματος έχουν άμεσο αντίκτυπο τόσο στις συνθήκες άνετης διαβίωσης μέσα στα κτήρια όσο και στην υγεία των χρηστών τους. Καθίσταται λοιπόν προφανές ότι η εμφάνιση φαινομένων θερμικής δυσaráσκείας των χρηστών των κτηρίων είναι εξ ορισμού αντίθετη με τον λόγο ύπαρξης τους.

Εξετάζοντας το εκάστοτε κτήριο ως ένα ξεχωριστό υποσύστημα του εξωτερικού περιβάλλοντος και με δεδομένη τη μεταξύ τους αλληλεπίδραση, η έννοια των συνθηκών του εσωκλίματος είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τα χαρακτηριστικά κατασκευής και λειτουργίας του κτηρίου. Η γενικότερη θεώρηση του προβλήματος αφορά στο εσωτερικό περιβάλλον συνολικά. Εκτός από την αξιολόγηση των θερμικών συνθηκών, αξιολογούνται και άλλοι παράγοντες όπως είναι η ποιότητα εσωτερικού αέρα, ο θόρυβος και ο φωτισμός. Οι συμπληρωματικοί παράγοντες που εισάγονται με τη γενικότερη αυτή θεώρηση επηρεάζουν την υγεία, την άνεση και την απόδοση των κατοίκων του κτηρίου.

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

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

Κεφάλαιο 1^ο

Περί θερμικής άνεσης

1.1 Γενικά

Ο ολοκληρωμένος σχεδιασμός ενός κτηρίου θα πρέπει να έχει ως στόχο τη βελτιστοποίηση των περιβαλλοντολογικών παραμέτρων στο εσωτερικό του. Οι παράμετροι που θα μας απασχολήσουν σε αυτή την εργασία οριοθετούν τη θερμική άνεση στο εσωτερικό του κτηρίου. Η θερμική άνεση αποτελεί κριτήριο του μικροκλίματος ενός εσωτερικού ή εξωτερικού χώρου. Το μικροκλίμα γίνεται αντιληπτό ως η καθολική έκφραση της αλληλεπίδρασης φυσικών παραμέτρων, οι οποίες επηρεάζουν τον άνθρωπο δια μέσου των θερμικών απωλειών και της αναπνοής του. Αυτή η προσέγγιση περιλαμβάνει επίσης μη θερμικούς παράγοντες, όπως τη σύνθεση του αέρα, την περιεκτικότητα σε σωματίδια, τις οσμές, τους μικροοργανισμούς κ.α., οι οποίοι ειδικότερα για τους εσωτερικούς χώρους αναφέρονται ως εσωτερική ποιότητα του αέρα.

Η σημασία του μικροκλίματος για την διαβίωση του ανθρώπου είναι προφανής. Σε έναν εργασιακό χώρο για παράδειγμα, πρέπει την κάθε ημέρα να αισθάνεται κανείς άνετα και ικανοποιημένος πρώτα απ' όλα με το θερμικό περιβάλλον.

Διαφορετικά η εργασιακή επίδοση μειώνεται. Έτσι η θερμική άνεση έχει επίδραση στην

αποτελεσματικότητα της εργασίας.

Γενικά ο άνθρωπος πάντα προσπαθεί να διαμορφώσει ένα θερμικά άνετο περιβάλλον. Αυτό αντανακλάται στις παραδόσεις της δόμησης των κτηρίων σε όλο τον κόσμο, από τα αρχαία χρόνια μέχρι σήμερα. Έτσι η διαμόρφωση ενός θερμικά άνετου περιβάλλοντος είναι μια από τις πλέον σημαντικές παραμέτρους στο σχεδιασμό κτηρίων. Η επίτευξη ωστόσο της θερμικής άνεσης στα ανθρώπινα καταλύματα, είναι η μία μόνο πλευρά του ζητήματος.

Η άλλη πλευρά είναι το ενεργειακό και περιβαλλοντικό τίμημα αυτής της προσπάθειας. Είναι γνωστή, τουλάχιστον στον κύκλο των ανθρώπων που ασχολούνται με το σχεδιασμό, η επιτακτική ανάγκη για τον περιορισμό των ενεργειακών απωλειών. Αυτό υποδηλώνεται εμμέσως και από τη διεθνή κατανόηση (συμφωνία του Κιότο) για τη μείωση των εκπομπών των αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Οι στατιστικές δείχνουν ότι το κτήριο γενικά, είναι από τους πλέον ενεργοβόρους καταναλωτές και η ενέργεια που δαπανά για θέρμανση, ψύξη και αερισμό έχει μεγάλο μερίδιο στις απώλειες ενέργειας. Υπολογίζεται πως ο κτηριακός τομέας στην Ε.Ε. ευθύνεται για το 40% της πρωτογενούς ενεργειακής κατανάλωσης και για το 50% των εκπομπών.

Ο στόχος επομένως είναι η επίτευξη της θερμικής άνεσης μέσα από τον βιοκλιματικό σχεδιασμό των κτηρίων και των ανοικτών χώρων, έτσι ώστε μαζί με την εφαρμογή συστημάτων ΑΠΕ, θα αντικαθιστά όλο και περισσότερο το μηχανικό κλιματισμό και την κατανάλωση ενέργειας από συμβατικές μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

1.2 Τι είναι θερμική άνεση

Για τον ορισμό της έννοιας της θερμικής άνεσης υπάρχουν τρεις διαφορετικές

προσεγγίσεις, μία **φυσιολογική**, μία **θερμοφυσιολογική** και μία βασισμένη στο **ενεργειακό ισοζύγιο** του ανθρώπινου σώματος.

- ✓ Σύμφωνα με την πρώτη προσέγγιση και όπως καθορίζεται από τα πρότυπα της ISO και της ASHRAE, **θερμική άνεση για ένα άτομο ορίζεται αυτή η κατάσταση του εγκεφάλου που εκδηλώνει ικανοποίηση σε σχέση με το θερμικό περιβάλλον.**

Ο ορισμός αυτός είναι προφανώς υποκειμενικός και αντανακλά μια ευρύτερη διακύμανση της ατομικής θερμικής αίσθησης. Έτσι στον ίδιο χώρο είναι δυνατόν κάποιο άτομο να εκφράζει την ικανοποίησή του για τις θερμικές συνθήκες, ενώ κάποιο άλλο άτομο τη δυσαρέσκειά του.

- ✓ Η θερμοφυσιολογική προσέγγιση της άνεσης βασίζεται στην ενεργοποίηση των θερμικών αισθητήρων στο δέρμα και τον υποθάλαμο και ορίζεται ως ο ελάχιστος ρυθμός των νευρικών σημάτων από αυτούς.
- ✓ Τέλος σύμφωνα με τον ενεργειακό ορισμό **η κατάσταση της θερμικής άνεσης επιτυγχάνεται όταν η θερμότητα που ρέει από και προς το ανθρώπινο σώμα είναι ισοσταθμισμένη** και η θερμοκρασία του δέρματος και ο ρυθμός εφίδρωσης κυμαίνονται μέσα σε μια κλίμακα άνεσης που εξαρτάται από το μεταβολισμό.

Η μέση θερμοκρασία του δέρματος παίζει καθοριστικό ρόλο και στους δύο τελευταίους ορισμούς. Οι τιμές για την θερμοκρασία του δέρματος μπορούν να προκύψουν από μοντέλα ενεργειακού ισοζυγίου και μοντέλα εμπειρικών σχέσεων.

Τα μοντέλα που στηρίζονται σε εμπειρικές σχέσεις, έχουν το μειονέκτημα ότι καθορίζονται για συγκεκριμένες κλιματικές μεταβολές, ενώ αυτά του ενεργειακού ισοζυγίου εφαρμόζονται καθολικά σε οποιοδήποτε σενάριο.

1.3 Άνθρωπος και περιβάλλον

Στο ανθρώπινο σώμα βρίσκεται σε συνεχή εξέλιξη μια μεγάλη σειρά από πολύπλοκες φυσικές και χημικές διεργασίες. Όλες αυτές οι φυσικοχημικές δράσεις έχουν ως αφετηρία την καύση, δηλαδή την παραγωγή ενέργειας που βασίζεται στην επεξεργασία των τροφών. Η ενέργεια αυτή δαπανάται για τη συνολική διαδικασία ζωής και ανάπτυξης, την παραγωγή μηχανικού έργου (κίνηση και λειτουργία οργάνων) και τη διατήρηση της θερμοκρασίας του σώματος σε σχεδόν σταθερά επίπεδα. Το ανθρώπινο σώμα διαθέτει ένα αποτελεσματικό σύστημα ρύθμισης της θερμοκρασίας, η οποία διατηρείται περίπου στους 37°C.

Ο άνθρωπος ζει σε ένα περιβάλλον (εκτός ελαχίστων περιπτώσεων) χαμηλότερης θερμοκρασίας. (Στην Ελλάδα η θερμοκρασία περιβάλλοντος κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 12 και 27°C, δηλαδή έχουμε συνήθως μια θερμοκρασιακή διαφορά 10 έως 25°C.

Η θερμοκρασία παράγεται κατά την οξυγόνωση θρεπτικών συστατικών στα κύτταρα και με το κυκλοφοριακό σύστημα διαχέεται σ' ολόκληρο το σώμα. Η απόρριψη θερμότητας στο περιβάλλον είναι απόλυτα αναγκαία λειτουργία και πραγματοποιείται από το δέρμα και τις εκκρίσεις (εκπνοή κλπ.).

Πέρα όμως από τα δοχεία αίματος υπάρχει ο συνδετικός ιστός, η επιδερμίδα και άλλες στρώσεις του δέρματος. Το πόσο μονωτικές είναι αυτές, επιδρά στην μετάδοση της θερμότητας, όπως επιδρά και το πάχος τους. Τέλος, η ύγρανση της επιδερμίδας από την εφίδρωση και αυτή ακόμη η τριχοφυΐα επιδρούν στη ροή της θερμότητας προς τα έξω, άρα και στη θερμοκρασία της επιδερμίδας. Η θερμοκρασία της επιδερμίδας επηρεάζεται καταρχάς από την αιμάτωση του δέρματος. Η ταχύτητα ροής του αίματος μεταβάλλει το συντελεστή μεταβίβασης θερμότητας στα τοιχώματα των δοχείων του. Η επιφάνεια των τοιχωμάτων δεν είναι σταθερή, αλλά αυξομειώνεται ανάλογα με τις ανάγκες του οργανισμού, με διεύρυνση των δοχείων αίματος.



Το σύστημα ελέγχου που ρυθμίζει τη θερμοκρασία του σώματος είναι σύνθετο και δεν έχει ακόμη κατανοηθεί πλήρως. Ωστόσο είναι γνωστές οι δυο πιο γνωστές σειρές αισθητήρων του συστήματος ελέγχου. Οι αισθητήρες θερμού και ψυχρού εδράζονται στο δέρμα και συνεργάζονται με τον υποθάλαμο.

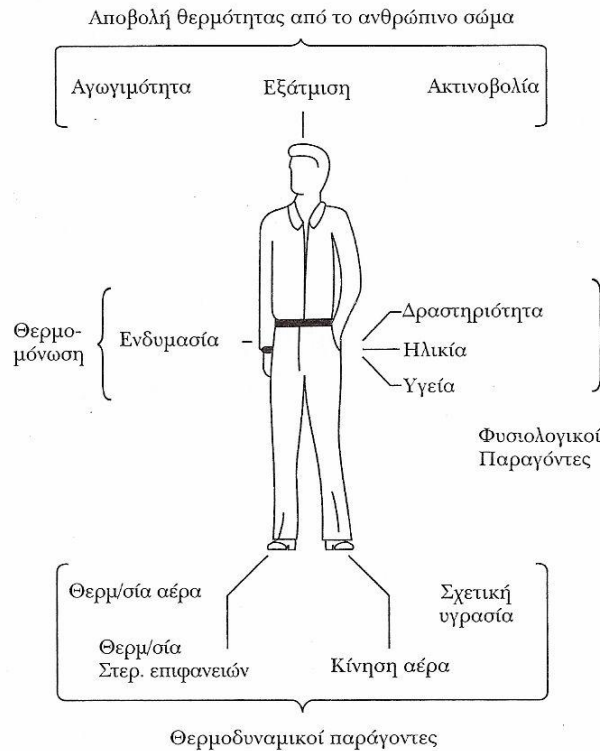
Η λειτουργία δροσισμού ξεκινά όταν η εσωτερική θερμοκρασία του σώματος υπερβεί τους 37°C και η άμυνα κατά της υποθερμίας ξεκινά όταν η θερμοκρασία του δέρματος κατέβει στους 34°C .

Ο υποθάλαμος στον εγκέφαλο είναι το κέντρο το οποίο ελέγχει την εσωτερική θερμοκρασία του σώματος. Αυτό γίνεται μέσω των σημάτων που καταφθάνουν από τους αισθητήρες θερμού, ψυχρού από το δέρμα. Αναφέρεται ότι «όπως αποδείχθηκε από τους νευροφυσιολόγους, η απόκριση των θερμικών υποδοχέων προκαλείται από ηλεκτρικούς παλμούς» καθώς επίσης και ότι η φύση των αισθητήρων είναι «ευαίσθητα στη θερμότητα νευρικά κύτταρα».

Εάν οι αισθητήρες θερμού, ψυχρού, αποστείλουν ταυτόχρονα σήματα, ο εγκέφαλος θα παρεμποδίσει μία από τις δύο ή και τις δύο διαδικασίες των μηχανισμών αντίδρασης που περιγράψαμε.

Πιστεύεται ότι τα σήματα-ηλεκτρικοί παλμοί από τα δύο συστήματα αισθητήρων είναι η βάση για την αξιολόγηση από τον εγκέφαλο. Υποτίθεται ότι η μετάφραση και διαχείριση των σημάτων από τον εγκέφαλο είναι αλγεβρική. Εάν τα σήματα ψυχρού-θερμού είναι του ίδιου μεγέθους, η μετάφραση είναι θερμική ουδετερότητα. Εάν δεν είναι, η μετάφραση είναι ή θερμή ή ψυχρή αίσθηση. Θερμική ουδετερότητα προφανώς σημαίνει ότι ένα άτομο δεν αισθάνεται ούτε ψυχρά ούτε θερμά.

Η εσωτερική θερμοκρασία του σώματος, παίρνει κάποιο χρόνο για να αλλάξει.



Σχήμα 1.2 Θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπινου σώματος

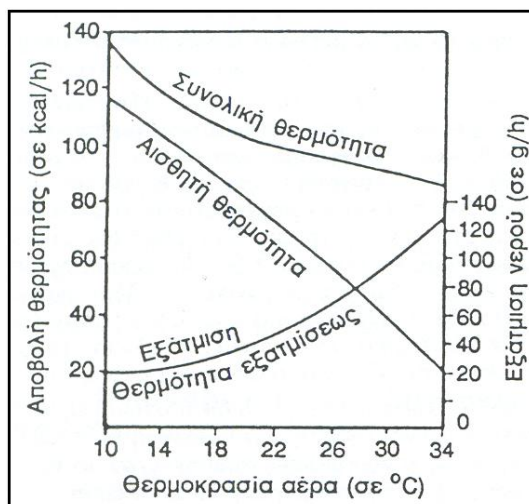
Οπότε, τα σήματα από τον αισθητήρα θερμού αλλάζουν πολύ αργά σε σχέση με τα σήματα από τον αισθητήρα ψυχρού.

Μέσω της διαδικασίας μεταβολισμού, όπου η ενέργεια της τροφής μετατρέπεται μέσω της χώνεψης σε ενέργεια του σώματος, **το ανθρώπινο σώμα παράγει περίσσειμα θερμότητας**. Το ποσό που περισσεύει είναι ανάλογο της δραστηριότητας, με έντονη δραστηριότητα να παράγει υψηλότερα επίπεδα θερμικής ενέργειας.

Το περίσσειμα αυτό πρέπει να διασκορπιστεί, γιατί η εσωτερική θερμοκρασία του σώματος πρέπει να παραμείνει στους 37°C, για να μην συμβούν επιπλοκές στην υγεία του ατόμου. Προσαρμοσμένο σε αυτόν τον μεταβολισμό το ανθρώπινο σώμα παρουσιάζει όλους τους τυπικούς μηχανισμούς μεταφοράς θερμότητας: αγωγή, μεταφορά ή συναγωγή, ακτινοβολία και πρόσθετα την αξιοσημείωτη δυνατότητα να ιδρώνει και να ψύχει τον εαυτό του με την απώλεια θερμότητας με εξάτμιση.

Κάτω από συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας, που συνήθως διαμορφώνουν ένα πλαίσιο θερμικής άνεσης (23,5°C, 50%RH), η μεγαλύτερη απώριψη θερμότητας από το σώμα συντελείται μέσω μεταφοράς και ακτινοβολίας, μόνο ένα 20% μέσω εξάτμισης και πολύ λίγο με αγωγή. Καθώς όμως οι συνθήκες του περιβάλλοντος αλλάζουν, τα θερμορυθμιστικά συστήματα του σώματος αλλάζουν αναλόγως.

Για παράδειγμα εάν η δραστηριότητα είναι συνεχής και η θερμοκρασία ξηρού βολβού ανυψωθεί στους 27°C, τότε, περίπου το 80% της απώλειας θερμότητας του σώματος συντελείται με εξάτμιση και απαίτηση για άφθονη αναπνοή.



Σχήμα 1.3 Αποβολή θερμότητας από αναπαυόμενο άτομο, σε χώρο με ακίνητο αέρα.

Ενδεικτικά σε χώρο γραφείων όπου εκτελείται καθιστική εργασία, με θερμοκρασία αέρα 20°C η αποβολή θερμότητας από επαφή και ακτινοβολία είναι περίπου 80 kcal/h και λόγω εξάτμισης 20 kcal/h.

Κεφάλαιο 2^ο

Θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπου και θερμική άνεση

2.1 Ανταλλαγή θερμότητας

Η ανταλλαγή θερμότητας ανάμεσα στο ανθρώπινο σώμα και το περιβάλλον του γίνεται όπως αναφέρθηκε ήδη, με πολλούς τρόπους:

- α) Με **μεταφορά ή συναγωγή** από το ανθρώπινο σώμα στον αέρα, με τον οποίο βρίσκεται σε επαφή το δέρμα.
- β) Με **ακτινοβολία** από το ανθρώπινο σώμα προς τις επιφάνειες που το περιβάλλουν και αντίστροφα και είναι συνάρτηση της επιφανειακής θερμοκρασίας του σώματος και των γύρω επιφανειών.
- γ) Με **αγωγή**, όπου θερμότητα χάνεται από τα ρούχα, όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντα αέρα είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του σώματος.
- δ) Με **εξάτμιση**, η οποία πραγματοποιείται μέσω της αναπνοής ή από την επιδερμίδα μέσω της άδηλης διαπνοής και του ιδρώτα.

Στη βάση της αρχής της διατήρησης της ενέργειας, το συνολικό θερμικό ισοζύγιο μεταξύ του σώματος και του περιβάλλοντος μπορεί να γραφεί:

$$H_M - W = H_r + H_c + H_e + (H_{ir} + H_{id}) \quad (2.1)$$

όπου:

H_M : Ρυθμός παραγωγής θερμότητας από μεταβολισμό, (W)

W : Εξωτερικό μηχανικό έργο, (W)

H_e : Απώλεια θερμότητας εξαιτίας της εξάτμισης του ιδρώτα από την επιφάνεια του δέρματος, (W)

H_{id} : Απώλεια αισθητής θερμότητας δια μέσου της αναπνοής (οφειλόμενη στη θερμοκρασιακή διαφορά του εισερχόμενου και εξερχόμενου αέρα), (W)

H_{ir} : Απώλεια λανθάνουσας θερμότητας δια μέσου της αναπνοής (οφειλόμενη στην εξάτμιση του νερού), (W)

H_r : Ανταλλαγή θερμότητας με ακτινοβολία, (W)

H_c : Μεταφορά θερμότητας με συναγωγή, (W)

Ο ρυθμός παραγωγής θερμότητας και απώλειας αλλάζει από άνθρωπο σε άνθρωπο. Αυτή η μεταβλητότητα μπορεί να προσδιοριστεί εκφράζοντας τις μεταβλητές ανά μονάδα εμβαδού επιφάνειας.

Το κλάσμα του ρυθμού του μεταβολισμού που μετατρέπεται σε έργο (μηχανική ενέργεια) W/H_M ονομάζεται ικανότητα έργου (work efficiency). Για φυσιολογικές δραστηριότητες σε κατοικίες και γραφεία η ικανότητα έργου είναι μικρή.

Ο ρυθμός μεταβολισμού εκφράζεται σε $Watt/m^2$ εμβαδόν επιφάνειας σώματος ή σε met ($1\ met = 58\ W/m^2$). Στον **Πίνακα 2.1** δίνεται ο ρυθμός μεταβολισμού για τυπικές δραστηριότητες.

Πίνακας 2.1: Ρυθμοί μεταβολισμού

Δραστηριότητα	Ρυθμός Μεταβολισμού	
	W/m ²	met
Ξαπλωμένος	46	0,8
Καθήμενος, χαλαρωμένος	58	1,0
Όρθιος, χαλαρωμένος	70	1,2
Καθιστική δραστηριότητα (γραφείο, κατοικία, σχολείο)	70	1,2
Δραστηριότητα όρθιου (ψώνια, εργαστήριο)	93	1,6
Δραστηριότητα όρθιου (εμποροϋπάλληλος)	116	2,0
Μεσαία δραστηριότητα (επίμονη μηχανική εργασία)	165	2,8

Το εμβαδόν της επιφάνειας του σώματος μπορεί να εκτιμηθεί από τον τύπο

$$A_N = 0,202 \cdot W_b^{0,425} \cdot B_h^{0,725} \quad (2.2)$$

όπου:

W_b : είναι το βάρος του σώματος και

B_h : είναι το ύψος του σώματος.

Ενδεικτικά, η επιφάνεια του σώματος για μία μέση γυναίκα είναι 1,6 m² και για έναν άντρα 1,8 m².

Η ενδυμασία παίζει ένα σημαντικό ρόλο σε αυτή τη διεργασία μεταφοράς θερμότητας.

Η επίδραση του ντυσίματος ερμηνεύεται με την έννοια της θερμικής αντίστασης και εκφράζεται με τη μονάδα «clo» (1 clo = 0,155 m²K/W). Στον **Πίνακα 2.2** δίνονται μερικές τιμές τυπικών ντυσιμάτων.

Πίνακας 2.2 Τιμές τυπικών συνόλων ενδυμασίας

Είδος Ενδυμασίας	Θερμική Αντίσταση	
	m ² K/W	clo
Γυμνός Άνθρωπος	0	0
Σορτς	0,015	0,1
Ελαφρά καλοκαιρινή ενδυμασία	0,08	0,5
Ελαφριά ενδυμασία εργασίας	0,11	0,7
Μέτρια ενδυμασία Άνοιξης	0,16	1,0
Χειμερινή ενδυμασία	0,23	1,5

Η εξίσωση θερμικού ισοζυγίου ως συνάρτηση περιβαλλοντικών μεταβλητών:

Αντικαθιστώντας τις ανάλογες εξισώσεις στην (2.1) και ορίζοντας την ικανότητα έργου ως $\eta = W/H_M$, τότε η εξίσωση του θερμικού ισοζυγίου και της θερμοκρασίας των ρούχων δίνονται από τις παρακάτω εξισώσεις:

Εξίσωση του θερμικού ισοζυγίου:

$$\left[H_M/A_N (1 - \eta) - 0,32 [35,7 - 0,0275 H_M/A_N (1 - \eta) - 84,2 - P_a] - 0,42 [H_M/A_N (1 - \eta) - 58] - 1,410^{-3} H_M/A_N (34 - T_a) - 0,0017 H_M/A_N (44 - P_a) \right] = \left[0,71 \sigma F_{cl} [(T_{cl} + 273)^4 - (T_{mrt} + 273)^4] + F_{cl} h_c (T_{cl} - T_a) \right] \quad (2.3)$$

Με:

$$T_{cl} = 35,7 - 0,0275 H_M/A_N (1 - \eta) - 0,155 I_{cl} [0,71 \sigma F_{cl} [(T_{cl} + 273)^4 - (T_{mrt} + 273)^4] + F_{cl} h_c (T_{cl} - T_a)] \quad (2.4)$$

Οι μεταβλητές που εμφανίζονται στις εξισώσεις (2.3) και (2.4) είναι οι I_{cl} , F_{cl} , H_M/A_N , η , v , T_a , P_a , T_{mrt} . Αυτές εξαρτώνται από το ντύσιμο, τη δραστηριότητα και από τις συνθήκες

του περιβάλλοντος,

όπου:

I_{cl} = η θερμική αντίσταση κάθε επιμέρους ρουχισμού

F_{cl} = ο λόγος του εμβαδού της επιφάνειας ντυμένου σώματος προς το εμβαδόν επιφανείας γυμνού σώματος

v = η ταχύτητα του αέρα (m/s)

T_a = η θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)

P_a = η μερική πίεση ατμών του αέρα (mb)

T_{mrt} = η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (°C)

σ = η σταθερά Stefan - Boltzman ($5,78 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)

T_{cl} = η θερμοκρασία εξωτερικής επιφάνειας ενδεδυμένου σώματος

h_c = συντελεστής μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή ($\text{W/m}^2 \cdot \text{°C}$)

2.2 Παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η θερμική άνεση

Η ικανοποίηση της εξίσωσης (2.3) είναι προφανώς προϋπόθεση και συνθήκη για θερμική Άνεση (Fanger, 1970)¹. Έτσι οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η θερμική άνεση είναι, όπως προκύπτει από την εξίσωση, οι εξής:

- **Περιβαλλοντικοί**, όπως είναι η θερμοκρασία του αέρα, η μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία των επιφανειών, η ατμοσφαιρική πίεση, η

¹**Povl Ole Fanger(1934 - 2006)**: Η συνεισφορά του στην έρευνα για τη θερμική άνεση ήταν πολύ σημαντική και οι εργασίες του αποτελούν βάση για περαιτέρω έρευνα. Μελέτησε τις επιπτώσεις που έχει στην υγεία η ποιότητα του αέρα στους εσωτερικούς χώρους και τα αποτελέσματά του έδειξαν ότι κακή ποιότητα αέρα στο εσωτερικό των σπιτιών προκαλεί άσθμα στα παιδιά και κακή ποιότητα αέρα στους χώρους γραφείων προκαλεί μείωση της παραγωγικότητας.

ταχύτητα του αέρα και η υγρασία.

- **Οργανικοί**, όπως είναι το φύλο, η ηλικία και τα φυλετικά χαρακτηριστικά των ενοίκων.
- **Προσωπικοί**, όπως είναι το επίπεδο δραστηριότητας (σε σχέση με το μεταβολισμό), το είδος και ο βαθμός ένδυσης.

Πειραματικές μελέτες απέδειξαν πως **οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την άνεση** είναι:

1. Η θερμοκρασία του αέρα.
2. Η μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία των επιφανειών που περικλείουν το χώρο.
3. Η σχετική υγρασία.
4. Η ταχύτητα του αέρα.
5. Η ένδυση.
6. Ο μεταβολισμός.
7. Τοπική θερμική δυσφορία

Η θερμική άνεση μπορεί να επιτευχθεί μεταβάλλοντας μία ή περισσότερες από τις παραπάνω παραμέτρους.

2.2.1 Θερμοκρασία του αέρα

Θερμοκρασία του αέρα είναι, «η θερμοκρασία ξηρού βολβού του αέρα που περιβάλλει τους χρήστες» ενός χώρου. Η θερμοκρασία ξηρού βολβού είναι σημαντική για την ρύθμιση της άνεσης, ειδικά σε κρύες συνθήκες και σχετική υγρασία μεταξύ 40-60%.

Η θερμοκρασία του αέρα είναι αναμφισβήτητα καθοριστική παράμετρος όταν αναφερόμαστε στο εσωτερικό περιβάλλον του κτηρίου. Επηρεάζει την άνεση με πολλούς τρόπους και σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες αποτελεί το κλειδί για το

ενεργειακό ισοζύγιό μας, την αίσθηση του θερμικού περιβάλλοντος, την άνεση, τη δυσφορία και την αίσθηση της ποιότητας εσωτερικού αέρα. Οι παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμοκρασία στο εσωτερικό των κτηρίων μπορούν να ενταχθούν σε τρεις κατηγορίες: το εξωτερικό περιβάλλον, το σχεδιασμό του κτηρίου και το σύστημα θέρμανσης, ψύξης και αερισμού.

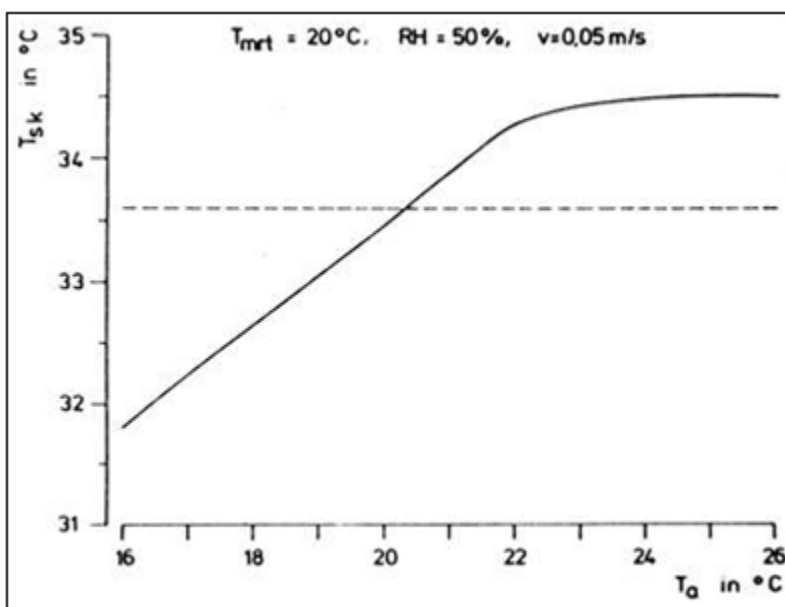
Πίνακας 2.3 *Παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό ενός κτηρίου*

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

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

δέρματος και του υποθαλάμου ρυθμίζοντας τη θερμοκρασία του. Η θερμοκρασία του αέρα επηρεάζει και τη μέση θερμοκρασία του δέρματος. Το φυσικό αυτό μέγεθος έχει εισαχθεί για την πληρέστερη αξιολόγηση της θερμικής άνεσης.

Έρευνες που πραγματοποιήθηκαν, κατέληξαν στη συσχέτιση της θερμοκρασίας του αέρα και της μέσης θερμοκρασίας του δέρματος. Όπως παρατηρούμε στο **Διάγραμμα 2.1**, η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα T_a οδηγεί σε συνεχόμενη αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του δέρματος έως και τους 21°C . Η περαιτέρω αύξηση της T_a ενεργοποιεί το μηχανισμό της εφίδρωσης με άμεση συνέπεια την ψύξη του δέρματος και γι' αυτό το λόγο η κλίση της ευθείας του Διαγράμματος 2.1 μειώνεται σημαντικά μετά τους 21°C . Η μέση θερμοκρασία δέρματος που θεωρείται ως φυσιολογική, σε αντιστοιχία με τη θερμοκρασία ισορροπίας του σώματός μας στους $37,6^\circ\text{C}$, είναι κοντά στους $33,5^\circ\text{C}$, όπως φαίνεται και από την οριζόντια γραμμή του Διαγράμματος 2.1. Για τη διατήρηση αυτής της μέσης θερμοκρασίας δέρματος η θερμοκρασία του αέρα θα πρέπει να είναι κοντά στους 20°C .



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

Η θερμοκρασία του αέρα μπορεί να μετρηθεί με ένα απλό θερμόμετρο ξηρού βολβού και αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές παραμέτρους της θερμικής άνεσης, δημιουργώντας την αίσθηση της «ζέστης» ή του «κρύου» σε ένα συγκεκριμένο εσωτερικό χώρο. Άλλωστε, **το μεγαλύτερο ποσοστό της θερμότητας που αποβάλλεται από το ανθρώπινο σώμα, μεταφέρεται στο περιβάλλον, ανάλογα με τη θερμοκρασία που επικρατεί σε αυτό.**

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

2.2.2 Μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία (T_{mrt})

Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, σε σχέση με κάποιον άνθρωπο που βρίσκεται σε ένα συγκεκριμένο σημείο ενός δωματίου και έχει μια δεδομένη στάση σώματος, αλλά και ένα συγκεκριμένο τρόπο ένδυσης, **«ορίζεται ως η ομοιόμορφη επιφανειακή θερμοκρασία ενός φανταστικού μαύρου κελύφους, που θα προκαλέσει την ίδια ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ ατόμου και αυτού, με αυτή που λαμβάνει χώρα στις εξεταζόμενες συνθήκες»** (ASHRAE). Παρατηρούμε, λοιπόν, ότι η μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία σχετίζεται άμεσα με τον άνθρωπο, τη θέση και τον προσανατολισμό του στον χώρο, αλλά και τη στάση του σώματός του. Έτσι, η T_{mrt} μπορεί να διαφέρει ανάμεσα σε ένα άνθρωπο που στέκεται όρθιος, και σε κάποιον άλλο που κάθεται σε ένα δεδομένο σημείο του χώρου.

Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας δίνεται από τη σχέση:

$$T_{mrt} = \left[\sum_i^n F_{p-i} \cdot (T_i + 273)^4 \right]^{1/4} - 273 \quad (2.5)$$

Όπου F_{p-1} : ο συντελεστής γωνίας μεταξύ του ατόμου και της επιφάνειας i

$$\text{με } \sum_i^n F_{p-1} = 1$$

και T_i : η θερμοκρασία της επιφάνειας i ($^{\circ}\text{C}$)

ή από την σχέση:

$$T_{\text{mrt}} = T_1 F_{p-1} + T_2 F_{p-2} + \dots + T_n F_{p-n} \quad (2.6)$$

όπου:

T_1, T_2, \dots, T_n είναι οι επιμέρους θερμοκρασίες των επιφανειών που περικλείουν το χώρο (δάπεδο, τοίχοι, οροφή) και

$F_{p-1}, F_{p-2}, \dots, F_{p-n}$ είναι συντελεστές οι οποίοι ποικίλουν ανάλογα με τη θέση του ατόμου στο χώρο και τη γωνία που σχηματίζει με τις επιμέρους επιφάνειες.

Στην πράξη, και ανάλογα με το επίπεδο ακρίβειας που απαιτείται, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ο εξής απλοποιημένος τύπος:

$$T_{\text{mrt}} = (T_1 A_1 + T_2 A_2 + \dots + T_n A_n) / (A_1 + A_2 + \dots + A_n) \quad (2.7)$$

όπου:

T_1, T_2, \dots, T_n , είναι οι θερμοκρασίες των επιμέρους επιφανειών και A_1, A_2, \dots, A_n , είναι τα εμβαδά των αντίστοιχων επιφανειών.

Ωστόσο, ο παραπάνω τύπος θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί με προσοχή, καθώς μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένες εκτιμήσεις. Εάν, για παράδειγμα, θεωρήσουμε ένα δωμάτιο με θερμαινόμενο δάπεδο και ενιαία, μικρότερη θερμοκρασία τοίχων και οροφής, ο παραπάνω τύπος θα υπερεκτιμήσει την T_{mrt} σε θέση με μεγάλο ύψος, εάν

αυξηθεί αρκετά το ύψος του δωματίου.

Η εργασία μέτρησης των θερμοκρασιών των επιφανειών ενός δωματίου είναι χρονοβόρα και ακόμη περισσότερο ο υπολογισμός των παραγόντων των γωνιών που σχηματίζονται. Γι' αυτό και ο υπολογισμός της T_{mrt} αποφεύγεται αν είναι επιτρεπτό.

Για τον προσδιορισμό της χρησιμοποιούνται η θερμοκρασία μαύρης σφαίρας (T_g) η θερμοκρασία αέρα, T_{air} και η ταχύτητα αέρα. Η εξίσωση για τον υπολογισμό της είναι:

$$T_{mrt} = [(T_g + 273) + (h_g/h_r) * (T_g - T_{air}) - 273]^{1/4} \quad (2.8)$$

όπου:

ο συντελεστής ροής θερμότητας: $h_r = \epsilon * \sigma = 0,95 * 5,67 * 10^{-8} = 5,38 * 10^{-8}$

και για τη σφαίρα: $h_g = 6,3 * v^{0.6}/D^{0.4}$

Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας παίζει κυρίαρχο ρόλο στην ανταλλαγή θερμότητας λόγω ακτινοβολίας μεταξύ του σώματος και του περιβάλλοντος. Η θερμική επίδραση στο ανθρώπινο σώμα του μεγέθους T_{mrt} είναι παρόμοια με αυτή της θερμοκρασίας του αέρα. Σε χαμηλές ταχύτητες αέρα κοντά στα 0,1 m/s, η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα κατά 1°C προκαλεί το ίδιο θερμικό αποτέλεσμα με την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας κατά 1°C. Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας διαφοροποιείται από τη θερμοκρασία του αέρα, γιατί είναι πρωτίστως υπεύθυνη για τις χωροταξικές διαφορές της θερμοκρασίας σε ένα χώρο και τη δημιουργία τοπικής δυσφορίας.

Στο **Σχήμα 2.1** φαίνεται καθαρά ότι η μεγαλύτερη ροή θερμότητας από το σώμα σε τυπικές κλιματικές συνθήκες (χωρίς κλιματισμό του αέρα) οφείλεται στην ακτινοβολία.

Heat Balance Modelling

Internal heat: 156W

Clothing temperature: 26,9°C

Mean skin temperature: 34,4°C

Core temperature: 36,9°C



Respiratory humidification: -11 W

Respiratory heating: -2 W

Water vapour diffusion: -24 W

Sweat evaporation: -12 W

Convection: -48 W

Net radiation : -59 W

Σχήμα 2.1 Ροές θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα προς το περιβάλλον.
(Με συνθήκες μέτρησης: $T_a=T_{mrt}=21^\circ\text{C}$, $RH=50\%$, $v=0,05\text{m/s}$, ύψος=1,80m, βάρος=75kg, ηλικία=35, ρουχισμός=1 clo)

Γενικά, για να αισθάνεται κάποιος θερμικά άνετα σε ένα χώρο, θα πρέπει η διαφορά ανάμεσα στη θερμοκρασία του αέρα και των περιβαλλουσών επιφανειών να μην ξεπερνά τους 3-4°C, ανάλογα με τη θέση και το μέγεθος των επιφανειών που περιβάλλουν το χώρο αυτό, καθώς και την ικανότητα εκπομπής θερμότητας.

2.2.3 Υγρασία

Η υγρασία, μαζί με τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, αποτελούν τα δυσκολότερα μεγέθη κατά την αξιολόγηση του εσωκλίματος και εκφράζεται με σχετικούς και απόλυτους όρους. Ως ορισμός η υγρασία είναι το ποσό των υδρατμών που υπάρχει στον αέρα. Η σχετική υγρασία, που χρησιμοποιείται συχνότατα στην αξιολόγηση της

θερμικής άνεσης, εκφράζεται ως 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 υγρασία, γενικά, καθορίζει την ικανότητα αποθήκευσης υδρατμών από τον αέρα. Η σχετική υγρασία επενεργεί στην εξάτμιση του νερού από την επιδερμίδα μεταβάλλοντας τη θερμοκρασία του δέρματος και επηρεάζοντας το θερμικό ισοζύγιο του σώματος. Συνοπτικά, η υγρασία του αέρα επηρεάζει τους εξής τρεις μηχανισμούς του σώματός μας:

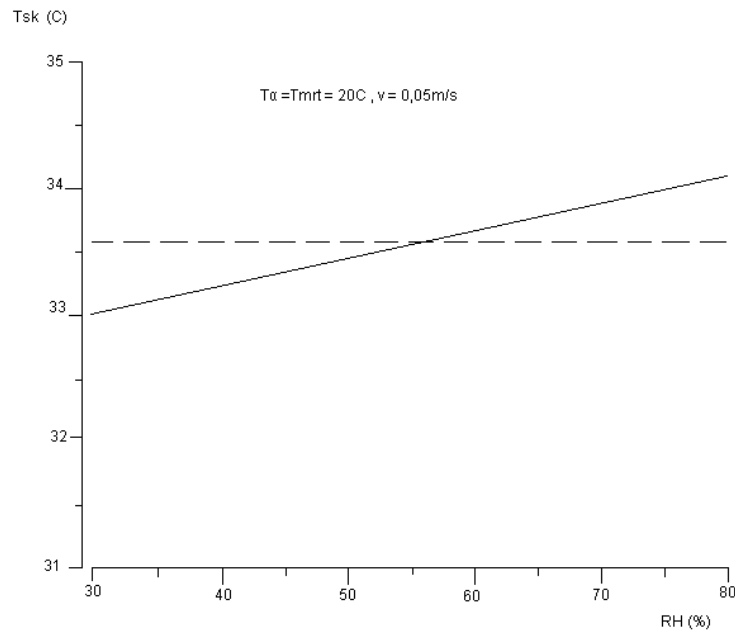
- το μηχανισμό διάχυσης των υγρών υπό τη μορφή αερίων του σώματός μας μέσω του δέρματος,
- το μηχανισμό εξάτμισης του ιδρώτα από την επιφάνεια του δέρματος και
- το μηχανισμό ύγρανσης του εισπνεόμενου αέρα.

Οι μηχανισμοί της διάχυσης και της εξάτμισης εξαρτώνται άμεσα από τη σχετική υγρασία του αέρα. Αν το περιεχόμενο του αέρα είναι υψηλό σε υδρατμούς (σχετική υγρασία >60-70%) και η θερμοκρασία του αέρα υψηλή, το σώμα μας ενεργοποιεί το μηχανισμό της εφίδρωσης. Ωστόσο, η εξάτμιση του ιδρώτα είναι αδύνατη σε αέρα με υψηλό περιεχόμενο υδρατμών και ο ιδρώτας παραμένει στο δέρμα διαβρέχοντάς το, αδυνατώντας έτσι να αποβάλει θερμότητα που είναι και ο μόνος τρόπος διατήρησης του θερμικού ισοζυγίου σε υψηλές θερμοκρασίες. Η κατάσταση αυτή οδηγεί το σώμα μας να αισθάνεται τον αέρα πιο ζεστό απ' όσο πραγματικά είναι και η ατμόσφαιρα μοιάζει να είναι κολλώδης.

Αντίθετα, το μικρό περιεχόμενο υδρατμών του αέρα (σχετική υγρασία <30%) καθιστά εφικτή την εξάτμιση μεγάλων ποσοτήτων υγρών, άρα και του ιδρώτα του δέρματος προκαλώντας έτσι μια αίσθηση δροσισμού. Γενικά η σχετική υγρασία δεν έχει νόημα σαν χωριστός περιβαλλοντικός δείκτης χωρίς τη γνώση της θερμοκρασίας ξηρού βολβού.

Πέρα από τις παραπάνω επιδράσεις της υγρασίας, περαιτέρω έρευνες έχουν γίνει για τη σχέση των τιμών της σχετικής υγρασίας με το δέρμα και την αναπνευστική οδό. Το **Διάγραμμα 2.2** παρουσιάζει τη μέση θερμοκρασία του δέρματος σε σχέση με τη μεταβολή της σχετικής υγρασίας. Στο διάγραμμα φαίνεται καθαρά η μικρή επίδραση της σχετικής υγρασίας στη μέση θερμοκρασία του δέρματος (50% μεταβολή σχετικής υγρασίας, επιφέρει μεταβολή 1,2 – 1,3°C της μέσης θερμοκρασίας δέρματος).

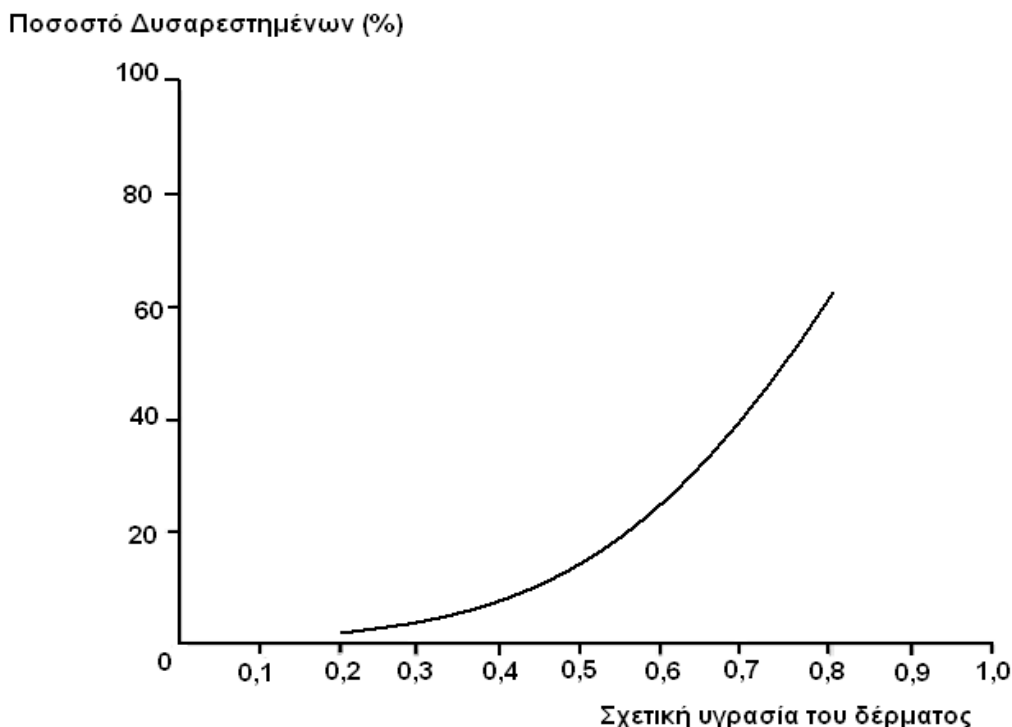
Σε γενικές γραμμές, η ανοσοποιητική ικανότητα του δέρματος μειώνεται όταν το δέρμα δεν υγραίνεται επαρκώς. Απ' την άλλη μεριά το αίσθημα της δυσαρέσκειας εμφανίζεται όταν το δέρμα είναι έντονα βρεγμένο, υπό την παρουσία υψηλών θερμοκρασιών, υψηλής σχετικής υγρασίας και δραστηριότητας εντονότερης της καθιστικής. Η έννοια της διαβροχής του δέρματος μελετάται από το 1937, όπου ο Gagge έδωσε τον παρακάτω ορισμό: «η διαβροχή του δέρματος είναι η διαφορά μεταξύ της πραγματικής απώλειας θερμότητας λόγω εξάτμισης του ιδρώτα, προς τη μέγιστη που μπορεί να επιτευχθεί υπό τις ίδιες περιβαλλοντικές συνθήκες». Εναλλακτικά, η διαβροχή του δέρματος μπορεί να οριστεί λαμβάνοντας υπόψη την επιφάνεια του σώματος που είναι καλυμμένο με ιδρώτα λόγω εφίδρωσης. Η διαβροχή του δέρματος δηλώνει την ένταση που επιβάλλεται στο θερμορυθμιστικό σύστημα του σώματος και αποτελεί πολύ καλό δείκτη δυσαρέσκειας.



Διάγραμμα 2.2 Μεταβολή της σχετικής υγρασίας RH του αέρα και της μέσης θερμοκρασίας του δέρματος T_{sk} .

(Με συνθήκες μέτρησης: άνδρας 35 ετών, τύπος ρουχισμού 1clo, μεταβολικός ρυθμός 60W, $T_{mrt}=20^\circ\text{C}=T_a$, ταχύτητα αέρα $v=0,05\text{m/s}$)

Η παραπάνω μελέτη έγινε με στόχο τον προσδιορισμό του ορίου διαβροχής του δέρματος και των άνω ορίων σχετικής υγρασίας, ώστε να αποφευχθεί το αίσθημα της δυσανεξίας. Τα αποτελέσματα της παραπάνω μελέτης απέδειξαν ότι η κατάσταση του δέρματος είναι λιγότερο αποδεκτή καθώς αυξάνεται η σχετική υγρασία του δέρματος. Το **Διάγραμμα 2.3** αναπαριστά ακριβώς αυτό το συμπέρασμα. Όπου ποσοστό δυσανεξίας: $PD = 100/[1+\exp(5 - 6,6 - RH)]$

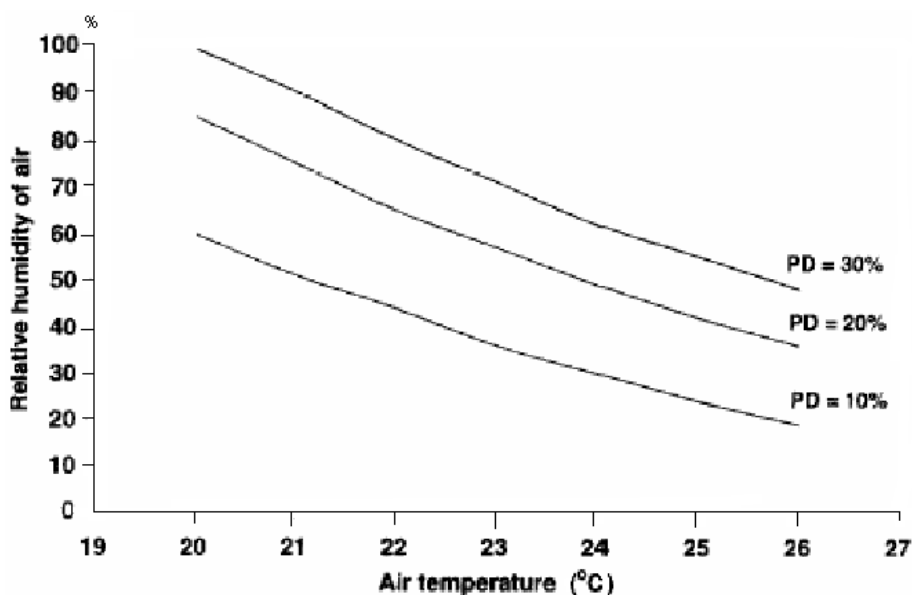


Διάγραμμα 2.3 Ποσοστό δυσαρεστημένων χρηστών, σε σχέση με τη σχετική υγρασία του δέρματος.

Η επίδραση της υγρασίας του αέρα στην αναπνευστική οδό λαμβάνει χώρα για δύο λόγους. Πρώτον, οι βλεννώδεις μεμβράνες της αναπνευστικής οδού ψύχονται κατά την εισπνοή του αέρα. Η ψύξη αυτή παίζει κυρίαρχο ρόλο στην αντίληψη του θερμικού περιβάλλοντος. Δεύτερον, η αναπνευστική οδός δρα ως ένα σύστημα κλιματισμού που ρυθμίζει την υγρασία και τη θερμοκρασία του εισπνεόμενου αέρα, πριν αυτός φτάσει στους πνεύμονες. Το σημείο της αναπνευστικής οδού στο οποίο γίνεται ο κλιματισμός του αέρα, εξαρτάται από τη θερμοκρασία και το περιεχόμενο σε υδρατμούς του εισπνεόμενου αέρα. Σε χαμηλούς ρυθμούς αναπνοής και τυπικές τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας, ο κλιματισμός του αέρα γίνεται στο άνω μέρος της εισπνεόμενου αέρα είναι ένας πολύπλοκος μηχανισμός, όπου έχουμε ανταλλαγή ενέργειας υπό τη μορφή θερμότητας μέσω εξάτμισης και μεταφοράς. Σε υψηλή θερμοκρασία και υγρασία η ικανότητα της αναπνευστικής οδού για ψύξη του εισπνεόμενου αέρα μειώνεται και ο αέρας μοιάζει να είναι αποπνικτικός και θερμότερος απ' όσο πραγματικά είναι. Στην περίπτωση όπου η υγρασία του αέρα είναι πολύ χαμηλή, ο κίνδυνος να ξηρανθούν οι

βλεννώδεις μεμβράνες είναι μεγάλοι. Η ξηρότητα των μεμβρανών μειώνει την προστατευτική τους ισχύ και ο καθαρισμός του αέρα, μαζί με τον κλιματισμό του πριν αυτός φτάσει στους πνεύμονες, που γίνεται στην αναπνευστική οδό δεν είναι δυνατός.

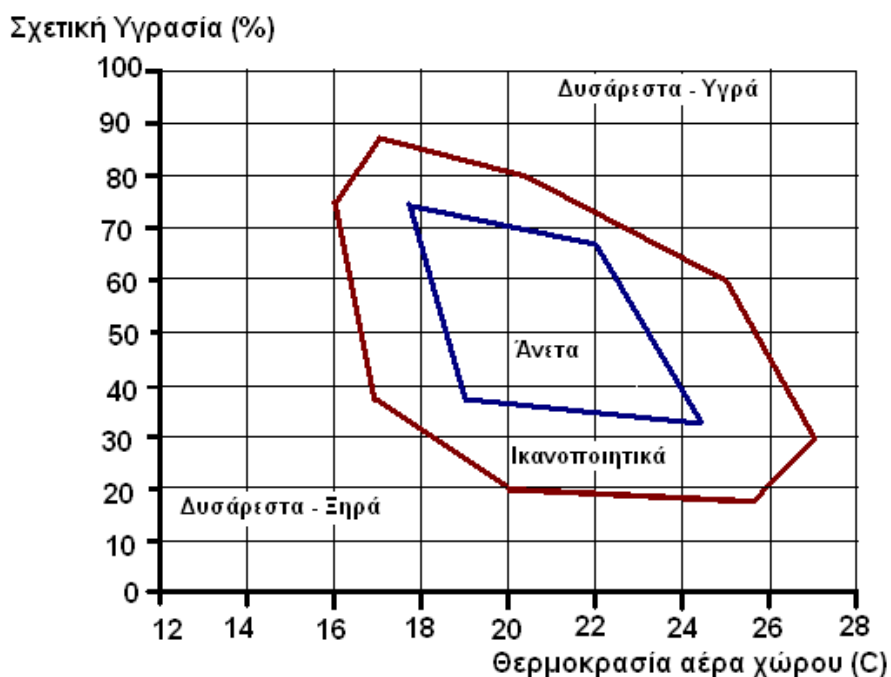
Στο **Διάγραμμα 2.4** παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ υγρασίας και θερμοκρασίας αέρα σε σχέση με το 10, 20, 30% των δυσανεκτών χρηστών. Η δυσανεκτικότητα αφορά, σ' αυτή την περίπτωση, μόνο την αίσθηση που προκαλεί ο αέρας στην αναπνευστική οδό. Το Διάγραμμα 2.4 επιβεβαιώνει πλήρως τη σχέση μεταξύ υγρασίας,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



Διάγραμμα 2.4 Σχέση που συνδέει τη θερμοκρασία του αέρα, τη σχετική του υγρασία και το ποσοστό των δυσανεκτών χρηστών.

Τα αποδεκτά όρια σχετικής υγρασίας του αέρα είναι λιγότερο σαφή από αυτά της θερμοκρασίας και το ανώτερο επιτρεπτό επίπεδο της εξακολουθεί ακόμη να βρίσκεται υπό μελέτη. Ωστόσο, όπως και στην περίπτωση της θερμοκρασίας του αέρα, τα αποδεκτά όρια της σχετικής υγρασίας για την επίτευξη θερμικής άνεσης εξαρτώνται από συνδυασμό παραμέτρων. Το ζήτημα της θερμικής άνεσης είναι λοιπόν πολυπαραγοντικό με τη θερμοκρασία του αέρα, ιδιαίτερα, να παίζει κρίσιμο ρόλο στον προσδιορισμό της αποδεκτής σχετικής υγρασίας. Ως αποτέλεσμα του παραπάνω

γεγονότος, τα διαγράμματα θερμικής άνεσης, όπως αυτά της σχετικής υγρασίας σε συνάρτηση της θερμοκρασίας (όπως το **Διάγραμμα 2.5**), οριοθετούν το πεδίο θερμικής ευεξίας και προσδιορίζουν το κατάλληλο ζεύγος τιμών θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας.



Διάγραμμα 2.5 Πεδίο θερμικής ευεξίας καθορισμένο από τη σχετική υγρασία και τη θερμοκρασία του αέρα

Πειραματικές μελέτες έδειξαν ότι σε μεταβατικές συνθήκες (δηλαδή, όταν ένας άνθρωπος βγαίνει έξω από το κτήριο ή μετακινείται από ένα χώρο σε κάποιον άλλο με διαφορετική υγρασία), η θερμική επίδραση της υγρασίας στο αίσθημα της άνεσης είναι 2-3 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με την επίδρασή της σε συνθήκες παρατεταμένης παραμονής σε ένα χώρο στον οποίο η υγρασία διατηρείται σταθερή.

Γενικά, η σχετική υγρασία σε ένα εσωτερικό χώρο πρέπει να κυμαίνεται ανάμεσα στο 30-70%. Σχετική υγρασία κάτω του 30%, προκαλεί ξηρότητα των βλεννογόνων, του λαιμού, ακόμη και προβλήματα στην όραση, ενώ σχετική υγρασία άνω του 70% μπορεί να προκαλέσει το σχηματισμό μούχλας στο χώρο. Στους συνήθεις υπολογισμούς, πάντως, η σχετική υγρασία λαμβάνεται γύρω στο 50%.

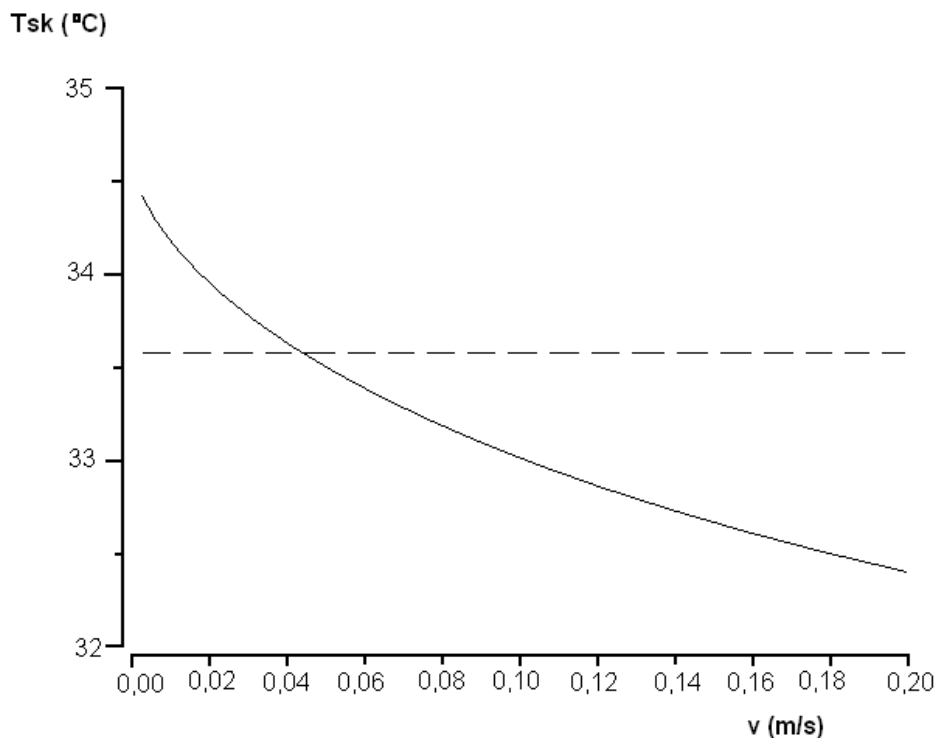
Για τον υπολογισμό της μπορούν να χρησιμοποιηθούν η θερμοκρασία σημείου δρόσου T_{dp} , η μερική πίεση υδρατμών P_a και η θερμοκρασία υγρού βολβού T_{wb} . Η θερμοκρασία σημείου δρόσου είναι η μετρούμενη όταν ο αέρας είναι κορεσμένος με υδρατμούς. Η μετρούμενη πίεση σε T_{dp} , είναι η ατμοσφαιρική πίεση υδρατμών P_a .

Η θερμοκρασία υγρού βολβού είναι η θερμοκρασία για κάθε κατάσταση αέρα όσον αφορά την περιεκτικότητα σε υδρατμούς, στην οποία το νερό μπορεί να εξατμισθεί και να κορέσει τον αέρα, ακριβώς στην ίδια πίεση και θερμοκρασία. Είναι ένας δείκτης για την έντονη θερμική καταπόνηση, με ανώτερο όριο ανοχής τους 30°C για ακίνητο αέρα.

2.2.4 Ταχύτητα του αέρα

Το ανθρώπινο σώμα δε διαθέτει ειδικά αισθητήρια για την ταχύτητα του αέρα. Αυτή προσδιορίζεται έμμεσα απ' τον ανθρώπινο εγκέφαλο, από τις μεταβολές της θερμοκρασίας στο δέρμα. Η κίνηση του αέρα γύρω από το ανθρώπινο σώμα μπορεί να επηρεάσει το αίσθημα της θερμικής άνεσης καθορίζοντας, αφενός την ανταλλαγή της θερμότητας, με μεταφορά (συναγωγή), ανάμεσα στο ανθρώπινο σώμα και το περιβάλλον, και αφετέρου την περιεκτικότητα του αέρα σε υδρατμούς. Έτσι, **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.**

Οι μεταβολές στη θερμοκρασία του σώματος από την ταχύτητα του αέρα είναι μάλλον απότομες, καθώς ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας δεν είναι γραμμικός. Στο **Διάγραμμα 2.6** φαίνεται η σχέση που συνδέει την ταχύτητα του αέρα και τη μέση θερμοκρασία δέρματος. Στις μικρές ταχύτητες, μικρές μεταβολές της ταχύτητας προκαλούν μεγαλύτερες απώλειες θερμότητας σε σχέση με τις ίδιες μικρές μεταβολές ταχύτητας σε υψηλότερες ταχύτητες αέρα.



Διάγραμμα 2.6 Σχέση μεταξύ της ταχύτητας του αέρα v και της μέσης θερμοκρασίας του δέρματος T_{sk}
 (Με συνθήκες μέτρησης: Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας $T_{mrt}=T_a=20^\circ\text{C}$, σχετική υγρασία $RH=50\%$, μεταβολικός ρυθμός 60W , άνδρας 35 ετών, ρουχισμός 1 clo)

Η ταχύτητα του αέρα σε φυσικά αεριζόμενα κτήρια είναι κοντά στα 0,1 m/s. Ενώ στους χώρους όπου διατηρούν μηχανικό αερισμό η ταχύτητα του αέρα εμφανίζεται μεγαλύτερη από τις ταχύτητες του Διαγράμματος 2.6. Στο πρότυπο της ASHRAE καθορίζεται η τιμή της ταχύτητας του αέρα για το καλοκαίρι και το χειμώνα (**Πίνακας 2.4**).

Πίνακας 2.4 Τιμές της ταχύτητας του αέρα σε m/s κατά την ASHRAE

Περιβάλλον	Ταχύτητα αέρα (m/s)
Χειμώνας	<0,15
Καλοκαίρι	<0,25
Για θερμοκρασία αέρα >26°C	<0,275m/s ανά 10°C
Για θερμοκρασία αέρα 28°C	<0,8

Ενώ, κατά τις Τεχνικές Οδηγίες του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας (ΤΟΤΕΕ), οι συνιστώμενες τιμές της ταχύτητας του αέρα σε κλειστούς χώρους παρουσιάζονται στον **Πίνακα 2.5**.

Πίνακας 2.5 Ενδεικνυόμενες ταχύτητες αέρα σε κλειστούς χώρους.

ΕΝΔΕΙΚΝΥΟΜΕΝΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ		
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ (m/s)	ΕΠΙΔΡΑΣΗ	ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΗ ΧΡΗΣΗ
0-0,08	Παράπονα για έλλειψη κίνησης του αέρα	
0,125	Ιδανική κατάσταση	Κατοικίες, γραφεία
0,125-0,25	Πολύ ικανοποιητική κατάσταση αλλά η ταχύτητα των 0,25 m/s πλησιάζει τη μέγιστη	Κατοικίες, γραφεία
0,325	Όχι ικανοποιητική για χώρους γραφείων. Ο αέρας παρασύρει ελαφριά χαρτιά από τα γραφεία.	Κατοικίες, γραφεία
0,375	Μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα για άτομα που κινούνται	Εμπορικά καταστήματα
0,375-1,5	Ξεπερνάει τη μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα αέρα	Επιτρεπόμενη μόνο για βιομηχανικές εφαρμογές

Όταν, λοιπόν, η θερμοκρασία του αέρα είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του σώματος, η δημιουργία ρεύματος προκαλεί την αίσθηση του ψύχους και δημιουργεί δυσφορία στους ενοίκους. Αντίθετα, όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία του σώματος, οι υψηλές ταχύτητες αέρα αυξάνουν τους ρυθμούς εφίδρωσης, και κατά συνέπεια, βελτιώνουν την αίσθηση του δροσισμού, εξουδετερώνοντας, ως ένα βαθμό, την αρνητική επίδραση της υψηλής υγρασίας.

Ο βαθμός, πάντως, στον οποίο αισθάνεται κάποιος την κίνηση του αέρα εξαρτάται, επιπλέον, από το είδος της ενδυμασίας, το είδος της απασχόλησης, ακόμη και από το

μέρος του σώματος στο οποίο δέχεται το ρεύμα αέρα. Για παράδειγμα, όταν ένας άνθρωπος δέχεται ρεύμα αέρα στην πλάτη, αισθάνεται συνήθως δυσφορία, διότι στο πίσω μέρος του σώματος η αίσθηση της μεταβολής της θερμοκρασίας είναι εντονότερη.

Στον παρακάτω **Πίνακα 2.6**, δίνονται, για κάθε μέρος του σώματος, οι βέλτιστες θερμοκρασίες επιδερμίδας και το ποσό θερμότητας που αποβάλλεται όταν ο άνθρωπος αισθάνεται θερμικά άνετα.

Πίνακας 2.6 Βέλτιστες θερμοκρασίες επιδερμίδας

Περιοχή του σώματος	Επιφάνεια σε m ²	Βέλτιστες θερμοκρασίες επιδερμίδας σε °C	Αποβολή θερμότητας σε kcal/h
Κεφάλι και λαιμός	0,20	34,7	4,0
Στήθος	0,17	34,7	7,9
Κοιλιά	0,12	34,7	4,5
Πλάτη	0,23	34,7	12,4
Επάνω μηρός	0,33	34,7	12,0
Κάτω μηρός	0,20	31,0	14,5
Πόδια	0,12	28,6	9,9
Επάνω βραχίονας	0,10	33,0	7,9
Κάτω βραχίονας	0,08	30,9	8,6
Χέρια	0,07	28,6	15,9
Συνολικά	1,80	34,0	105,8

Εάν οι τιμές που δίνονται στον πίνακα αυτό διαταραχθούν σημαντικά λόγω ρεύματος αέρα, ο άνθρωπος παύει να αισθάνεται θερμικά άνετα.

Κατά τη διάρκεια της θερινής, ειδικά, περιόδου ο φυσικός αερισμός μπορεί να αυξήσει την ταχύτητα του αέρα έτσι ώστε να είναι δυνατή η επίτευξη του αισθήματος της θερμικής άνεσης σε υψηλότερες θερμοκρασίες περιβάλλοντος. **Σύμφωνα με το ASHRAE, το ανώτατο επιτρεπτό όριο, της ταχύτητας του αέρα σε εσωτερικό χώρο, ορίζεται στα 0,8 m/sec.** (Άλλωστε πάνω από το όριο αυτό είναι δυνατό να παρασυρθούν ελεύθερα φύλλα χαρτιού).

Με μια υψηλή ταχύτητα αέρα, λοιπόν, είναι δυνατό να διατηρούμε τη θερμοκρασία ενός χώρου κατά 2°C υψηλότερη, σε μια υγρασία γύρω στο 60%, επιτυγχάνοντας ταυτόχρονα τη βέλτιστη θερμική άνεση. Αυτό σημαίνει ότι οι ένοικοι μπορούν να αισθάνονται εξίσου άνετα σε υψηλότερες θερμοκρασίες αέρα. Συνεπώς, όσον αφορά τους κλιματιζόμενους χώρους, μας δίνεται η δυνατότητα να θέσουμε την ένδειξη του θερμοστάτη σε υψηλότερα επίπεδα, γεγονός που μεταφράζεται τελικά σε μικρότερη κατανάλωση ενέργειας.

2.2.5 Ένδυση

Η ένδυση λειτουργεί ως ένα είδος θερμικής αντίστασης στην αποβολή θερμότητας από την επιφάνεια του σώματος προς το εξωτερικό περιβάλλον.

Η μονάδα της θερμικής αυτής αντίστασης ονομάζεται clo και χρησιμοποιείται για να εκφράσει τη θερμική μόνωση που παρέχουν τα ενδύματα και τα σύνολα ρουχισμού, και ισοδυναμεί με 0,155 m²· K/Watt.

$$1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \cdot \text{K/Watt}$$

Η ένδυση αποτελεί μια από τις παραμέτρους που εύκολα μπορεί να ρυθμίσει ο κάθε άνθρωπος προκειμένου να αισθανθεί θερμικά άνετα, χωρίς να καταναλωθεί κάποια μορφή ενέργειας. Σε πρώτο λοιπόν στάδιο, είναι σαφώς προτιμότερο να προσπαθήσουμε να προσεγγίσουμε το αίσθημα της άνεσης αφαιρώντας κάποια περιπά ρούχα το καλοκαίρι ή προσθέτοντας κάποια το χειμώνα, παρά να μεταβάλλουμε, απευθείας, το επίπεδο της θερμοκρασίας του αέρα με τον κλιματισμό ή τη θέρμανση, αντίστοιχα. Στον υπολογισμό δεν πρέπει να ξεχνάμε το ρόλο των επίπλων και ιδιαίτερα της καρέκλας.

Ειδικότερα, στον παρακάτω πίνακα της ASHRAE, δίνεται αναλυτικά για κάθε ρούχο, η θερμική αντίσταση σε clo.

Πίνακας 2.7 Θερμική αντίσταση ρουχισμού

Περιγραφή ενδύματος	clo
Εσώρουχα:	
Αντρικό σλιπ	0,04
Γυναικεία κιλότα	0,03
Στηθόδδεσμος	0,01
Μπλουζάκι μακό	0,08
Κομπινεζόν μακρύ	0,16
Κομπινεζόν κοντό	0,14
Γυναικείο κορμάκι με μακρύ μανίκι	0,20
Γυναικείο κολάν	0,15
Είδη Υποδήσεως:	
Αθλητικές κάλτσες	0,02
Κάλτσες ως τη γάμπα	0,03
Κάλτσες ως το γόνατο (βαριές)	0,06
Καλσόν	0,02
Σανδάλια/δερμάτινα σανδάλια	0,02
Παντόφλες	0,03
Μπότες	0,10
Πουκάμισα και μπλούζες:	
αμάνικη, ανοικτή στο λαιμό μπλούζα	0,12
κοντομάνικο επίσημο πουκάμισο	0,19
μακρυμάνικο επίσημο πουκάμισο	0,25
μακρυμάνικο πουκάμισο από φανέλα	0,34
κοντομάνικο πλεκτό σπορ πουκάμισο	0,17
μακρυμάνικη μπλούζα βαμβακερή	0,34
Παντελόνια:	
κοντό παντελονάκι	0,06
παντελόνι βερμούδα	0,08
εφαρμοστό παντελόνι (λεπτό)	0,15
εφαρμοστό παντελόνι (χονδρό)	0,24
παντελόνι προθέρμανσης αθλητή	0,28
φόρμα δουλειάς	0,30
φόρμα η οποία καλύπτει όλο το σώμα	0,49
Σακάκια και γιλέκα:	
με μια σειρά κουμπιών (λεπτό)	0,36
με μια σειρά κουμπιών (χονδρό)	0,44
με δύο σειρές κουμπιών (λεπτό)	0,42
με δύο σειρές κουμπιών (χονδρό)	0,48
αμάνικο γιλέκο (λεπτό)	0,10
αμάνικο γιλέκο (χονδρό)	0,17

Πουλόβερ:	
αμάνικο γιλέκο (λεπτό)	0,13
αμάνικο γιλέκο (χονδρό)	0,22
μακρυμάνικο (λεπτό)	0,25
μακρυμάνικο (χονδρό)	0,36
Φορέματα και φούστες:	
φούστα (λεπτή)	0,14
φούστα (χονδρή)	0,23
μακρυμάνικο φόρεμα (λεπτό)	0,33
μακρυμάνικο φόρεμα (χονδρό)	0,47
κοντομάνικο φόρεμα (λεπτό)	0,29
αμάνικο ανοικτό στο λαιμό (λεπτό)	0,23
αμάνικο ανοικτό στο λαιμό (χονδρό)	0,27
Ρούχα που φοριούνται για ύπνο, ρόμπες:	
αμάνικο κοντό νυχτικό (λεπτό)	0,18
αμάνικο μακρύ νυχτικό (λεπτό)	0,20
κοντομάνικο νυχτικό νοσοκομείου	0,31
μακρυμάνικο μακρύ νυχτικό (χονδρό)	0,46
μακρυμάνικες πιτζάμες (χονδρές)	0,57
κοντομάνικες πιτζάμες (λεπτές)	0,42
μακρυμάνικη μακριά ρόμπα (χονδρή)	0,69
μακρυμάνικη κοντή ρόμπα (χονδρή)	0,48
κοντομάνικη κοντή ρόμπα (λεπτή)	0,34

Ενώ παράλληλα η ASHRAE καθόρισε κάποιους χαρακτηριστικούς συνδυασμούς ρουχισμού για την εύρεση ενός ολικού βαθμού clo.

Πίνακας 2.8 Τιμές θερμικής αντίστασης για κάποιους συγκεκριμένους συνδυασμούς ρουχισμού

Τύπος ρουχισμού	Θερμική αντίσταση	
	m ² ·K/W	Clo
Γυμνός	0	0
Κοντό παντελονάκι	0,015	0,1
<u>Τυπικός τροπικός ρουχισμός:</u>		
Σλιπ, κοντό παντελόνι, κοντομάνικο πουκάμισο με ανοικτό λαιμό, ελαφριές κάλτσες και σανδάλια.	0,045	0,3
<u>Καλοκαιρινή ενδυμασία:</u>		
Σλιπ, μακρύ ελαφρύ παντελόνι, κοντομάνικο πουκάμισο με ανοικτό λαιμό, ελαφριές κάλτσες και παπούτσια.	0,08	0,5
<u>Ενδυμασία για ελαφριά δουλειά:</u>		
Ελαφρύ εσώρουχο, βαμβακερό μακρυμάνικο πουκάμισο, παντελόνι της δουλειάς, μάλλινες κάλτσες και παπούτσια.	0,11	0,7
<u>Τυπική ενδυμασία για εσωτερική δουλειά το</u>		
<u>χειμώνα:</u>		
Εσώρουχο, μακρυμάνικο πουκάμισο, παντελόνι, σακάκι ή μακρυμάνικο πουλόβερ, βαριές κάλτσες και παπούτσια.	0,16	1,0
<u>Βαρύ παραδοσιακό Ευρωπαϊκό επαγγελματικό</u>		
<u>κοστούμι:</u>		
Βαμβακερά εσώρουχα μακριά και με μανίκια, πουκάμισο, κοστούμι με παντελόνι, σακάκι και γιλέκο, μάλλινες κάλτσες και βαριά παπούτσια.	0,23	1,5

Γενικά, υπάρχουν οι εξής τρόποι υπολογισμού της θερμικής αντίστασης του ρουχισμού.

1. Υπολογισμός αντίστασης ρουχισμού από πίνακες ενδυματολογικών συνόλων.
2. Από τη σχέση: $I_{cl} = \sum I_{cl,i}$ όπου $I_{cl,i}$ είναι η θερμική αντίσταση κάθε επιμέρους είδους ρουχισμού.
3. Από τη σχέση: $I_{cl} = 0,835 \cdot \sum I_{cl,i} + 0,161$
ενώ για ειδικά ενδύματα εκτός πινάκων:
4. $I_{cl,i} = (0,534 + 0,135 x_f)(A_G/A_N) - 0,0549$
όπου:
 x_f : το πάχος του υφάσματος σε mm και
 A_G : η επιφάνεια του σώματος A_N που καλύπτεται από το ένδυμα i
5. Η καρέκλα αυξάνει γενικά την θερμική αντίσταση του ρουχισμού πάνω από 0,15 clo, εξαρτώμενο από την επιφάνεια επαφής.

2.2.6 Μεταβολισμός

Ο μεταβολισμός είναι το σύνολο των χημικών αντιδράσεων που πραγματοποιούνται στο ανθρώπινο σώμα. Επειδή η θερμοκρασία του σώματος είναι συνήθως υψηλότερη από αυτή του περιβάλλοντα χώρου, οι αντιδράσεις του μεταβολισμού πραγματοποιούνται προκειμένου να αντισταθμίσουν τις απώλειες προς το περιβάλλον. **Στόχος είναι να διατηρηθεί το σώμα σε μια εσωτερική θερμοκρασία γύρω στους $37 \pm 0,5^\circ\text{C}$.** Έτσι, η θερμότητα που παράγει ένας μέσος ενήλικας την ώρα ανάπαυσης είναι περίπου 100W. Επειδή το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας αυτής μεταφέρεται στο περιβάλλον μέσω της επιφάνειας του δέρματος, έχει επικρατήσει να εκφράζεται ο μεταβολισμός, σε μονάδες θερμότητας προς μονάδες συνολικής επιφάνειας ανθρώπινου σώματος. Εάν θεωρήσουμε ότι ένας μέσος άνθρωπος έχει εμβαδόν επιφάνειας σώματος περίπου 1,8 m² τότε ο μεταβολισμός ενός μέσου ενήλικα, την ώρα που αναπαύεται, ισοδυναμεί με

58,2 W/m² ή 50 kcal/(h·m²) ή, διαφορετικά, ισούται με 1 met.

$$1 \text{ met} = 58,2 \text{ W/m}^2$$

Ο μεταβολισμός σχετίζεται άμεσα με την ηλικία, το φύλο και το βάρος του σώματος. Ο βασικός παράγοντας όμως από τον οποίο εξαρτάται, είναι το επίπεδο της δραστηριότητας. Έτσι, η θερμότητα που παράγει το ανθρώπινο σώμα αυξάνεται ανάλογα με το βαθμό δραστηριότητας.

Έχοντας, λοιπόν, σαν βάση το 1 met, μπορούμε να πούμε πως ο μεταβολισμός ενός ανθρώπου την ώρα που δακτυλογραφεί ισούται με 1,1 met, όταν σηκώνει βαριά αντικείμενα είναι 2,1 met, όταν παίζει μπάσκετ ισούται με 6,5 met κλπ.

Όταν υπολογίζεται ο μεταβολικός ρυθμός ενός ατόμου, είναι σημαντικό να χρησιμοποιείται μια μέση τιμή για τις δραστηριότητές του την τελευταία ώρα. Ο λόγος είναι ότι η θερμοχωρητικότητα του σώματος επηρεάζει τη ροή θερμότητας με βάση το επίπεδο δραστηριότητας της τελευταίας μίας ώρας. Σε κάθε περίπτωση οι δραστηριότητες των τελευταίων 15 λεπτών έχουν μεγαλύτερη βαρύτητα. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι το ανθρώπινο σώμα χρειάζεται 15 λεπτά ώστε να μεταβεί θερμικά από μία κατάσταση σε μία άλλη.

Στον παρακάτω πίνακα δίνεται ο μεταβολικός ρυθμός για πλήθος ανθρώπινων δραστηριοτήτων.

Πίνακας 2.9 Μεταβολικός ρυθμός ανά δραστηριότητα

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ	W/m²	met
<u>Ανάπαυση</u>		
Ύπνος	40	0,7
Πλάγιασμα	45	0,8
Κάθισμα, ήσυχα	60	1,0
Στάση, ξεκούραστη	70	1,2
<u>Περπάτημα (σε επίπεδη επιφάνεια)</u>		
3,2 km/h (0,9 m/sec)	115	2,0
4,3 km/h (1,2 m/sec)	150	2,6
6,4 km/h (1,8 m/sec)	220	3,8
<u>Δραστηριότητες Γραφείου</u>		
Διάβασμα, σε κάθισμα	55	1,0
Γράψιμο	60	1,0
Πληκτρολόγηση	65	1,1
Αρχειοθέτηση, σε κάθισμα	70	1,2
Αρχειοθέτηση, σε όρθια στάση	80	1,4
Περπάτημα	100	1,7
Άρση/πακετάρισμα	120	2,1
<u>Οδήγηση/Πτήση</u>		
Αυτοκίνητο	60-115	1,0-2,0
Αεροπλάνο, κανονική πτήση	70	1,2
Αεροπλάνο, χειρισμοί προσγείωσης	105	1,8
Αεροπλάνο, πολεμικό	140	2,4
Βαρύ όχημα	185	3,2
<u>Διάφορες Δραστηριότητες</u>		
Μαγείρεμα	95-115	1,6-2,0
Καθάρισμα κατοικίας	115-200	2,0-3,4
Κάθισμα, κίνηση των μελών	130	2,2
Δουλειά με μηχανή:		
πριόνισμα (σε πάγκο)	105	1,8
Ελαφριά (σε ηλεκτρική βιομηχανία)	115-140	2,0-2,4
Βαριά	235	4
Μεταφορά σάκων βάρους 50kg	235	4
Σκάψιμο και φυτάρισμα	235-280	4,0-4,8
<u>Διάφορες Δραστηριότητες Αναψυχής</u>		
Χορός, κοινωνικός	140-255	2,4-4,4
Αεροβική/άσκηση	175-235	3,0-4,0
Τένις	210-270	3,6-4,0
Μπάσκετ	290-440	5,0-7,6
Αγώνες πάλης	410-505	7,0-8,7

Στον πίνακα που ακολουθεί, συνοψίζονται κάποιες τυπικές τιμές θερμοκρασίας άνεσης για διαφορετικό ρουχισμό και μεταβολική δραστηριότητα.

Πίνακας 2.10 Θερμοκρασία άνεσης αέρα σε σχέση με τη μεταβολική δραστηριότητα και τον τύπο του ρουχισμού. (Συνθήκες μετρήσεων: θερμοκρασία αέρα = μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, ταχύτητα αέρα = 0,1 m/s).

Εργασία	Μεταβολική δραστηριότητα [W]	Ρουχισμός [clo]	Θερμοκρασία άνεσης T_a (comf) [°C]
Ηρεμία	0	0,5	31
	0	1,0	29
Καθιστική εργασία	43	0,5	27
	43	1,0	23
Ελαφριά εργασία	100	0,5	22
	100	1,0	16
Έντονη εργασία	200	0,5	12

2.2.7 Τοπική θερμική δυσφορία

Ακόμα και αν ένα άτομο αισθάνεται θερμικά ουδέτερα, μέρη του σώματός του μπορεί να εκτίθενται σε συνθήκες που έχουν ως αποτέλεσμα τη θερμική δυσφορία. Η τοπική θερμική δυσφορία δεν μπορεί να αναιρεθεί αυξάνοντας ή χαμηλώνοντας τη θερμοκρασία του χώρου. Είναι αναγκαίο να αναιρεθεί η αιτία της υπερθέρμανσης ή ψύξης. Μόνο όταν οι τοπικοί και οι γενικοί παράμετροι της θερμικής άνεσης έχουν διερευνηθεί, μπορεί να κριθεί η ποιότητα του θερμικού περιβάλλοντος.

2.2.7.1 Ρεύματα αέρα - τυρβώδης ροή

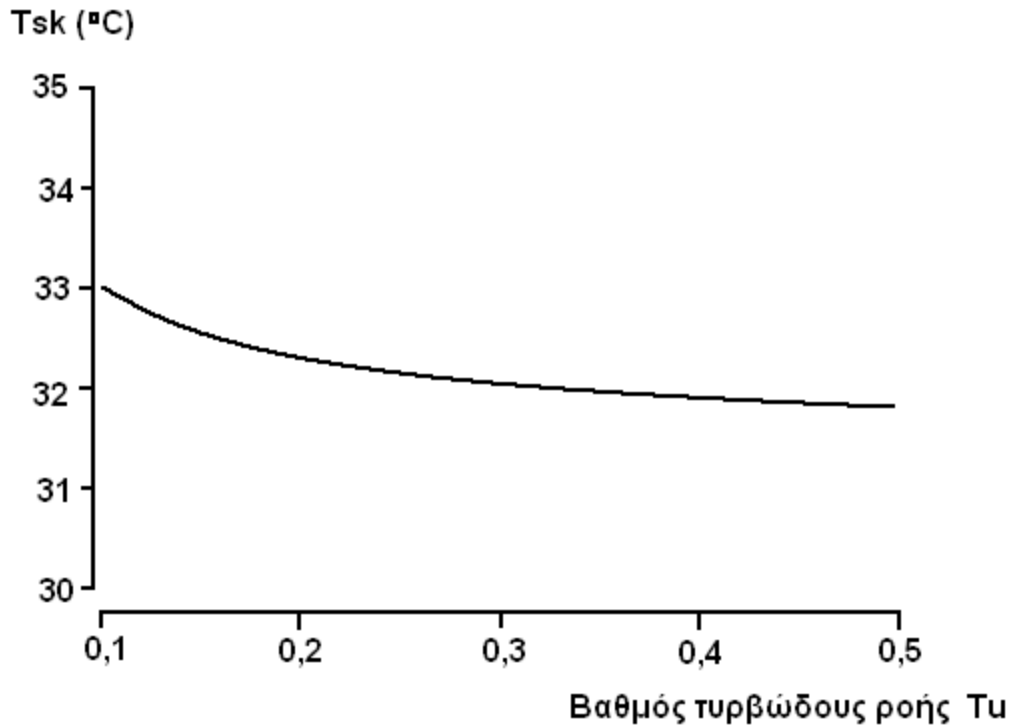
Τα ρεύματα αέρα είναι μια συνήθης αιτία παραπόνων όταν μιλάμε για το κλίμα εσωτερικών χώρων σε κλιματιζόμενα κτήρια και οι άνθρωποι παραπονιούνται για κάποια ανεπιθύμητη τοπική ψύξη του σώματος.

Οι άνθρωποι είναι πιο ευαίσθητοι στα ρεύματα στα χωρίς ρούχα μέρη του

σώματός τους. Έτσι τα ρεύματα γίνονται συνήθως αντιληπτά στο πρόσωπο, το λαιμό και τα άκρα. Το ποσό της θερμότητας που χάνεται από το δέρμα εξ αιτίας των ρευμάτων εξαρτάται από τη μέση ταχύτητα του αέρα, καθώς επίσης και από την ένταση στροβιλισμού του αέρα και την θερμοκρασία του. Μια υψηλού στροβιλισμού ροή του αέρα είναι πιο ενοχλητική από μια χαμηλού, ακόμα και αν αποφέρει την ίδια απώλεια θερμότητας.

Οφειλόμενο στον τρόπο που λειτουργούν οι αισθητήρες κρύου αέρα στο δέρμα, ο βαθμός δυσφορίας δεν εξαρτάται μόνο από την τοπική απώλεια θερμότητας. Η διακύμανση της θερμοκρασίας του δέρματος έχει επίσης επίδραση, η οποία προκαλεί την έναρξη αποστολής υπερβολικών σημάτων δυσφορίας στον υποθάλαμο. Μάλιστα, διακυμάνσεις με συχνότητα κοντά στα 0,5Hz είναι οι πλέον δυσάρεστες, ενώ περί τα 2Hz δεν γίνονται αντιληπτές.

Η περιοδικά μεταβαλλόμενη ροή του αέρα προκαλεί συναισθήματα δυσφορίας, συγκρινόμενη με τη στρωτή ροή. Στο **Διάγραμμα 2.7** φαίνεται η επίδραση του τύπου της ροής με σταθερή μέση ταχύτητα $v=0,1\text{m/s}$. Ο τύπος της ροής και συγκεκριμένα ο βαθμός της τύρβης επηρεάζει τη θερμοκρασία του δέρματος ακόμη και με τη μέση ταχύτητα του αέρα σταθερή.

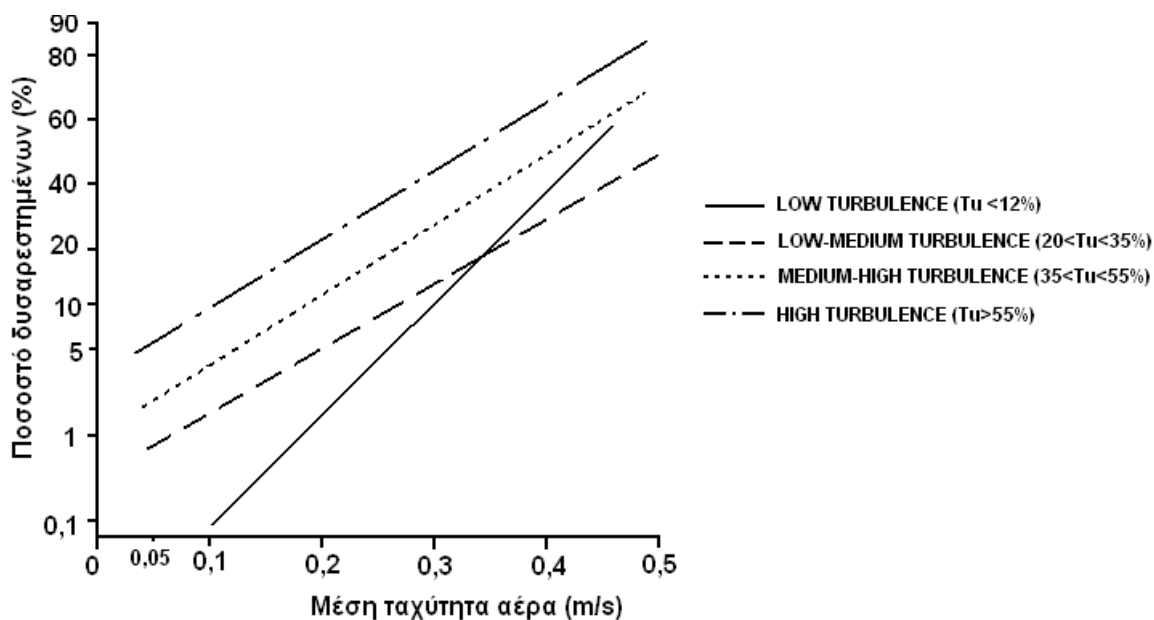


Διάγραμμα 2.7 Σχέση μεταξύ του βαθμού της τυρβώδους ροής T_u και της μέσης θερμοκρασίας του δέρματος T_{sk} . (Συνθήκες μετρήσεων: άνδρας 35 ετών, τύπος ρουχισμού = 1 clo, μεταβολικός ρυθμός = 60W, μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας $T_{mrt}=20^{\circ}\text{C}$ = θερμοκρασία αέρα T_a , μέση ταχύτητα αέρα $v=0,1\text{m/s}$, σχετική υγρασία $RH=50\%$)

Οι άνθρωποι φαίνεται να μην προτιμούν μεταβολές στην ταχύτητα του αέρα, μεταβολές που όπως είπαμε προσομοιώνουν την τυρβώδη ροή, καθώς σε υψηλά ποσοστά τύρβης το ποσοστό των δυσανεσθημένων ατόμων είναι μεγάλο. Το **Διάγραμμα 2.8** αναπαριστά το ποσοστό των δυσανεσθημένων ανθρώπων που προέκυψαν σε σχέση με την ταχύτητα του αέρα και το βαθμό της τύρβης.

Τα παραπάνω συμπεράσματα οδηγούν στη δημιουργία συστημάτων μηχανικού αερισμού που να παρέχουν τη ροή του αέρα στη ζώνη χρήσης των χώρων με χαμηλές τιμές τύρβης. Αυτή η απαίτηση έρχεται σε σύγκρουση με την απαίτηση επαρκούς ανάμιξης του εξωτερικού αέρα με τον εσωτερικό ώστε να επιτευχθεί αραίωση των ρύπων και ομοιογενή εσωτερική ατμόσφαιρα διότι η στρωτή ροή δεν έχει τα επιθυμητά χαρακτηριστικά ανάμιξης, σε αντίθεση με την τυρβώδη ροή.

Είναι φανερό ότι για επιτύχουμε ένα συμβιβασμό σε αυτές τις δύο απαιτήσεις, χρειάζεται περαιτέρω μελέτη παραμέτρων και συνδυασμού τους στις οποίες περιλαμβάνονται: η ταχύτητα εξόδου του αέρα από την παροχή του μηχανικού συστήματος, το μέγεθος των παροχών του αέρα του μηχανικού συστήματος και η απόσταση των παροχών του αέρα από τη ζώνη χρήσης των χώρων. Ωστόσο ο αερισμός εκτόπισης (displacement ventilation) φαίνεται να ικανοποιεί τις δύο παραπάνω συνθήκες.



Διάγραμμα 2.8 Ποσοστό των δυσαρεστημένων χρηστών, ως αποτέλεσμα της αίσθησης ρεύματος αέρα στη περιοχή του κεφαλιού, σε σχέση με την ταχύτητα του αέρα και τρεις περιοχές τύρβης.

2.2.7.2 Ασυμμετρία στη θερμική ακτινοβολία

Για να περιγραφεί η ανομοιομορφία στο πεδίο της θερμικής ακτινοβολίας, χρησιμοποιείται η παράμετρος της ασυμμετρίας θερμοκρασίας ακτινοβολίας, ΔT_{pr} .

Η παράμετρος αυτή καθορίζεται ως η διαφορά της θερμοκρασίας ακτινοβολίας επιπέδου, μεταξύ δύο αντίθετων πλευρών ενός μικρού στοιχείου επιπέδων (δωματίου).

Πειράματα που εκθέτουν ανθρώπους σε μεταβαλλόμενο βαθμό ΔT_{pr} , έχουν αποδείξει ότι **θερμά ταβάνια και κρύα παράθυρα προκαλούν τη μεγαλύτερη δυσφορία και κρύα ταβάνια και ζεστοί τοίχοι τη μικρότερη.**

Η θερμοκρασία ακτινοβολίας επιπέδου υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$T_{pr} = [\sum_i^{\mu} f_{pl-i}(T_i + 273)^4]^{1/4} - 273 \quad (2.9)$$

όπου:

T_i : η θερμοκρασία επιπέδου i

f_{pl-i} : ο συντελεστής γωνίας μεταξύ επιπέδου και της επιφανείας i .

2.2.7.3 Κάθετη διαφορά θερμοκρασίας αέρα

Γενικά είναι δυσάρεστο να είναι κανείς ζεστός στο ύψος του κεφαλιού και την ίδια ώρα να είναι κρύος γύρω από τα πόδια, αδιάφορο αν αυτό οφείλεται σε ακτινοβολία ή μεταφορά.

Πειράματα που έχουν πραγματοποιηθεί με ανθρώπους σε κατάσταση θερμικής ουδετερότητας, δείχνουν ότι μια διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ κεφαλής και ποδιών 3°C έδωσε ένα επίπεδο δυσφορίας του 5%.

Η κάθετη διαφορά θερμοκρασίας εκφράζεται ως η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας αέρα στο επίπεδο των αστραγάλων, από το επίπεδο του λαιμού.

2.2.7.4 Θερμοκρασία πατώματος

Στην απευθείας επαφή μεταξύ ποδιών και πατώματος, μπορεί συχνά να προκληθεί τοπική δυσφορία, οφειλόμενη στην πολύ υψηλή ή πολύ χαμηλή θερμοκρασία του πατώματος. Η πραγματική αιτία εν προκειμένω είναι παράμετροι διαφορετικές από την θερμοκρασία του πατώματος και η απώλεια θερμότητας εξαρτάται από την αγωγιμότητα και τη θερμοχωρητικότητα του υλικού του πατώματος και τον τύπο των υποδημάτων

των ποδιών. Έτσι ο φελλός για παράδειγμα φαίνεται ζεστός και το μάρμαρο κρύο.

Το πρότυπο της ISO θέτει επίπεδα άνεσης για καθιστική δραστηριότητα που οδηγούν σε ένα αποδεκτό πλαίσιο για την θερμοκρασία πατώματος που κυμαίνεται από 19°C σε 29°C. Σε ένα λουτρό η ιδανική θερμοκρασία είναι 29°C για το μάρμαρο, και 26°C για πλαστικό τάπητα πάνω σε ξύλο.

Κεφάλαιο 3^ο

Δείκτες εκτίμησης της θερμικής άνεσης

3.1 Θερμικοί δείκτες

Από την εξίσωση θερμικού ισοζυγίου είναι φανερό ότι η ανθρώπινη απόκριση σε ζεστό ή κρύο περιβάλλον εξαρτάται κυρίως από τη συνδυασμένη επίδραση της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας, της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, της σχετικής υγρασίας και της ταχύτητας του αέρα και επιπρόσθετα από τον τύπο του ντυσίματος και τη δραστηριότητα.

Η γνώση του τρόπου που οι διάφορες μεταβλητές επηρεάζουν την θερμική άνεση έχει χρησιμοποιηθεί για να μορφοποιηθούν θερμικοί δείκτες και θερμικές κλίμακες που υποδεικνύουν τις επιδράσεις των συνδυασμών των διάφορων μεταβλητών στην άνεση.

Πολλές προσπάθειες έχουν γίνει, για να συνδυασθούν όλοι αυτοί οι παράγοντες σε ένα μόνο δείκτη, έτσι ώστε να οριστεί το επίπεδο της θερμικής άνεσης και να είναι αυτό μια μέτρηση γύρω από την ποιότητα του περιβάλλοντος.

Διάφοροι δείκτες έχουν αναπτυχθεί, οι οποίοι διαφέρουν μεταξύ τους ως προς την

προσέγγιση του προβλήματος, στην περιοχή των συνθηκών εφαρμογής, στο ενδιαφέρον που αποδίδεται σε καθέναν από τους παράγοντες και στις προσεγγιστικές εκφράσεις που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των ανταλλαγών θερμότητας.

Υπάρχουν δύο τουλάχιστον εφαρμογές των θερμικών δεικτών. Η μία αφορά τον καθορισμό των απαιτήσεων θερμικής άνεσης στη φάση του σχεδιασμού των κτηρίων.

Η άλλη εφαρμογή αφορά την διαχείριση και την λειτουργία στη φάση του κλιματισμού των κτηρίων.

Οι θερμικοί δείκτες που έχουν αναπτυχθεί είναι:

1. Βιομετεωρολογικοί δείκτες
2. **Προβλεπόμενη μέση ψήφος (P.M.V.)**
3. Ισοδύναμη θερμοκρασία (T_{eq})
4. Λειτουργική θερμοκρασία (T_o)
5. Αισθητή θερμοκρασία (E.T.) ή Αποτελεσματική Θερμοκρασία (T_{eff})
6. Τυπική Αισθητή Θερμοκρασία (SET)
7. Διορθωμένη ET (CET)
8. Παρατηρούμενη Θερμοκρασία (PE).
9. Δείκτης θερμικής δυσφορίας (I.T.S.)
10. Δείκτης δυσφορίας (DI)
11. Προκύπτουσα θερμοκρασία (R.T.)
12. Wet-bulb globe temperature (W.B.G.T)
13. Δείκτης άνεσης ισημερινού (E.C.I)
14. Δείκτης θερμικής καταπόνησης (Heat stress index, H.S.I.)
15. Προβλεπόμενος τετράωρος ρυθμός εφίδρωσης (P4.S.R.)
16. Τροπικός δείκτης καλοκαιριού (T.S.I.)
17. Wind chill ισοδύναμη θερμοκρασία (W.C.E.T.)
18. Πραγματική Αίσθηση Θερμότητας (ASV)
19. TSENS

20. DISC
21. Μέθοδος BRS
22. Κλίμακα Evans
23. Κλίμακα Mahoney
24. Δείκτης Θερμικού stress (ITS)
25. Βιοκλιματικός χάρτης Olgay
26. Ισοδύναμη θερμότητα (EW)
27. Humidex

Οι δείκτες που έχουν προταθεί είναι συνήθως εφαρμόσιμοι μόνο σε ορισμένες συνθήκες και συνήθως καθορίζονται από το περιβάλλον όπου αναπτύχθηκαν. Το εύρος της εφαρμοσιμότητας είναι ωστόσο καθορισμένο μόνο για μερικούς δείκτες και περαιτέρω ανάλυσή τους συχνά δείχνει ακόμα πιο περιορισμένο εύρος από ότι αρχικά υποστηρίχθηκε.

Έτσι άλλοι (οι περισσότεροι) είναι κατάλληλοι για συνθήκες μόνιμης κατάστασης, όπως είναι οι κλιματιζόμενοι εσωτερικοί χώροι, άλλοι κατάλληλοι και για μεταβατικές συνθήκες, όπως προθάλαμοι, διάδρομοι ή αποθήκες κλπ. σε εσωτερικούς χώρους και άλλοι έχουν προταθεί ως κατάλληλοι και για εξωτερικούς χώρους.

3.2 Δείκτες μόνιμης κατάστασης για κτήρια και εσωτερικούς χώρους

Είναι δείκτες που εφαρμόζονται όταν ο άνθρωπος εκτίθεται για σχετικά μακρά περίοδο σε σταθερές συνθήκες περιβάλλοντος και έχει σταθερό ρυθμό μεταβολισμού.

3.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κάθε δείκτη

3.3.1 Προβλεπόμενη μέση ψήφος PMV

Έχοντας την εξίσωση θερμικού ισοζυγίου, σημείο αναφοράς, ο Fanger, πρότεινε ένα δείκτη, ο οποίος εκτιμά τη θερμική αίσθηση για κάποιο δεδομένο συνδυασμό των παραμέτρων.

Το ανθρώπινο σώμα είναι ικανό να διατηρήσει το ισοζύγιο θερμότητας μέσα σε ευρέα όρια των περιβαλλοντικών μεταβλητών, που όμως μόνο μια μικρή περιοχή μπορεί να θεωρηθεί ως περιοχή άνεσης. Για αυτό το λόγο ορίζεται μια ποσότητα θερμικού φορτίου L ως η διαφορά μεταξύ της παραγόμενης εσωτερικής θερμότητας και των θερμικών απωλειών προς το περιβάλλον. Το θερμικό αυτό φορτίο υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$\begin{aligned} L = & H_M/A_N (1 - n) - 0,32 [4,066 (35,7 - 0,0275 H_M/A_N (1 - n) - 84,2 - P_a) \\ & - 0,42 [H_M/A_N (1 - n) - 58] - 1,410^{-3} H_M/A_N (34 - T_a) \\ & - 0,0017 H_M/A_N (44 - P_a) - 0,71 \sigma F_{cl} [(T_{cl} + 273)^4 - (T_{mrt} + 273)^4] \\ & - F_{cl} h_c (T_{cl} - T_a) \end{aligned}$$

Σε συνθήκες άνεσης προφανώς πρέπει να είναι $L=0$. Εάν το L είναι διάφορο του μηδενός, τότε οι μηχανισμοί του σώματος αλλάζουν τη μέση θερμοκρασία του δέρματος και επιβάλλουν π.χ. την έκκριση ιδρώτα για τη διατήρηση του θερμικού ισοζυγίου. Η θερμική αίσθηση τότε αλλάζει.

Τη μεταβαλλόμενη θερμική αίσθηση την ορίζουμε ως κάποια άγνωστη συνάρτηση Y συναρτήσει του L και του μεταβολικού ρυθμού:

$$Y = F (L, H_M / A_n)$$

Ο Fanger, κάνοντας εργαστηριακές μετρήσεις σε κλιματικό θάλαμο κρατώντας όλες τις μεταβλητές σταθερές εκτός του μεταβολικού ρυθμού και της T_{air} , χρησιμοποίησε τις μέσες ψήφους και έγραψε την Y σαν μια εμπειρική συνάρτηση για διάφορα επίπεδα δραστηριότητας:

$$Y = [0,35 \exp(-0,042 H_M/A_N) + 0,032] L$$

Ορίζοντας $Y=PMV$, την προβλεπόμενη μέση ψήφο εκφρασμένη σε ορισμένη θερμική κλίμακα προκύπτει ο δείκτης θερμικής άνεσης PMV :

$$\begin{aligned} \mathbf{PMV} = & [0,35 \exp(-0,042 H_M/A_N) + 0,032] H_M/A_N (1-n) - 0,32[4,066 (35,7 - 0,0275H_M/A_N \\ & (1-n) - 84,2 - P_a) - 0,42[H_M/A_N (1-n) - 58] - 1,410^{-3} H_M/A_N (34 - T_a) \\ & - 0,0017H_M/A_N (44 - P_a) - 0,71 \sigma F_{cl} [(T_{cl} + 273)^4 - (T_{mrt} + 273)^4] - F_{cl}h_c(T_{cl} - T_a) \quad \mathbf{(3.1)} \end{aligned}$$

Ο καθορισμός του PMV απαιτεί τον υπολογισμό της T_{cl} , η εύρεση της οποίας επιτυγχάνεται με την αριθμητική μέθοδο Newton-Raphson.

Ικανοποιώντας την εξίσωση του Fanger, μπορούμε να επιτύχουμε τις βέλτιστες συνθήκες θερμικής άνεσης. Ωστόσο, η παραπάνω εξίσωση μας γνωστοποιεί, απλώς, τα μεγέθη των μεταβλητών που θα πρέπει να επιλέξουμε προκειμένου να προσεγγίσουμε το αίσθημα της άνεσης. Δε μας δίνει τη δυνατότητα να εκτιμήσουμε άμεσα το πόσο άνετα αισθάνεται κάποιος σε ένα εσωτερικό χώρο στον οποίο οι μεταβλητές δεν αναμένεται να ικανοποιούν την εξίσωση.

Ουσιαστικά, ο παραπάνω δείκτης αποτελεί τη μέση ψήφο ενός συνόλου ανθρώπων που εκφράζουν την άποψή τους για τη θερμική αίσθηση κάτω από διαφορετικές συνθήκες περιβάλλοντος, σε μια κλίμακα που κυμαίνεται από το -3 μέχρι το +3.

Πιο συγκεκριμένα, η κλίμακα αυτή περιλαμβάνει τους εξής 7 βαθμούς θερμικής αίσθησης:

- +3 πολύ θερμό
- +2 θερμό
- + 1 λίγο θερμό
- 0 ουδέτερη κατάσταση
- -1 ελαφρά ψυχρό
- -2 ψυχρό
- -3 πολύ ψυχρό

Όταν, λοιπόν ο δείκτης $PMV=0$, θεωρείται ότι παρέχονται οι βέλτιστες συνθήκες θερμικής άνεσης. Μια θετική τιμή σημαίνει ότι η θερμοκρασία είναι υψηλότερη από την ιδανική τιμή, ενώ μια αρνητική τιμή, αντίστοιχα ότι η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη.

Τιμές του PMV μεταξύ του -0.5 και του +0.5 θεωρούνται γενικά αποδεκτές.

Από το 1984 η μέθοδος αποτελεί την βάση ενός διεθνούς πρότυπου (ISO7730), για την αξιολόγηση της θερμικής άνεσης σε χώρους με μέσες θερμοκρασίες.

3.3.2 Λειτουργική θερμοκρασία T_o

Πρόκειται για ένα δείκτη που συνδυάζει τη θερμοκρασία του αέρα, τη μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία και την κίνηση 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.

Ο δείκτης αυτός μπορεί να θεωρηθεί και σαν μια συνδυασμένη παράμετρος. Ο υπολογισμός της γίνεται από την παρακάτω απλή εξίσωση που δίνει μια λογική βεβαιότητα:

$$T_o = a \cdot T_{air} + (1 - a) \cdot T_{mrt} \quad (3.2)$$

όπου ο συντελεστής a εξαρτάται από την ταχύτητα του αέρα v σε m/sec .

v	<0,2	0,2-0,6	0,6-1,0
a	0,5	0,6	0,7

3.3.3 Ισοδύναμη θερμοκρασία T_{eq}

Η ιδέα της Ισοδύναμης Θερμοκρασίας εισήχθη από τον Duffton το 1932, όταν εργαζόμενος πάνω στη θέρμανση των κτηρίων, ανέπτυξε ένα συνδυαστικό θερμοστάτη που θα συντηρούσε ένα δωμάτιο σε θερμοκρασία άνεσης ενάντια στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας αέρα, της θερμικής ακτινοβολίας και της ταχύτητας του αέρα.

Ονόμασε το θερμοστάτη Euratheostat. Ήταν κατασκευασμένος από ένα κάθετο κύλινδρο που θερμαινόταν εσωτερικά με μέγεθος επιλεγμένο έτσι, ώστε να διαχωρίζει τις απώλειες από ακτινοβολία και μεταφορά, προσομοιάζοντας τις απώλειες θερμότητας ενός ανθρώπου.

Η Ισοδύναμη Θερμοκρασία καθορίζεται ως η ομοιόμορφη θερμοκρασία ενός φανταστικού θαλάμου με ταχύτητα αέρα ίση με μηδέν στον οποίο ένα άτομο θα αντάλλαζε την ίδια ποσότητα θερμότητας με ακτινοβολία και μεταφορά, όπως σε ένα πραγματικό περιβάλλον. Για τον υπολογισμό της κατασκευάστηκε ένας ελλειψοειδής αισθητήρας.

Ο Mayer το 1993 που κατασκεύασε μια συσκευή ονομαζόμενη «τεχνητό δέρμα» για την μέτρηση της T_{eq} , την καθόρισε ως τη θερμοκρασία επιφάνειας ενός φανταστικού δωματίου, στο οποίο η θερμοκρασία επιφάνειας ενός σώματος, θερμαινόμενου με καθορισμένη ένταση ροής θερμότητας, είναι η ίδια με ένα πραγματικό δωμάτιο (με πιθανά διαφορετική επιφάνεια, θερμοκρασία και ταχύτητα αέρα).

Η Ισοδύναμη Θερμοκρασία, σε σύγκριση με τη Λειτουργική Θερμοκρασία T_o , υπολογίζει επιπλέον την επίδραση της ταχύτητας του αέρα πάνω στο ισοζύγιο θερμότητας του

θερμαινόμενου σώματος. Η πιο σημαντική αρχή του αισθητήρα της Ισοδύναμης Θερμότητας, είναι η προσομοίωση με την απώλεια θερμότητας του ανθρώπινου σώματος.

3.3.4 Αισθητή θερμοκρασία ET ή αποτελεσματική θερμοκρασία T_{eff}

Ορίζεται ως η θερμοκρασία μιας ακίνητης, κορεσμένης υδρατμών ατμόσφαιρας που, απουσία ακτινοβολίας, θα έδινε την ίδια επίδραση όπως η ατμόσφαιρα που διερευνάται.

Ο συντελεστής αυτός συνδυάζει τις επιδράσεις των θερμοκρασιών υγρού και ξηρού βολβού και ταχύτητας του αέρα και έχει ως αποτέλεσμα αντίστοιχα συναισθήματα ζέστης ή δροσιάς.

Ο δείκτης αυτός αναπτύχθηκε για την ASHRAE από τους Houghten και Yaglou το 1923, αρχικά για άτομα που φορούν ρουχισμό με 1 clo. Αυτή η κλίμακα θερμοκρασίας υπερτιμά το ρόλο της υγρασίας σε δροσερές και ουδέτερες συνθήκες και υποτιμά την επίδραση που έχει σε ζεστές συνθήκες και δεν συμπεριλαμβάνει πλήρως τις επιδράσεις που προξενεί η ταχύτητα του αέρα σε συνθήκες ζέστης και υγρασίας.

Οι δείκτες αποτελεσματικής θερμοκρασίας T_{eff} εφαρμόστηκαν ως θερμικοί δείκτες και αναπτύχθηκαν περίπου πριν από 70 χρόνια και είναι έγκυροι για συνθήκες ανάπαυσης.

Διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, στις «κανονικές αποτελεσματικές θερμοκρασίες», οι οποίες είναι προσαρμοσμένες σε άτομα με κανονική ενδυμασία και στις «βασικές αποτελεσματικές θερμοκρασίες» για άτομα με γυμνό το πάνω μέρος του σώματός τους.

Ο υπολογισμός της αποτελεσματικής θερμοκρασίας δίνεται από τη σχέση:

$$T_{eff} = T_a - 0,4 (T_a - 10) \cdot (1 - RH/100) \quad (3.3)$$

όπου το T_{eff} δηλώνει την αποτελεσματική θερμοκρασία σε °C, το T_a τη θερμοκρασία του αέρα σε °C και το RH τη σχετική υγρασία.

Η τιμή δυσφορίας για την αποτελεσματική θερμοκρασία βρίσκεται στους 30°C για άτομα τα οποία ασκούν ελαφρά εργασία, για χρονική περίοδο μικρότερη των 6 ωρών. Η τιμή αυτή ισχύει για υγιή άτομα με ελαφριά ενδυμασία, τα οποία είναι εγκλιματισμένα σε υψηλές θερμικές συνθήκες και των οποίων η απώλεια ύδατος επαναφέρεται συνεχώς σε φυσιολογικά επίπεδα.

3.3.5 Προκύπτουσα θερμοκρασία RT

Η προκύπτουσα θερμοκρασία αναπτύχθηκε το 1948 από τον Missenard στη Γαλλία και αποσκοπεί στη δημιουργία ενός δείκτη που να στηρίζεται σε πειραματικά δεδομένα, όταν επέλθει θερμική ισορροπία (μετά από χρόνο 30min περίπου) μεταξύ του οργανισμού και του περιβάλλοντός του, ώστε να μπορέσουν να εκτιμηθούν οι επιδράσεις της υγρασίας του αέρα και της ταχύτητας του ανέμου.

Έχει βρεθεί ότι τιμές της προκύπτουσας θερμοκρασίας μεγαλύτερες των 30°C παρουσιάζουν καλή συσχέτιση μεταξύ αυτής και της θερμοκρασίας του αέρα καθώς και της σχετικής υγρασίας, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από τα αποτελέσματα των θερμοφυσιολογικών πειραμάτων. Θεωρείται δείκτης για συνθήκες ανάπαυσης.

Μειονέκτημα του δείκτη αυτού υπήρξε το γεγονός ότι για τιμές προκύπτουσας θερμοκρασίας <30°C σημειωνόταν υπερεκτίμηση της υγρασίας. Σχετικά με την ταχύτητα του ανέμου έχει βρεθεί ότι σε μεγάλες (ή μικρές) τιμές της RT, ο δείκτης υποεκτιμά (ή υπερεκτιμά) την ψυκτική ικανότητα του ανέμου.

3.3.6 Δείκτης θερμικής επιβάρυνσης ITS

Ο δείκτης θερμικής επιβάρυνσης είναι ένα βιοφυσικό μέγεθος, το οποίο περιγράφει τις ροές εναλλαγής της θερμότητας του σώματος και του περιβάλλοντος και υπολογίζει τη θερμική επιβάρυνση του ανθρώπινου σώματος.

Ο προσδιορισμός του ITS βασίζεται στον υπολογισμό του παραγόμενου ιδρώτα, στο μεταβολισμό, στο παραγόμενο έργο, στην εναλλαγή θερμότητας μέσω των μηχανισμών σύγκλισης, στην εναλλαγή ακτινοβολίας και σε ένα συντελεστή απόψυξης μέσω του ιδρώτα για τον ανθρώπινο οργανισμό.

Ο δείκτης αυτός προσφέρει ικανοποιητικές τιμές στην κλίμακα θερμικής άνεσης και σε ορισμένες κλίμακες, οι οποίες βρίσκονται κοντά στη θερμική άνεση. Είναι έγκυρος για συνθήκες μόνιμης κατάστασης ακόμη και αν ανέρχονται η θερμοκρασία και οι παλμοί του σώματος.

3.3.7 Διορθωμένη αισθητή θερμοκρασία CET

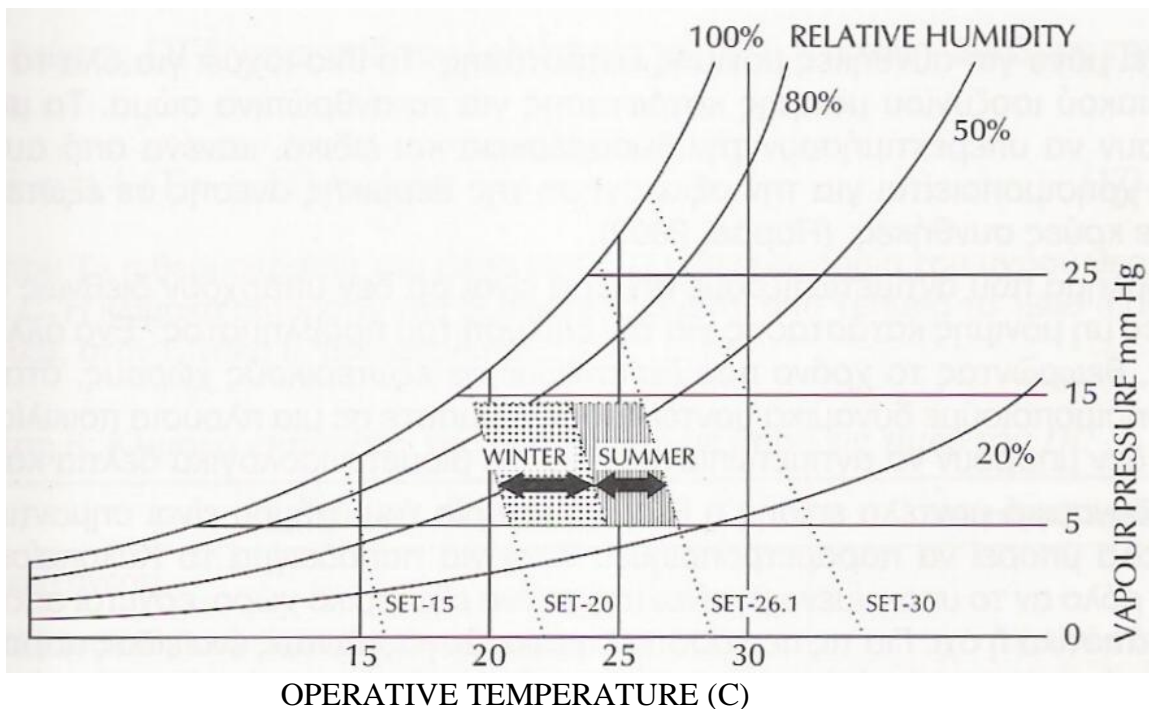
Ο δείκτης αυτός αποτελεί μια βελτίωση της ET και ενσωματώνει την επίδραση της ακτινοβολίας. Αυτό επιτεύχθηκε με την χρήση της θερμοκρασίας μαύρης σφαίρας αντί της θερμοκρασίας ξηρού βολβού.

3.3.8 Τυπική αισθητή θερμοκρασία SET

Αυτή η θερμοκρασιακή κλίμακα ορίζεται ως η θερμοκρασία ξηρού βολβού σε ένα περιβάλλον με ομοιόμορφες συνθήκες και σχετική υγρασία 50% μέσα στο οποίο οι άνθρωποι θα παρουσίαζαν τα ίδια ποσοστά ανταλλαγής θερμότητας με ακτινοβολία, μεταφορά και εξάτμιση, όπως και αν ήταν σε ένα περιβάλλον όπου μεταβάλλεται η

υγρασία. Τα επίπεδα ένδυσης προσδιορίζονται σε 0,6 clo για κανονική ελαφρά ενδυμασία εσωτερικού χώρου, συνθήκες ακίνητου αέρα ή ταχύτητας 0,2m/sec, διάρκεια έκθεσης του ατόμου σε αυτές τις συνθήκες για 1 ώρα και επίπεδα καθιστικής δραστηριότητας ανάλογα με 1 met.

Οι τιμές της SET υπολογίζονται από το **Διάγραμμα 3.1**



Διάγραμμα 3.1 Ψυχομετρικός χάρτης με τη νέα εμπειρική θερμοκρασία και τη ζώνη θερμικής άνεσης.

Η σκιασμένη περιοχή αντιπροσωπεύει τη ζώνη θερμικής άνεσης. Η αντιστοιχία μεταξύ διαφόρων τιμών της θερμοκρασίας SET σε °C και του θερμικού αισθήματος δίνεται στον **Πίνακα 3.1** που ακολουθεί.

Πίνακας 3.1 Τιμές της θερμοκρασίας SET και του θερμικού αισθήματος

SET	Συναίσθημα	SET	Συναίσθημα
40	Περιορισμένη αντοχή (πολύ ζεστά)	20 ⁻	Ελαφρά δροσερά
35	Ζεστά (ελαφρά δυσαρέσκεια)	20 ⁺	Δροσερά (ελαφρά δυσαρέσκεια)
30	Λίγο ζεστά	15	Κρύο
25	Ουδέτερα (θερμική άνεση)	10	Πολύ κρύο (δυσαρέσκεια)

3.4 Αξιολόγηση δεικτών

Μετά από πειραματικά αποτελέσματα, τα συμπεράσματα που προέκυψαν για ορισμένους δείκτες παρουσιάζονται στον **Πίνακα 3.2**, ο οποίος δείχνει τις συνθήκες στις οποίες ο κάθε δείκτης λειτουργεί, καθώς επίσης και την αξιοπιστία τους.

Πίνακας 3.2 Αξιοπιστία θερμικών δεικτών

Δείκτες Θερμικής Άνεσης	Απλότητα χρήσης δείκτη	Αξιοπιστία δείκτη σε κατάσταση ανάπαυσης	Αξιοπιστία δείκτη σε εναλλαγή δραστηριότητας	Αξιοπιστία δείκτη σε ένδειξη θερμικής δυσφορίας
E.T.	απλός	μη ικανός	μη ικανός	μη ικανός
R.T.	απλός	ικανός	μη ικανός	μη ικανός
I.T.S	σύνθετος	ικανός	ικανός	ικανός
P.M.V	σύνθετος	ικανός	ικανός	ικανός

3.5 Συνδυασμός δεικτών - Εξέλιξη των μοντέλων

3.5.1 PMV-PPD Μοντέλο Fanger

Όπως είδαμε ο δείκτης PMV παράγεται από ένα θεωρητικό μοντέλο της Φυσικής για την ροή θερμότητας σε συνδυασμό με μια εμπειρική προσαρμογή στην αίσθηση της άνεσης.

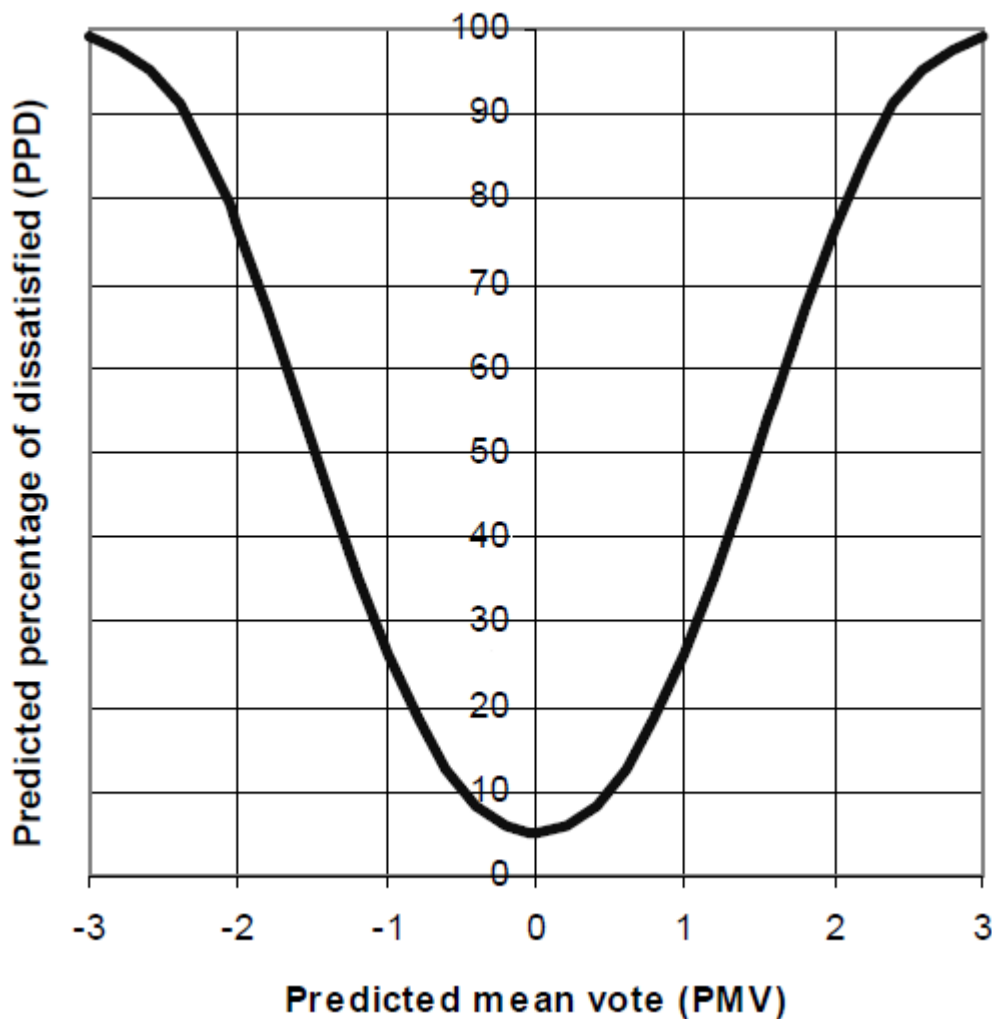
Ο δείκτης PMV είναι μια έκφραση του βαθμού δυσφορίας για την ομάδα ως σύνολο. Για τον υπολογισμό όμως του ποσοστού αυτών των ανθρώπων που αισθάνονται ανικανοποίητοι με το θερμικό περιβάλλον, ο Fanger ανέπτυξε ένα νέο δείκτη, γνωστό ως "προβλεπόμενο ποσοστό δυσανεστών" (PPD) και έδωσε την παρακάτω σχέση μεταξύ του PMV και του PPD.

$$PPD = 100 - 95 \exp(-0,335 PMV^4 - 0,217 PMV^2) \quad (3.4)$$

Το ποσοστό αυτό αποκτά ιδιαίτερη σημασία εάν αναλογισθούμε τις διαφορετικές αντιδράσεις που μπορεί να έχουν κάποιοι άνθρωποι στο ίδιο ερέθισμα. Είναι απόλυτα φυσικό να παρουσιάζεται διακύμανση στο αίσθημα θερμικής άνεσης σε ένα σύνολο ανθρώπων που εκτίθενται στις ίδιες συνθήκες περιβάλλοντος. Αυτό συμβαίνει διότι **οι άνθρωποι έχουν διαφορετικές συνήθειες ένδυσης, διαφορετικό μεταβολισμό και επίπεδα δραστηριότητας, ακόμη και διαφορετική ψυχοσύνθεση, που επηρεάζουν τελικά, το πόσο άνετα αισθάνονται σε ένα χώρο.**

Μεγαλύτερη σημασία έχει, το ποσοστό του συνόλου που δεν θα αισθάνεται θερμικά άνετα, δηλαδή το ποσοστό που θα ψηφίσει -3, -2, +2, +3, καθώς αυτοί τελικά θα παραπονεθούν απαιτώντας κάποια αλλαγή στις συνθήκες περιβάλλοντος.

Ο PPD συνδέεται με το δείκτη PMV, με την καμπύλη που φαίνεται στο **Διάγραμμα 3.2.**



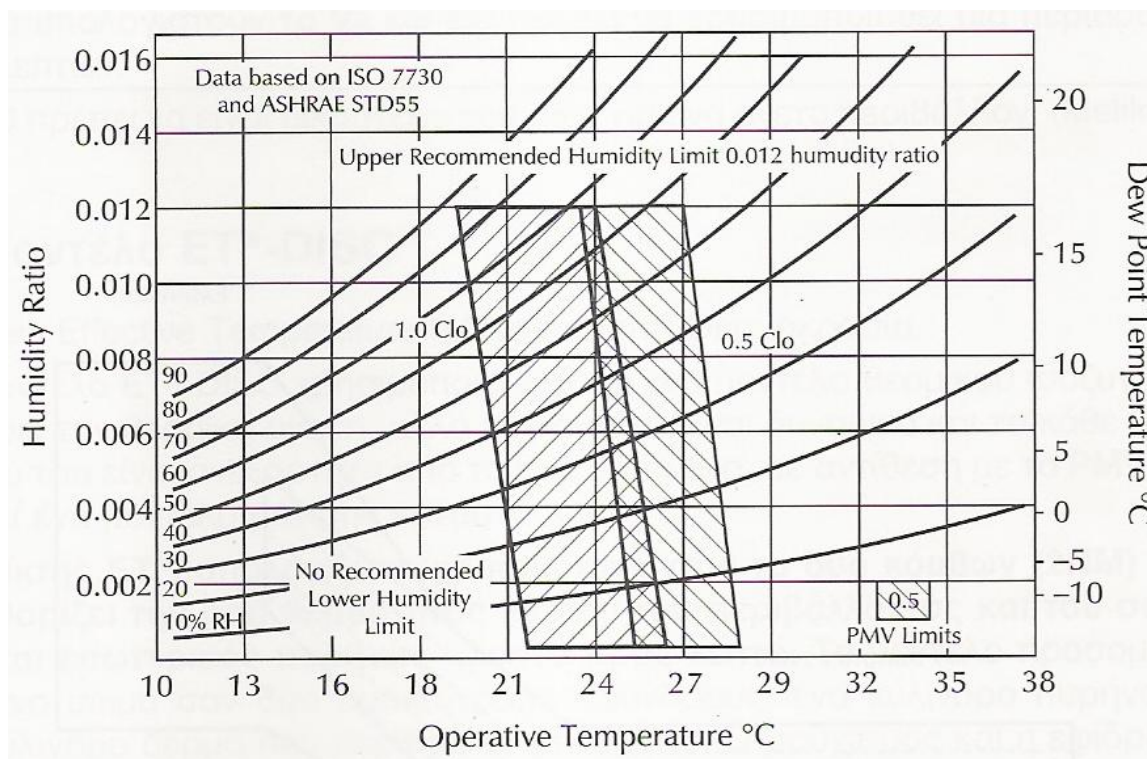
Διάγραμμα 3.2 Προβλεπόμενο ποσοστό δυσαρεστημένων (PPD) σε συνάρτηση με το PMV

Παρατηρούμε πως η καμπύλη αυτή είναι συμμετρική, ενώ για $PMV=0$, παρουσιάζεται το ελάχιστο ποσοστό δυσαρέσκειας που είναι το $PPD=5\%$. Διαπιστώνουμε δηλαδή, πως είναι αδύνατο να ικανοποιήσουμε όλους τους ανθρώπους που βρίσκονται σε ένα χώρο. **Ακόμη και αν χρησιμοποιήσουμε το τελειότερο κλιματιστικό σύστημα το οποίο θα εξασφαλίζει απόλυτα ομοιόμορφες θερμικές συνθήκες στο χώρο, είναι πρακτικά αδύνατο να επιτύχουμε ποσοστό δυσαρεστημένων μικρότερο του 5%.** Μπορεί, λοιπόν, να μην είμαστε σε θέση να εξαλείψουμε τα παράπονα για ένα κλιματιζόμενο χώρο, μπορούμε όμως να τα περιορίσουμε στο ελάχιστο δυνατό ποσοστό.

Ζώνες θερμικής άνεσης

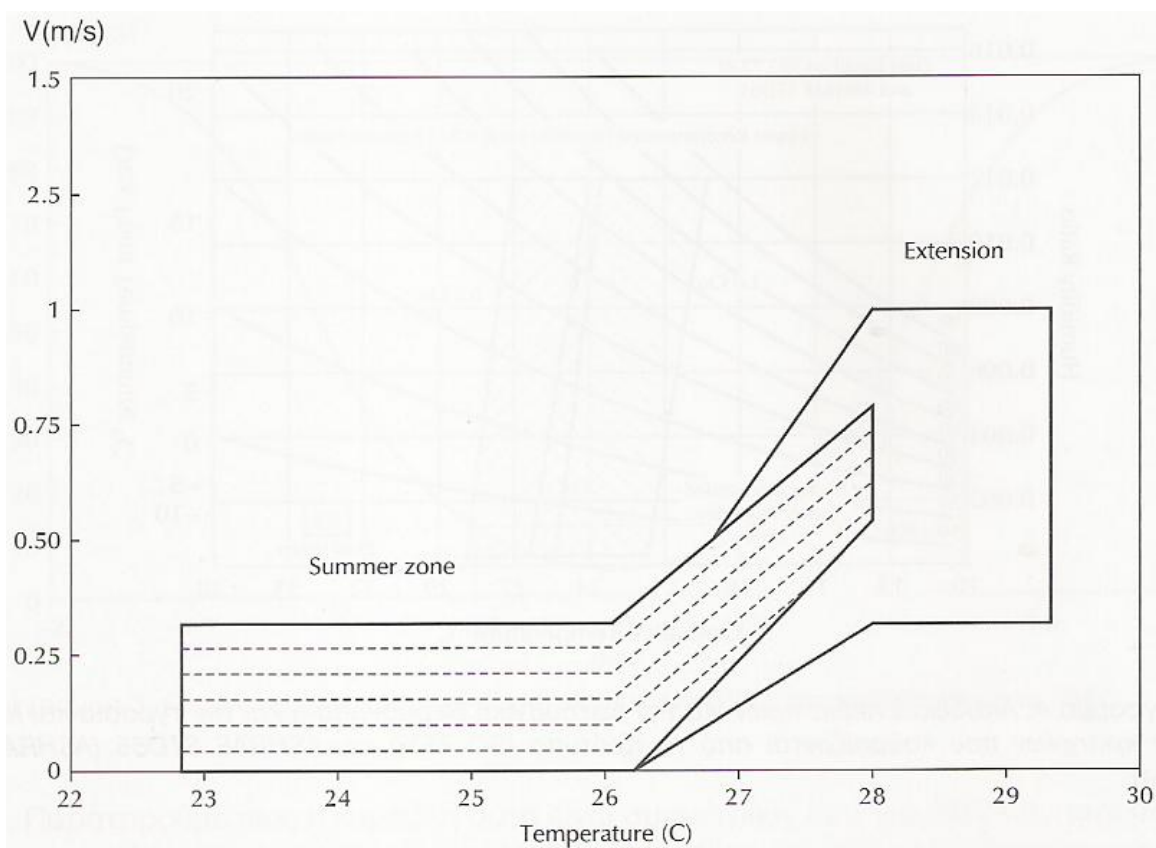
Η ASHRAE δίνει έναν ψυχομετρικό χάρτη, όπου καταγράφονται οι ζώνες άνεσης, δηλαδή οι περιοχές διακύμανσης της θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας, της θερμοκρασίας δρόσου και του λόγου υγρασίας (Humidity ratio) για χειμώνα και καλοκαίρι, σε αποδεκτά όρια. Η ISO επίσης, χρησιμοποιεί όρια στο PMV για ένα ρητό καθορισμό της ζώνης άνεσης.

Ένας ψυχομετρικός χάρτης που δίνει τις συγκεκριμένες περιοχές τιμών των ζωνών άνεσης φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 3.3 Αποδεκτά πεδία τιμών για τη λειτουργική Θερμοκρασία και την υγρασία και που καθορίζονται από τα πρότυπα της ISO και της ASHRAE.

Από πρόσφατες έρευνες προέκυψε ότι για το καλοκαίρι μπορεί να επεκταθεί η αντίστοιχη ζώνη άνεσης και σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 25°C, με την προϋπόθεση βέβαια της αύξησης της μέσης ταχύτητας του αέρα, η οποία επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση ανεμιστήρων που αυξάνουν την ταχύτητα του αέρα γύρω στο 1m/s. Η επέκταση της καλοκαιρινής ζώνης φαίνεται στο **Διάγραμμα 3.4**.



Διάγραμμα 3.4 Επέκταση της ζώνης του καλοκαιριού με αύξηση της ταχύτητας του αέρα.

3.5.2 PD Ποσοστό δυσαρεστημένων λόγω ρεύματος αέρα

Η θερμική ουδετερότητα είναι αναγκαία συνθήκη αλλά όχι επαρκής για να εξασφαλίσει άνεση. Ακόμα και αν η ροή θερμότητας σε ολόκληρο το σώμα είναι ισοσταθμισμένη, το

άτομο μπορεί να αισθάνεται δυσάρεστα αν ένα μέρος του σώματός του είναι κρύο και ένα άλλο ζεστό.

Ο Fanger το 1988, εγκαθίδρυσε ένα συμπληρωματικό εμπειρικό δείκτη, το PD, με σκοπό να ποσοτικοποιήσει τον κίνδυνο επίδρασης ρευμάτων. Ο δείκτης αυτός συνδέεται με τοπικές κλιματικές παραμέτρους και την ένταση στροβιλισμού της ροής αέρα.

Το PD αντιπροσωπεύει το ποσοστό των υποκειμένων που ψήφισαν ότι αισθάνονται ένα ρεύμα, κάτω από επιλεγμένες συνθήκες. Υποστηρίζεται ότι κίνδυνος υφίσταται ειδικότερα για καθιστική και σπάνια για υψηλής έντασης δραστηριότητα.

$$PD = 3,143(34 - T_{air})(V_{air}-0,05)^{0,6223} + 0,3696V_{air} \cdot T_u(34 - T_u)(V_{air}-0,05)^{0,6223} \quad (3.5)$$

όπου:

$T_u=100(SD/V_{air})$ είναι η ένταση στροβιλισμού και

SD η τυπική απόκλιση της ταχύτητας του αέρα.

Για να υπολογιστούν τα V_{air} και SD πρέπει να χρησιμοποιηθεί μια περίοδος μετρήσεων 3 λεπτών. Το PD πρέπει να είναι μικρότερο του 15% για ένα άνετο περιβάλλον.

3.5.3 Μοντέλο ET-DISC

(ET =New Effective Temperature ή Νέα Αισθητή Θερμοκρασία)

Το μοντέλο ET-DISC χρησιμοποιεί επίσης ένα μοντέλο θερμικού ισοζυγίου για να

προβλέπει τη θερμική άνεση, αλλά το μοντέλο είναι δυναμικό και το κάθε βήμα υπολογισμού του είναι ανεξάρτητο από τα προηγούμενα, σε αντίθεση με το PMV που χρησιμοποιεί ένα μοντέλο μόνιμης κατάστασης.

Ο δείκτης ET, υπολογίζεται χρησιμοποιώντας το δύο κόμβων μοντέλο, που καθορίζει τη ροή θερμότητας μεταξύ του περιβάλλοντος και του σώματος (δέρμα και εσωτερικός πυρήνας) λεπτό προς λεπτό. Το μοντέλο προσομοιώνει το ανθρώπινο σώμα σαν δύο ομόκεντρους κυλίνδρους, έναν κύλινδρο πυρήνα και ένα λεπτό κύλινδρο δέρμα που περιβάλλει τον πρώτο. Ο ρουχισμός και η εφίδρωση υποτίθενται διανεμημένα σε όλη την επιφάνεια του δέρματος. Σε χρόνο «μηδέν» οι κύλινδροι εκτίθενται σε ομοιόμορφο περιβάλλον και το μοντέλο προσομοιώνει συνάρτηση του χρόνου, το ανθρώπινο θερμορυθμιστικό σύστημα. Μετά από κάποιο χρόνο, συνήθως 60 λεπτά, η ροή θερμότητας ισοσταθμίζεται και η τελική θερμοκρασία και εφίδρωση της επιφάνειας του κυλίνδρου, συνδέεται με την Αισθητή Θερμοκρασία ET.

Ο δείκτης DISC προβλέπει τη θερμική δυσφορία χρησιμοποιώντας τη θερμοκρασία και την εφίδρωση του δέρματος. Μετρά τη δυσφορία την οφειλόμενη στην εφίδρωση σε θερμές συνθήκες.

3.5.4 Μοντέλα προσαρμόσιμης θερμικής άνεσης

Διάφορες έρευνες πεδίου, έδειξαν να μη συμφωνούν πλήρως με τα αποτελέσματα των προβλέψεων της θεωρίας του PMV.

Σαν αποτέλεσμα, προσαρμόσιμα μοντέλα σχηματοποιήθηκαν που υπολογίζουν τη θερμοκρασία άνεσης ή ακριβέστερα τη θερμοκρασία θερμικής ουδετερότητας. Η θερμοκρασία άνεσης θεωρείται ότι είναι το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης μεταξύ των χρηστών και του κτηριακού περιβάλλοντος που χρησιμοποιείται.

Η θεμελιώδης υπόθεση για μια προσαρμόσιμη προσέγγιση εκφράζεται από την προσαρμόσιμη αρχή: **εάν συντελείται μια αλλαγή έτσι ώστε να παράγει δυσφορία, οι άνθρωποι αντιδρούν με τρόπο που τείνει να αποκαταστήσει την άνεση τους.**

Η θερμοκρασία θερμικής ουδετερότητας

Ο Humphreys το 2002, χρησιμοποιώντας εκτεταμένα στατιστικά στοιχεία, κατέληξε στην παρακάτω εξίσωση, η οποία συνδέει τη θερμοκρασία T_n στην οποία αισθάνεται κάποιος θερμικά ουδέτερα σε ένα χώρο, με τη μέση θερμοκρασία αέρα T_i στο εσωτερικό του κτηρίου:

$$T_n = 2,56 + 0,83 T_i$$

Στη συνέχεια ο Humphreys προσπάθησε να συνδέσει τη θερμοκρασία άνεσης T_n στο εσωτερικό του κτηρίου με τις θερμοκρασίες T_m που αναπτύσσονται στο εξωτερικό του περιβάλλον. Κατέληξε, λοιπόν, με στατιστικές μελέτες σε δύο εξισώσεις.

Για κτήρια που δε διαθέτουν κλιματισμό (λειτουργούν με φυσικό αερισμό):

$$T_n = 13,5 + 0,54 T_m$$

Η εξίσωση αυτή έχει ένα τυπικό σφάλμα του 1°C και εφαρμόζεται στο πεδίο $10 \leq T_m \leq 34^\circ\text{C}$.

Για κτήρια που διαθέτουν κλιματισμό:

$$T_n = 23,9 + 0,295 (T_m - 22) \exp [-(T_m - 22)^2/1152]$$

ή

$$T_n = 0,0065 T_m^2 + 0,32 T_m + 12,4$$

όπου:

T_h είναι η μέση ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία του θερμότερου μήνα του έτους.

Η πρόβλεψη έχει ένα τυπικό σφάλμα $1,4^\circ\text{C}$ και εφαρμόζεται στο πεδίο:

$-24 \leq T_m \leq 23^\circ\text{C}$ και $18 \leq T_m \leq 30^\circ\text{C}$.

Σε μια προσπάθεια βελτίωσης των προηγούμενων εξισώσεων και με την προσθήκη πιο πρόσφατων στατιστικών στοιχείων από διάφορες κλιματικές ζώνες (όπως η Αυστραλία, η Ασία, η Αμερική και η Ευρώπη), προέκυψε η παρακάτω εξίσωση η οποία συνδέει τη θερμοκρασία άνεσης T_n , τόσο με τη μέση θερμοκρασία αέρα T_i στο εσωτερικό του κτηρίου, όσο και τη μέση μηνιαία εξωτερική θερμοκρασία T_m ως εξής:

$$T_n = 0,48 T_i + 0,14 T_m + 9,22$$

Προσαρμόσιμη άνεση

Από την ανάλυση των διαθέσιμων δεδομένων, ο Humphreys συμπέρανε ότι η θερμοκρασία άνεσης εξαρτάται επίσης από τη χώρα καταγωγής με ένα τρόπο που δεν φαίνεται να σχετίζεται με το εξεταζόμενο κλίμα.

Συγκρίνοντας επίσης τις θερμοκρασίες που σημειώθηκαν μέσα σε κτήρια, βρήκε τις μέσες εσωτερικές θερμοκρασίες υψηλότερες από τις θερμοκρασίες άνεσης κατά ένα ορισμένο ποσό. Για κτήρια χωρίς κλιματιστικές μονάδες, η μέση εσωτερική θερμοκρασία ήταν κατά μέσο όρο $2,4^\circ\text{C}$ ψηλότερη από την θερμοκρασία άνεσης, ενώ στα κτήρια με τεχνητό κλιματισμό ήταν $0,6^\circ\text{C}$ ψηλότερη.

Πίνακας 3.3 Η επίδραση της προσαρμόσιμης συμπεριφοράς στην θερμοκρασία άνεσης

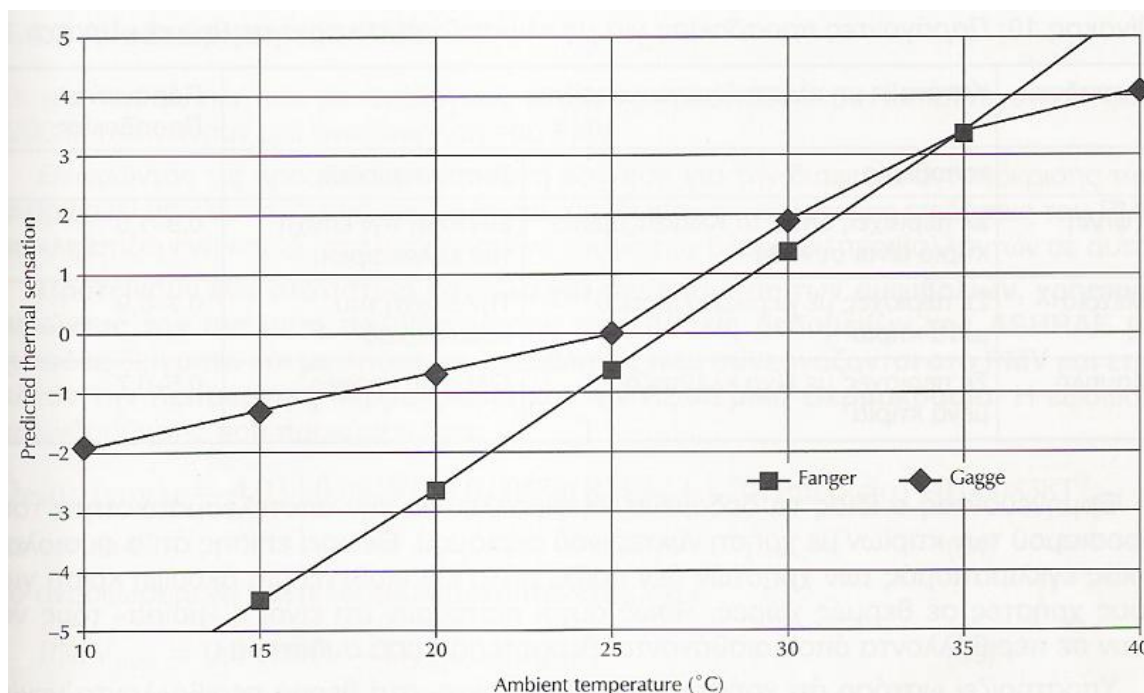
Συμπεριφορές	Επίδραση	Μετατόπιση T_n
Μπλούζα±	Αλλαγή clo± 0,35	± 2,2 K
Εφαρμοστό ή χαλαρό ρούχο	Αλλαγή clo± 0,26	± 1,7 K
Κολάρο, γραβάτα ±	Αλλαγή clo ± 0,13	± 0,8 K
Τύπος καρέκλας	Αλλαγή clo ± 0,05	± 0,3 K
Καθιστός ή τριγυρίζοντας	Διακύμανση met ± 0,4	± 3,4 K
Επίπεδο stress	Διακύμανση met ± 0,3	± 2,6 K
Ένταση δραστηριότητας	Διακύμανση met ± 0,1	± 0,9 K
Διαφορετικές στάσεις	Διακύμανση met ± 10%	± 0,9 K
Κατανάλωση κρύων ποτών	Διακύμανση met -0,12	+ 0,9 K
Ζεστά ποτά ή φαγητό	Διακύμανση met +0,12	- 0,9 K
Ανεμιστήρας γραφείου	Διακύμανση V + 2,0	+ 2,8 K
Ανεμιστήρας οροφής	Διακύμανση V +1,0	+ 2,2 K
Άνοιγμα παραθύρου	Διακύμανση V +0,5	+ 1,1 K

3.5.5 Σύγκριση των μοντέλων PMV-PD

Μελέτες που έγιναν για την εγκυρότητα δύο συνήθως χρησιμοποιούμενων μοντέλων θερμικής άνεσης, του PMV και του PD έδειξαν ότι στο μοντέλο PD διαπιστώθηκε ότι οι χρήστες ενός χώρου είναι πιο ανεκτικοί στα ρεύματα εάν έχουν μεγαλύτερο προσωπικό έλεγχο των συσκευών αερισμού.

Το μοντέλο PMV, σε κλιματιζόμενα κτήρια, προσέγγισε την παρατηρούμενη θερμική άνεση των χρηστών, αρκετά. Όμως, σε μη κλιματιζόμενα κτήρια, οι χρήστες φαίνονται ικανοί προσαρμογής σε ευρύτερα πεδία συνθηκών και μπορούν να δεχθούν υψηλότερες θερμοκρασίες από αυτές που προβλέφθηκαν από το μοντέλο PMV.

Οι προβλέψεις που προέκυψαν από το μοντέλο του Gagge και το μοντέλο του Fanger συγκρίνονται στο παρακάτω **Διάγραμμα 3.5**.



Διάγραμμα 3.5 Σύγκριση των προβλέψεων από τα μοντέλα του Fanger (PMV) και του Gagge (PD)

Ακόμα και για μέτριες συνθήκες, ειδικά στην πλευρά της κρύας αίσθησης τα μοντέλα δίνουν πολύ διαφορετικά αποτελέσματα.

3.5.6 Αναθεώρηση του PMV

Στατιστικά μοντέλα για τη βελτίωση των αποτελεσμάτων του PMV, οδήγησαν στην εκτίμηση παράγοντα αμφιβολίας D, χρησιμοποιώντας την ανάλυση παλινδρόμησης στις βάσεις δεδομένων της ASHRAE με χιλιάδες δείγματα και με όρους τις μεταβλητές που συνεργάζονται στο PMV και επιπλέον τη λειτουργική θερμοκρασία T_o και την Εξωτερική Θερμοκρασία T_{out} .

$$D_{\text{PMV-ASHRAE}} = -4,03 + 0,0949T_o + 0,00584(\text{RH}\%) + 1,201(\text{met}\cdot\text{clo}) + 0,000838T_{\text{out}}^2 \quad (3.6)$$

Το αναθεωρημένο μοντέλο που προκύπτει έχει:

$$\text{PMV}_{\text{new}} = 0,8 (\text{PMV} - D_{\text{PMV-ASHRAE}}) \quad (3.7)$$

Κεφάλαιο 4^ο

Πρότυπα θερμικής άνεσης

4.1 Το πρότυπο της ASHRAE

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

1. Ο αέρας θεωρείται ακίνητος
2. η δραστηριότητα του ατόμου είναι στάσιμη
3. φορά ρουχισμό 0,6 clo για το καλοκαίρι ή 0,8 clo για τον χειμώνα και
4. εκτίθεται σε μέτριες γενικά συνθήκες.

Όσο περισσότερο απομακρύνεται μια μελέτη από αυτό τον τύπο των συνθηκών, τόσο μεγαλύτερο θα είναι το λάθος στα αποτελέσματα. Λέγοντας λάθος, εννοείται ότι η προβλεπόμενη τιμή υπερτιμά ή υποτιμά τη μέση ανταπόκριση μιας μεγάλης ομάδας ανθρώπων που εκτίθενται στις συνθήκες της μελέτης.

4.1.1 Αναθεώρηση του προτύπου της ASHRAE

Οι περιορισμοί αυτοί έκαναν αναγκαία της εξέλιξη του προτύπου. Οι αλλαγές που έγιναν περιλαμβάνουν την προσθήκη μεθόδων υπολογισμού του PMV/PPD και την ιδέα της προσαρμοστικότητας. (Το πρότυπο τώρα είναι σε στενή συμφωνία με το αντίστοιχο της ISO)

Το πρότυπο εξειδικεύει θερμικές περιβαλλοντικές συνθήκες αποδεκτές από ενήλικες, υγιείς σε ατμοσφαιρική πίεση ισοδύναμη με υψόμετρο περί τα 3000μ., για εσωτερικούς χώρους σχεδιασμένους για ανθρώπινα καταλύματα και για περιόδους όχι μικρότερες των 15 λεπτών.

4.1.2 Όροι και περιορισμοί

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

- για επίπεδα δραστηριότητας μεταξύ 1,0 και 2,0 met
- για αντίσταση ρουχισμού 1,5 clo ή λιγότερο
- για ταχύτητα αέρα όχι μεγαλύτερη των 0,2 m/s. (Πάνω από τα 0,2 m/s μπορεί να αξιοποιηθεί για να αυξηθεί το άνω θερμοκρασιακό όριο της ζώνης άνεσης κάτω από ορισμένες συνθήκες).

Επίσης:

- Το πρότυπο της ASHRAE αναφέρεται στην καμπύλη $PPD=f(PMV)$ και την υπόθεση ότι οι άνθρωποι που στην κλίμακα θερμικής αίσθησης της ASHRAE ψηφίζουν +3, +2, -2, -3, αισθάνονται δυσφορία.
- Η υγρασία πρέπει να συντηρείται σε επίπεδα που αντιστοιχούν σε πίεση υδρατμών κάτω από 1,910 kPa ή θερμοκρασίας δρόσου 16,8°C. (Αυτό το πρότυπο δεν ορίζει ελάχιστα επίπεδα υγρασίας).
- Το πρότυπο επιτρέπει, η άνοδος της ταχύτητας του αέρα (έως 0,8 m/s) να

χρησιμοποιηθεί για την αύξηση της μέγιστης αποδεκτής θερμοκρασίας (όχι πλέον των 3°C), εάν οι αποδέκτες-χρήστες μπορούν οι ίδιοι να την ελέγξουν και με βήμα όχι μεγαλύτερο του 0,15m/s.

- Ο υπολογισμός της ταχύτητα του αέρα που απαιτείται για την αντιστάθμιση της αύξησης της θερμοκρασίας υπολογίζεται από το διάγραμμα 3.4.

Τα οφέλη που μπορούν να προκύψουν εξαρτώνται από το ρουχισμό και τη δραστηριότητα. Η επίδραση της αύξησης της ταχύτητας είναι μεγαλύτερη με την ένταση της δραστηριότητας λόγω της αυξημένης εφίδρωσης και ο ελαφρύτερος ρουχισμός αυξάνει την επιφάνεια του δέρματος που εκτίθεται.

- Καθορίζει προϋποθέσεις για τους παράγοντες τοπικής δυσφορίας:

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

και

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

Οι παραπάνω απαιτήσεις εφαρμόζονται σε άτομα με ελαφριά ενδυμασία και καθιστική δραστηριότητα.

- Διακυμάνσεις της θερμοκρασίας που συμβαίνουν, χωρίς να είναι κάτω από τον έλεγχο των χρηστών (π.χ. η ανακύκλωση αέρα από τον θερμοστατικό έλεγχο), μπορούν να επιδρούν αρνητικά στην αίσθηση άνεσης και υπόκεινται σε

περιορισμούς:

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

4.1.3 Μέθοδος μετρήσεων

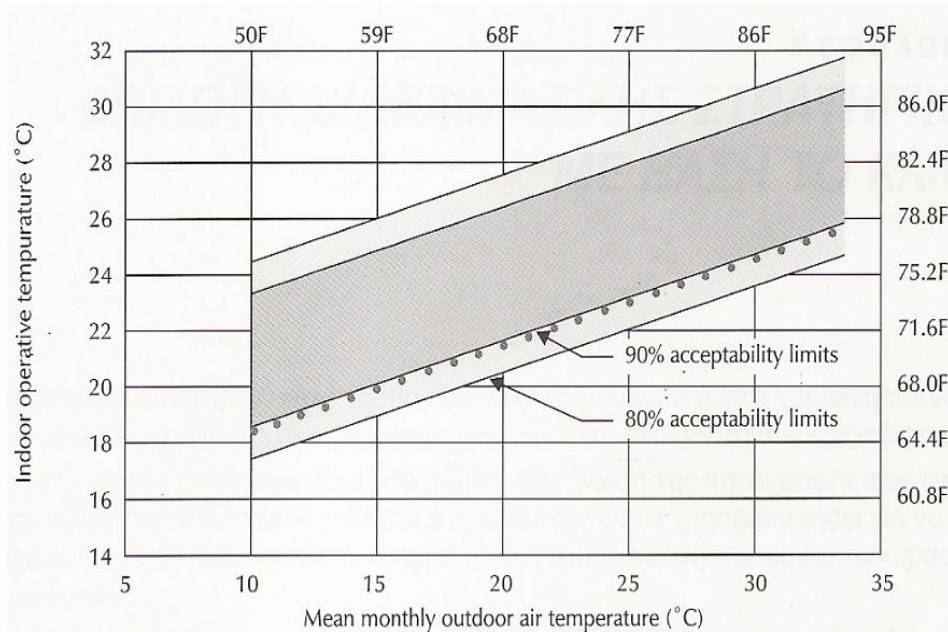
- Η θέση των μετρήσεων πρέπει να επιλέγεται στο κέντρο του δωματίου και σε απόσταση τουλάχιστον 1m από τους τοίχους και το μεγαλύτερο παράθυρο.
- Οι μετρήσεις για την Λειτουργική θερμοκρασία ή το PMV/PPD, θα πρέπει να είναι σε ένα επίπεδο, με ύψος από το πάτωμα 0,6m για καθιστική δραστηριότητα και 1,1m για όρθια.
- Η περίοδος μέτρησης για τον καθορισμό της μέσης ταχύτητας αέρα σε οποιαδήποτε θέση είναι 3 λεπτά της ώρας.
- Ο ρουχισμός και η δραστηριότητα θα πρέπει να υπολογίζονται ως μέσες τιμές για μια περίοδο μισής με μίας ώρας αμέσως πριν τη μέτρηση των περιβαλλοντικών παραμέτρων.

4.1.4 Μέθοδος καθορισμού αποδεκτών θερμικών συνθηκών σε μη κλιματιζόμενους χώρους

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

- Το κτήριο πρέπει να είναι εφοδιασμένο με ανοιγόμενα παράθυρα.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μηχανικός αερισμός (με ανεμιστήρες).
- Ο χώρος μπορεί να εφοδιασθεί με σύστημα θέρμανσης, αλλά η μέθοδος δεν μπορεί να εφαρμοσθεί όταν βρίσκεται σε λειτουργία.

- Προδιαγράφει την εφαρμογή της μεθόδου για χώρους όπου οι χρήστες ασκούν καθιστική δραστηριότητα με μεταβολικό ρυθμό περίπου 1 met.
- Οι χρήστες εννοείται ότι μπορούν ελεύθερα να προσαρμόζουν το ρουχισμό τους.
- Η επιτρεπόμενη Λειτουργική Θερμοκρασία καθορίζεται από το παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 4.1 Αποδεκτά πεδία τιμών για τη Λειτουργική θερμοκρασία σε φυσικά αεριζόμενους χώρους.

Εάν η μέση μηνιαία εξωτερική θερμοκρασία είναι μικρότερη των 10°C και μεγαλύτερη των 33,5°C αυτή η εκδοχή δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

Το διάγραμμα υπολογίζει τις τοπικές συνθήκες δυσφορίας και επίσης δεν χρειάζεται να υπολογισθούν τιμές για το ρουχισμό. Τέλος δεν χρειάζονται όρια για την υγρασία και την ταχύτητα του αέρα όταν χρησιμοποιείται αυτή η εκδοχή.

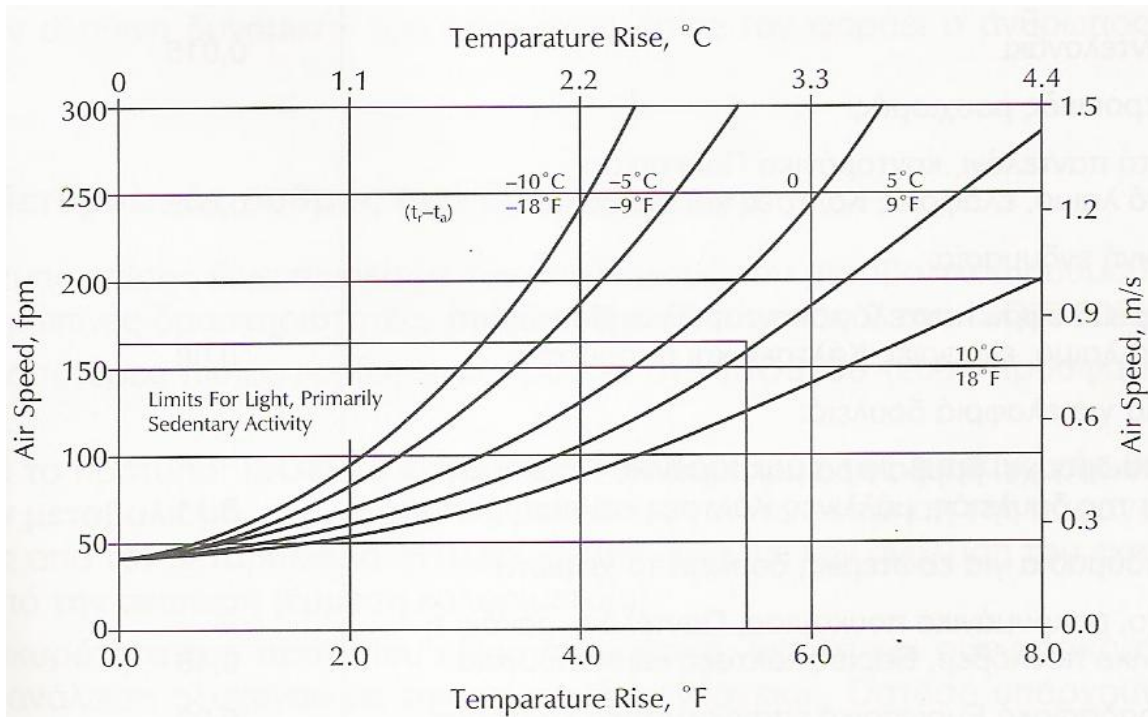
4.2 Το πρότυπο της ISO

Το πρότυπο άνεσης για το Διεθνή Οργανισμό Προτύπων (ISO) ενσωματώνει το PMV-PPD μοντέλο που **χρησιμοποιείται από το μεγαλύτερο μέρος του κόσμου.**

4.2.1 Απαιτήσεις και περιορισμοί του προτύπου ISO

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

1. $-0,5 < PMV < +0,5$ και $PPD < 10\%$
2. $DR < 15\%$, στο λαιμό και τα άκρα
3. Κάθετη διαφορά θερμοκρασίας, ανάμεσα στο λαιμό και τα άκρα, μικρότερη των $3^{\circ}C$
4. Ασυμμετρία στη θερμοκρασία ακτινοβολίας από κρύα παράθυρα, μικρότερη από $10^{\circ}C$
5. Ασυμμετρία στη θερμοκρασία από ζεστό ταβάνι, μικρότερη από $5^{\circ}C$
6. Θερμοκρασία δαπέδων μεταξύ 19° και $29^{\circ}C$, αλλά τα συστήματα θέρμανσης πατώματος μπορούν να σχεδιάζονται για $29^{\circ}C$
7. Σχετική υγρασία μεταξύ 30% και 70%
8. Ταχύτητα αέρα μικρότερη από την προσδιοριζόμενη στο παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 4.2 Μέση επιτρεπτή ταχύτητα του αέρα, σαν συνάρτηση της θερμοκρασίας και της έντασης στροβιλισμού του. (Οι καμπύλες βασίζονται στο μοντέλο DR για 15% δυσαρέσκεια και δραστηριότητα 1,2 met).

Δηλαδή:

για $T_u = 0\%$

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

για $T_u = 60\%$

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

9. Λειτουργική θερμοκρασία μεταξύ $20\text{-}24^\circ\text{C}$ για τον χειμώνα και $23\text{-}26^\circ\text{C}$ για το καλοκαίρι.

10. Γενικά τα πεδία τιμών για μια έγκυρη χρήση του PMV είναι μεταξύ $10^\circ\text{-}30^\circ\text{C}$ για

τη θερμοκρασία αέρα και 10° - 40°C για τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας

11. Το πρότυπο για την έγκυρη χρήση του μοντέλου PMV, δίνει πεδίο τιμών για το μεταβολικό ρυθμό 0,8 - 4,0 met.

12. Για την θερμική αντίσταση του ρουχισμού, δίνει έγκυρο πεδίο τιμών, 0-2,0clo.

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

4.2.2 Αναθεώρηση του προτύπου της ISO

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

Πίνακας 4.1 Τρεις κλάσεις θερμικού περιβάλλοντος: Ποσοστό δυσαρεστημένων οφειλόμενο στη γενική άνεση και την τοπική δυσφορία

Κατηγορία	Θερμική κατάσταση όλου του σώματος		Τοπική θερμική Δυσφορία			
	PPD %	PMV	DR%	Κάθετη διαφορά θερμοκρασίας %	Θερμό ή ψυχρό πάτωμα %	Ασυμμετρία Θερμοκρασίας Ακτινοβολίας %
A	<6	-0,2<PMV<+0,2	<15	<3	<10	<5
B	<10	0,5<PMV< +0,5	<20	<5	<10	<5
C	<15	-0,7<PMV<+0,7	<25	<10	<15	<10

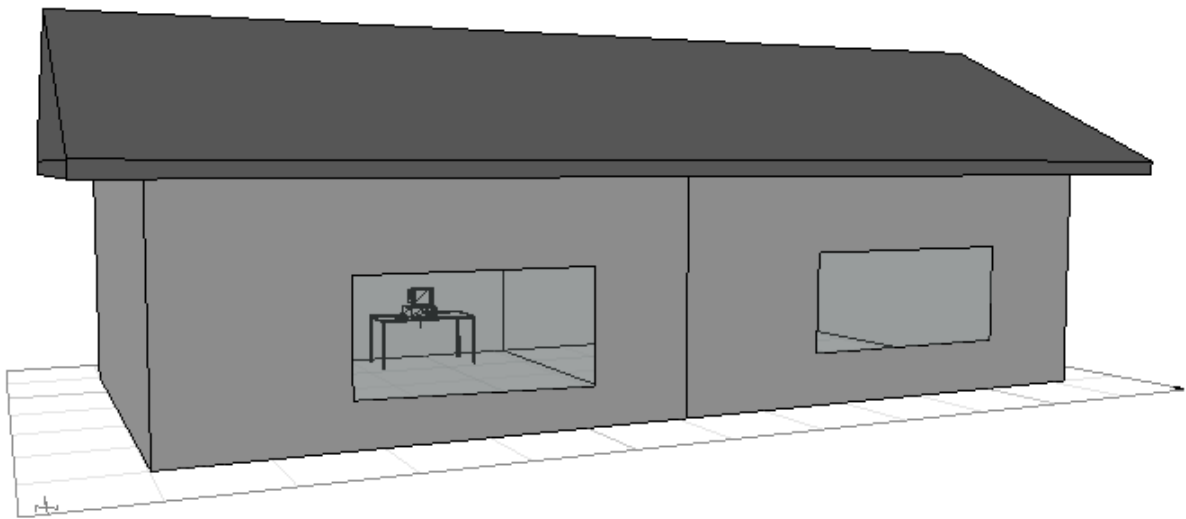
Έτσι για κτήρια χωρίς κλιματισμό ζητείται να χρησιμοποιείται το μοντέλο PMV, στο πεδίο της κλάσης C. Η ταχύτητα του αέρα που απαιτείται για την αντιστάθμιση της αύξησης της θερμοκρασίας υπολογίζεται από το διάγραμμα 3.4 όπως έγινε προηγουμένως.

Κεφάλαιο 5^ο

Εφαρμογή του μοντέλου PMV-PPD σε χώρο γραφείων

Το μοντέλο που χρησιμοποιείται σήμερα για την εκτίμηση της θερμικής άνεσης είναι κυρίως το PMV-PPD. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα **Ecotect Analysis 2010** της Autodesk το οποίο εφαρμόζει το μοντέλο PMV-PPD για τις μελέτες των κτηρίων. Στο πρόγραμμα αυτό γίνεται η σχεδίαση του τρισδιάστατου χώρου που πρέπει να μελετηθεί. Εισάγουμε διαφορετικά δεδομένα και ξεχωριστές μεταβλητές και εξετάζουμε κάθε περίπτωση ξεχωριστά.

Το κτήριο που χρησιμοποιείται για να μελετηθεί είναι ένας χώρος γραφείων όπως φαίνεται στην εικόνα.



Η σχεδίαση του χώρου και όλες οι μετρήσεις γίνονται στο περιβάλλον του Ecotect.

Στο τρισδιάστατο σχέδιο φαίνεται ο χώρος με τις εξής διαστάσεις:

- Εμβαδό γραφείου = 50m^2
- Ύψος γραφείου = $2,40\text{m}$
- Συνολική επιφάνεια κτίσματος = $174,5\text{m}^2$
- Όγκος εσωτερικού χώρου: $121,9\text{m}^3$

Για την καλύτερη προσομοίωση οι τοίχοι των γραφείων έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

Εξωτερικοί τοίχοι:

ConcBlockPlaster
110mm concrete block with 10mm plaster either side.

- Πάχος: 120mm
- Σύσταση: Σκυρόδεμα (110mm), σοβάς (10mm)
- Επιφάνεια: $67,8\text{m}^2$

Πάτωμα:

ConcSlab_OnGround
100mm thick concrete slab on ground.

- Πάχος: 100mm
- Υλικό: Σκυρόδεμα
- Επιφάνεια: 50m²

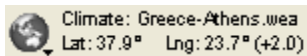
Στέγη επικλινής:

ConcreteRoof
100mm thick concrete slab

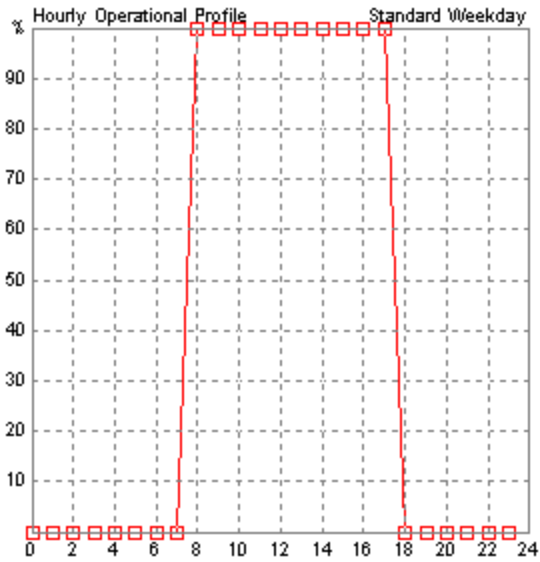
- Πάχος: 100mm
- Υλικό: Σκυρόδεμα
- Επιφάνεια: 106,75m²

ΣΤΑΘΕΡΕΣ

Στο πρόγραμμα Ecotect υπάρχει βάση δεδομένων από την οποία μπορούμε να επιλέξουμε σε ποια περιοχή του κόσμου γίνεται η μελέτη εφαρμογής. Σε κάθε περίπτωση οι εξωτερικές κλιματολογικές συνθήκες (θερμοκρασία περιβάλλοντος, ακτινοβολία) με βάση τις οποίες θα γίνουν οι μετρήσεις αφορούν την Αθήνα, με γεωγραφικό πλάτος 37,9° και μήκος 23,7°.



Διαμορφώνουμε το ωράριο λειτουργίας του γραφείου:



Έτσι ορίζουμε ως ωράριο λειτουργίας τις καθημερινές από τις 08.00 έως τις 17.00.

Ο χώρος που θα μελετηθεί είναι χώρος γραφείων, οπότε επιλέχθηκε να επικρατούν στο εσωτερικό επίπεδα φωτισμού 400 lux.



5.1 Περίπτωση 1^η

Μελετάμε το χώρο στις 2 Ιανουαρίου και ώρα 12:00 το μεσημέρι.



Εξωτερικές συνθήκες στις 2 Ιανουαρίου και ώρα 12:00 το μεσημέρι

- Θερμοκρασία: 8,6°C
- Σχετική Υγρασία: 58%
- Άμεση ακτινοβολία: 90W/m²
- Διάχυτη Ακτινοβολία: 122W/m²
- Ταχύτητα Ανέμου: 11,2m/s

Hour	12:00
Temp:	8.6
Humidity:	58
Direct:	90
Diffuse:	122
Wind:	11.2

Συνολική επιφάνεια των δύο υαλοπινάκων: 5,121m²

All Visible Thermal Zones	
Total Surface Area:	174.464 m2
Total Exposed Area:	72.873 m2
Total South Window:	5.121 m2
Total Window Area:	5.121 m2
Total Conductance (AU):	151 W/°K
Total Admittance (AY):	553 W/°K

Υλικό υαλοπινάκων: μονό τζάμι

SingleGlazed_AlumFrame

Single pane of glass with aluminium frame (no thermal break).

Building Element: WINDOW

- Επίπεδο ρουχισμού: clo = 1,00 (λεπτό σακάκι εργασίας)
- Σχετική υγρασία: 60%
- Ταχύτητα αέρα στο εσωτερικό: 0,12m/s (ιδανική για χώρους γραφείων)

INTERNAL DESIGN CONDITIONS

These values are used to define zone conditions in thermal comfort and lighting calculations.

Clothing (clo): 1.00

Humidity (%): 60.0

Air Speed: 0.12 m/s

- Αριθμός ατόμων που εργάζονται στο χώρο: 4 άτομα
- Είδος δραστηριότητας: εργασία στον Η/Υ = εκπομπή θερμότητας 65W ανά άτομο (met=1,1)
- Συνολική εκπομπή θερμότητας στο χώρο λόγω εργασίας: $4 \cdot 65W = 260W$
- Ημερήσιο πρόγραμμα εργασίας: από τις 08:00 έως τις 17:00

Occupancy

Values for number of people and their average biological heat output.

No. of People and Activity: 4 Typing - 65 W

8-17

- Εκπομπές θερμότητας λόγω φωτισμού ($20W/m^2$), ηλεκτρικών συσκευών ($5W/m^2$) και άλλων πηγών ($2W/m^2$): Σύνολο = $27W/m^2$
- Συνολικές εκπομπές θερμότητας στο χώρο: $27W/m^2 \cdot 50m^2 = 1350W$

Internal Gains

Values for both lighting and small power loads per unit floor area.

Sensible Gain: 25

Latent Gain: 2 W/m²

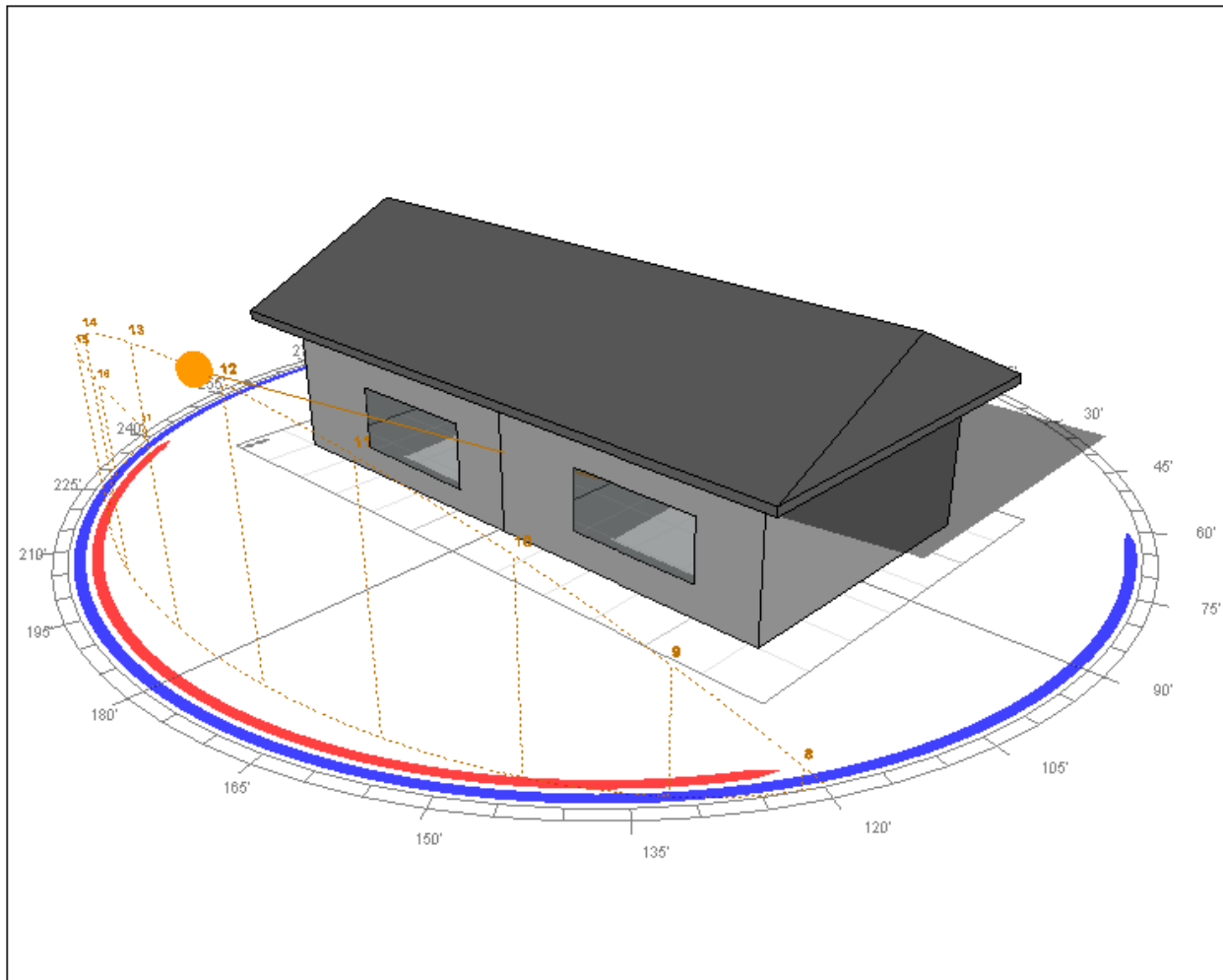
Οι συνολικές εκπομπές θερμότητας στο χώρο από την ανθρώπινη δραστηριότητα, τις ηλεκτρικές συσκευές και το φωτισμό είναι: $260W + 1350W = 1610W$.

- Ρυθμός εναλλαγής αέρα στο εσωτερικό: 0,5 εναλλαγές αέρα ανά ώρα
- Συντελεστής ευαισθησίας του χώρου στον αέρα (πόσο εκτεθειμένο είναι στον άνεμο): 0,25 (αρκετά προστατευμένο)

Infiltration Rate Values for the exchange of air between zone and outside environment.	Air Change Rate: <input type="text" value="0.50"/>	Wind Sensitivity: <input type="text" value="0.25"/>	Air changes / hr
--	---	--	------------------

Επισημαίνεται ότι στο χώρο δεν έχει εγκατασταθεί κανένα είδος κλιματισμού

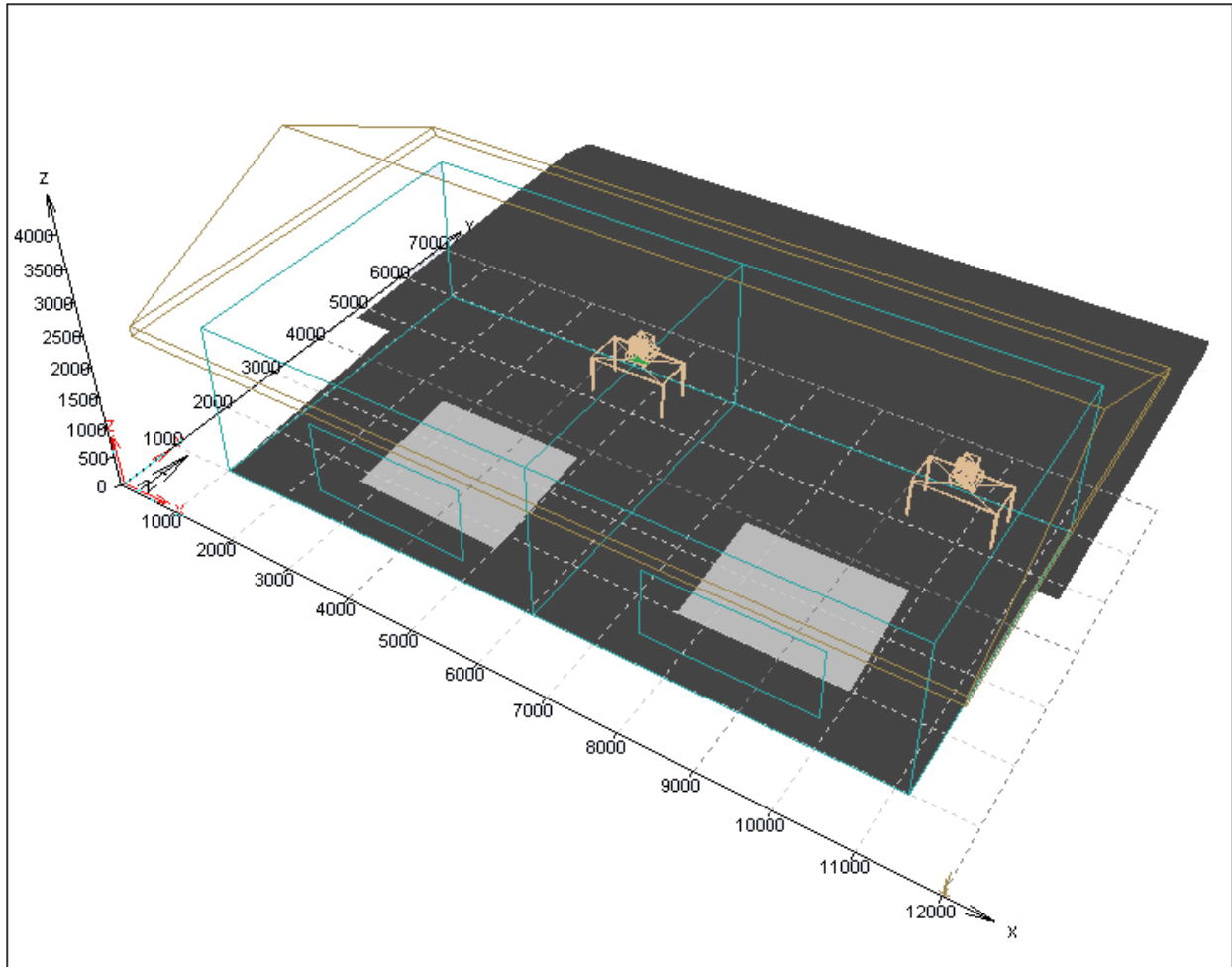
Active System(s) Active system for providing heating and/or cooling.	Type of system: <input type="text" value="Natural Ventilation"/>
--	---



Σχέδιο 5.1 Εξωτερική άποψη του κτίσματος και θέση του ήλιου την 2^α Ιανουαρίου 12:00 το μεσημέρι.

Στο **Σχέδιο 5.1** φαίνεται η πορεία του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας (2 Ιανουαρίου) καθώς και η εικονική του θέση στις 12:00 το μεσημέρι.

Διακρίνεται επίσης και η εξωτερική σκίαση που δημιουργείται από το κτίσμα στη βόρεια πλευρά του.



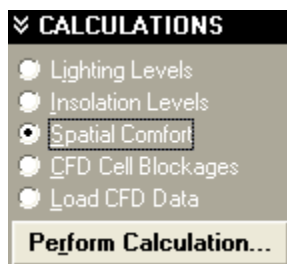
Σχέδιο 5.2 Εσωτερική σκίαση στο χώρο του γραφείου.

Στο **Σχέδιο 5.2** φαίνεται η σκίαση στο εσωτερικό του χώρου. Οι υαλοπίνακες βρίσκονται στη νότια πλευρά του κτίσματος. Οι ακτίνες του ήλιου που διαπερνούν τα τζάμια προσπίπτουν στο χώρο και δημιουργούν δύο επιφάνειες με τα εξής χαρακτηριστικά:

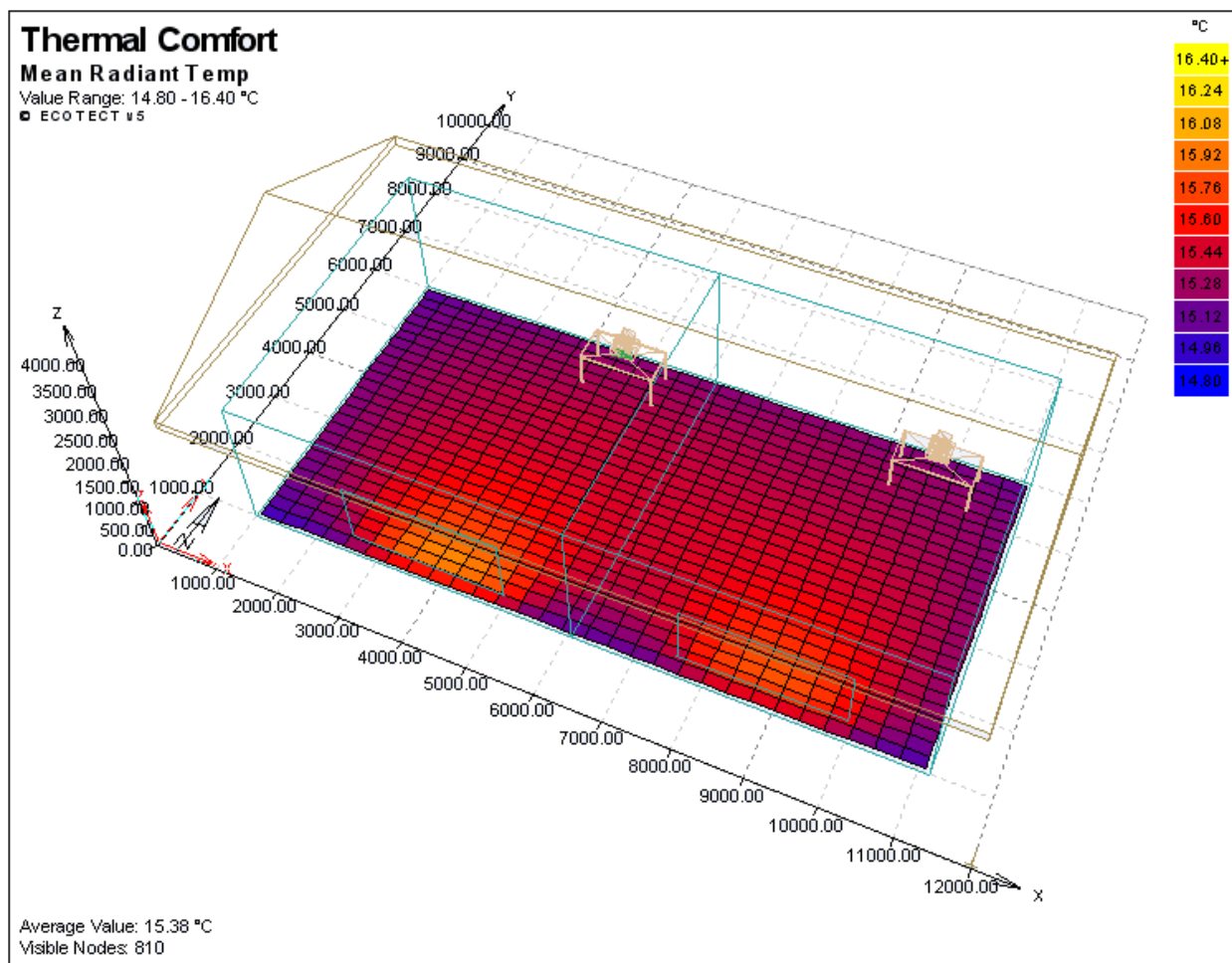
- Εμβαδό των επιφανειών: $9,5\text{m}^2$
- Ποσοστό επί της συνολικής επιφάνειας του χώρου: 19%
(το 81% της επιφάνειας του χώρου είναι σκιασμένο).

Αφού ορίσουμε όλες τις μεταβλητές, το πρόγραμμα υπολογίζει τις 3 παραμέτρους που σχετίζονται άμεσα με τις συνθήκες της θερμικής άνεσης. Αυτές είναι η Μέση Θερμοκρασία Ακτινοβολίας M.R.T (MeanRadiantTemperature), η Προβλεπόμενη Μέση Ψήφος P.M.V (Predicted Mean Vote) και το Προβλεπόμενο Ποσοστό Δυσανεστημένων P.P.D (Percentage of Persons Dissatisfied).

Όπως προαναφέρθηκε, για να έχουμε συνθήκες ιδανικής θερμικής άνεσης, πρέπει η Προβλεπόμενη Μέση Ψήφος να είναι $PMV=0$ και το Προβλεπόμενο Ποσοστό Δυσανεστημένων να είναι $PPD=5\%$.



Επιλέγουμε στο πρόγραμμα τον υπολογισμό της θερμικής άνεσης (“Spatial Comfort”) και σε κάθε παράμετρο, τα αποτελέσματα εμφανίζονται στο αντίστοιχο πλέγμα.

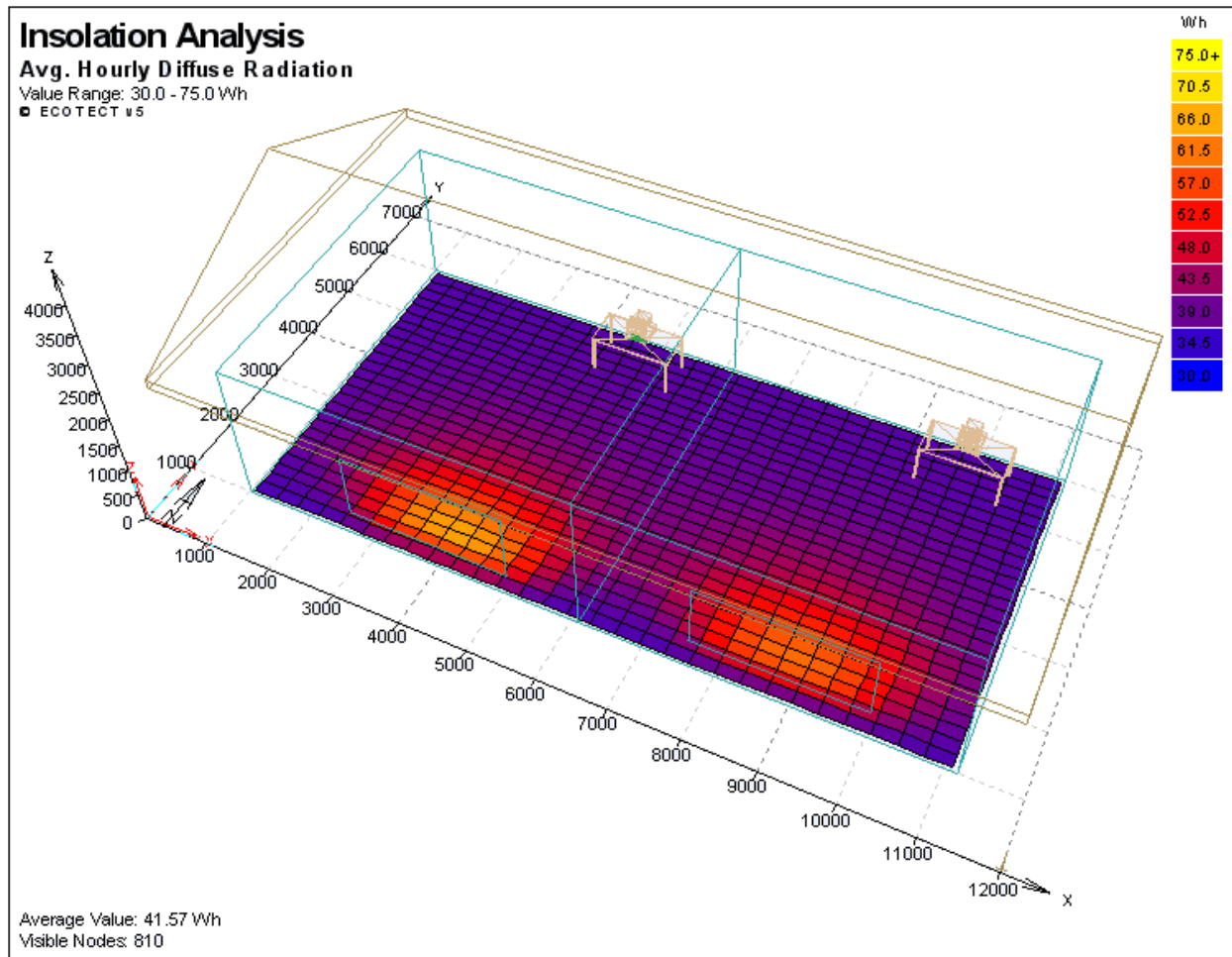


Σχέδιο 5.3 Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας.

Στο **Σχέδιο 5.3**, η ανάλυση του πλέγματος αναπαριστά την οριζόντια κατανομή της Μέσης Θερμοκρασίας Ακτινοβολίας στο χώρο, της πιο σημαντικής παραμέτρου για την επίτευξη της θερμικής άνεσης.

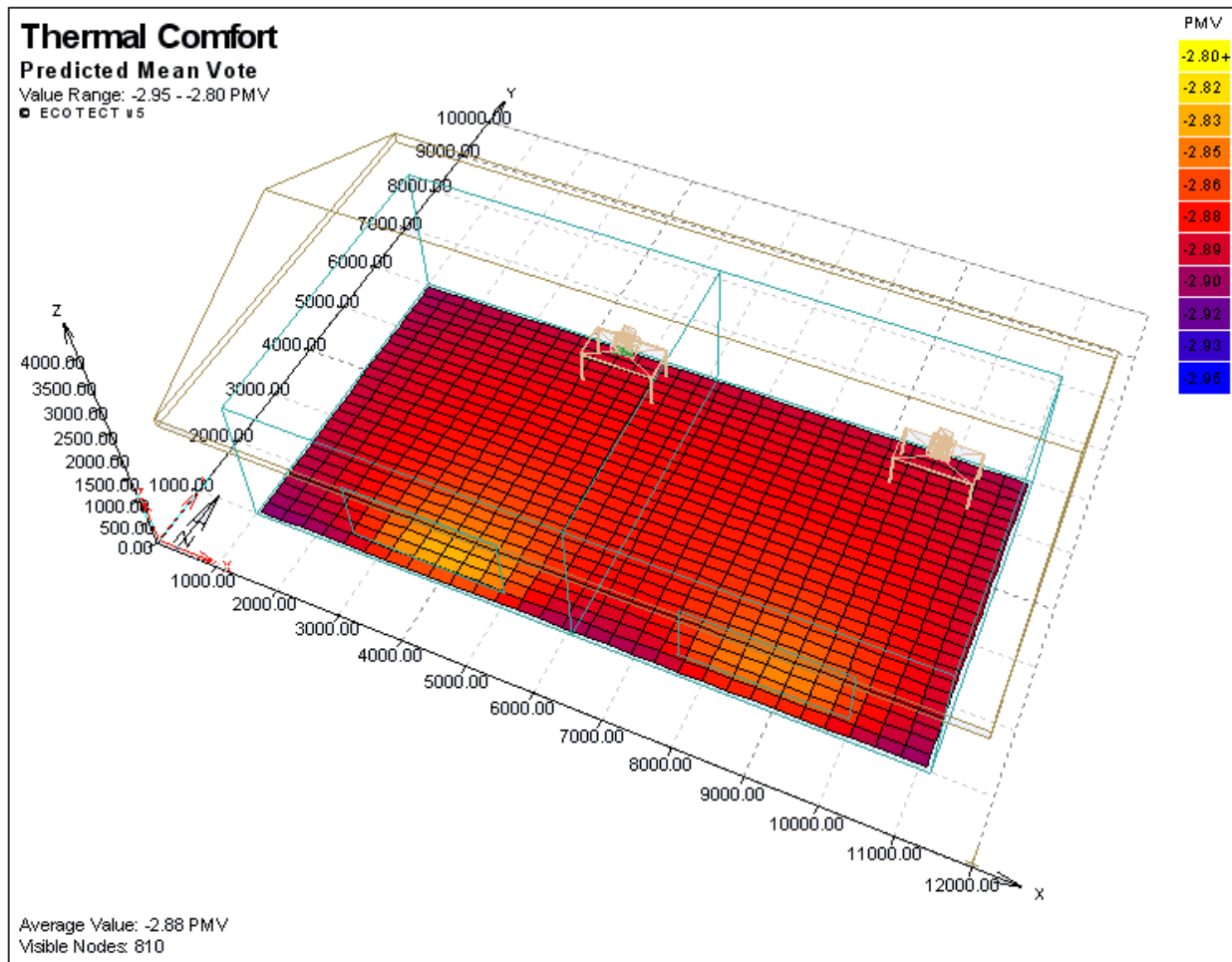
Στο πλέγμα παρατηρούμε ότι στο σημείο όπου οι ακτίνες του ήλιου διαπερνούν το τζάμι του παραθύρου, η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας διαφοροποιείται σε σχέση με τον υπόλοιπο χώρο. Το εύρος της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας είναι από περίπου 14,9°C έως 16,0°C.

Η μέγιστη θερμοκρασία $16,0^{\circ}\text{C}$ παρατηρείται στο σημείο όπου έχουμε απευθείας έκθεση στις ακτίνες του ήλιου (κοντά στο παράθυρο) και η μικρότερη $14,9^{\circ}\text{C}$ εκεί όπου η διάχυτη ακτινοβολία (Σχέδιο 5.4) έχει τα χαμηλότερα επίπεδα έντασης (στις εσωτερικές γωνίες του δωματίου και κυρίως τις νότιες).



Σχέδιο 5.4 Μέση ωριαία διάχυτη ακτινοβολία.

Η διάχυτη ακτινοβολία συμβάλει στη θερμική άνεση του χώρου. Η μέση ωριαία τιμή της είναι από περίπου $35\text{Wh}_{\text{θερμ}}$ κοντά στους τοίχους και έως $70\text{Wh}_{\text{θερμ}}$ κοντά στα παράθυρα.



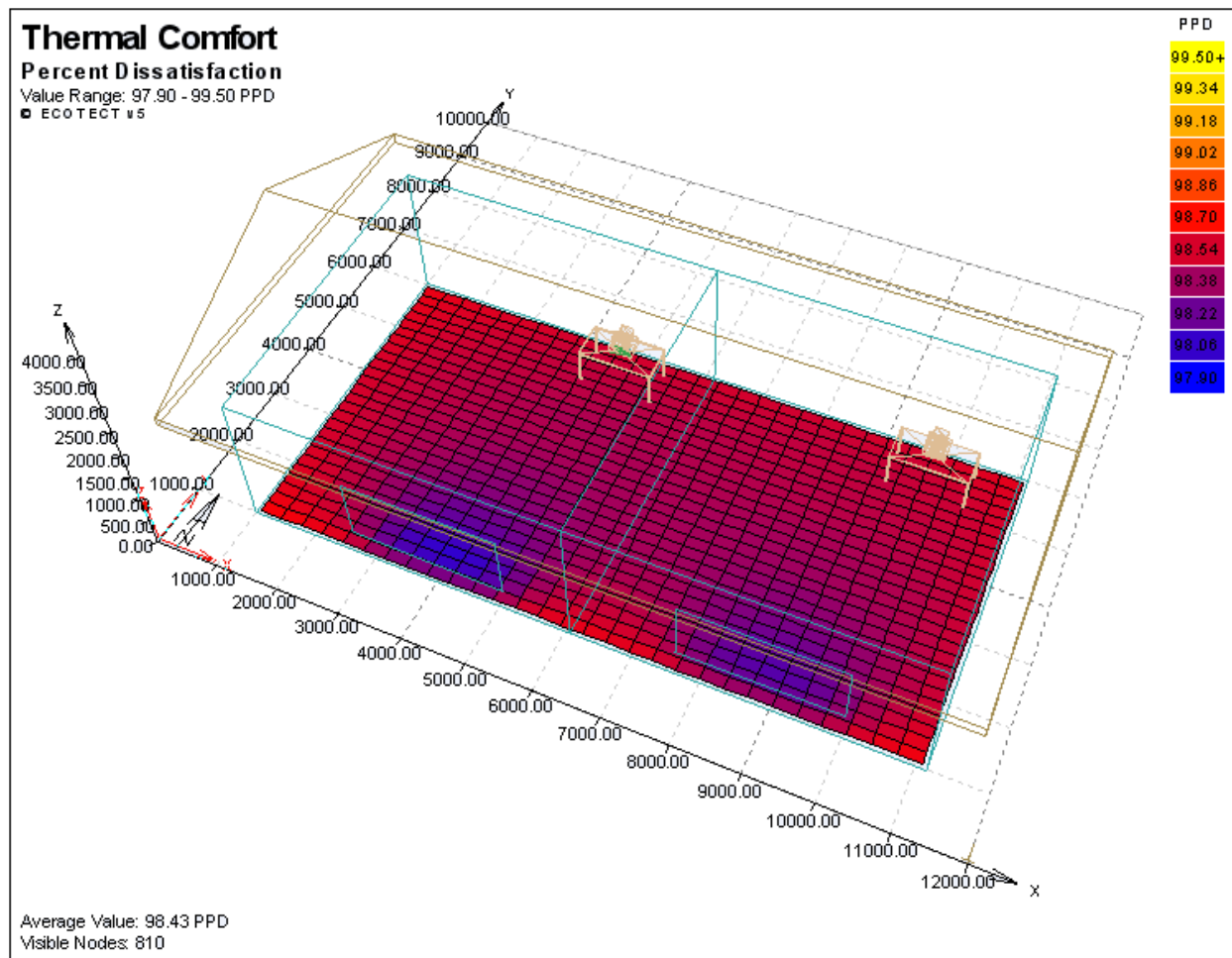
Σχέδιο 5.5 Προβλεπόμενη μέση ψήφος.

Στο **Σχέδιο 5.5**, η Προβλεπόμενη Μέση Ψήφος φαίνεται να είναι διαφορετική κοντά στα παράθυρα όπως έγινε και με τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας.

Στην κλίμακα κατά ISO (συνθήκες απόλυτης θερμικής άνεσης $PMV=0$) έχουμε τιμές για το PMV του χώρου, από -2,82 έως -2,92. Λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας, ο χώρος μπορεί να θεωρηθεί «πολύ ψυχρός».

Οι καλύτερες συνθήκες για τους εργαζόμενους φαίνεται να είναι κοντά στα παράθυρα ($PMV= -2,82$). Παρά την απευθείας έκθεση στις ακτίνες του ήλιου, οι οποίες συμβάλλουν στην αίσθηση θερμικής δυσφορίας, η θερμική άνεση κοντά στα παράθυρα είναι ελαφρώς καλύτερη λόγω των πολύ χαμηλών θερμοκρασιών στον υπόλοιπο χώρο.

Αντίθετα, όσο απομακρυνόμαστε από τα παράθυρα και πλησιάζουμε τους τοίχους, η θερμική δυσφορία μεγαλώνει και φτάνει τη μικρότερη τιμή στις γωνίες και τα άκρα του γραφείου (PMV= -2,92).

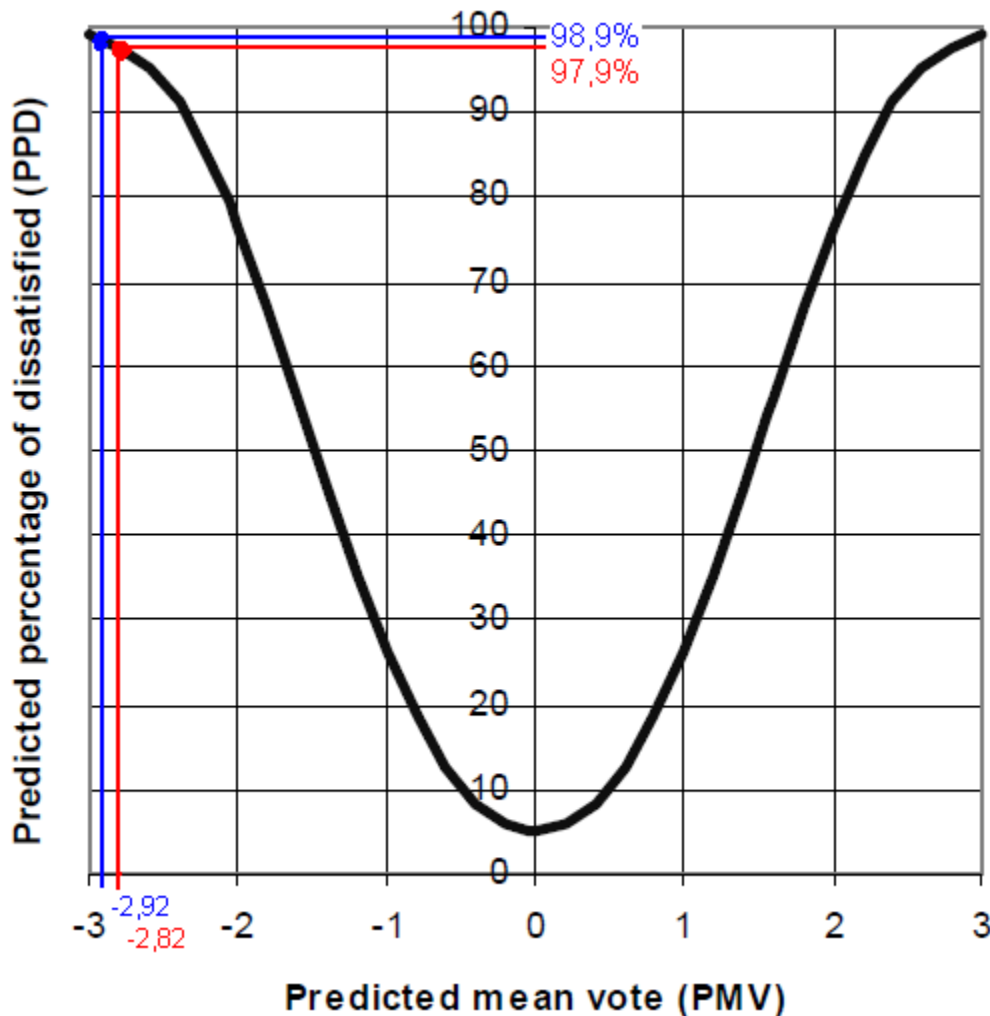


Σχέδιο 5.6 Προβλεπόμενο ποσοστό δυσαρεσημένων. Όλοι οι εργαζόμενοι αισθάνονται έντονη θερμική δυσφορία.

Η ανάλυση του **Σχεδίου 5.6** επιβεβαιώνει τα αποτελέσματα που αναφέρθηκαν για την Προβλεπόμενη Μέση Ψήφο στο Σχέδιο 5.5.

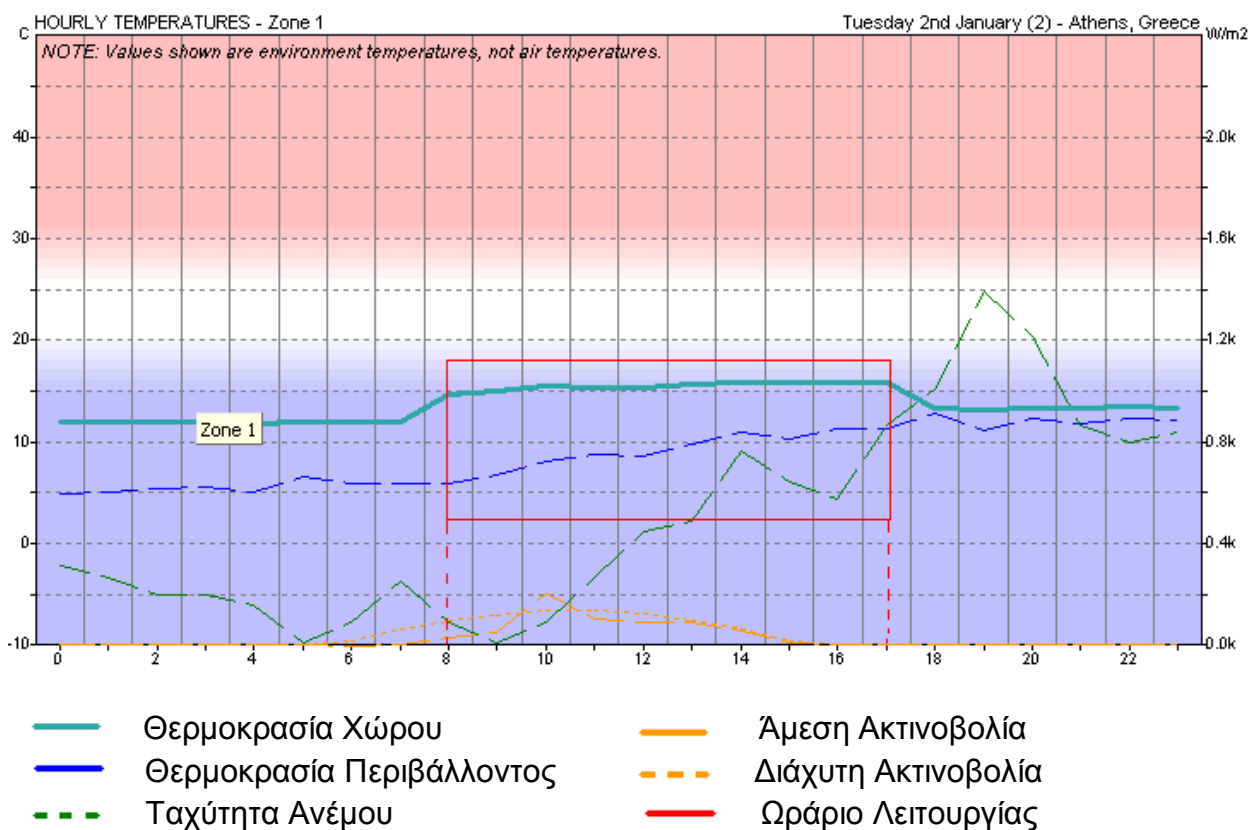
Εδώ το προβλεπόμενο ποσοστό των δυσαρεστημένων πλησιάζει το 100% που σημαίνει ότι τα άτομα σχεδόν στο σύνολό τους αισθάνονται θερμική δυσφορία, και συγκεκριμένα «πολύ ψύχος» όπως φαίνεται και από το Σχέδιο 5.5 (Μέση τιμή $PMV = -2,88$).

Το μέγιστο ποσοστό δυσαρεστημένων παρουσιάζεται στα εσωτερικά άκρα του γραφείου και μακριά από τα παράθυρα ($PPD = 98,9\%$). Ενώ στα σημεία όπου έχουμε μικρή αύξηση της θερμοκρασίας λόγω ακτινοβολίας, το ποσοστό μειώνεται λίγο κατά $1,0\%$ ($PPD = 97,9\%$).



Διάγραμμα 5.1 Οι ακραίες καταστάσεις θερμικής αίσθησης στο εσωτερικό περιβάλλον.

Η σχέση μεταξύ PMV και PPD φαίνεται στο **Διάγραμμα 5.1**. Η διαφορά κατά 0,10 στο PMV, στη συγκεκριμένη περίπτωση, μπορεί να αλλάξει το ποσοστό των δυσαρεστημένων κατά 1,0%. Τα σημεία βρίσκονται στο αριστερό άκρο της «καμπάνας» όπου έχουμε θερμική δυσφορία λόγω ψύχους. Το υψηλότερο ποσοστό των δυσαρεστημένων (μπλε σημείο) είναι μακριά από το παράθυρο (PPD=98,9%). Ενώ, κοντά στο παράθυρο, το ποσοστό των δυσαρεστημένων (κόκκινο σημείο) δεν ξεπερνά το 97,9%. Γενικά στο χώρο υπάρχει αίσθηση θερμικής δυσφορίας λόγω υπερβολικού ψύχους και ο χώρος κρίνεται ακατάλληλος.



Διάγραμμα 5.2 Μεταβολή της εσωτερικής θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Η θερμοκρασία του χώρου κατά τη διάρκεια της ημέρας φαίνεται στο **Διάγραμμα 5.2**. Βλέπουμε ότι νωρίς το πρωί η θερμοκρασία είναι περίπου 12°C.

Στις 08:00 όμως, υπάρχει απότομη αύξηση της θερμοκρασίας από τους 12°C στους 15°C. Η θερμοκρασία φτάνει στις 14:00 στους 16°C (λόγω αύξησης της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος) και διατηρείται μέχρι τις 17:00 όπου τελειώνει το ωράριο λειτουργίας.

Από το διάγραμμα αυτό φαίνεται πόσο συνεισφέρει θερμικά η δραστηριότητα των ατόμων που δουλεύουν στο χώρο καθώς και η λειτουργία ηλεκτρικών συσκευών στην αύξηση της θερμοκρασίας και κατά συνέπεια και στη θερμική άνεση.

5.2 Περίπτωση 2^η

Στην περίπτωση αυτή, τα χαρακτηριστικά του κτίσματος παραμένουν ίδια.

Επίσης τα επίπεδα υγρασίας και ταχύτητας του ανέμου δεν μεταβάλλονται.

INTERNAL DESIGN CONDITIONS

These values are used to define zone conditions in thermal comfort calculations.

Humidity (%):	<input type="text" value="60.0"/>	Air Speed:	<input type="text" value="0.12 m/s"/>
---------------	-----------------------------------	------------	---------------------------------------

Αυτό που μεταβάλλουμε είναι ο αριθμός των ατόμων που εργάζονται στο χώρο. Διπλασιάζουμε τον αριθμό των εργαζομένων (8 άτομα), όμως η δραστηριότητα και ο ρουχισμός τους δεν αλλάζει. Τώρα οι εκπομπές θερμότητας των εργαζομένων διπλασιάζονται: $8 \cdot 65W = 520W$

Occupancy

Values for number of people and their average biological heat output.

No. of People and Activity:	<input type="text" value="8"/>	<input type="text" value="Typing - 65 W"/>
Clothing (clo):	<input type="text" value="1.00"/>	

Αυτό που πρέπει επίσης να αλλάξουμε είναι οι εκπομπές θερμότητας από ηλεκτρικές συσκευές, γιατί τώρα οι εργαζόμενοι χρησιμοποιούν διπλάσιο αριθμό συσκευών ($40W/m^2$). Ο φωτισμός δεν αλλάζει ($5W/m^2$). Σύνολο = $47W/m^2$

Εκπομπές θερμότητας στο χώρο: $47W/m^2 \cdot 50m^2 = 2350W$

Internal Gains

Values for both lighting and small power loads per unit floor area.

Sensible Gain:	<input type="text" value="45"/>	Latent Gain:	<input type="text" value="2"/>	W/m ²
----------------	---------------------------------	--------------	--------------------------------	------------------

Ο αριθμός των εργαζομένων διπλασιάστηκε, οπότε πρέπει να βελτιώσουμε την ποιότητα του αέρα. Επιλέγουμε να έχουμε 2 εναλλαγές αέρα την ώρα στο χώρο.

Infiltration Rate
Values for the exchange of air between zone and outside environment.

Air Change Rate: Air changes / hr

Wind Sensitivity: Air changes / hr

Το ωράριο λειτουργίας παραμένει ίδιο, από τις 08:00 έως τις 17:00

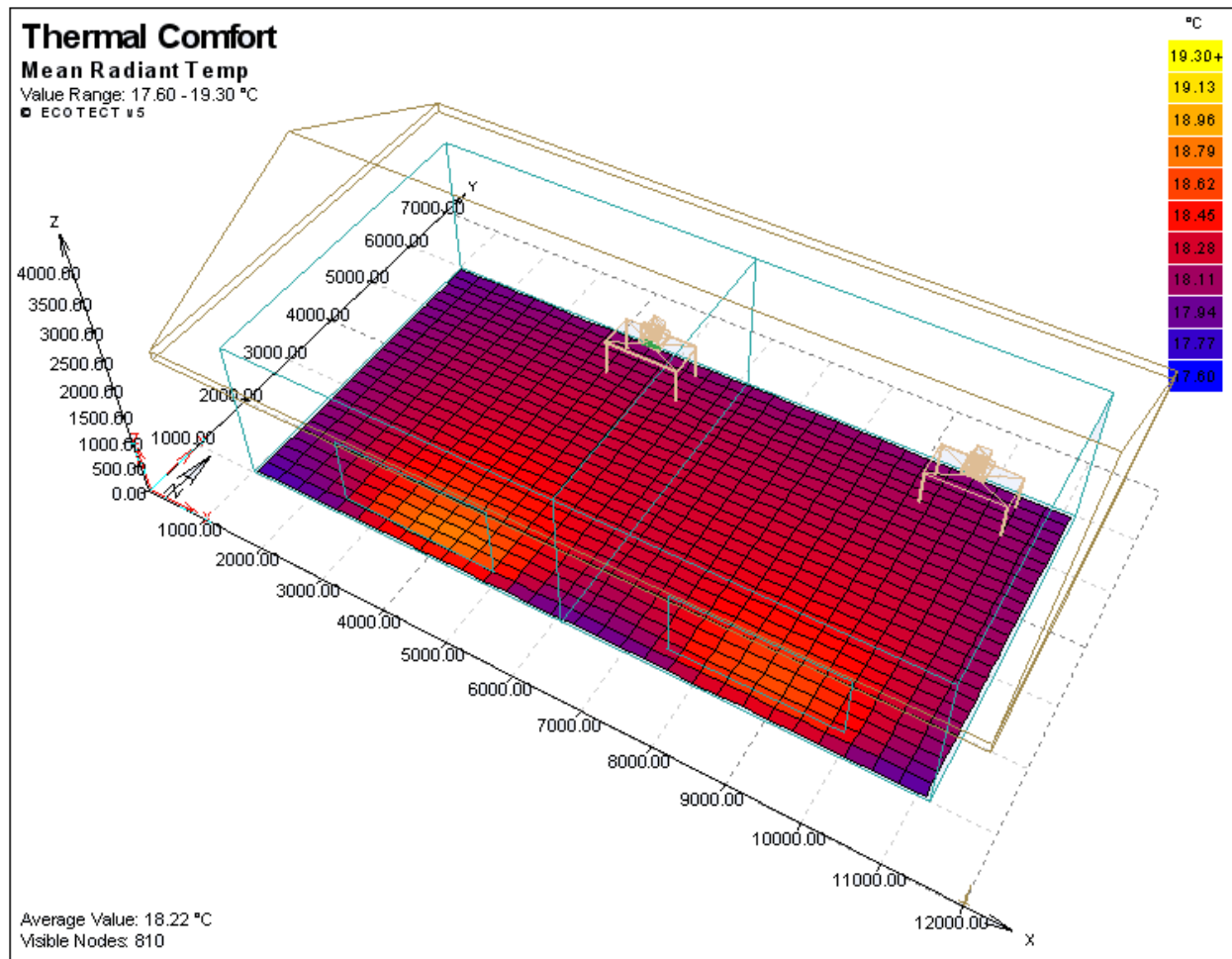
HOURS OF OPERATION

Weekdays

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

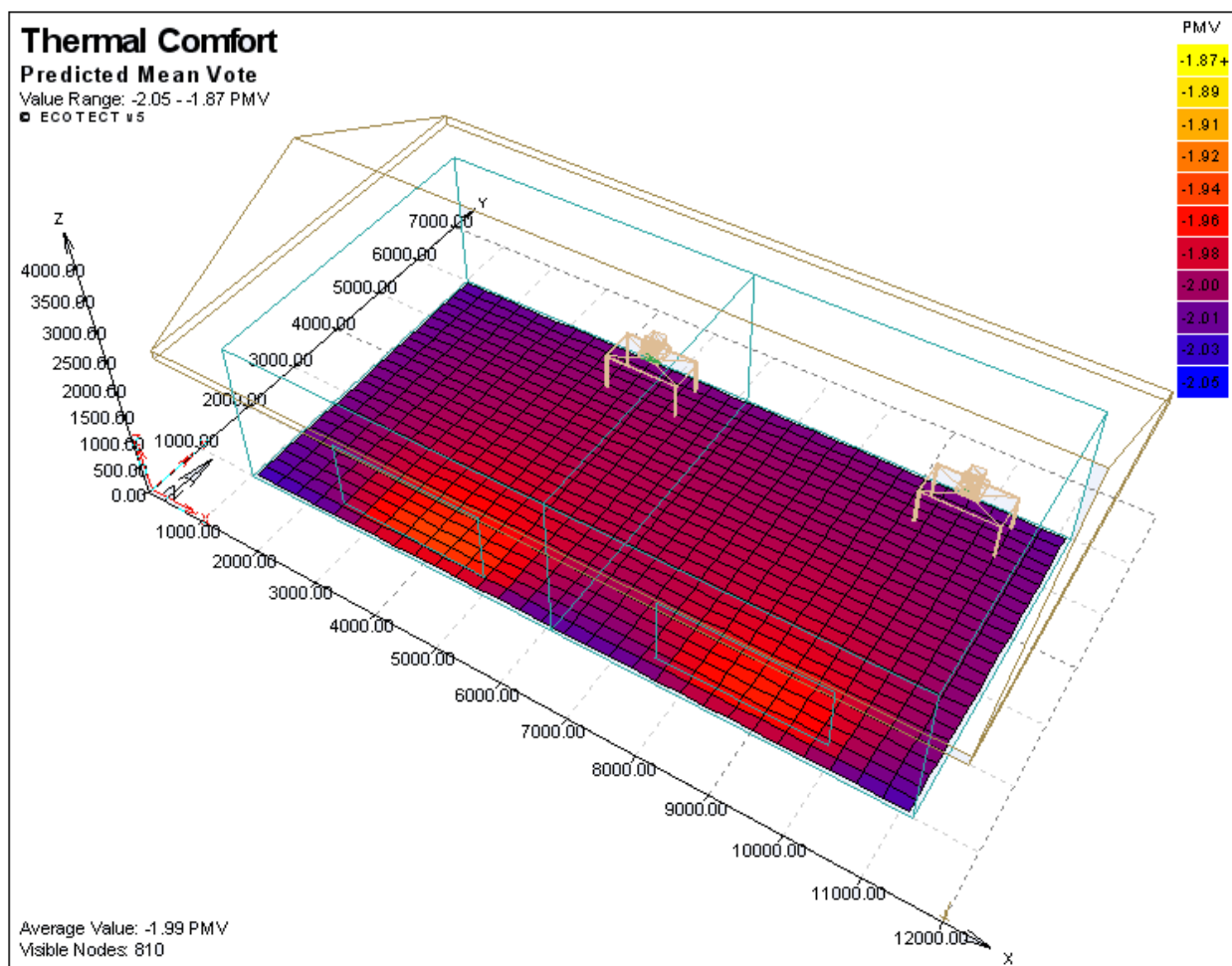
on ————— off

Με τις παραπάνω αλλαγές προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα.



Σχέδιο 5.7 Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας στο χώρο μετά από διπλασιασμό του ανθρώπινου δυναμικού.

Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας σε αυτή την περίπτωση, όπως φαίνεται στο **Σχέδιο 5.7**, αυξήθηκε κατά $2,84^{\circ}\text{C}$. Τώρα η χαμηλότερη θερμοκρασία είναι περίπου $17,8^{\circ}\text{C}$ μακριά πάλι από τα παράθυρα και η υψηλότερη είναι περίπου 19°C . Η άμεση ακτινοβολία (δεν αλλάζει στην περίπτωση αυτή) που διαπερνά τα παράθυρα συμβάλει και εδώ στην αύξηση της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας.

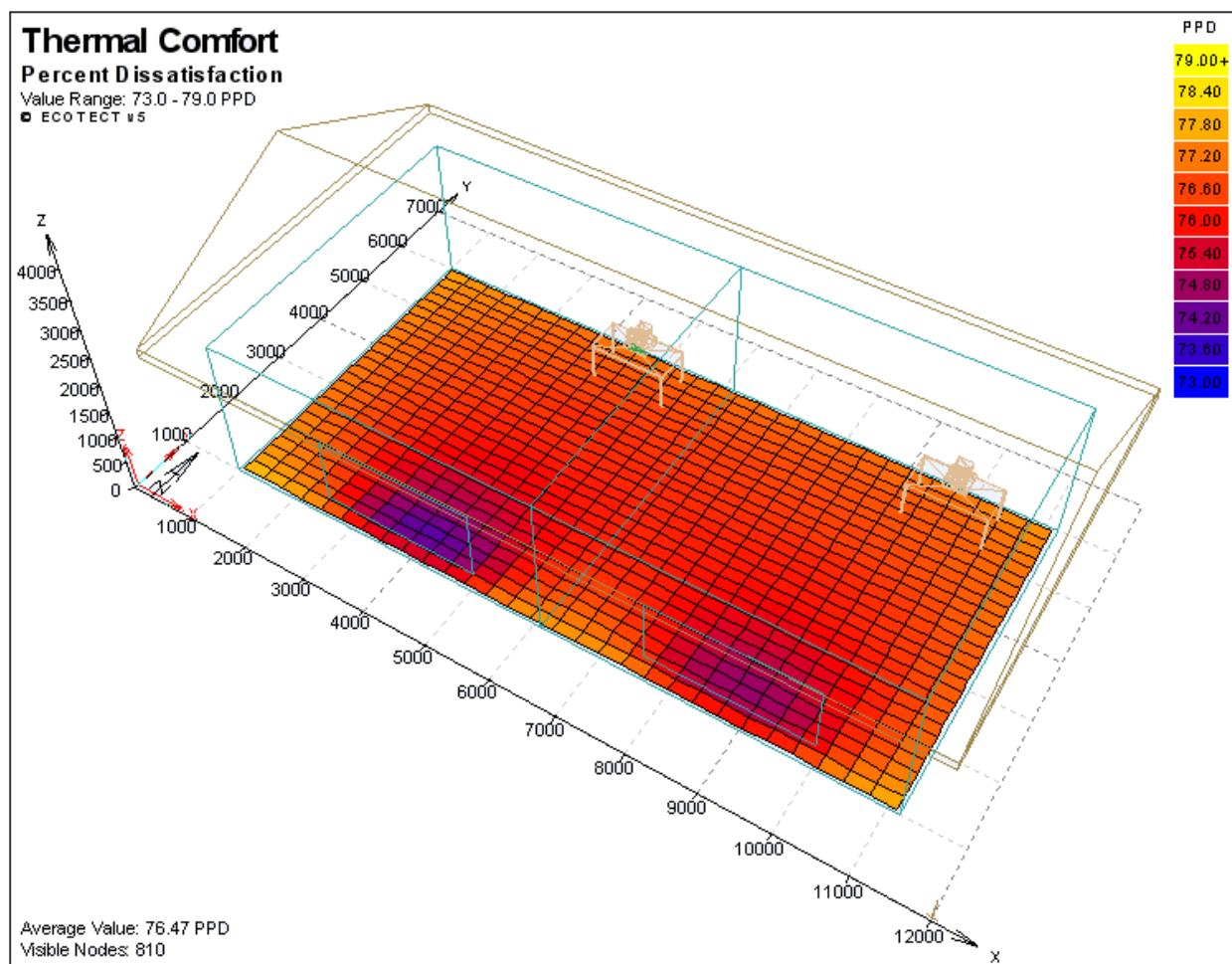


Σχέδιο 5.8 Προβλεπόμενη μέση ψήφος των εργαζόμενων. Η θερμική αίσθηση βελτιώνεται.

Με την αύξηση της θερμοκρασίας κατά $2,84^{\circ}\text{C}$, η θερμική άνεση του χώρου (**Σχέδιο 5.8**) βελτιώθηκε. Έχουμε μία μέση τιμή του $\text{PMV}=-1,99$. Κοντά στα παράθυρα η θερμική

άνεση είναι ακόμα καλύτερη ($PMV=-1,92$) ενώ κοντά στους τοίχους η κατάσταση χαρακτηρίζεται πιο ψυχρή ($PMV=-2,03$).

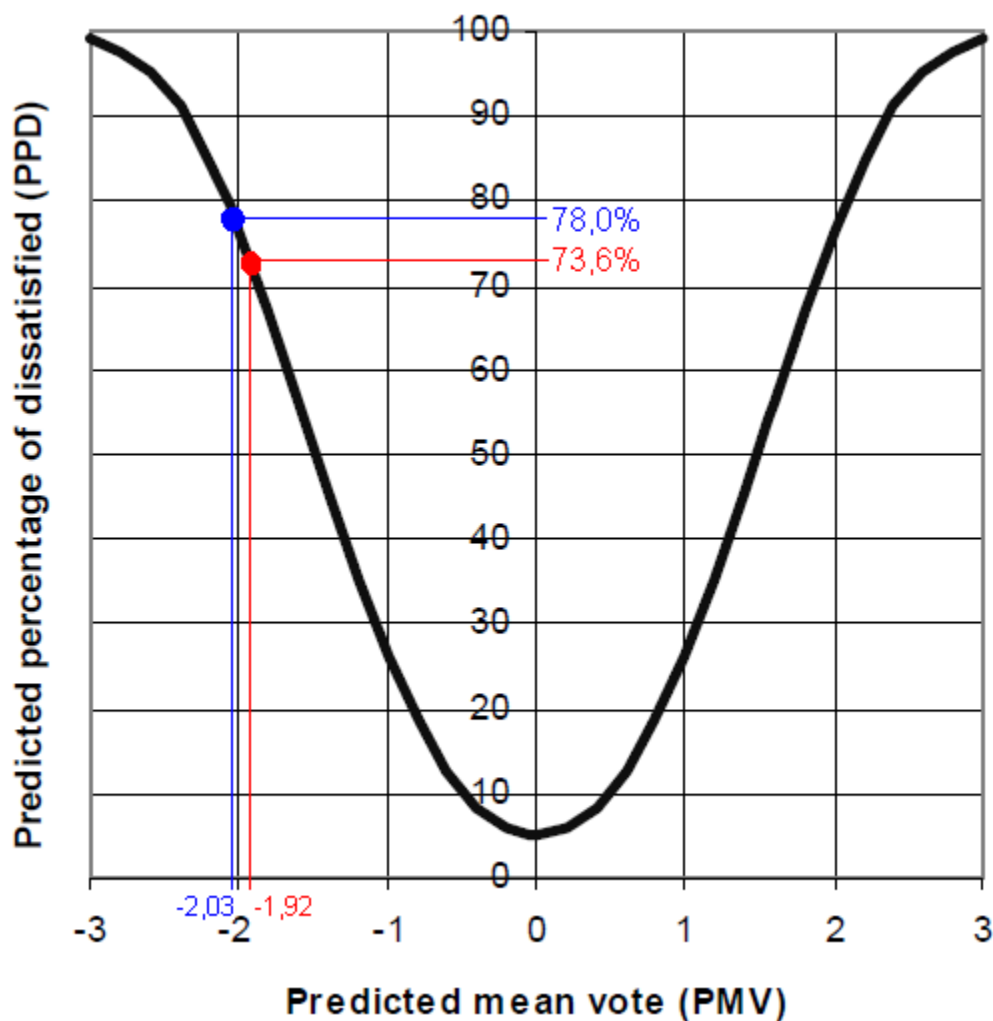
Φαίνεται από το Σχέδιο 5.8 ότι λόγω της αύξησης του αριθμού των ατόμων και αντίστοιχα των εκπομπών θερμότητας στο χώρο, η θερμική άνεση βελτιώθηκε. Όμως, οι θερμοκρασίες είναι ακόμα χαμηλές και το εσωτερικό περιβάλλον παραμένει «ψυχρό».



Σχέδιο 5.9 Ποσοστό δυσαρεστημένων. Το ποσοστό κοντά στα παράθυρα είναι μικρότερο.

Όπως βελτιώθηκε η προβλεπόμενη μέση ψήφος έτσι βελτιώθηκε και το προβλεπόμενο ποσοστό δυσαρεστημένων (**Σχέδιο 5.9**). Από το 98,43% κατά μέσο όρο, που ήταν στην πρώτη περίπτωση, τώρα έφτασε στο 76,47%. Μία διαφορά 21,96%.

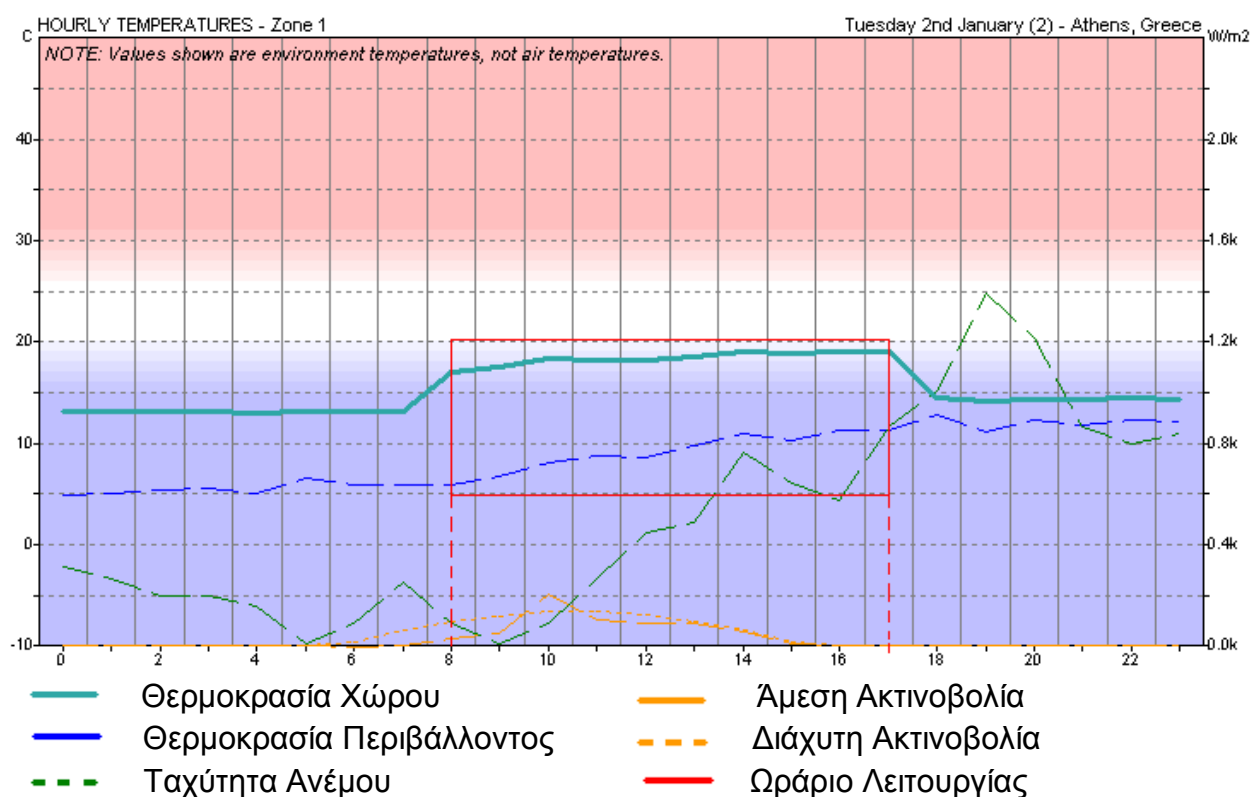
Το ποσοστό των δυσαρεστημένων παίρνει τιμές από 73,6% έως 78,0%. Οι εργαζόμενοι, κοντά στα παράθυρα, νιώθουν θερμικά πιο άνετα από τους υπόλοιπους, όμως οι θερμοκρασίες του χώρου είναι ακόμα χαμηλές και η πλειοψηφία των ατόμων αισθάνεται θερμική δυσφορία λόγω «ψύχους».



Διάγραμμα 5.3 Οι ακραίες καταστάσεις θερμικής αίσθησης στο εσωτερικό περιβάλλον. Αμφότερες μετακινήθηκαν προς το κατώτερο άκρο της καμπύλης.

Οι μεταβολές στη θερμική άνεση του χώρου φαίνονται και από το **Διάγραμμα 5.3**. Η διαφορά στη θερμική άνεση μόλις κατά 0,11 στην κλίμακα του PMV οδηγεί σε αλλαγή του ποσοστού των δυσαρεστημένων κατά 4,4%.

Το κόκκινο σημείο στο διάγραμμα αναπαριστά τις συνθήκες κοντά στα παράθυρα, ενώ το μπλε, αντιστοιχεί στη θερμική κατάσταση μακριά από τα παράθυρα. Φαίνεται από το **Διάγραμμα 5.3** ότι μετακινούμαστε προς το σημείο όπου έχουμε συνθήκες καλύτερης θερμικής άνεσης (PMV=0).



Διάγραμμα 5.4 Μεταβολή της εσωτερικής θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Οι εξωτερικές συνθήκες δεν άλλαξαν σε σχέση με την πρώτη περίπτωση, όμως είναι εμφανής η διαφορά της θερμοκρασίας του χώρου κατά τη διάρκεια της ημέρας, όπως φαίνεται στο **Διάγραμμα 5.4**.

Τώρα όμως η αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας είναι ακόμα μεγαλύτερη στις ώρες λειτουργίας του γραφείου, εξαιτίας του διπλασιασμού των εργαζομένων και των ηλεκτρικών συσκευών που χρησιμοποιούνται και της αντίστοιχης εκπομπής θερμότητας.

5.3 Περίπτωση 3^η

Στην περίπτωση αυτή αλλάζουμε το υλικό των υαλοπινάκων. Από μονό τζάμι που ήταν προηγουμένως, επιλέγουμε διπλό τζάμι με πλαίσιο αλουμινίου. Στους παρακάτω πίνακες βλέπουμε τα χαρακτηριστικά τους όπως περιγράφονται από το Ecotect.

Διπλό τζάμι:

DoubleGlazed LowE AlumFrame	
Double glazed with aluminium frame (no thermal break), emissivity of 0.10	
U-Value (W/m ² .K):	2.410
Admittance (W/m ² .K):	2.380
Solar Heat Gain Coeff. (0-1):	0.75
Visible Transmittance (0-1):	0.611

Μονό τζάμι:

SingleGlazed AlumFrame	
Single pane of glass with aluminium frame (no thermal break).	
U-Value (W/m ² .K):	6.000
Admittance (W/m ² .K):	6.000
Solar Heat Gain Coeff. (0-1):	0.94
Visible Transmittance (0-1):	0.753

Διακρίνεται η διαφορά στη θερμική διαπερατότητα που στην περίπτωση του διπλού τζαμιού είναι $U=2,41W/m^2K$ και του μονού τζαμιού είναι $U=6,00W/m^2K$. Η διαφορά αυτή έχει σαν αποτέλεσμα να έχουμε 40% λιγότερες απώλειες από τους υαλοπίνακες.

Επίσης, μεταβάλλουμε τη δραστηριότητα των εγαζομένων χωρίς να αλλάξουμε τον αριθμό τους. Τώρα η δραστηριότητά τους εκπέμπει 80W και σύμφωνα με τον Πίνακα 2.9, για εργαζόμενο, αντιστοιχεί σε «αρχαιοθήτηση σε όρθια στάση». Θεωρούμε δηλαδή ότι κάποιοι εργάζονται καθιστοί σε ένα γραφείο και κάποιοι περπατάνε στο χώρο εκπέμποντας περισσότερη θερμότητα. Η συνολική εκπομπή θερμότητας φτάνει τα 640W.

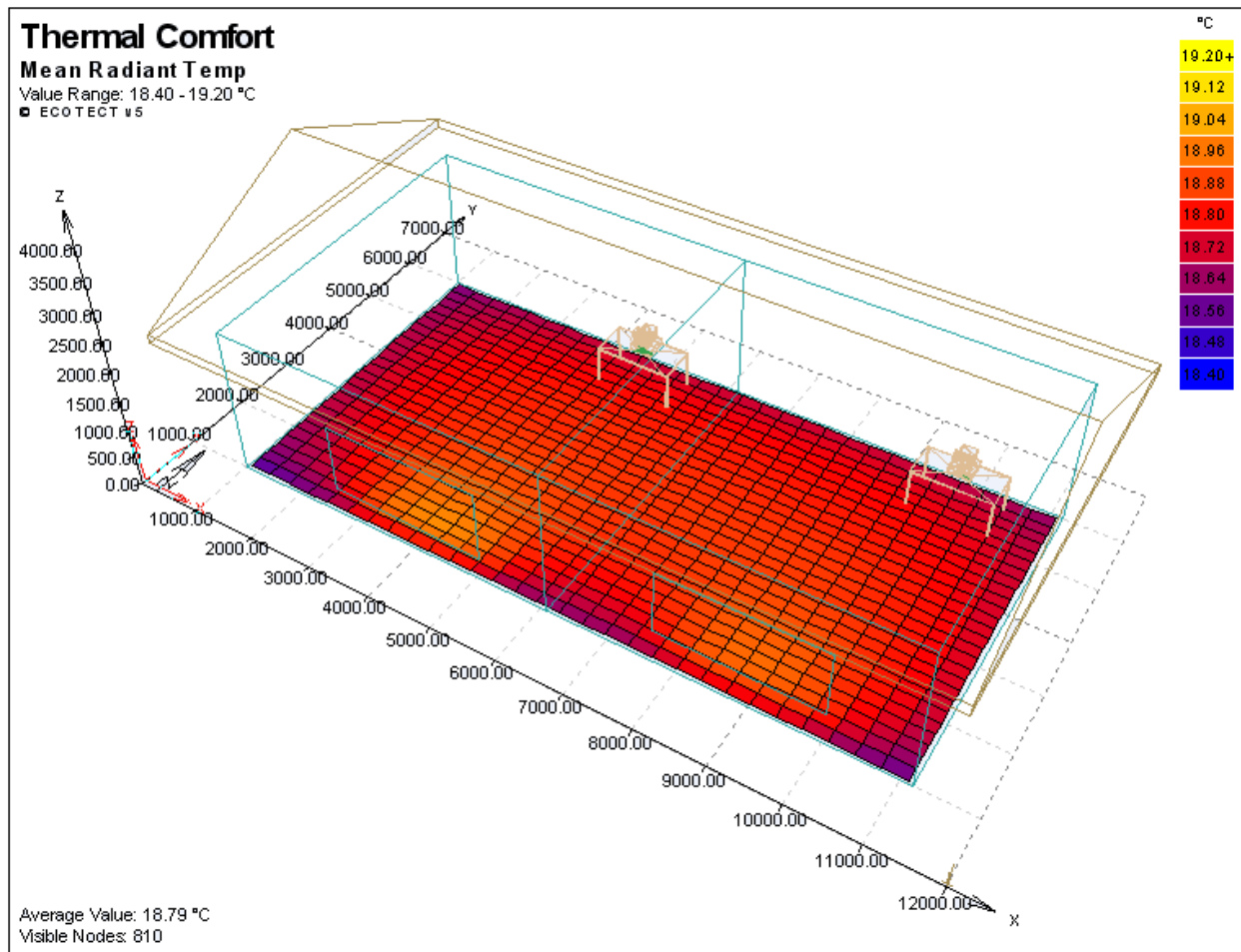
☑ OCCUPANCY AND OPERATION

Occupancy No. of People and Activity:

Values for number of people and their average biological heat output.

8 Walking - 80 W

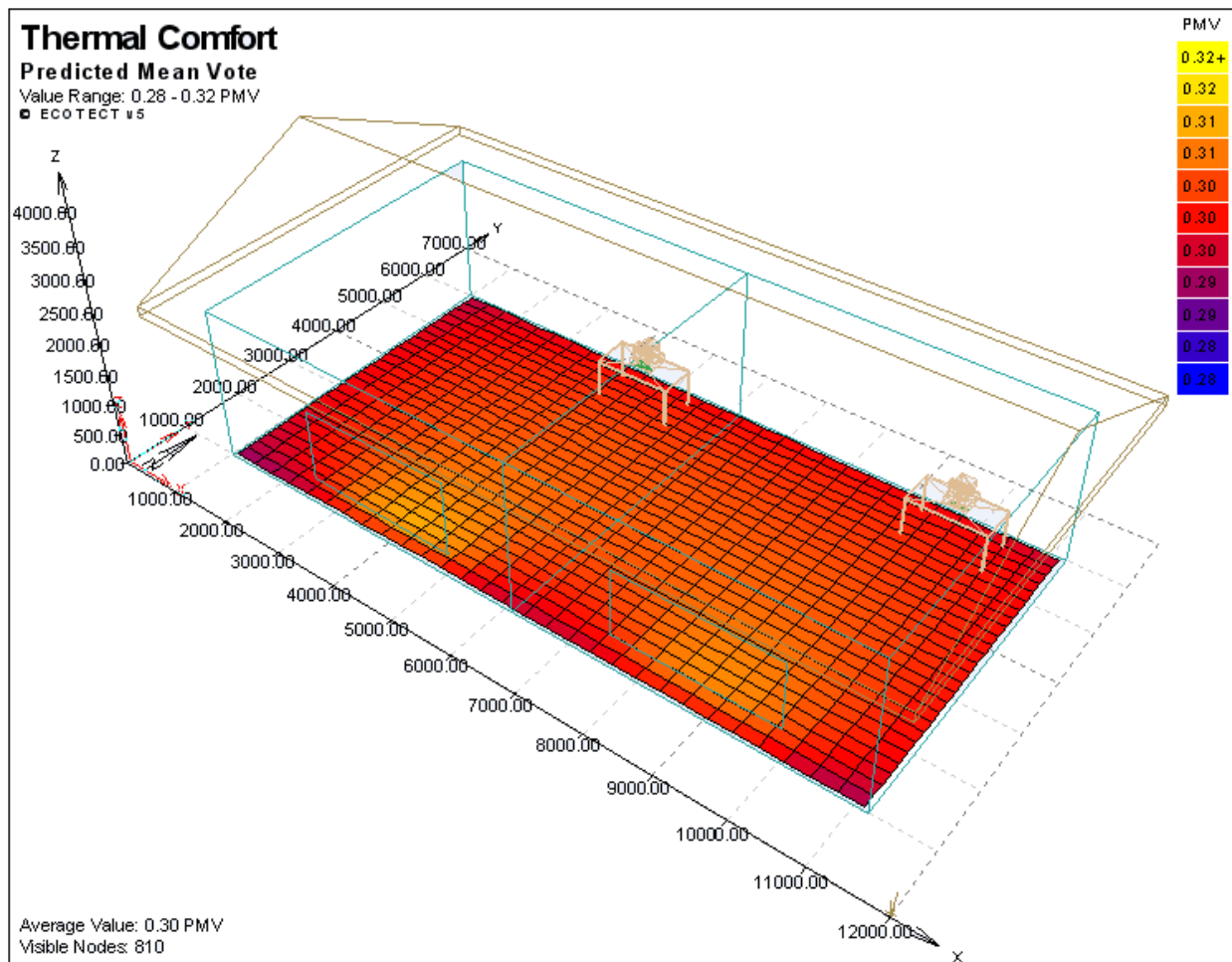
Παρακάτω αναλύονται οι μεταβολές που προκύπτουν από τις αλλαγές που κάναμε.



Σχέδιο 5.10 Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, μετά από αλλαγή του υλικού των υαλοπινάκων και της δραστηριότητας.

Ο χώρος έχει μια μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας 18,79°C. Παρατηρούμε ότι σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση η θερμοκρασία αυξήθηκε μόνο κατά 0,57°C. Η εκπομπή θερμότητας από τα παράθυρα προς το περιβάλλον μειώθηκε λόγω χαμηλής θερμοπερατότητας, όμως μειώθηκαν και τα κέρδη από την ηλιακή θερμότητα.

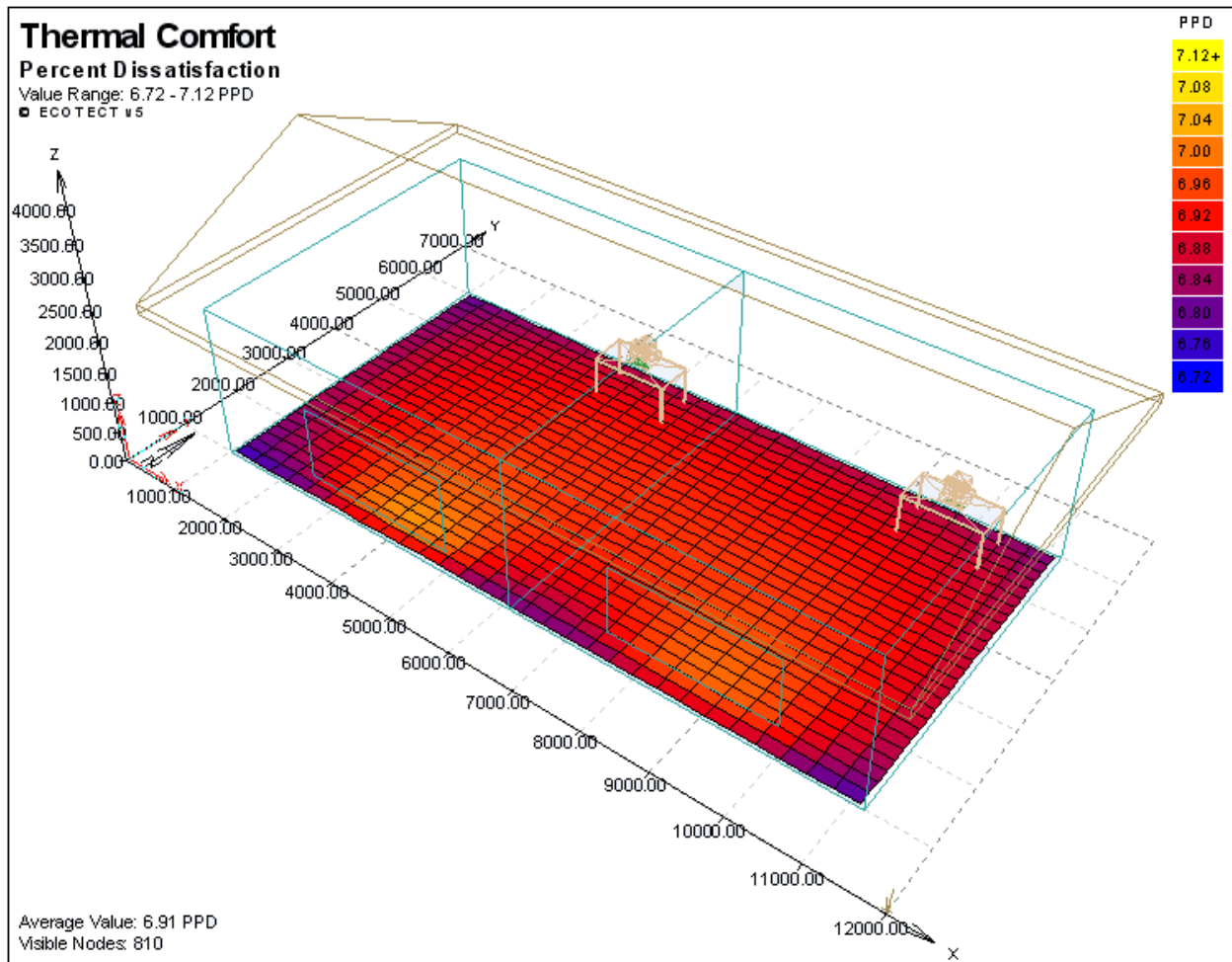
Έτσι, κοντά στα παράθυρα έχουμε μέγιστη θερμοκρασία ακτινοβολίας 19,1°C και μακριά από αυτά έχουμε MRT=18,5°C. Βλέπουμε ότι πλησιάζουμε σε συνήθεις θερμοκρασίες κατοικιών και χώρου γραφείων.



Σχέδιο 5.11 Προβλεπόμενη μέση ψήφος. Η θερμική αίσθηση είναι ιδανική παρά τη διατήρηση της ίδιας σχεδόν θερμοκρασίας.

Οι εσωτερικές θερμοκρασίες έχουν αυξηθεί, όμως το στοιχείο που συνεισφέρει ώστε οι συνθήκες άνεσης να βελτιωθούν στο μέγιστο είναι η αύξηση του ρυθμού μεταβολισμού των εργαζόμενων. Η μέση προβλεπόμενη ψήφος (**Σχέδιο 5.11**) είναι κοντά στο $PMV=0$. Στο χώρο δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές στην αίσθηση θερμικής άνεσης.

Οι διαφορές της άνεσης στην κλίμακα του PMV είναι μόνο 0,02. Από το $PMV=0,31$ κοντά στα παράθυρα, φτάνουμε στο $PMV=0,29$ στον υπόλοιπο χώρο, που σημαίνει ότι βρισκόμαστε μέσα στα επιτρεπτά όρια ώστε να έχουμε αίσθηση απόλυτης θερμικής άνεσης. Να θυμησουμε ότι τα όρια αυτά είναι $-0,5 < PMV < +0,5$.

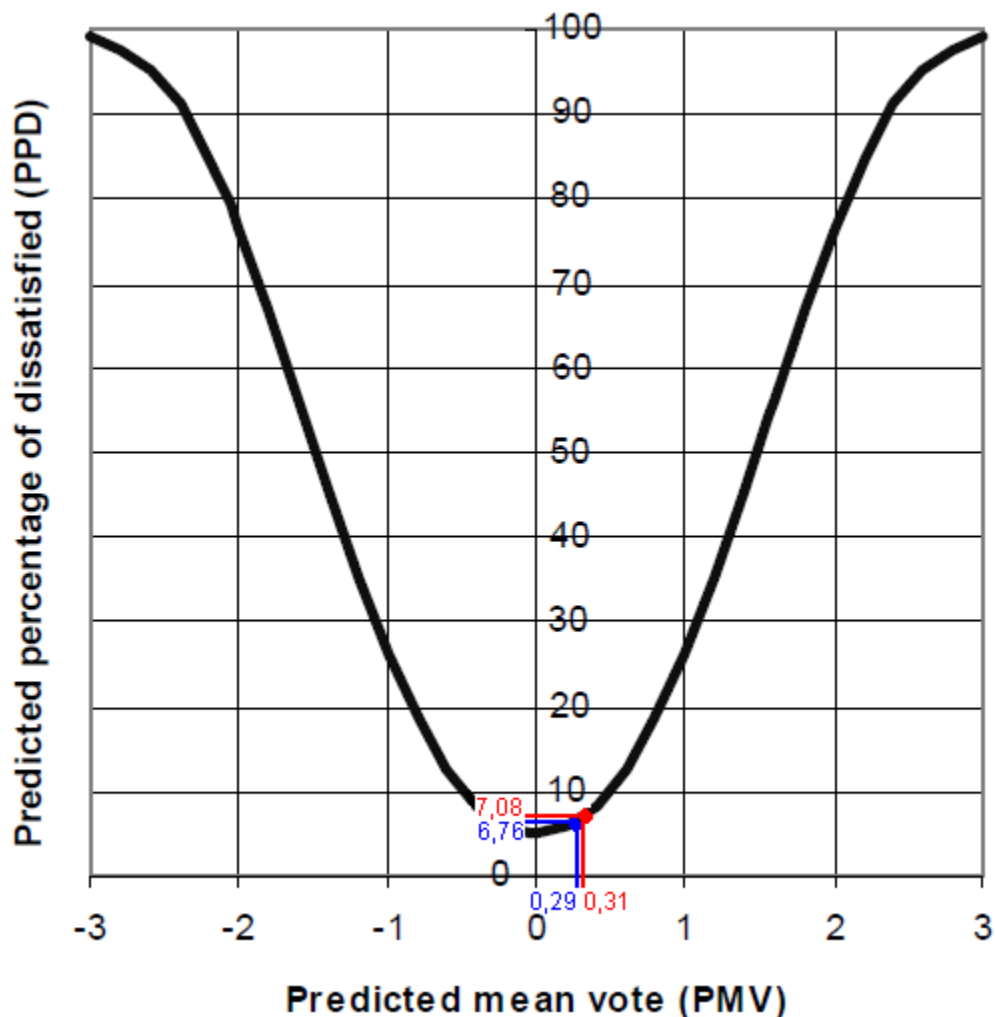


Σχέδιο 5.12 Προβλεπόμενο ποσοστό δυσαρεστημένων.

Οι πολύ καλές συνθήκες θερμικής άνεσης φαίνονται και από το ποσοστό των δυσαρεστημένων, όπως φαίνεται και από το **Σχέδιο 5.12**. Το ποσοστό αυτό έχει μέση τιμή στο χώρο $PPD=6,91\%$. Οι εργαζόμενοι έχουν αίσθηση απόλυτης θερμικής άνεσης. Εξάλλου, όπως έχει αναφερθεί, ακόμα και με προβλεπόμενη μέση ψήφο $PMV=0$ δεν μπορούμε να έχουμε ποσοστό δυσαρεστημένων κάτω από 5%.

Η τιμές του PPD στο χώρο δεν έχουν μεγάλη διακύμανση. Σε αυτή την περίπτωση το ποσοστό των δυσαρεστημένων είναι μεγαλύτερο κοντά στα παράθυρα ($PPD=7,08\%$), καθώς έχουν αναπτυχθεί υψηλότερες θερμοκρασίες από τις ιδανικές. Αντίθετα, μακριά

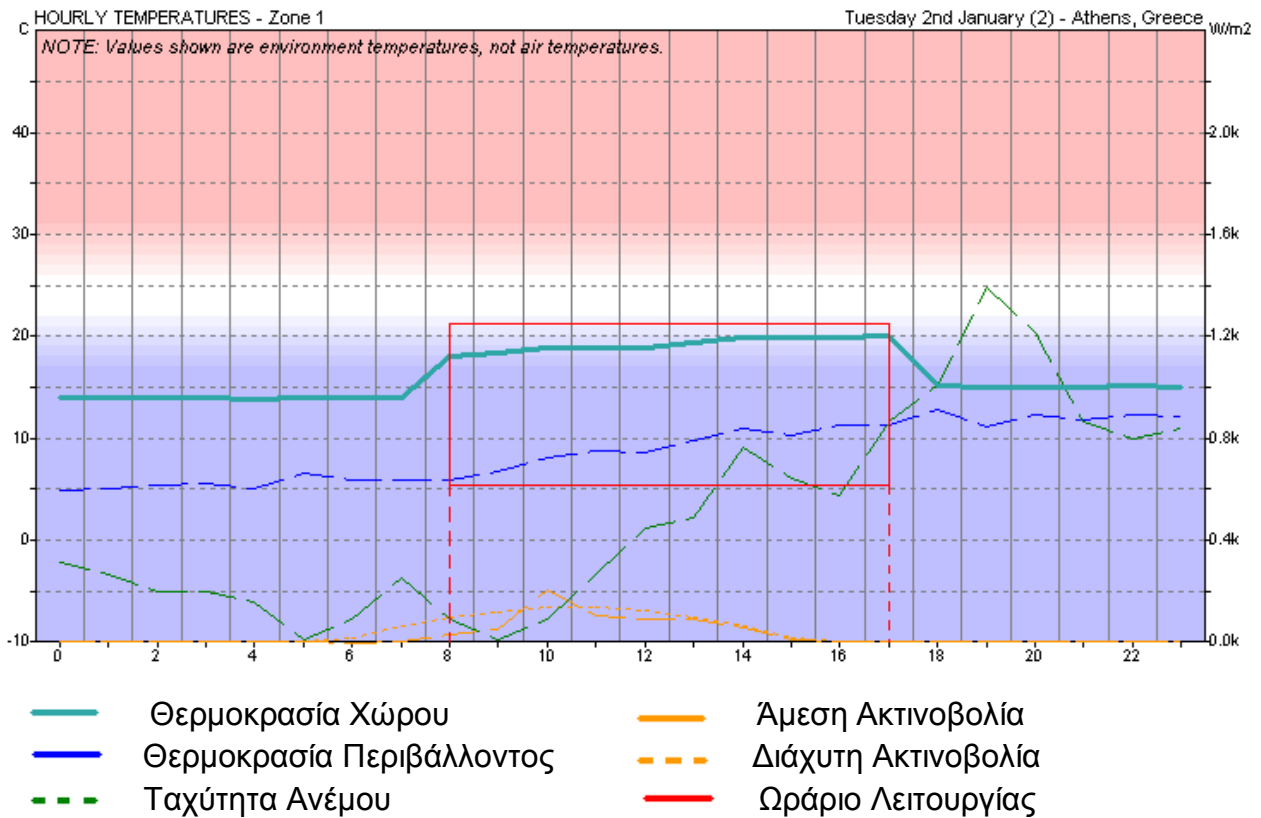
από τους υαλοπίνακες, το ποσοστό φτάνει τη βέλτιστη τιμή του (PPD=6,76%), και σχεδόν όλοι οι εργαζόμενοι αισθάνονται θερμικά άνετα.



Διάγραμμα 5.5 Οι ακραίες καταστάσεις θερμικής αίσθησης στο εσωτερικό περιβάλλον είναι ιδανικές.

Όπως είδαμε και από τα προηγούμενα σχέδια, τα σημεία έχουν αντιστραφεί ως προς την άνεση. Η αίσθηση ζέστης κοντά στα παράθυρα έχει μεταφέρει το αντίστοιχο σημείο μακρύτερα από το σημείο PMV=0. Αντίθετα, στον υπόλοιπο χώρο και μακριά από τα παράθυρα το σημείο βρίσκεται πιο αριστερά στην καμπύλη (**Διάγραμμα 5.5**).

Σε κάθε περίπτωση όμως, βρισκόμαστε στο κατώτερο σημείο της καμπάνας, που σημαίνει ότι το περιβάλλον του χώρου κρίνεται θερμικά άνετο.



Διάγραμμα 5.6 Μεταβολή της εσωτερικής θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Όπως βλέπουμε στο παραπάνω διάγραμμα, από τους 14°C που είχαμε στο χώρο στις 07:00 το πρωί, η θερμοκρασία αυξάνεται κατά 4 έως 6°C στις ώρες λειτουργίας του γραφείου.

Η αύξηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος μέχρι τις απογευματινές ώρες, επιδρά και αυτή όπως φαίνεται στην εσωτερική θερμοκρασία. Μετά την αποχώρηση και των τελευταίων εργαζομένων και την αδρανοποίηση των ηλεκτρικών συσκευών, η θερμοκρασία επανέρχεται ομαλά από τους 20°C στους 15°C.

5.4 Περίπτωση 4^η

Διατηρούμε τα δομικά και αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά του χώρου ίδια με την προηγούμενη περίπτωση. Οπότε στο χώρο έχουμε:

- Εναλλαγές αέρα στο εσωτερικό: 2

Infiltration Rate Values for the exchange of air between zone and outside environment.	Air Change Rate: <input type="text" value="2.00"/>	Wind Sensitivity: <input type="text" value="0.25"/>	Air changes / hr
--	---	--	------------------

- Αριθμός εργαζομένων: 8
- Μεταβολικός ρυθμός από δραστηριότητα ανά άτομο: 1,4 met (80 watt)
- Ωράριο λειτουργίας γραφείου: 08:00-17:00

Occupancy Values for number of people and their average biological heat output.	No. of People and Activity: <input type="text" value="8"/> <input type="text" value="Walking - 80 W"/>
	<input type="text" value="8-17"/>

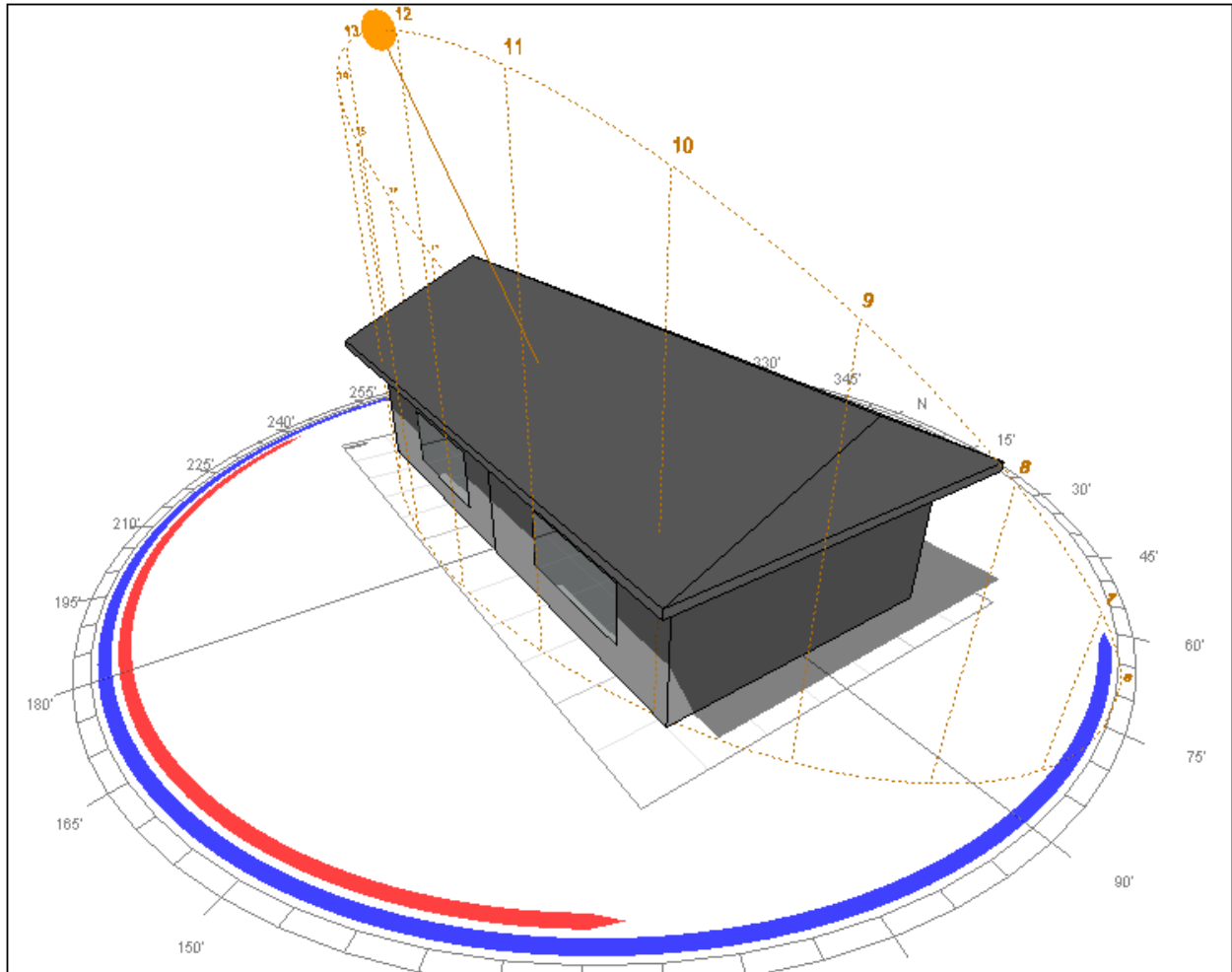
- Εκπομπή θερμότητας από ηλεκτρικές και άλλες συσκευές: Σύνολο 47W/m²

Internal Gains Values for both lighting and small power loads per unit floor area.	Sensible Gain: <input type="text" value="45"/>	Latent Gain: <input type="text" value="2"/>	W/m ²
--	---	--	------------------

Οι συνολικές εκπομπές θερμότητας στο χώρο από την ανθρώπινη δραστηριότητα, τις ηλεκτρικές συσκευές και το φωτισμό είναι: 640W + 2350W = 2990W.

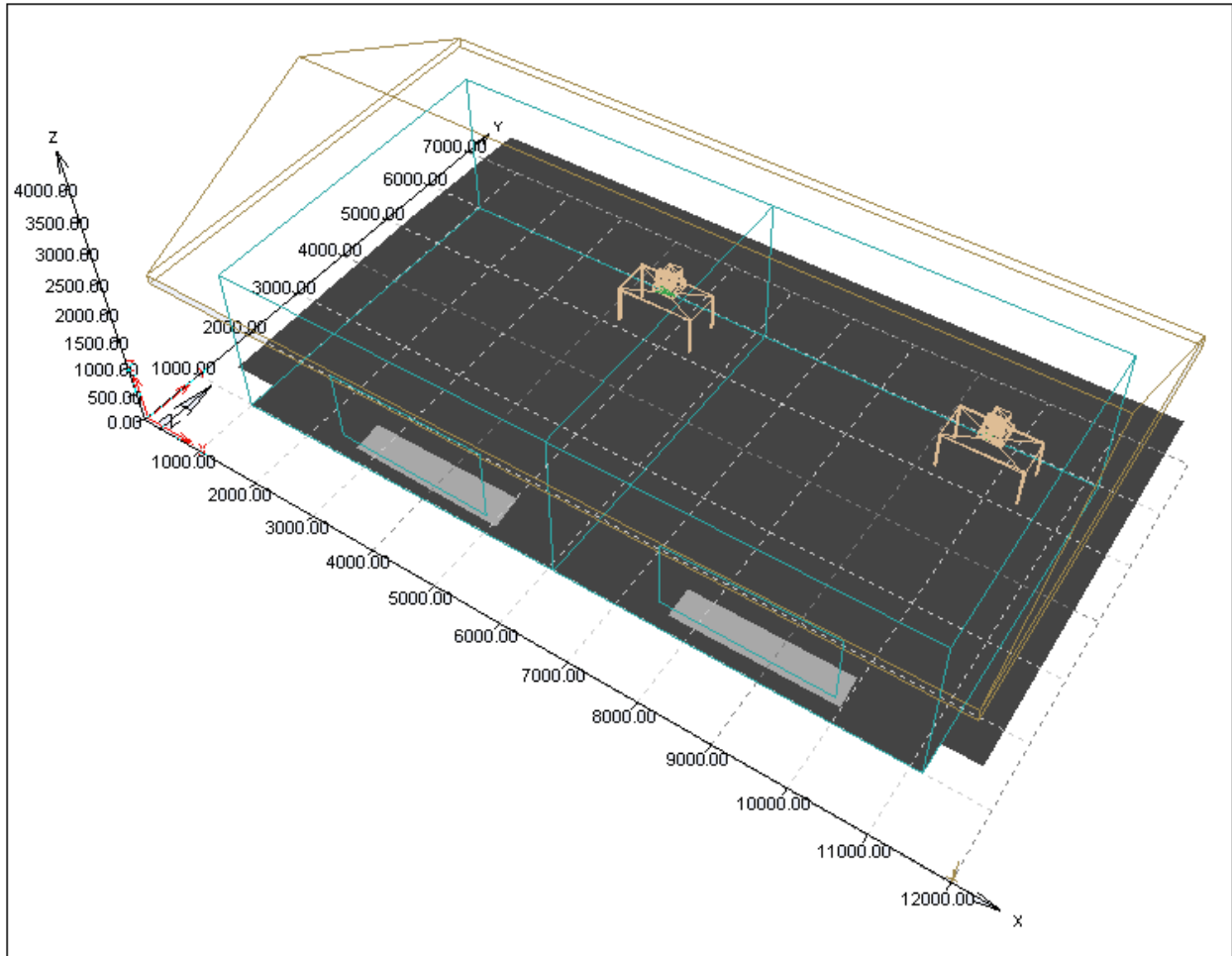
Με τα δεδομένα αυτά, μελετάμε το χώρο στις 30 Απριλίου στις 12:00 το μεσημέρι στην περιοχή της Αθήνας.

<input type="text" value="12:00"/>	<input type="text" value="30th"/>	<input type="text" value="April"/>	 Climate: Athens Lat: 37.9° Lng: 23.7° (+2.0)
------------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	---



Σχέδιο 5.13 Θέση του ήλιου στις 30 Απριλίου στις 12:00 το μεσημέρι.

Η κατακόρυφη γωνία του ήλιου για τις 30 Απριλίου έχει αλλάξει (**Σχέδιο 5.13**), οπότε αλλάζει και η εσωτερική σκίαση που δημιουργείται, όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχέδιο.



Σχέδιο 5.14 Εσωτερική σκίαση του χώρου.

Οι ακτίνες του ήλιου που διαπερνούν τα τζάμια προσπίπτουν στο χώρο και δημιουργούν δύο επιφάνειες με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Εμβαδό των δύο επιφανειών: $2,2\text{m}^2$ (πολύ μικρότερη από τα $9,5\text{m}^2$ στις 2 Ιανουαρίου)
- Ποσοστό επί της συνολικής επιφάνειας του χώρου: 4,4% (το 95,6% της επιφάνειας του χώρου είναι σκιασμένο).

Εξωτερικές συνθήκες για τις 30 Απριλίου στις 12:00

- Θερμοκρασία: 18,9°C
- Σχετική Υγρασία: 32%
- Άμεση ακτινοβολία: 678W/m²
- Διάχυτη Ακτινοβολία: 182W/m²
- Ταχύτητα Ανέμου: 11,7m/s

Hour	12:00
Temp:	18.9
Humidity:	32
Direct:	678
Diffuse:	182
Wind:	11.7

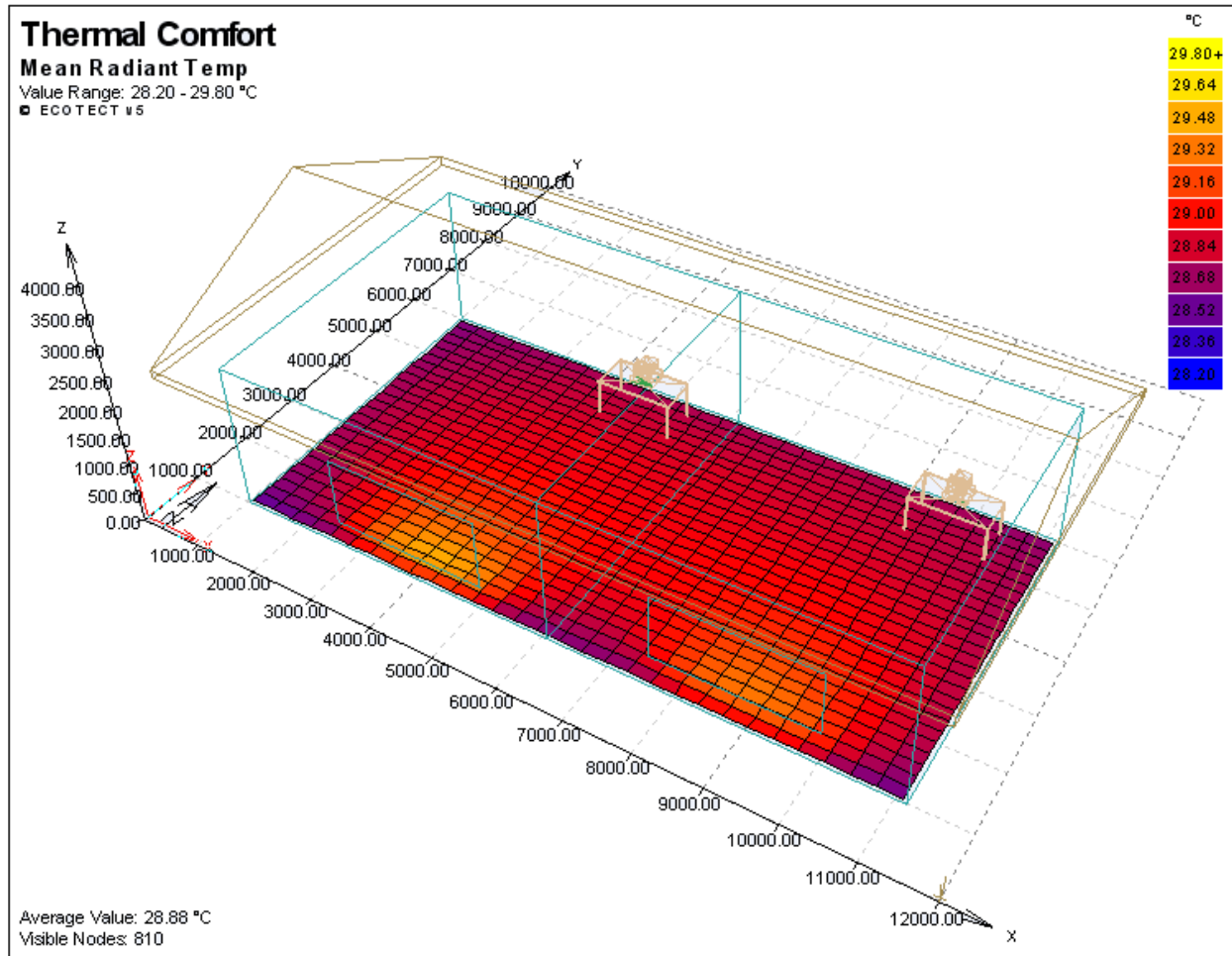
Η εξωτερικές συνθήκες έχουν μεταβληθεί, οπότε επιλέγουμε μια πιο ελαφριά ενδυμασία για τους εργαζόμενους: clo=0,7 (αντιστοιχεί σε «μακρυμάνικο πουκάμισο και παντελόνι»). Επίσης,

- Επιλέγουμε ως σχετική υγρασία του χώρου: 50%
- Η ταχύτητα του αέρα παραμένει σε ιδανικές τιμές: 0,12m/s

INTERNAL DESIGN CONDITIONS			
These values are used to define zone conditions in thermal comfort	Clothing (clo):	Humidity (%):	Air Speed:
	<input type="text" value="0.70"/>	<input type="text" value="50.0"/>	<input type="text" value="0.12 m/s"/>

Μετά τις μεταβολές αυτές, εξετάζουμε το χώρο ως προς τη θερμική άνεση και προκύπτουν τα ακόλουθα αποτελέσματα.

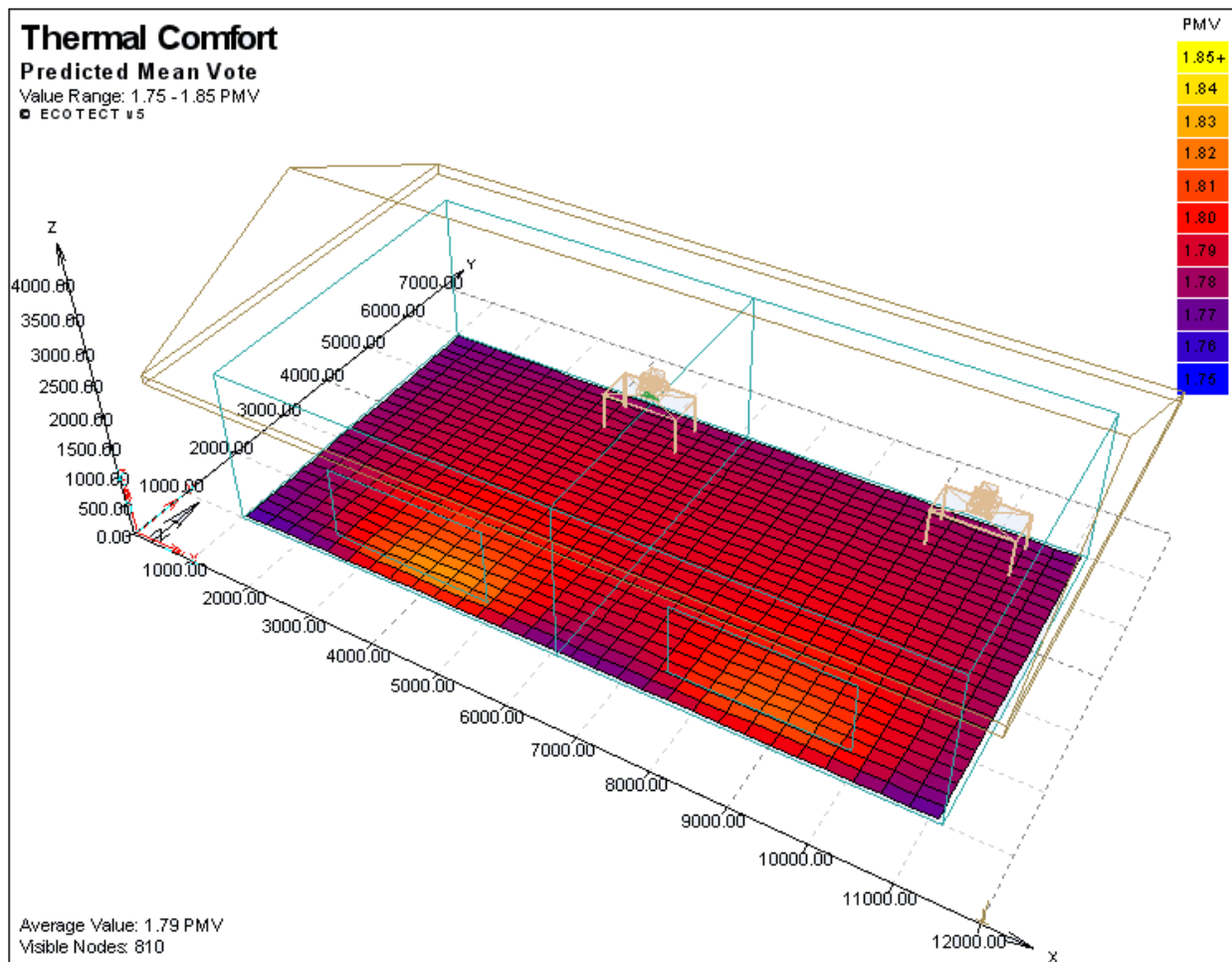
Τονίζεται ότι στο χώρο έχουμε φυσικό αερισμό και δε χρησιμοποιούμε κανένα είδος κλιματισμού.



Σχέδιο 5.15 Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας.

Λόγω της αλλαγής της περιόδου που εξετάζουμε το χώρο, η θερμοκρασία έχει ανέβει αισθητά. Η μέση θερμοκρασία έχει ανέβει κατά 10,09°C σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση όπου οι μεταβλητές του χώρου ήταν ίδιες.

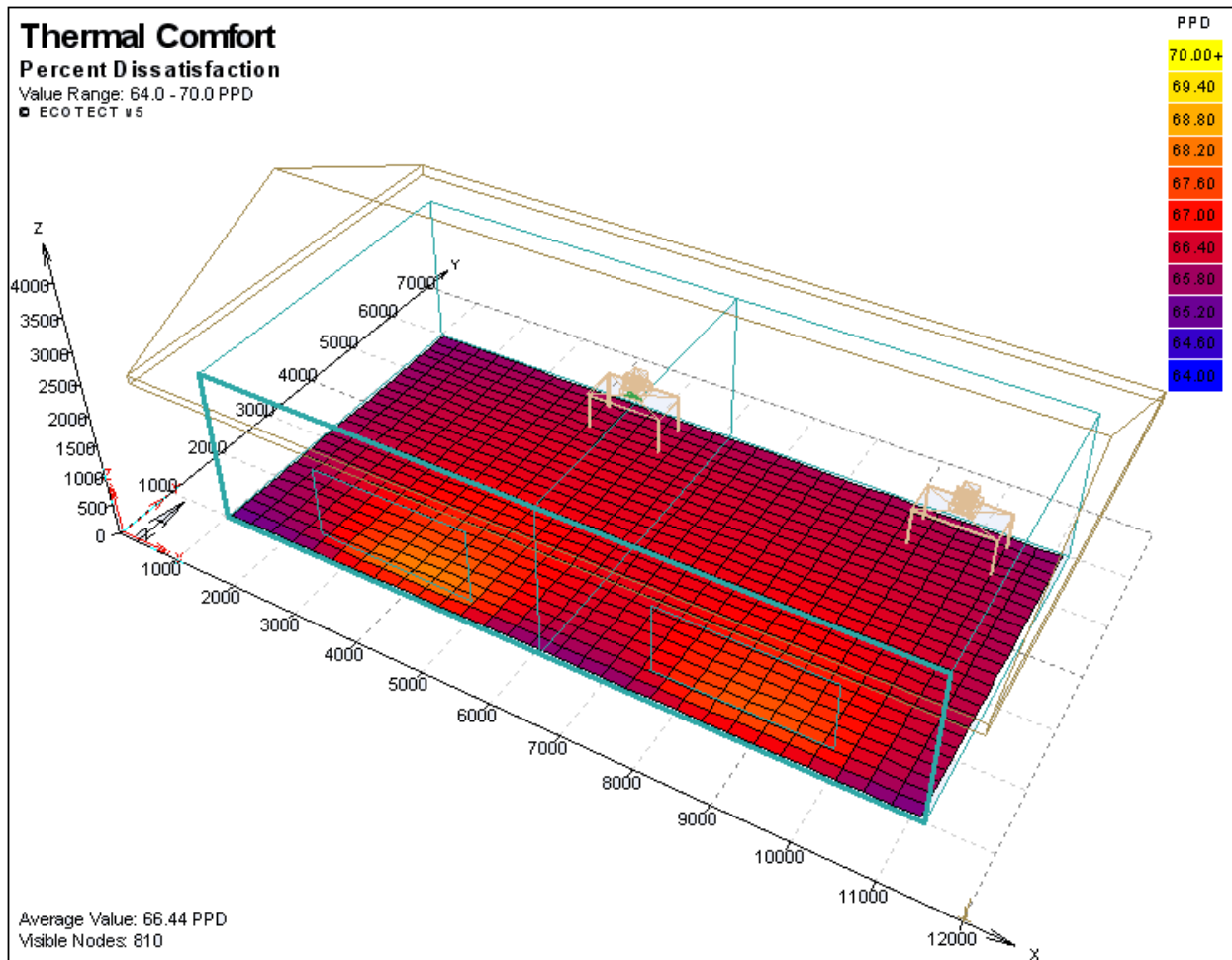
Τώρα οι μέγιστες θερμοκρασίες που έχουμε κοντά στα παράθυρα είναι 29,6°C ενώ μακριά από αυτά είναι 28,5°C. Η μελέτη γίνεται τέλος Απριλίου και φαίνεται ότι με τις θερμοκρασίες αυτές δεν θα έχουμε την θερμική άνεση που απαιτείται.



Σχέδιο 5.16 Προβλεπόμενη μέση ψήφος.

Όπως ήταν αναμενόμενο, με τις αυξημένες θερμοκρασίες, η θερμική δυσφορία στο χώρο είναι έντονη.

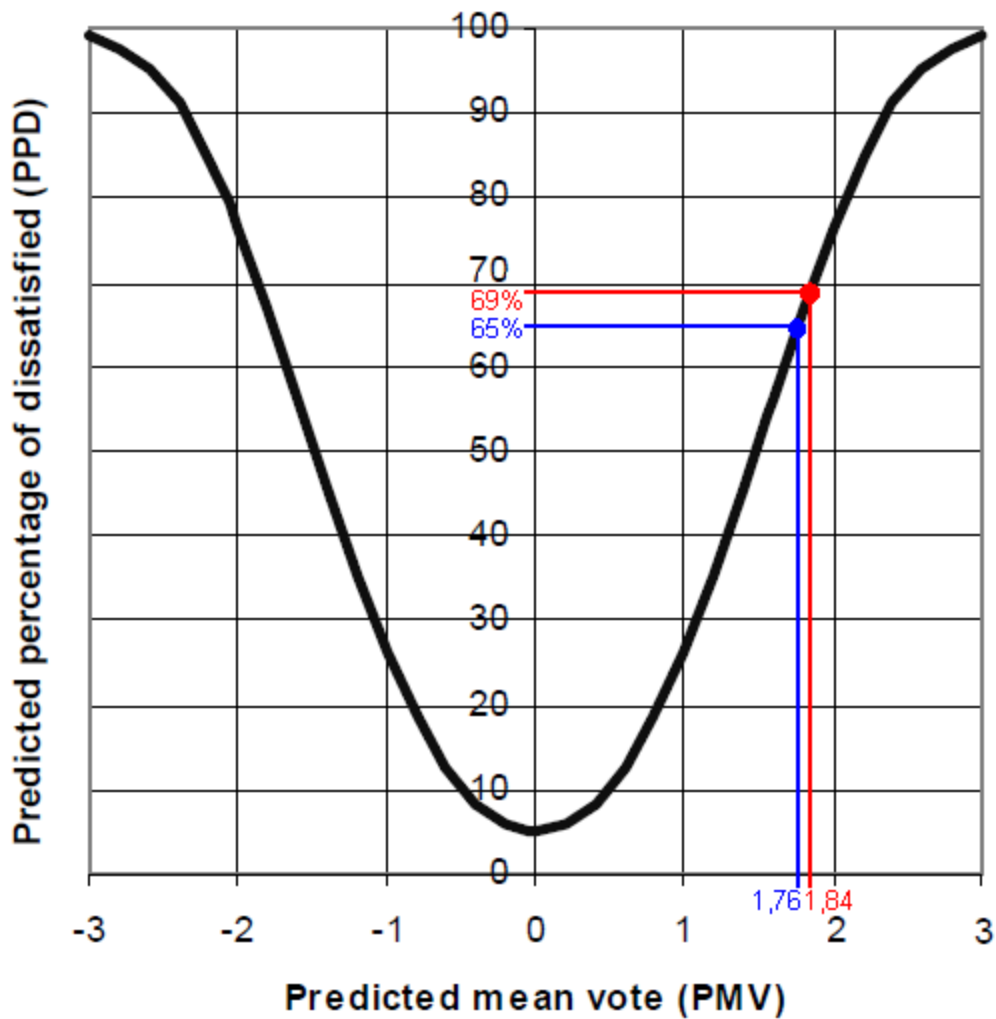
Στο μεγαλύτερο μέρος του γραφείου, οι εργαζόμενοι αισθάνονται «ζέστη» (PMV=1,80 περίπου) και η δυσφορία μάλιστα μεγαλώνει όσο πλησιάζουμε στα παράθυρα (PMV=1,84). Σε κάποια σημεία του χώρου, η θερμική αίσθηση βελτιώνεται (PMV=1,76), αλλά ο χώρος παραμένει και πάλι ζεστός.



Σχέδιο 5.17 Προβλεπόμενο ποσοστό δυσαρεστημένων.

Το ποσοστό των δυσαρεστημένων είναι αντίστοιχο της θερμικής άνεσης που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο σχέδιο. Οι εργαζόμενοι στην πλειοψηφία τους δεν αισθάνονται θερμικά άνετα καθώς οι θερμοκρασίες είναι αρκετά υψηλές.

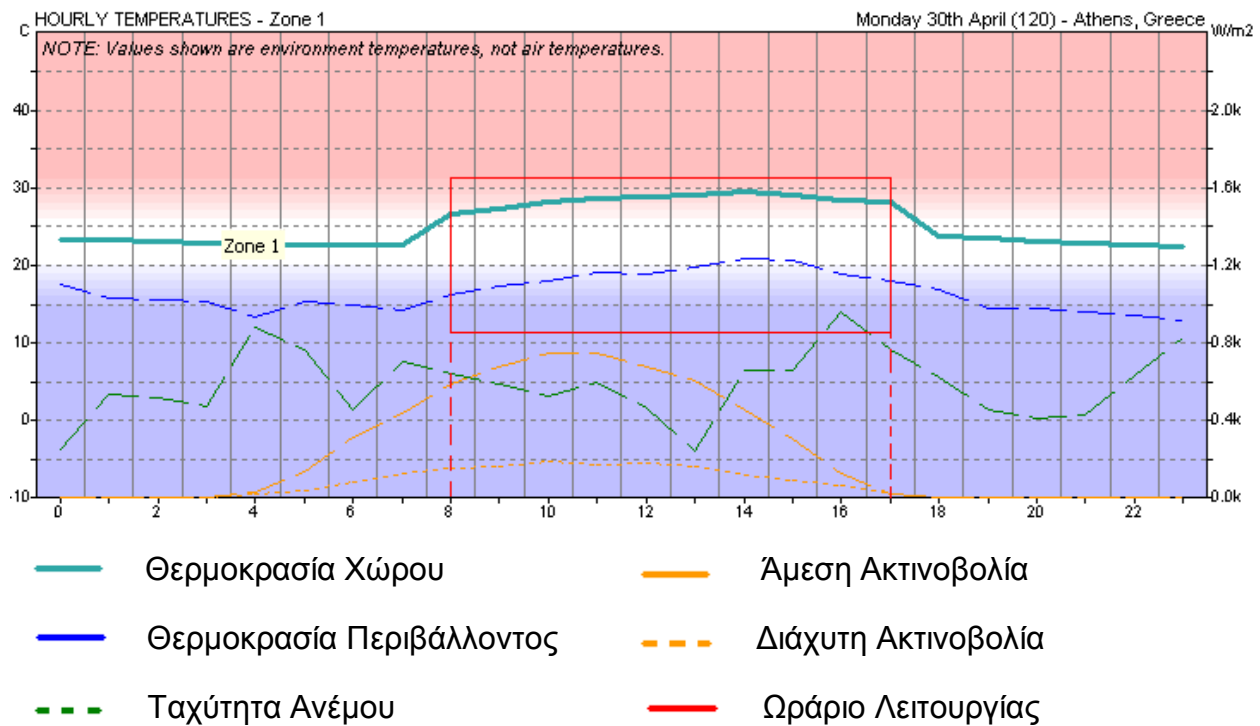
Συγκεκριμένα, το μεγαλύτερο ποσοστό δυσαρεστημένων (PPD=69%) είναι κοντά στους υαλοπίνακες όπου η άμεση ακτινοβολία αυξάνει τη θερμοκρασία. Το ποσοστό μειώνεται κατά 4% στα σημεία όπου έχουμε μόνο διάχυτη ακτινοβολία (PPD=65%).



Διάγραμμα 5.7 Οι ακραίες καταστάσεις θερμικής αίσθησης στο εσωτερικό.

Στην περίπτωση αυτή, τα σημεία μεταφέρονται στο δεξιό μέρος της “καμπάνας”, όπου η θερμική δυσφορία είναι έντονη λόγω αυξημένης θερμοκρασίας.

Η κλίση της καμπύλης είναι μεγάλη στα επίπεδα αυτά και η διαφορά κατά 0,08 στην κλίμακα του PMV μεταβάλλει το ποσοστό των δυσαρεστημένων κατά 4%.



Διάγραμμα 5.8 Μεταβολή της θερμοκρασίας του γραφείου κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Στο **Διάγραμμα 5.8** φαίνεται η απότομη αύξηση της θερμοκρασίας του χώρου λόγω της εκπομπής θερμότητας από τους εργαζόμενους.

Παράλληλα, η αύξηση της εξωτερικής θερμοκρασίας ($T_{max}=22^{\circ}\text{C}$) και της άμεσης ακτινοβολίας ($\sim 750\text{W}/\text{m}^2$) οδηγεί σε επιπλέον αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της ημέρας που φτάνει και τους 30°C στις 14:00.

5.5 Περίπτωση 5^η

Επαναφέρουμε τα δεδομένα που είχαμε και στην 1η περίπτωση όσον αφορά το ανθρώπινο δυναμικό και τις εκπομπές θερμότητας όμως η ένδυση και τα επίπεδα σχετικής υγρασίας μένουν ίδια.

- Αριθμός ατόμων που εργάζονται στο χώρο: 4 άτομα
- Είδος δραστηριότητας: εργασία στον Η/Υ = εκπομπή θερμότητας 65W ανά άτομο (met=1,1)
- Συνολική εκπομπή θερμότητας στο χώρο λόγω εργασίας: $4 \cdot 65W = 260W$
- Ημερήσιο πρόγραμμα εργασίας: από τις 08:00 έως τις 17:00

Occupancy Values for number of people and their average biological heat output.	No. of People and Activity:
	4 Typing - 65 W
	8-17

- Εκπομπές θερμότητας λόγω φωτισμού ($20W/m^2$), ηλεκτρικών συσκευών ($5W/m^2$) και άλλων πηγών ($2W/m^2$): Σύνολο = $27W/m^2$
- Συνολικές εκπομπές θερμότητας στο χώρο: $27W/m^2 \cdot 50m^2 = 1350W$

Internal Gains Values for both lighting and small power loads per unit floor area.	Sensible Gain:	Latent Gain:
	25	2 W/m ²

Οι συνολικές εκπομπές θερμότητας στο χώρο από την ανθρώπινη δραστηριότητα, τις ηλεκτρικές συσκευές και το φωτισμό είναι: $260W + 1350W = 1610W$.

- Ρυθμός εναλλαγής αέρα στο εσωτερικό: 0,5 εναλλαγές αέρα ανά ώρα
- Συντελεστής ευαισθησίας του χώρου στον αέρα (πόσο εκτεθειμένο είναι στον άνεμο) : 0,25 (αρκετά προστατευμένο)

Infiltration Rate

Values for the exchange of air between zone and outside environment.

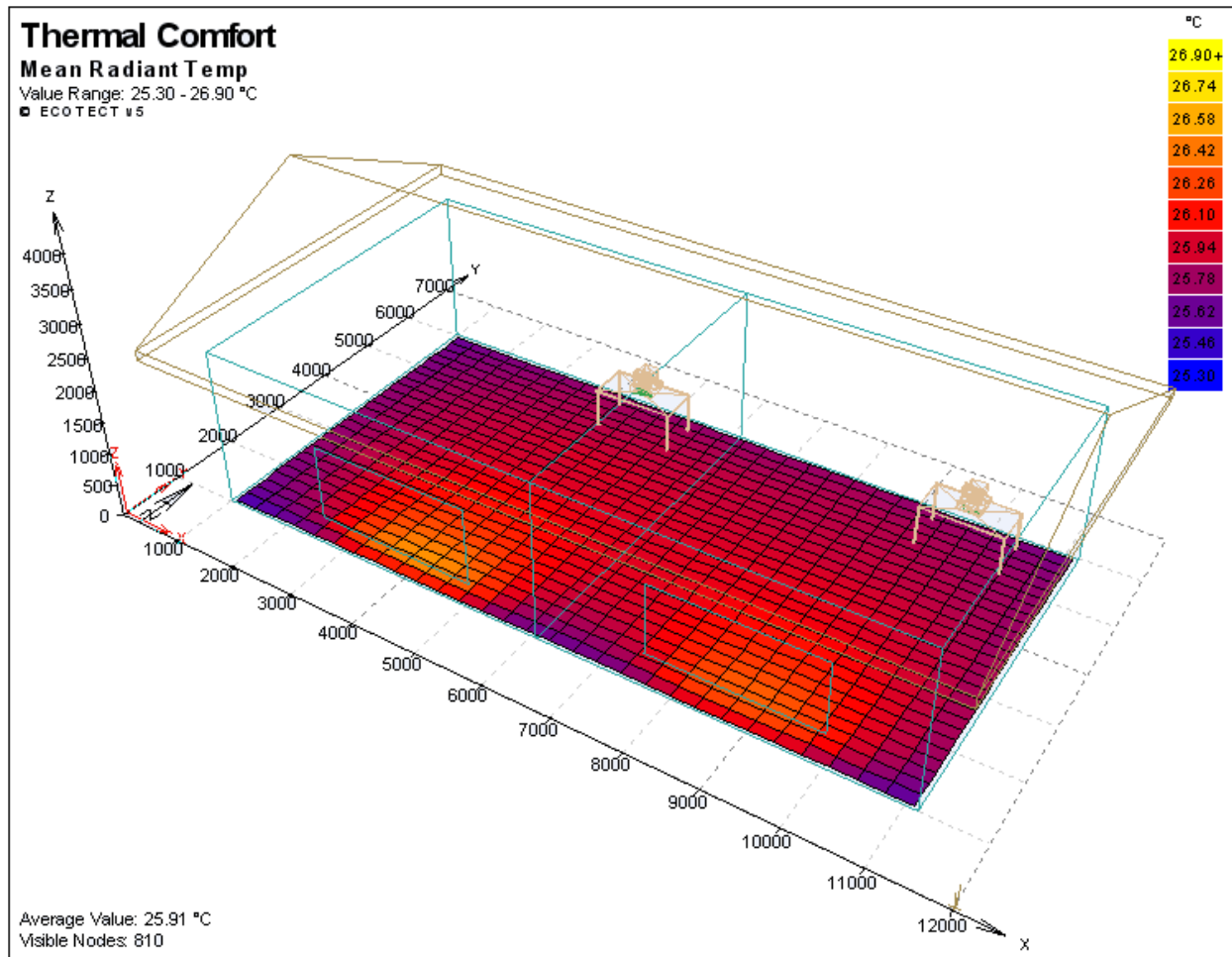
Air Change Rate:

Wind Sensitivity:

Air changes / hr

Με τα δεδομένα αυτά, μελετάμε το χώρο στις 30 Απριλίου στις 12:00 το μεσημέρι όπως στην προηγούμενη περίπτωση.

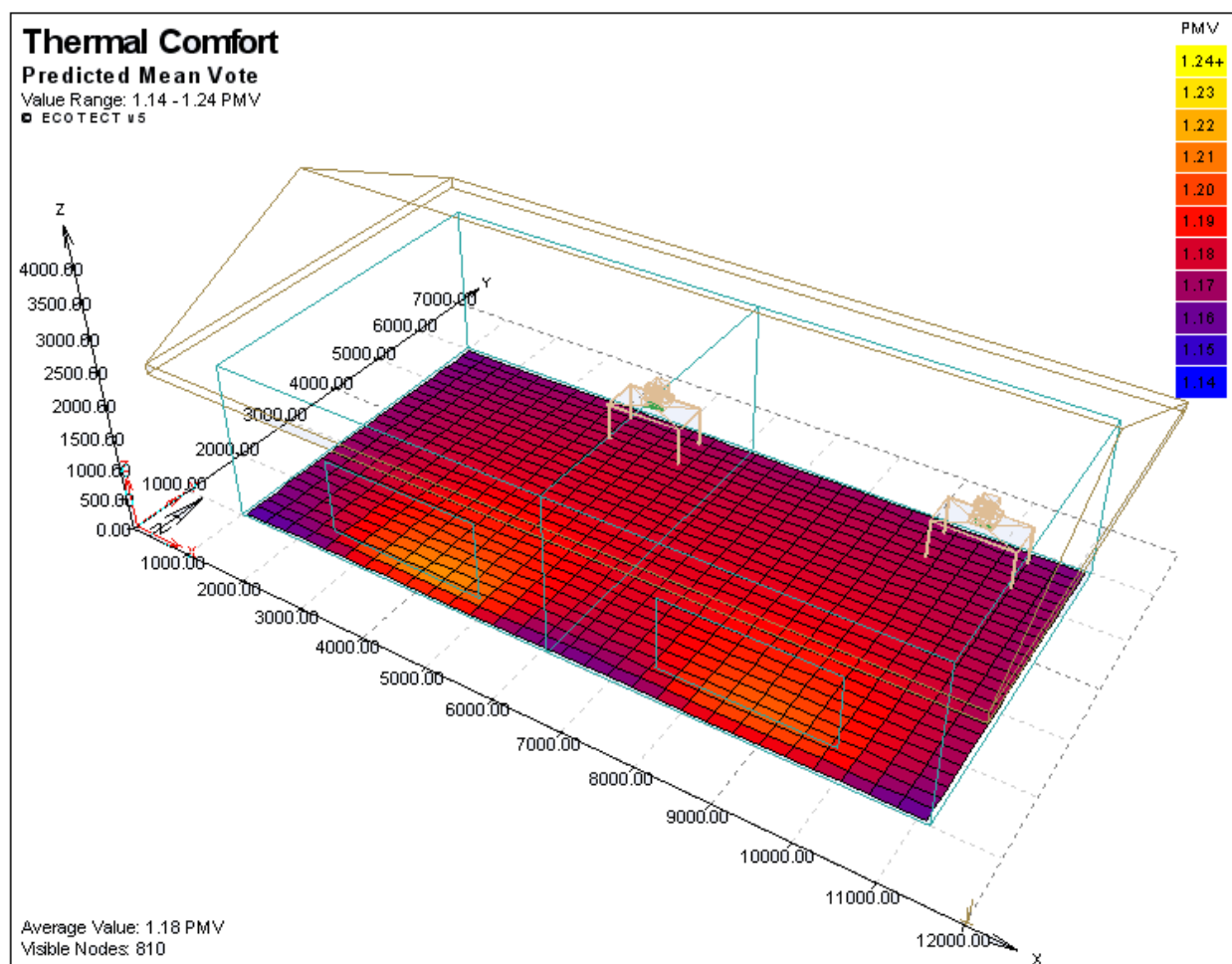
12:00 30th April Climate: Athens Lat: 37.9° Lng: 23.7° (+2.0)



Σχέδιο 5.18 Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας.

Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας στο εσωτερικό μειώθηκε κατά 2,97°C σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση.

Η μέγιστη θερμοκρασία είναι 26,7°C και εμφανίζεται κοντά στους δύο υαλοπίνακες. Στον υπόλοιπο χώρο η θερμοκρασία πέφτει μέχρι και τους 25,4°C.

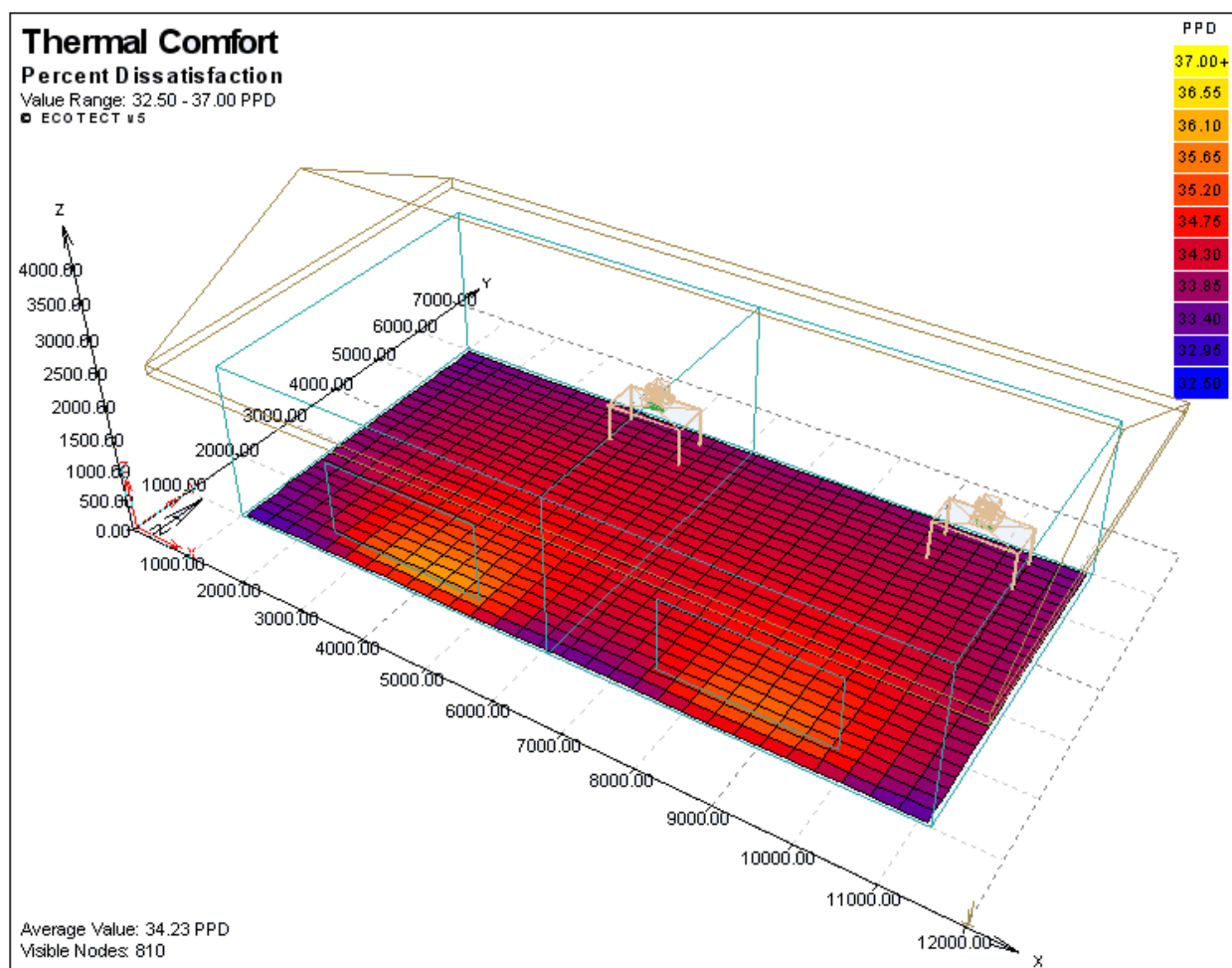


Σχέδιο 5.19 Προβλεπόμενη μέση ψήφος.

Βλέπουμε στο **Σχέδιο 5.19** ότι, παρά την πτώση της θερμοκρασίας στο χώρο και την αλλαγή της δραστηριότητας των εργαζομένων, η θερμική άνεση δεν βελτιώθηκε στο μέγιστο. Οι εκπομπές θερμότητας από τους εργαζόμενους και τις ηλεκτρικές συσκευές

μειώθηκαν, όμως οι υψηλές εξωτερικές θερμοκρασίες κράτησαν την εσωτερική θερμοκρασία σε μη ιδανικά επίπεδα.

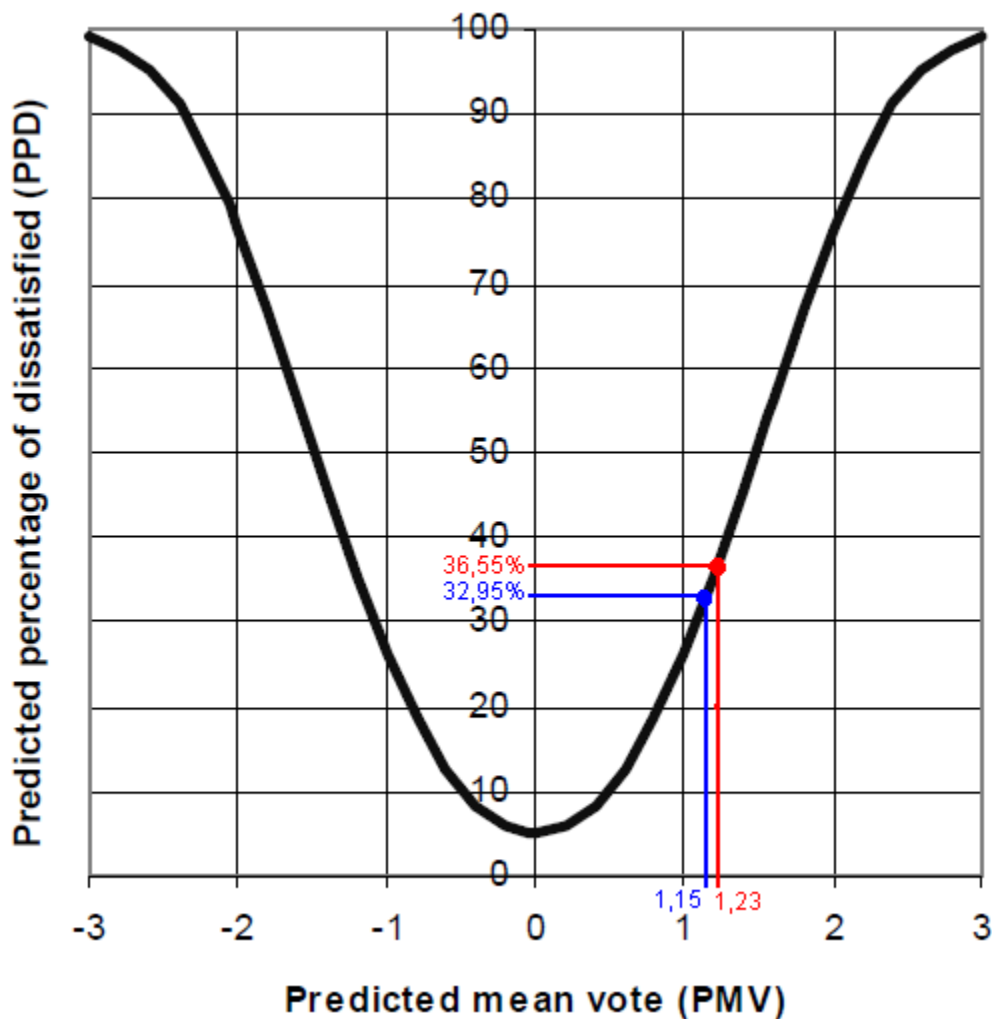
Έτσι, έχουμε ένα εύρος της θερμικής άνεσης από $PMV=1,15$ («λίγο ζεστά») μακριά από τα παράθυρα, έως $PMV=1,23$ στα σημεία με άμεση έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία.



Σχέδιο 5.20 Προβλεπόμενο ποσοστό δυσαρεστημένων.

Στο **Σχέδιο 5.20** βλέπουμε ότι το ποσοστό των δυσαρεστημένων σχεδόν υποδιπλασιάστηκε. Από μέση τιμή 66,44% έφτασε το 34,23%. Συγκεκριμένα, το

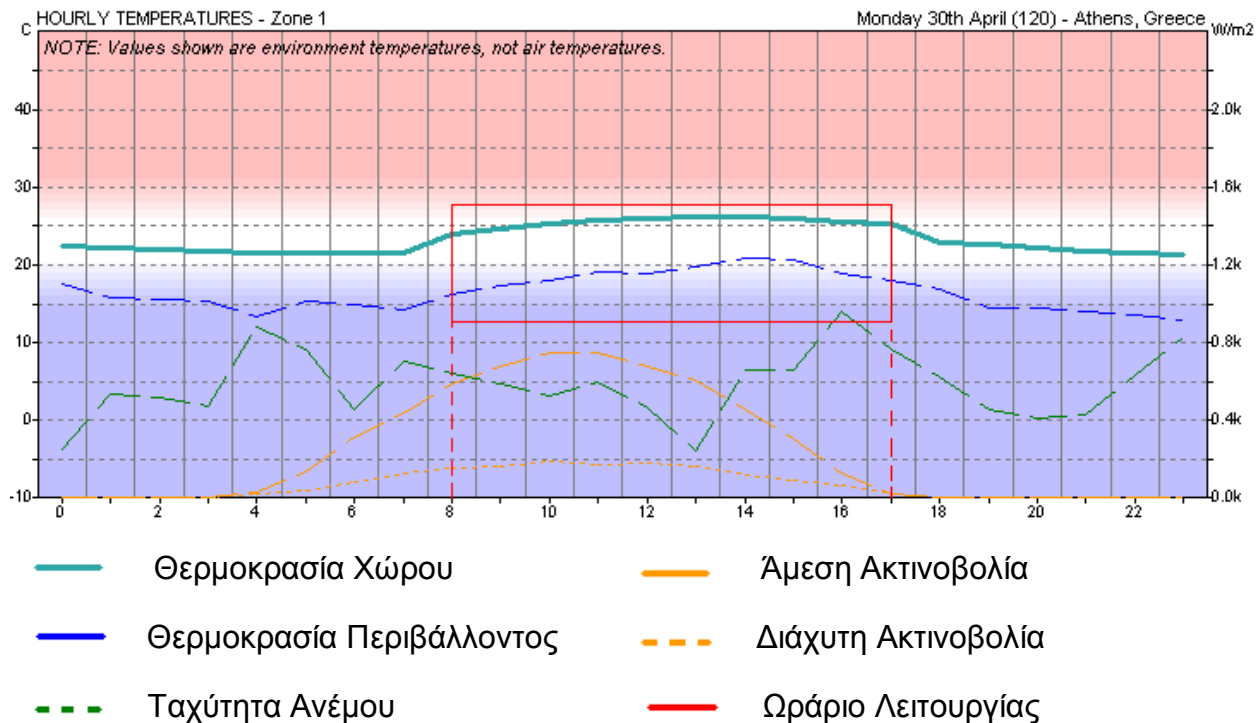
ποσοστό, από PPD=32,95% σταδιακά φτάνει σε μέγιστη τιμή PPD=36,55% για εργαζόμενους που δουλεύουν κοντά στους υαλοπίνακες.



Διάγραμμα 5.9 Ακραίες καταστάσεις θερμικής αίσθησης.

Τα σημεία στο **Διάγραμμα 5.9** πλησίασαν το κάτω άκρο της καμπύλης όμως δεν βρίσκονται στην περιοχή όπου έχουμε αποδεκτές τιμές θερμικής άνεσης. Ένας στους τρεις εργαζόμενους περίπου αισθάνεται δυσφορία λόγω ελαφράς ζέστης, μειώνοντας

έτσι την παραγωγικότητά του. Η άνεση βελτιώνεται λίγο με μετακίνηση των εργαζομένων μακριά από τα παράθυρα.



Διάγραμμα 5.10 Μεταβολή της εσωτερικής θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Εξαιτίας της μείωσης των εργαζομένων, η θερμοκρασία στο χώρο δεν αυξάνεται τόσο όσο στην προηγούμενη περίπτωση. Όπως φαίνεται στο **Διάγραμμα 5.10**, τα κέρδη στο χώρο από τις εκπομπές θερμότητας των εργαζομένων και των ηλεκτρικών συσκευών είναι της τάξης των 2°C περίπου, καθώς από τους 22°C που είναι στις 07:00 ανεβαίνει στους 24°C στις 08:00 όπου έχουμε πληρότητα του χώρου.

5.6 Περίπτωση 6^η

Για να εξετάσουμε περαιτέρω την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμική άνεση του χώρου αλλάζουμε τις διαστάσεις των υαλοπινάκων ώστε να έχουμε μεγαλύτερη επιφάνεια πρόσπτωσης της ακτινοβολίας στο εσωτερικό.

Συγκεκριμένα, μεταβάλλουμε τις διαστάσεις του ενός υαλοπίνακα και βλέπουμε τις διαφορές στην εσωτερική σκίαση (**Σχέδιο 5.21**).

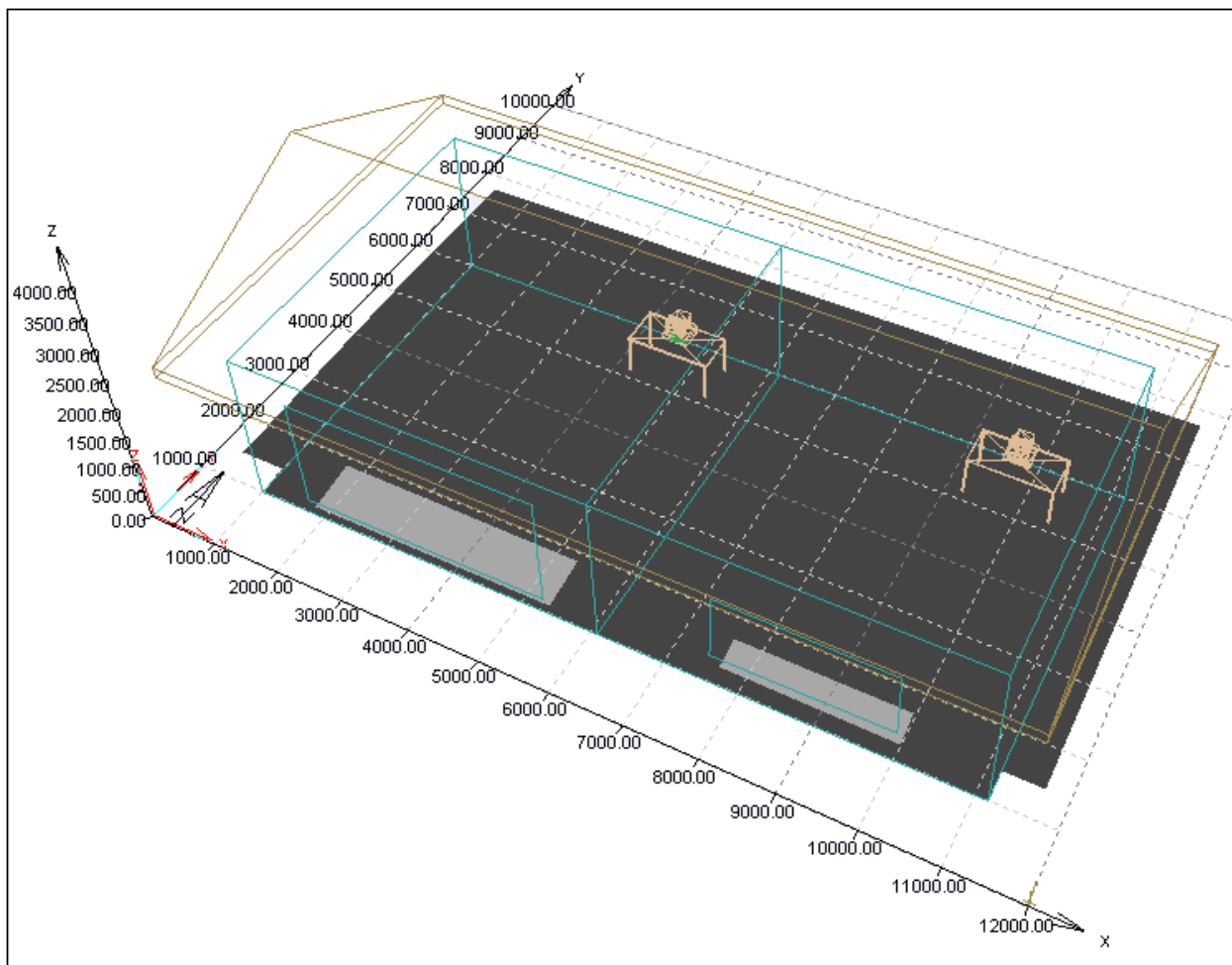
Έτσι, η επιφάνεια του δεξιού υαλοπίνακα παραμένει $2,477\text{m}^2$

Surface Area:	2.477 m2
---------------	----------

και η επιφάνεια του αριστερού υαλοπίνακα που μεταβάλλαμε, από $2,644\text{m}^2$ γίνεται $6,213\text{m}^2$.

Surface Area:	6.213 m2
---------------	----------

Έχουμε συνολική επιφάνεια υαλοπινάκων $8,690\text{m}^2$.



Σχέδιο 5.21 Μεταβολή στην εσωτερική σκίαση μετά από αύξηση της επιφάνειας του υαλοπίνακα.

Οι ακτίνες του ηλίου που διαπερνούν τους υαλοπίνακες δημιουργούν δύο επιφάνειες με τα εξής χαρακτηριστικά:

Για τον υαλοπίνακα των 2,477m²:

Εμβαδό: 1,058m²

Ποσοστό επί της συνολικής επιφάνειας του χώρου: 2,1%

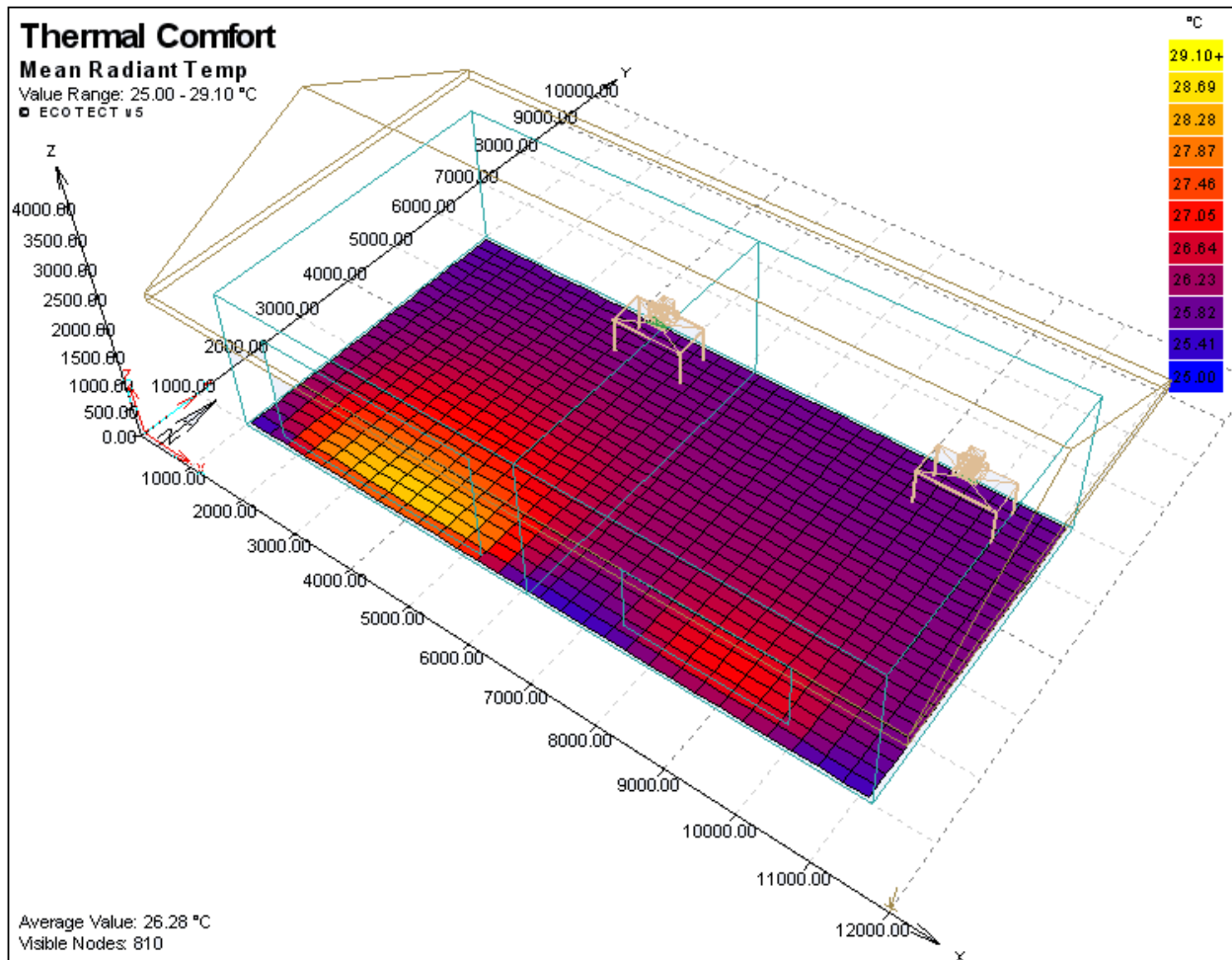
Για τον υαλοπίνακα των 6,213m²:

Εμβαδό: 2,7m²

Ποσοστό επί της συνολικής επιφάνειας του χώρου: 5,4%

Συμπεραίνουμε, ότι το 92,5% της επιφάνειας του γραφείου είναι σκιασμένο.

Επίσης, όλα τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του χώρου, καθώς και η ενδυμασία και η δραστηριότητα των εργαζομένων παραμένουν ίδια με την προηγούμενη περίπτωση.

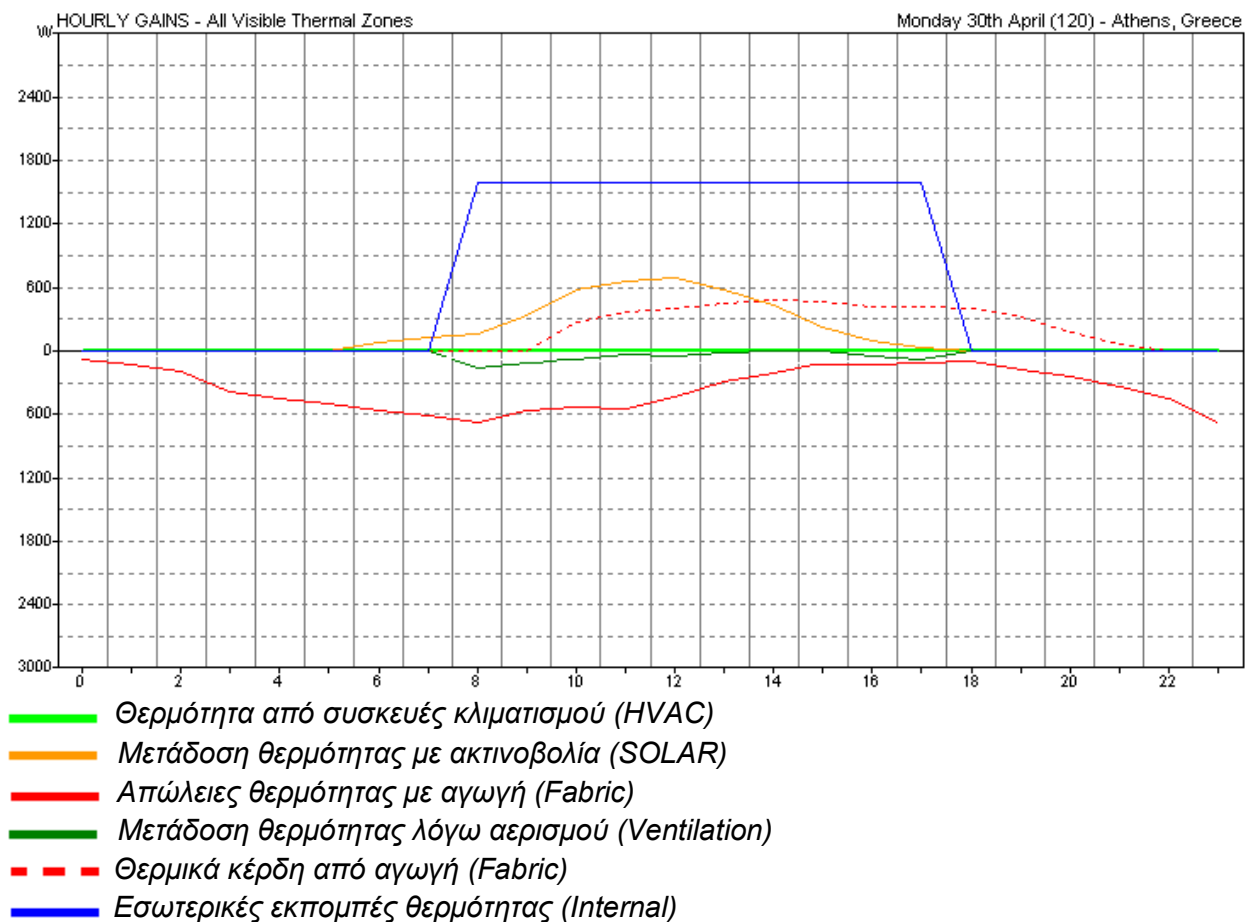


Σχέδιο 5.22 Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας στο χώρο του γραφείου.

Μελετώντας το χώρο ως προς τη θερμική άνεση, βλέπουμε ότι η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας αυξήθηκε μόνο κατά 0,37°C. Από 25,91°C που είχαμε στην προηγούμενη

περίπτωση, με την αύξηση της επιφάνειας των υαλοπινάκων, έχουμε τώρα μέση τιμή στο χώρο 26,28°C.

Η τιμή αυτή φτάνει το μέγιστο κοντά στο παράθυρο των 6,213m² (MRT=28,9°C) ενώ κοντά στο παράθυρο των 2,477m², έχουμε MRT=27,05°C. Στον υπόλοιπο χώρο η θερμοκρασία βρίσκεται περίπου στους 25,8°C και σε κάποια σημεία φτάνει το ελάχιστο στους 25,2°C.



Διάγραμμα 5.11 Θερμικές απώλειες και κέρδη του χώρου κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Από το **Διάγραμμα 5.11** μπορούμε να δούμε τις μεταβολές στις απώλειες και τα κέρδη από την αύξηση της επιφάνειας του ενός υαλοπίνακα. Στην περίπτωση αυτή δεν χρησιμοποιούμε συσκευές κλιματισμού (πράσινη καμπύλη) οπότε και τα αντίστοιχα ποσά είναι μηδενικά. Μέσω των τοιχωμάτων μεταφέρεται θερμότητα με αγωγή

(άθροισμα της κόκκινης καμπύλης και της διακεκομένης). Έτσι, στις 12.00, έχουμε απώλειες θερμότητας 271Wh. Τα κέρδη από την ηλιακή ακτινοβολία είναι 1.175Wh. Η εξωτερική θερμοκρασία είναι μικρότερη, οπότε έχουμε και απώλειες θερμότητας λόγω αερισμού 45Wh. Τέλος, οι εκπομπές θερμότητας στο εσωτερικό από τους εργαζόμενους και τις ηλεκτρικές συσκευές είναι 1.590Wh.

HOURLY GAINS - Monday 30th April (120)					
Zone: All Visible Thermal Zones					
HOUR	HVAC (Wh)	FABRIC (Wh)	SOLAR (Wh)	VENT. (Wh)	INTERN (Wh)
⋮					
10:00	0	-391	967	-87	1590
11:00	0	-327	1125	-38	1590
12:00	0	-271	1175	-45	1590
13:00	0	-70	976	-11	1590
14:00	0	97	729	0	1590
⋮					

Πρίν αλλάξουμε την επιφάνεια του υαλοπίνακα οι αντίστοιχες τιμές ήταν οι ακόλουθες.

- Μηδενικά ποσά θερμότητας από συσκευές κλιματισμού
- Απώλειες θερμότητας από αγωγή 37Wh
- Θερμικά κέρδη από ακτινοβολία 694Wh
- Εκπομπές θερμότητας στο εσωτερικό 1590Wh

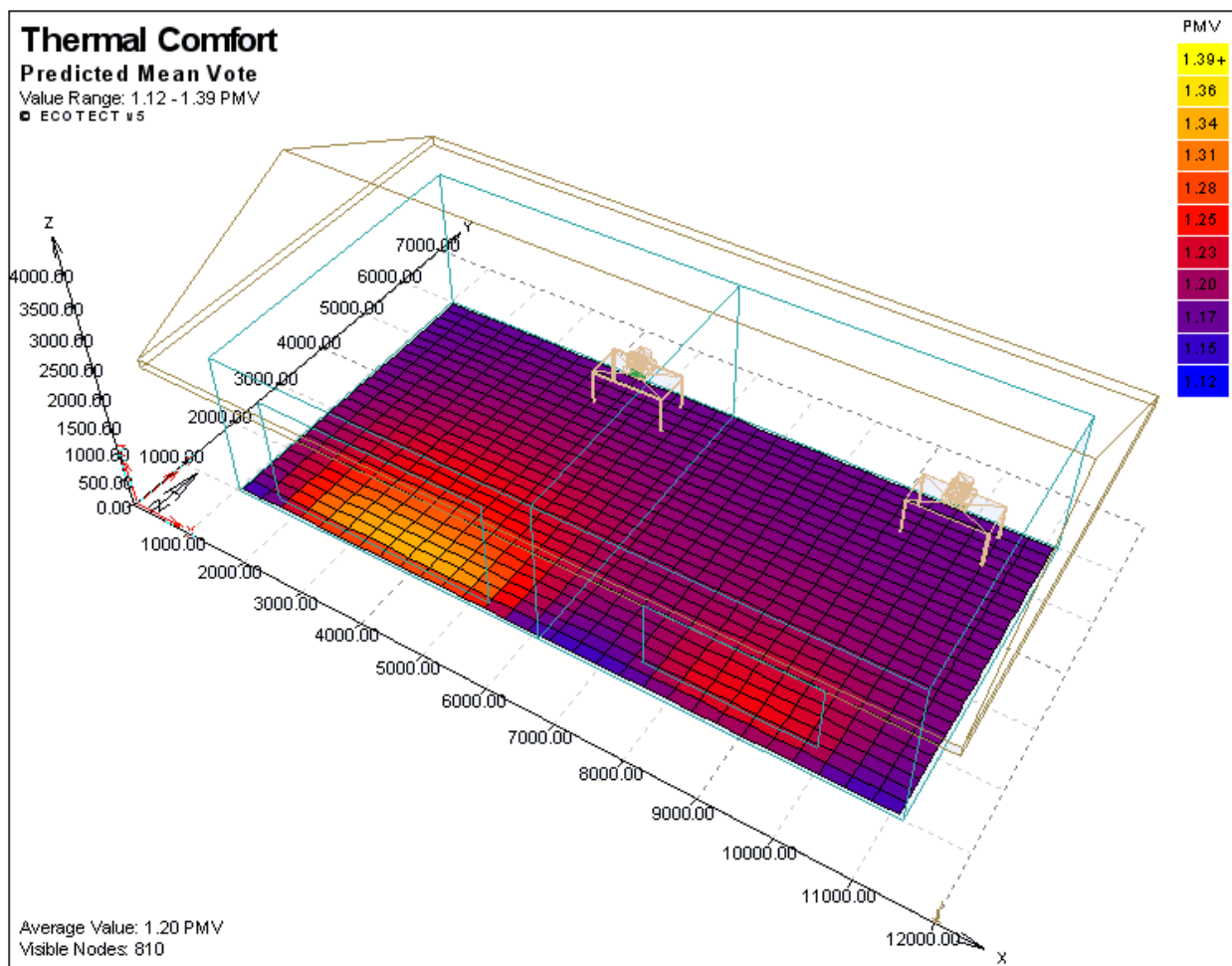
HOURLY GAINS - Monday 30th April (120)					
Zone: All Visible Thermal Zones					
HOUR	HVAC (Wh)	FABRIC (Wh)	SOLAR (Wh)	VENT. (Wh)	INTERN (Wh)
⋮					
10:00	0	-261	571	-87	1590
11:00	0	-182	663	-38	1590
12:00	0	-37	694	-45	1590
13:00	0	165	580	-11	1590
14:00	0	278	433	0	1590
⋮					

Οι διαφορές που παρουσιάζονται είναι στη μετάδοση θερμότητας από αγωγή και από ακτινοβολία. Τα θερμικά κέρδη από ακτινοβολία αυξήθηκαν κατά 481Wh, γιατί αυξήθηκε η επιφάνεια των υαλοπινάκων. Όμως, οι απώλειες από αγωγή αυξήθηκαν κατά 234Wh, καθώς το ποσοστό της τοιχοποιίας στη νότια πλευρά μειώθηκε (η θερμική διαπερατότητα του τοίχου είναι αρκετά μικρότερη από αυτήν του υαλοπινάκα).

Έτσι, με την αύξηση της επιφάνειας του υαλοπινάκα έχουμε συνολικό κέρδος:

$$481\text{Wh} - 234\text{Wh} = 247\text{Wh}$$

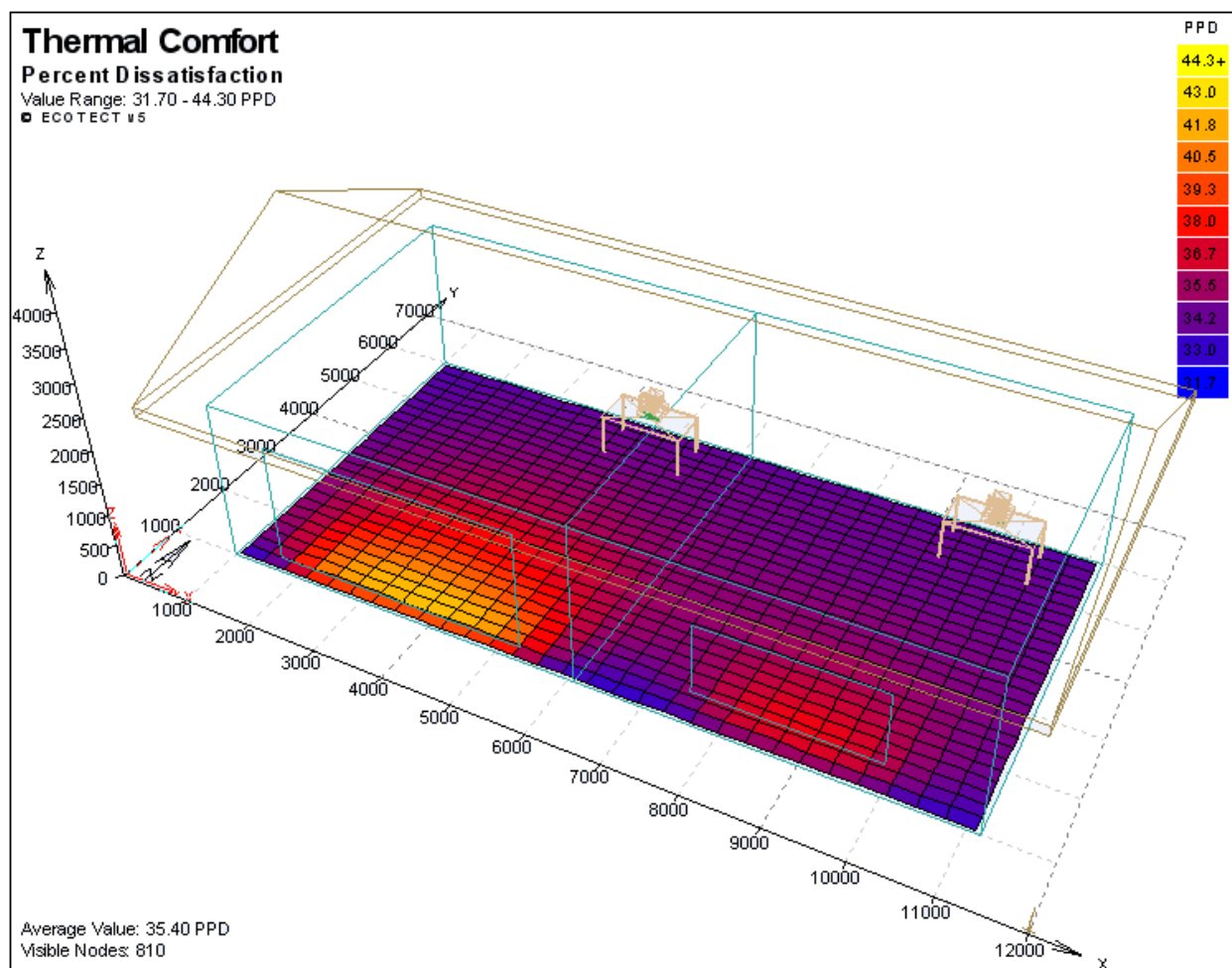
Το θερμικό αυτό κέρδος επηρεάζει τη θερμική άνεση στο χώρο. Ο βαθμός της επιρροής φαίνεται στο παρακάτω σχέδιο.



Σχέδιο 5.23 Προβλεπόμενη μέση ψήφος.

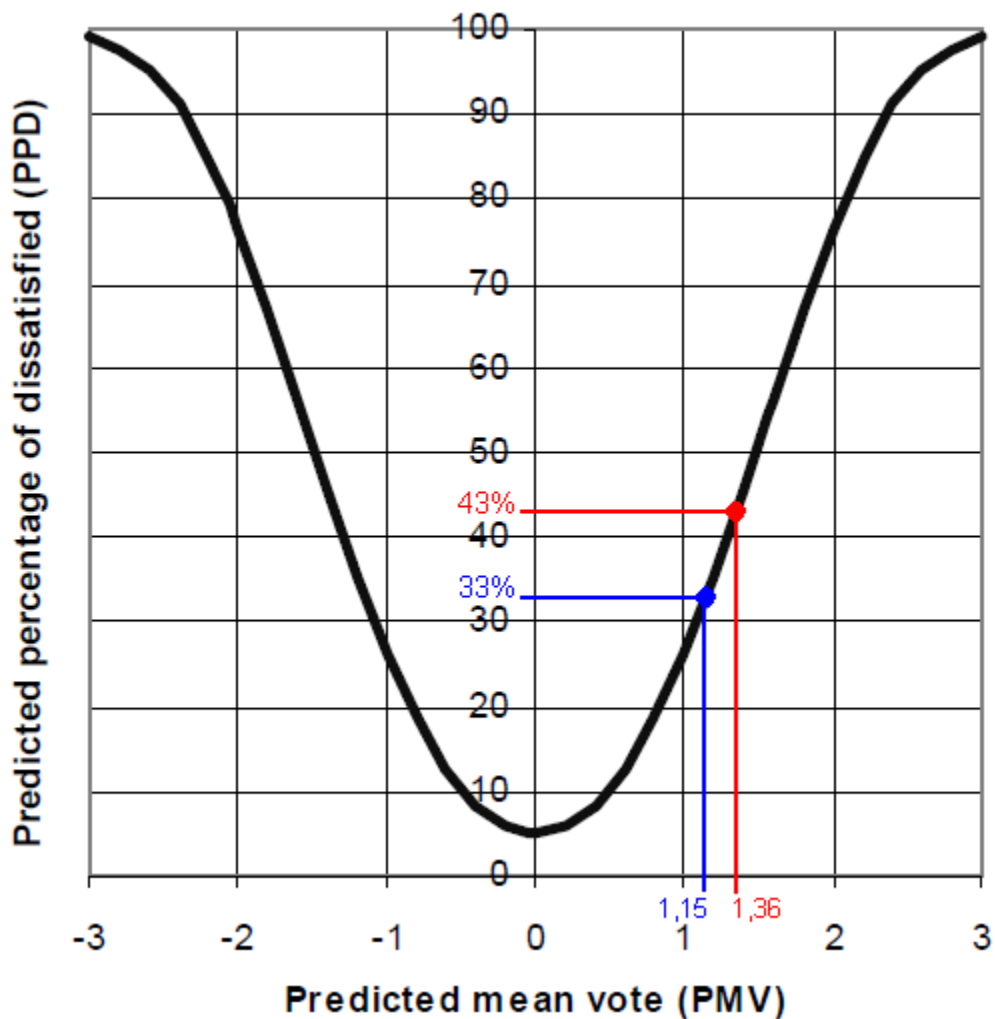
Απο την τιμή του $PMV=1,18$ στην προηγούμενη περίπτωση, τώρα έχουμε $PMV=1,20$. Η αύξηση της επιφάνειας του υαλοπίνακα οδήγησε σε μεγαλύτερη θερμική δυσφορία. Η διαφορά είναι μόνο 0,02 στην κλίμακα του PMV γιατί είχαμε αυξημένες απώλειες θερμότητας λόγω μεγάλης θερμικής διαπερατότητας του υαλοπίνακα.

Αυτό που παρατηρούμε στο **Σχέδιο 5.23**, είναι το εύρος των τιμών του PMV στα σημεία του χώρου, εξαιτίας της αυξημένης έκθεσης σε άμεση ακτινοβολία στον υαλοπίνακα των $6,213m^2$. Στο σημείο αυτό οι εργαζόμενοι αισθάνονται περισσότερο «ζεστά» ($PMV=1,36$). Κοντά στο μικρό παράθυρο η αίσθηση είναι λίγο καλύτερη ($PMV=1,25$), ενώ στα περισσότερα σημεία του χώρου έχουμε $PMV=1,17$. Τέλος, υπάρχουν και σημεία στο χώρο με προβλεπόμενη μέση ψήφο $PMV=1,15$.



Σχέδιο 5.24 Προβλεπόμενο ποσοστό δυσαρεστημένων.

Όπως και στις τιμές του PMV, έτσι και στο προβλεπόμενο ποσοστό δυσαρεστημένων έχουμε απόκλιση 10% στη θερμική δυσφορία. Το ποσοστό έχει μικρότερη τιμή PPD=33% στα σημεία με τη μικρότερη διάχυτη ακτινοβολία. Στο μεγαλύτερο μέρος του χώρου, το ποσοστό είναι περίπου PPD=34,2% , ενώ στο παράθυρο με τη μικρή επιφάνεια φτάνει το 38%. Το μεγαλύτερο ποσοστό δυσαρεστημένων βρίσκεται κοντά στο μεγάλο παράθυρο όπου έχουμε PPD=43%.



Διάγραμμα 5.12 Ακραίες καταστάσεις θερμικής αίσθησης στο εσωτερικό.

Στο **Διάγραμμα 5.12** φαίνεται καθαρά το εύρος της θερμικής άνεσης πάνω στην καμπάνα. Οι εργαζόμενοι μπορούν να απομακρυνθούν από το παράθυρο με την αυξημένη επιφάνεια (κόκκινο σημείο στην καμπύλη) και να μετακινηθούν σε σημεία με

βελτιωμένη θερμική άνεση (μπλε σημείο στην καμπύλη). Το ποσοστό των δυσαρεστημένων όμως δεν θα πέσει ποτέ κάτω από το 33%.

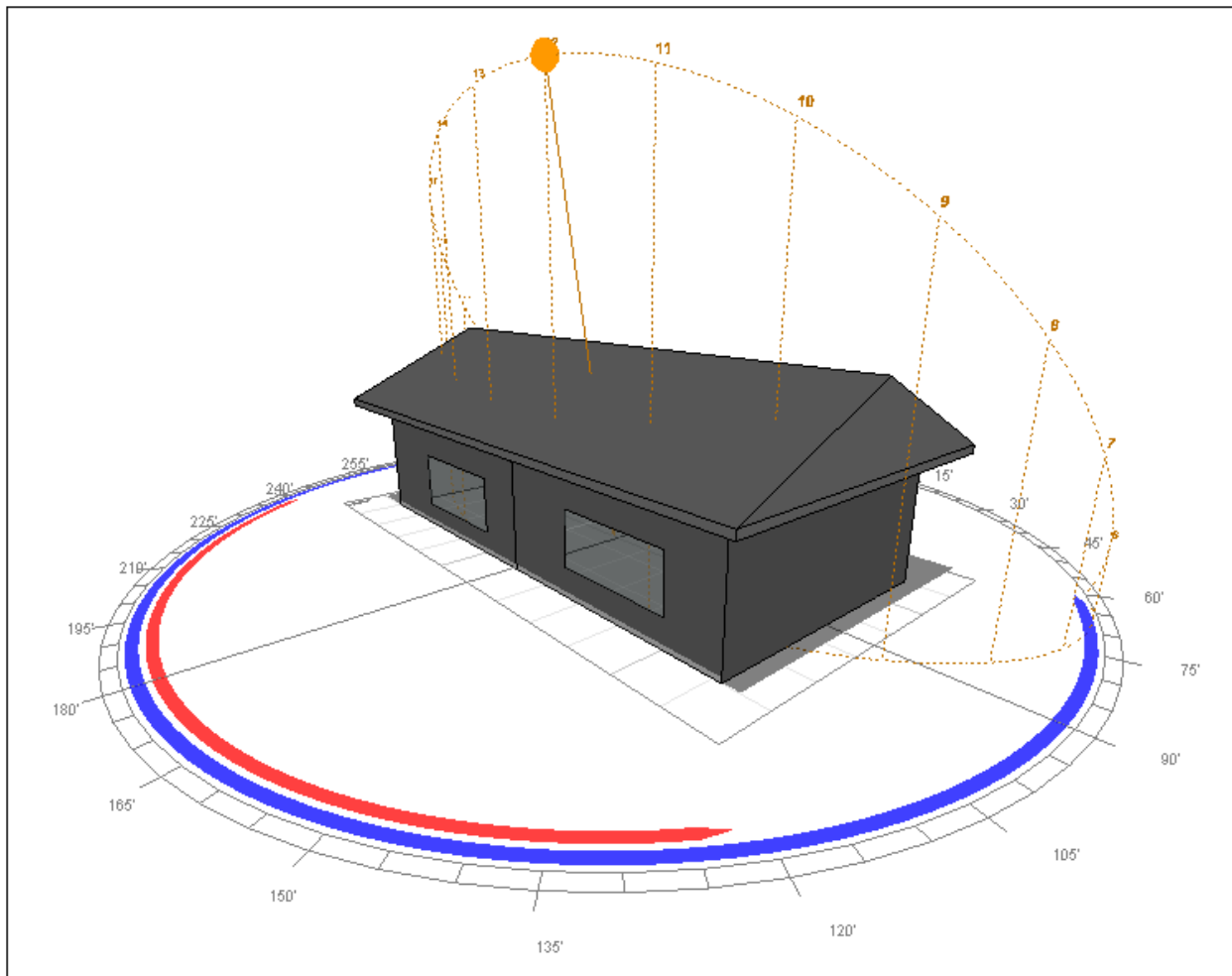
Γενικά, με την αύξηση της επιφάνειας του υαλοπίνακα, η θερμική δυσφορία επιδεινώθηκε.

5.7 Περίπτωση 7^η

Στις προηγούμενες περιπτώσεις μελετήσαμε τη συμπεριφορά του χώρου στους μήνες Ιανουάριο και Απρίλιο. Τώρα θα εξετάσουμε το χώρο ως προς τη θερμική άνεση σε θερμότερο περιβάλλον. Συγκεκριμένα επιλέγουμε να τον μελετήσουμε στην Αθήνα στις 30 Ιουνίου.

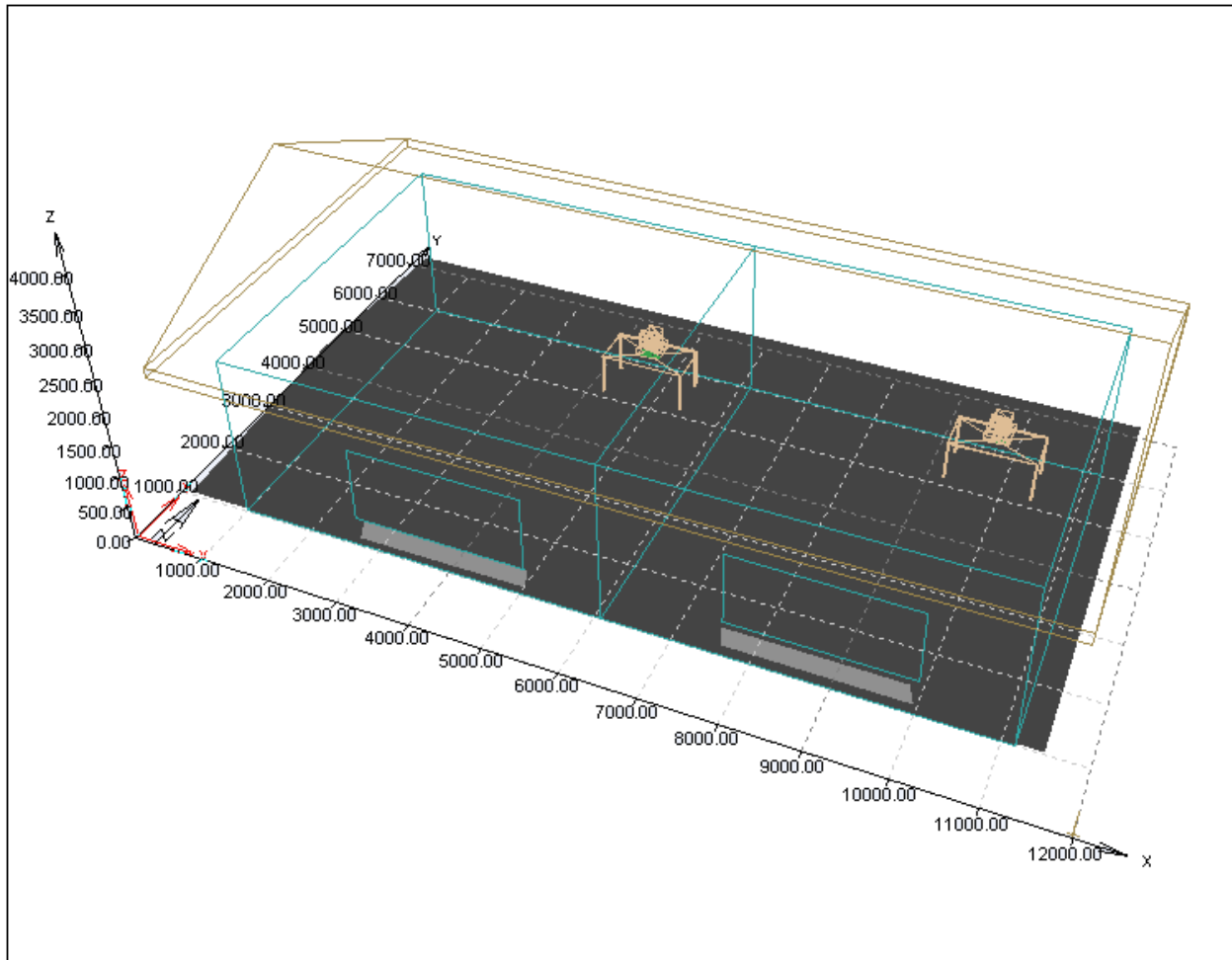


Στις 30 Ιουνίου στις 12:00 η θέση του ήλιου είναι όπως φαίνεται στο **Σχέδιο 25**.



Σχέδιο 5.25 Θέση του ήλιου στις 30 Ιουνίου στις 12:00 το μεσημέρι.

Η γωνία της θέσης του ήλιου πλησιάζει τις 90° ως προς το οριζόντιο επίπεδο, οπότε το τμήμα του χώρου που δέχεται ηλιακή ακτινοβολία είναι πολύ μικρό.



Σχέδιο 5.26 Εσωτερική σκίαση στο χώρο του γραφείου.

Το τμήμα αυτό έχει εμβαδό $1,175\text{m}^2$, το οποίο αποτελεί το 2,35% της συνολικής επιφάνειας του γραφείου. Το 97,65% της επιφάνειας του γραφείου σκιάζεται.

Διατηρούμε τις συνθήκες του χώρου ίδιες με την προηγούμενη περίπτωση. Δηλαδή:

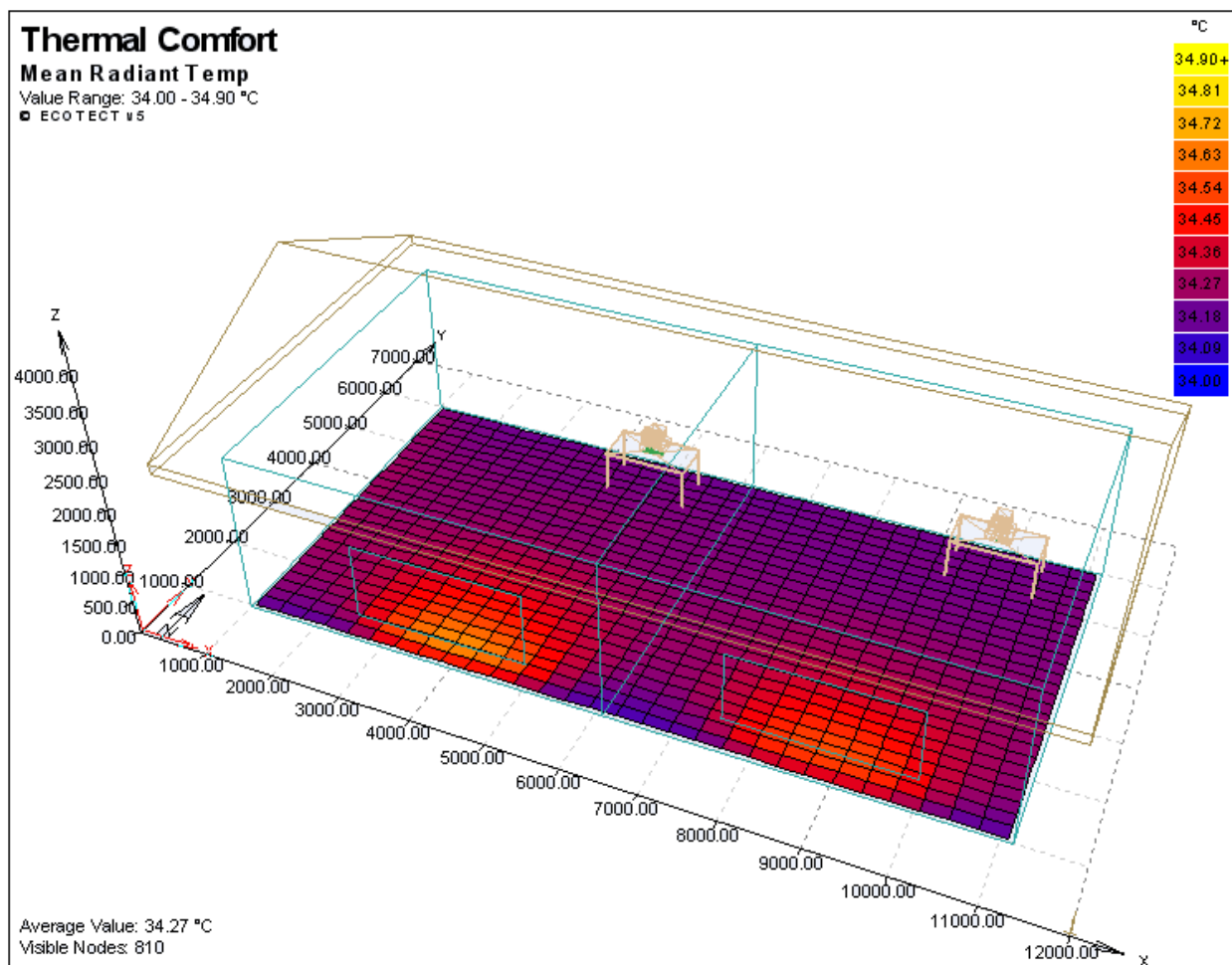
- Αριθμός ατόμων που εργάζονται στο χώρο: 4 άτομα

- Είδος δραστηριότητας: εργασία στον Η/Υ = εκπομπή θερμότητας 65W ανά άτομο (met=1,1)
- Συνολική εκπομπή θερμότητας στο χώρο λόγω εργασίας: $4 \cdot 65W = 260W$
- Εκπομπές θερμότητας λόγω φωτισμού ($20W/m^2$), ηλεκτρικών συσκευών ($5W/m^2$) και άλλων πηγών ($2W/m^2$): Σύνολο = $27W/m^2$
- Συνολικές εκπομπές θερμότητας στο χώρο: $27W/m^2 \cdot 50m^2 = 1350W$
- Ρυθμός εναλλαγής αέρα στο εσωτερικό: 0,5 εναλλαγές αέρα ανά ώρα
- Συντελεστής ευαισθησίας του χώρου στον αέρα (πόσο εκτεθειμένο είναι στον άνεμο) : 0,25 (αρκετά προστατευμένο)
- Ενδυμασία εργαζομένων: clo = 0,7 (αντιστοιχεί σε «μακρυμάνικο πουκάμισο και παντελόνι») Είναι χώρος γραφείων και δεν μπορούμε να επιλέξουμε μικρότερο clo.
- Σχετική υγρασία του χώρου: 50%
- Ταχύτητα του αέρα: 0,12m/s

Στις 30 Ιουνίου στις 12:00 έχουμε τις εξής συνθήκες περιβάλλοντος:

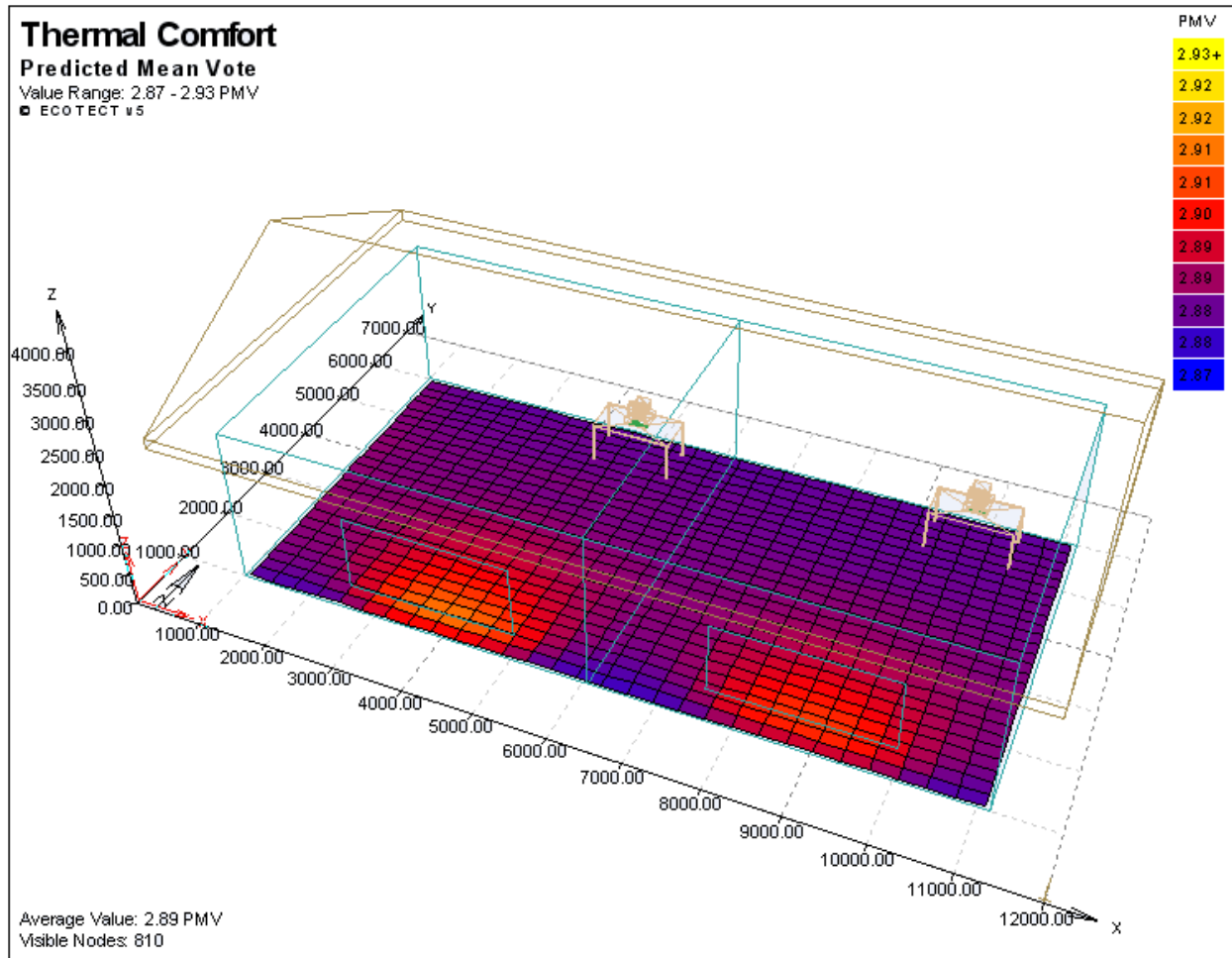
- Θερμοκρασία: 30,3°C
- Σχετική Υγρασία: 26%
- Άμεση ακτινοβολία: $671W/m^2$
- Διάχυτη Ακτινοβολία: $207W/m^2$
- Ταχύτητα Ανέμου: 14,1m/s

Hour	12:00
Temp:	30.3
Humidity:	26
Direct:	671
Diffuse:	207
Wind:	14.1



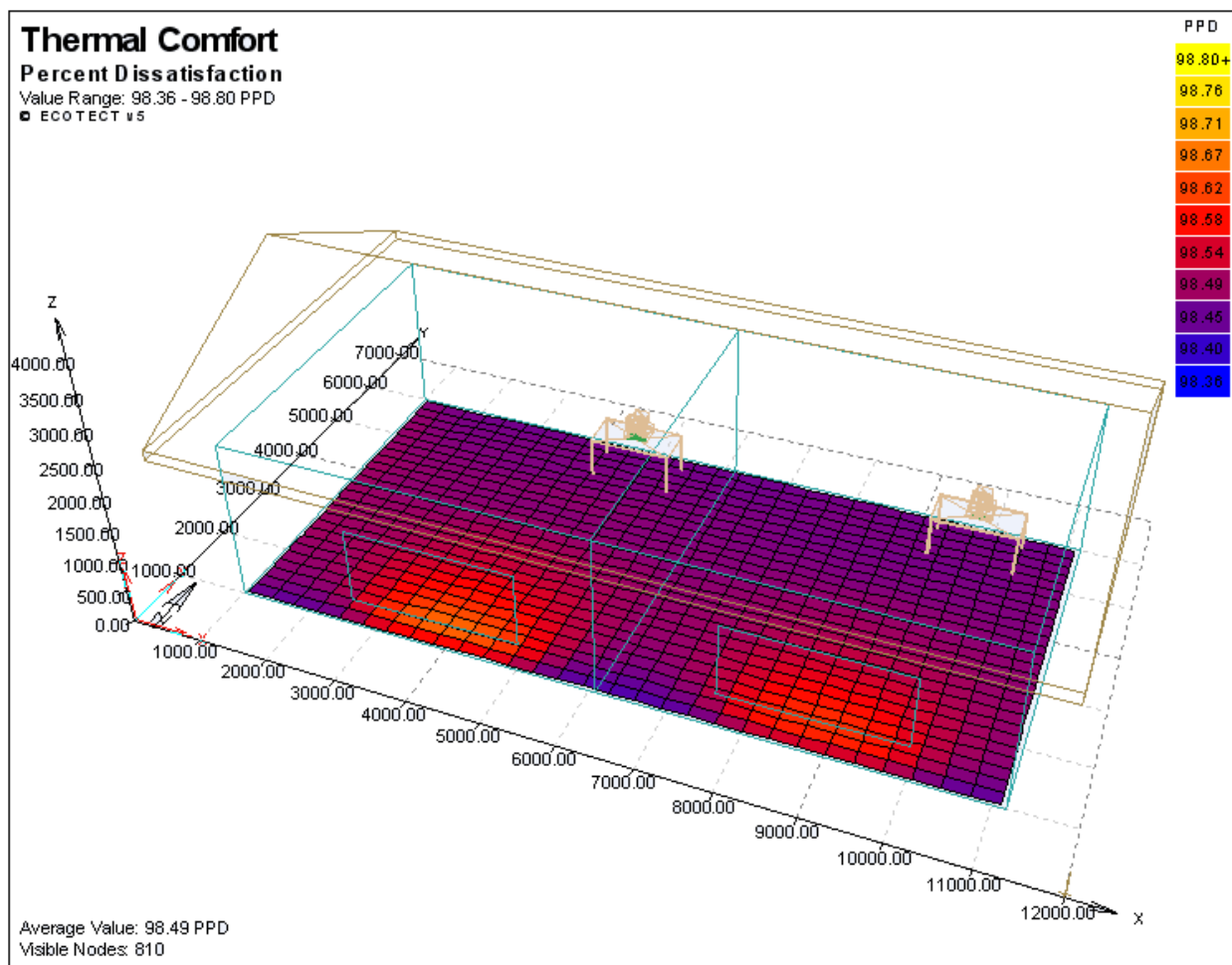
Σχέδιο 5.27 Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας.

Όπως βλέπουμε στο **Σχέδιο 5.27**, η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας έχει αυξηθεί αρκετά. Από 34,1°C σε κάποια σημεία στο χώρο, φτάνει τους 34,8°C κοντά στα παράθυρα. Οι θερμοκρασίες είναι υψηλές και δύσκολα μπορεί να υπάρξει θερμική άνεση σε τέτοιες θερμοκρασίες.



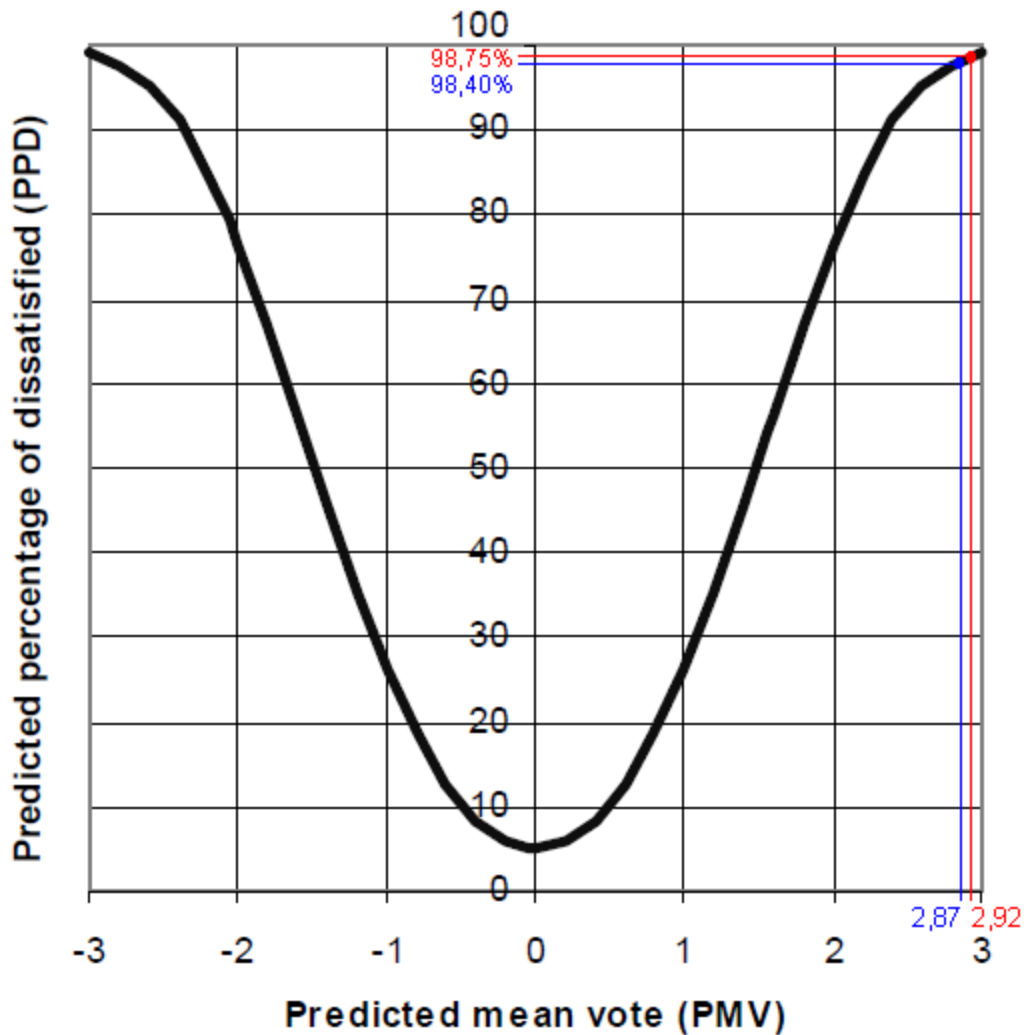
Σχέδιο 5.28 Προβλεπόμενη μέση ψήφος.

Όπως ήταν αναμενόμενο, στο χώρο επικρατεί θερμική δυσφορία λόγω «υπερβολικής ζέστης». Η θερμοκρασία στο γραφείο έχει μικρή διακύμανση, οπότε και η προβλεπόμενη μέση ψήφος δεν διαφέρει πολύ από σημείο σε σημείο. Η μεγαλύτερη θερμική δυσφορία παρουσιάζεται κοντά στα παράθυρα (PMV=2,92), στο μεγαλύτερο μέρος του γραφείου είναι PMV=2,89 και φτάνει μέχρι την τιμή PMV=2,87 σε κάποια σημεία του χώρου.



Σχέδιο 5.29 Προβλεπόμενο ποσοστό δυσαρεστημένων.

Σχεδόν όλοι οι εργαζόμενοι δεν νιώθουν θερμικά άνετα. Το ποσοστό των δυσαρεστημένων πλησιάζει το 100%. Για την ακρίβεια, το μεγαλύτερο ποσοστό είναι 98,71% κοντά στα παράθυρα (Σχέδιο 5.29). Στον υπόλοιπο χώρο οι εργαζόμενοι νιώθουν θερμική δυσφορία κατά 98,45%.



Διάγραμμα 5.13 Ακραίες καταστάσεις θερμικής αίσθησης.

Δεν υπάρχει τμήμα του χώρου όπου τα επίπεδα της άνεσης να είναι απλά ανεκτά. Τα σημεία βρίσκονται στο άνω δεξιό άκρο της καμπύλης, που σημαίνει ότι στο χώρο έχουμε θερμική δυσφορία λόγω «υπερβολικής ζέστης».

5.8 Περίπτωση 8^η

Διατηρούμε όλα τα χαρακτηριστικά του χώρου ίδια με την προηγούμενη περίπτωση, όμως μελετάμε τη θερμική άνεση στις 09:00 το πρωί,

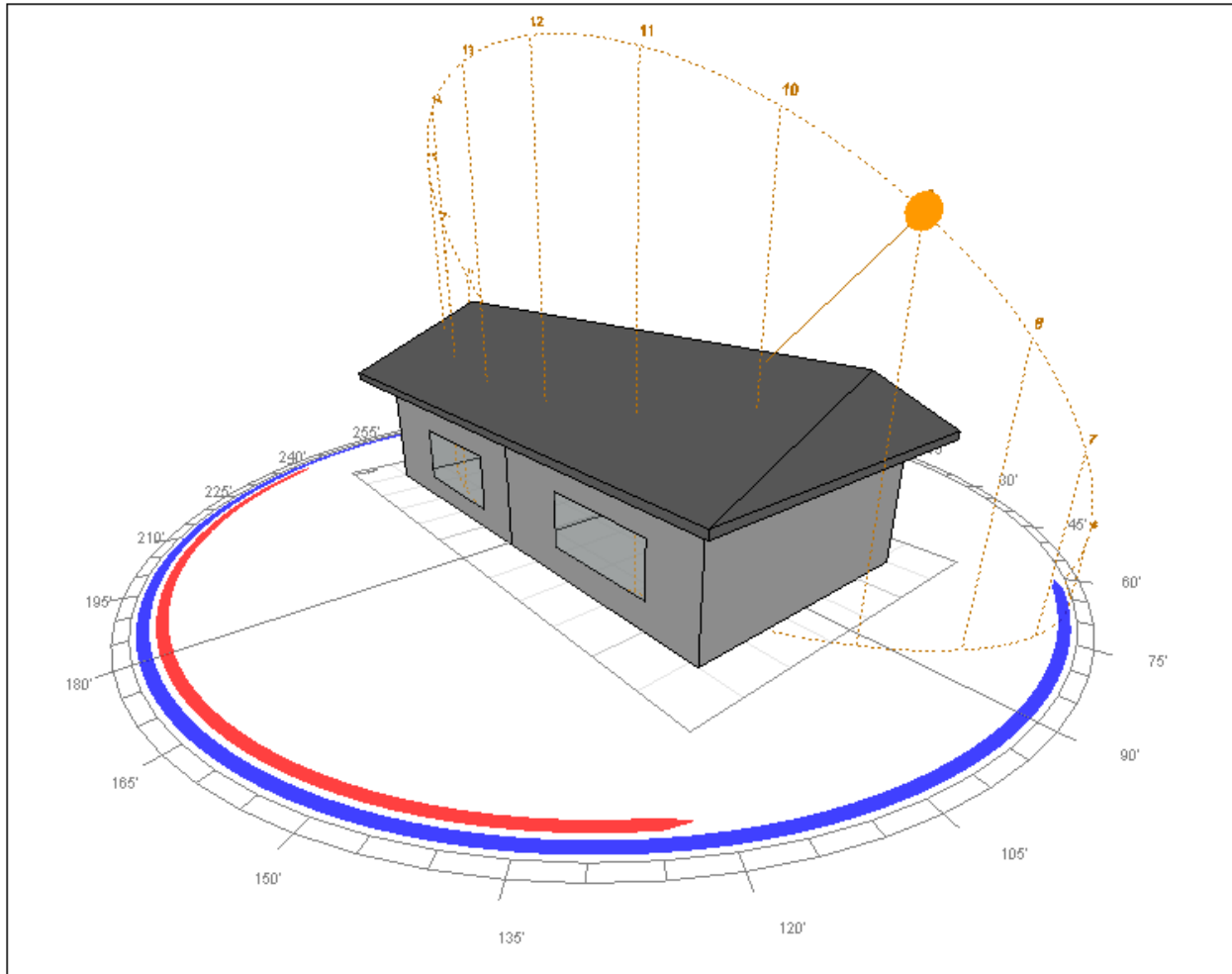


όπου οι συνθήκες εξωτερικού περιβάλλοντος είναι:

- Θερμοκρασία: 26,6°C
- Σχετική Υγρασία: 42%
- Άμεση ακτινοβολία: 673W/m²
- Διάχυτη Ακτινοβολία: 208W/m²
- Ταχύτητα Ανέμου: 16m/s

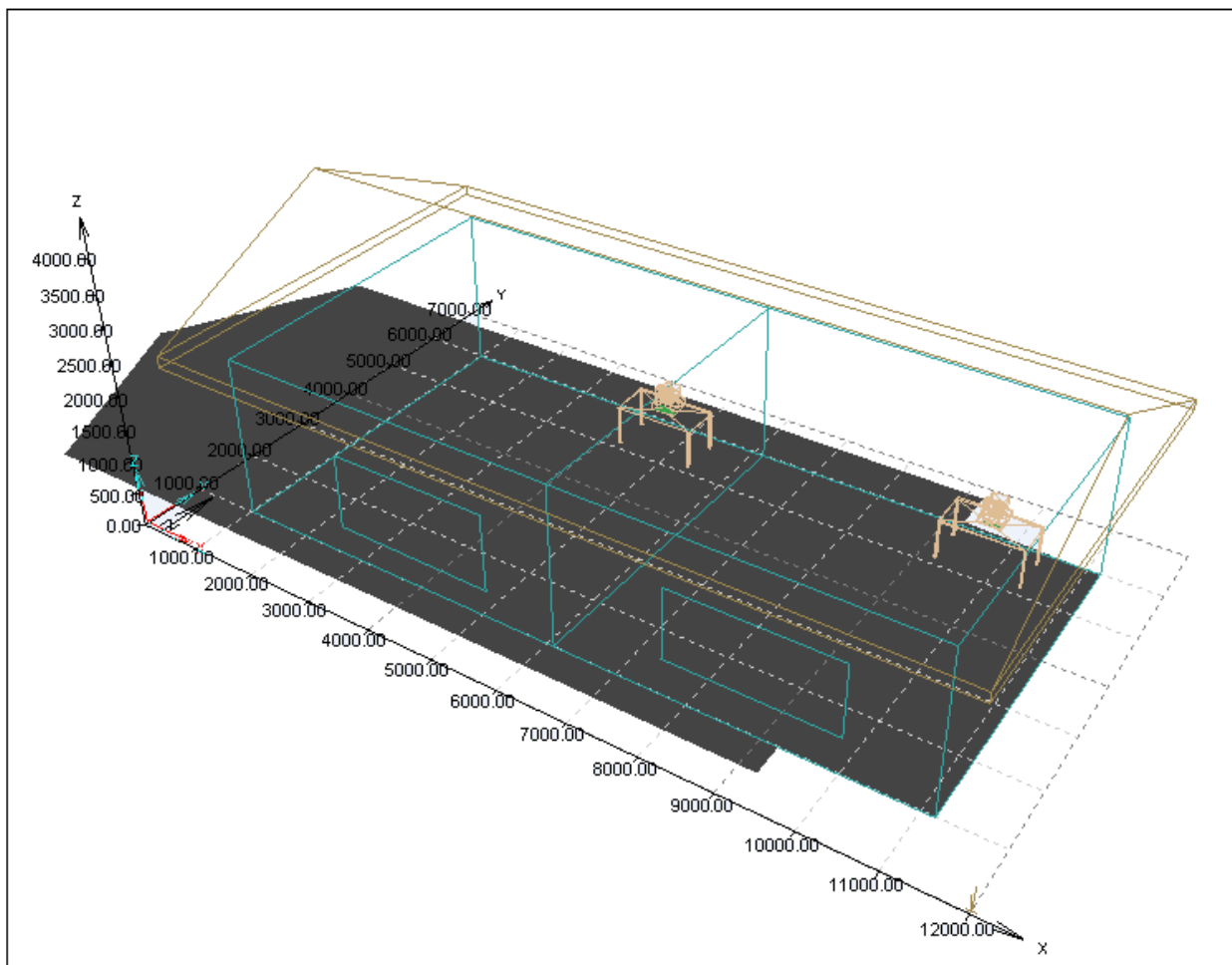
Hour	09:00
Temp:	26.6
Humidity:	42
Direct:	673
Diffuse:	208
Wind:	16.0

Η θέση του ήλιου τώρα είναι ανατολικότερα όπως φαίνεται στο **Σχέδιο 5.30**.



Σχέδιο 5.30 Θέση του ήλιου στις 30 Ιουνίου στις 09:00 το πρωί.

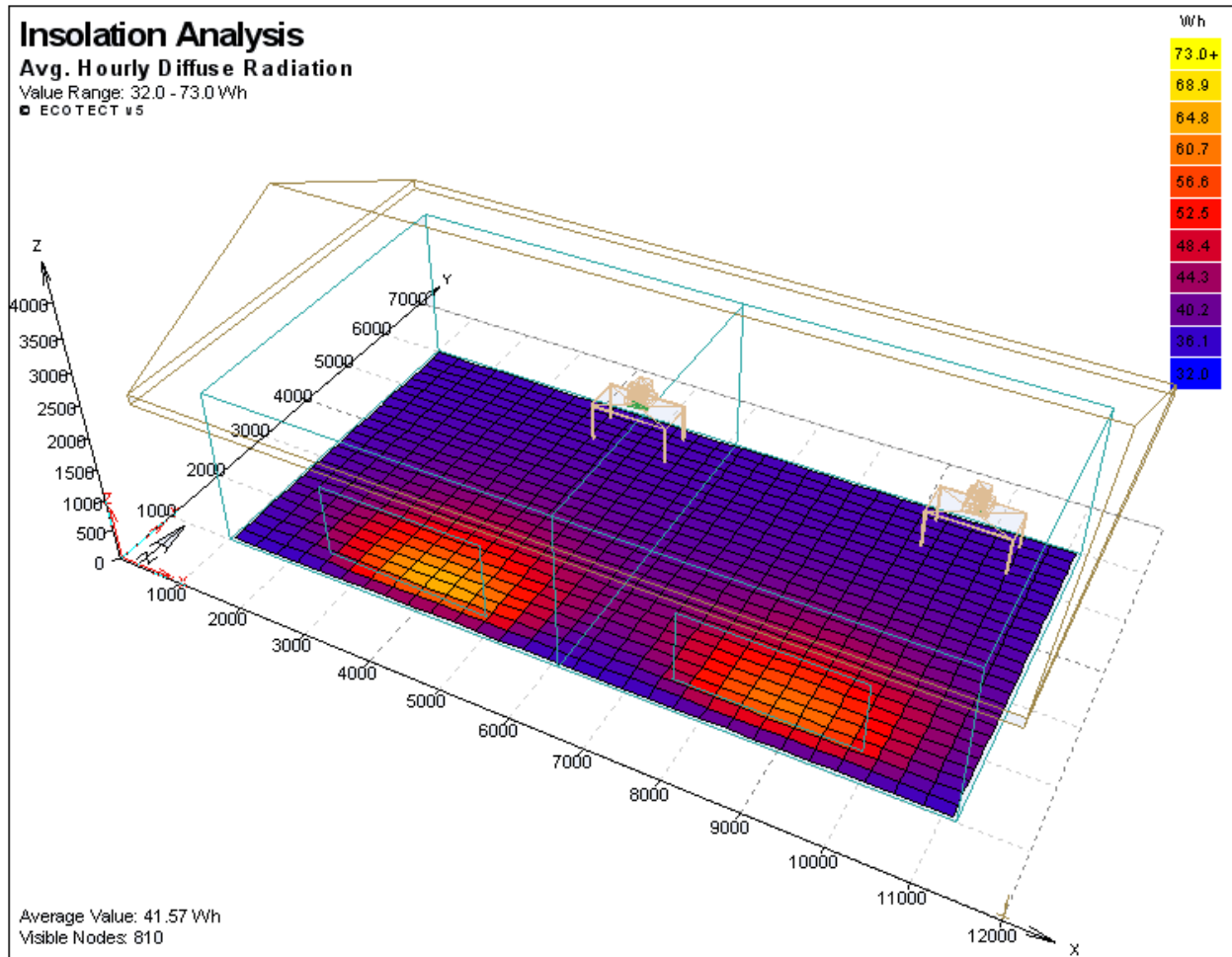
Επίσης στις 09:00 το πρωί το ποσοστό σκίασης στο εσωτερικό του χώρου είναι 100% (Σχέδιο 5.31).



Σχέδιο 5.31 Ολική εσωτερική σκίαση του χώρου όταν ο ήλιος έχει ανατολική θέση.

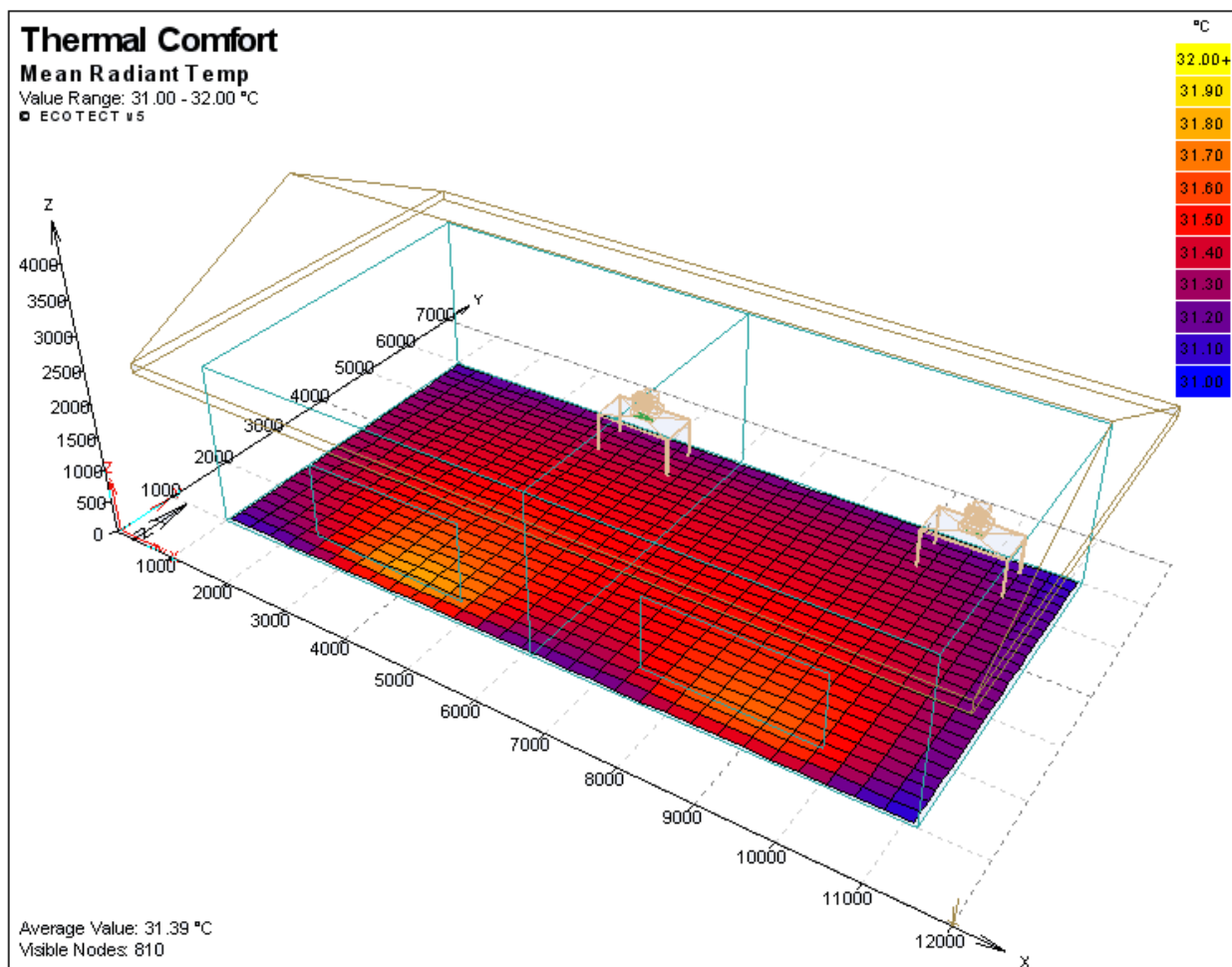
Πρίν μελετήσουμε το χώρο ως προς τη θερμική άνεση, πρέπει να δούμε τα επίπεδα ακτινοβολίας στο εσωτερικό.

Εφόσον ο χώρος είναι πλήρως σκιασμένος εσωτερικά, η άμεση ακτινοβολία είναι μηδενική. Η κατανομή της διάχυτης ακτινοβολίας στο γραφείο φαίνεται στο **Σχέδιο 5.32**.



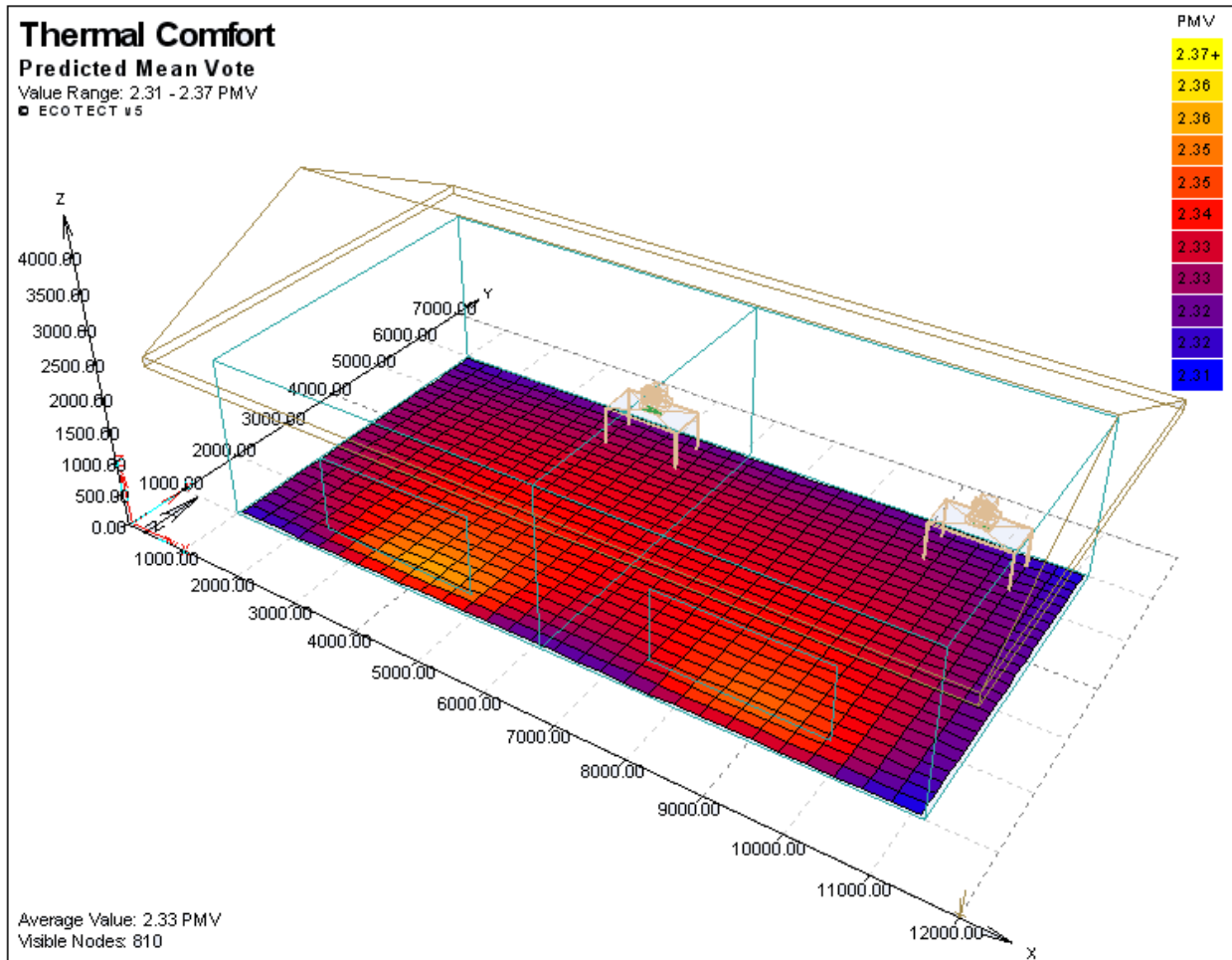
Σχέδιο 5.32 Μέση ωριαία διάχυτη ακτινοβολία στο εσωτερικό.

Παρατηρούμε ότι η διάχυτη ακτινοβολία που εισέρχεται στο χώρο έχει μεγαλύτερη τιμή κοντά στα παράθυρα. Η μέση ωριαία τιμή της εκεί είναι 69Wh ενώ στον υπόλοιπο χώρο η διάχυση της ακτινοβολίας πέφτει στις 36Wh. Ο βαθμός επίδρασης της διάχυτης ακτινοβολίας στη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας φαίνεται στο παρακάτω σχέδιο.



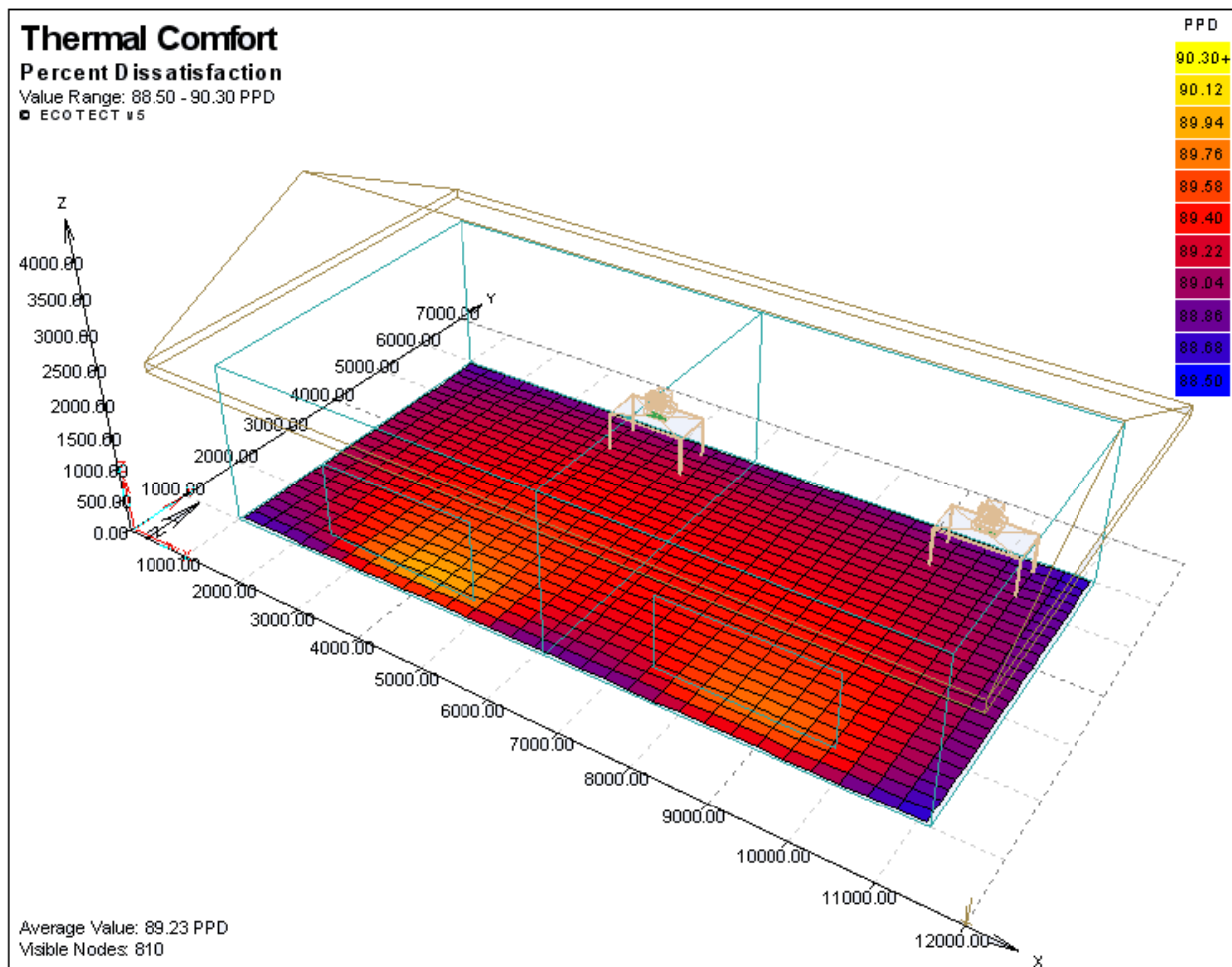
Σχέδιο 5.33 Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας.

Η έλλειψη άμεσης ακτινοβολίας στο εσωτερικό ομαλοποιεί την κατανομή της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας στο χώρο του γραφείου. Έτσι, οι διαφορές που προκύπτουν είναι της τάξης του 0,08°C. Τα επίπεδα ακτινοβολίας μειώθηκαν, η εξωτερική θερμοκρασία μειώθηκε, άρα μειώνεται και η εσωτερική θερμοκρασία. Κυμαίνεται από 31,1°C, στα άκρα του γραφείου, έως 31,9°C στα σημεία όπου η διάχυτη ακτινοβολία φτάνει τη μέγιστη τιμή.



Σχέδιο 5.34 Μέση προβλεπόμενη ψήφος

Η θερμική άνεση δεν διαφέρει σχεδόν καθόλου στα σημεία του χώρου. Η μέγιστη διαφορά που προκύπτει είναι μόνο 0,04 στην κλίμακα του PMV. Συγκεκριμένα, οι εργαζόμενοι αισθάνονται «αρκετή ζέστη» σε όλη την επιφάνεια του γραφείου. Η θερμική αίσθηση έχει τιμή $PMV=2,36$ κοντά στα παράθυρα και ελάχιστα μικρότερη ($PMV=2,32$) στα σημεία όπου η διάχυτη ακτινοβολία έχει τις μικρότερες τιμές. Το περιβάλλον δεν είναι θερμικά άνετο.

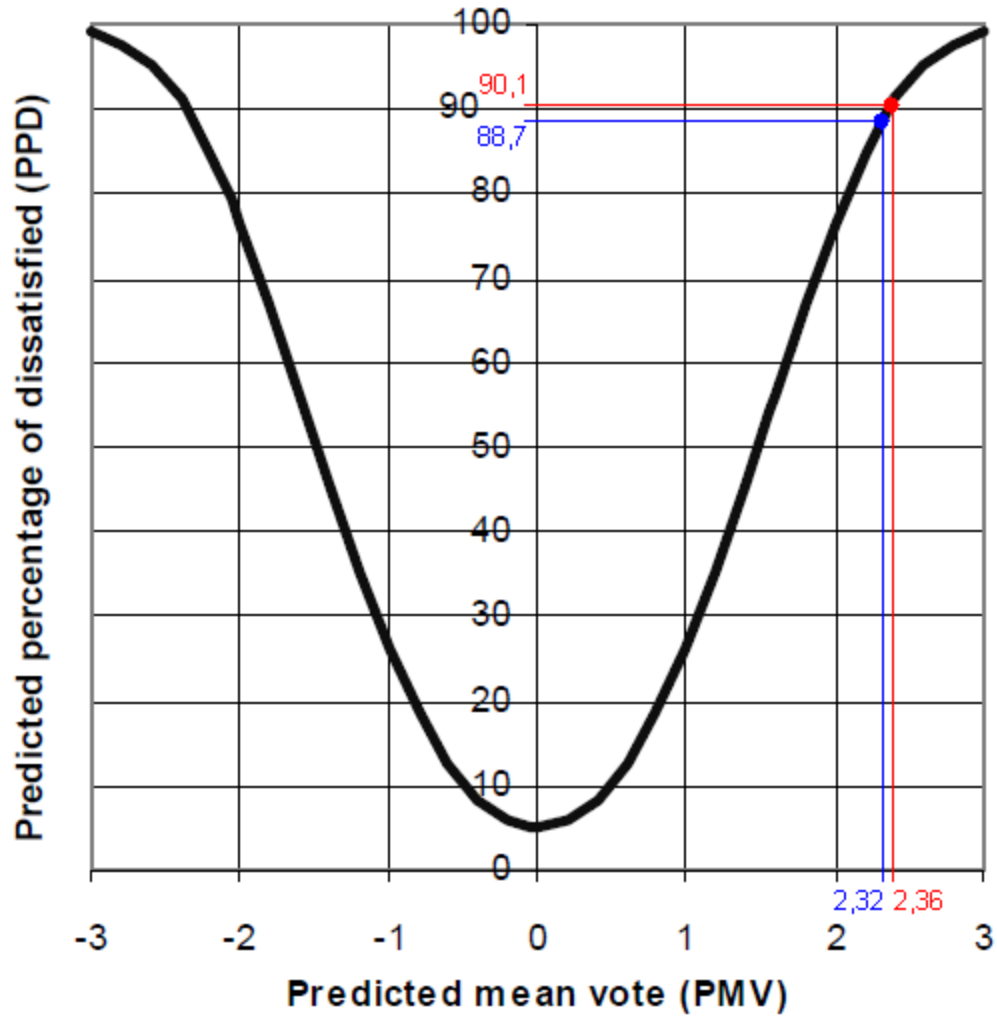


Σχέδιο 5.35 Προβλεπόμενο ποσοστό δυσαρεστημένων.

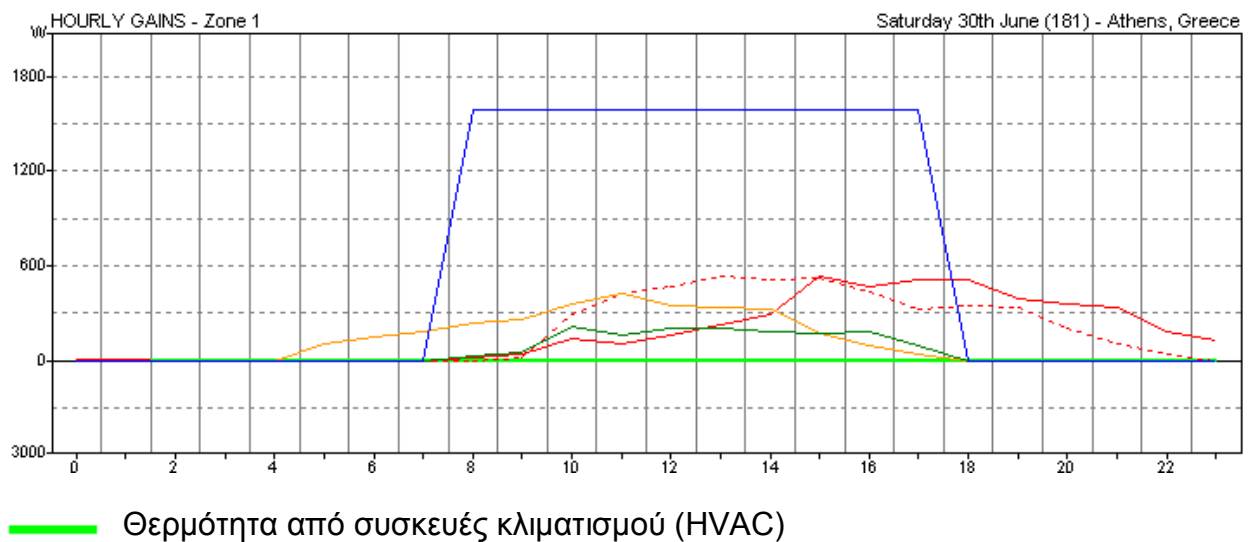
Το προβλεπόμενο ποσοστό των δυσαρεστημένων βελτιώθηκε λίγο σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση. Όμως και πάλι οι εργαζόμενοι στην πλειοψηφία τους αισθάνονται θερμική δυσφορία.

Το ποσοστό των δυσαρεστημένων κοντά στα παράθυρα είναι PPD=88,7% και στα ψυχρότερα σημεία του χώρου φτάνει το 90,1%.

Όπως φαίνεται και από το **Διάγραμμα 5.14**, τα σημεία μετακινήθηκαν προς το κέντρο της καμπάνας. Όμως το περιβάλλον κρίνεται θερμικά δυσάρεστο για τους εργαζόμενους.



Διάγραμμα 5.14 Ακραίες καταστάσεις θερμικής αίσθησης στο εσωτερικό.



— Θερμότητα από συσκευές κλιματισμού (HVAC)

- Μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία (SOLAR)
- Απώλειες θερμότητας με αγωγή (Fabric)
- Μετάδοση θερμότητας λόγω αερισμού (Ventilation)
- - - - - Θερμικά κέρδη από αγωγή (Fabric)
- Εσωτερικές εκπομπές θερμότητας (Internal)

Διάγραμμα 5.15 Θερμικές απώλειες και κέρδη του χώρου κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Στο **Διάγραμμα 5.15** φαίνεται η θερμική συμπεριφορά του κτίσματος κατά τη διάρκεια της ημέρας. Μπορούμε επίσης μέσα από το διάγραμμα να δικαιολογήσουμε και τις μεταβολές στη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας και στη θερμική άνεση μεταξύ 09:00 και 12:00.

HOURLY GAINS - Saturday 30th June (181)					
Zone: Zone 1					
HOURLY	HVAC	FABRIC	SOLAR	VENT.	INTERN
	(Wh)	(Wh)	(Wh)	(Wh)	(Wh)
04.00	0	0	0	0	0
05.00	0	0	101	0	0
06.00	0	0	144	0	0
07.00	0	0	180	0	0
08.00	0	18	231	27	1590
09.00	0	55	253	54	1590
10.00	0	430	361	211	1590
11.00	0	526	420	154	1590
12.00	0	623	347	205	1590
13.00	0	755	337	201	1590
14.00	0	807	324	177	1590
15.00	0	1054	169	173	1590
16.00	0	898	96	182	1590
17.00	0	837	41	93	1590
18.00	0	861	0	0	0

Έτσι στις 09:00 έχουμε:

- Μηδενικά ποσά θερμότητας από συσκευές κλιματισμού
- Κέρδη θερμότητας από αγωγή 55Wh

- Θερμικό κέρδος από ακτινοβολία 253Wh
- Θερμικό κέρδος από εξαερισμό 54Wh
- Εκπομπές θερμότητας στο εσωτερικό 1590Wh (κέρδος)

Ενώ στις 12:00 έχουμε:

- Μηδενικά ποσά θερμότητας από συσκευές κλιματισμού
- Απώλειες θερμότητας από αγωγή 623Wh
- Θερμικό κέρδος από ακτινοβολία 347Wh
- Θερμικό κέρδος από εξαερισμό 205Wh
- Εκπομπές θερμότητας στο εσωτερικό 1590Wh (κέρδος)

Συνολικά στις 12:00 έχουμε θερμικό κέρδος 853Wh περισσότερες από τις 09:00 το πρωί.

Παραδοχές

- Τα επίπεδα σχετικής υγρασίας που επικρατούν στο χώρο επιλέχθηκαν με βάση τυπικές τιμές για τις περιόδους χειμώνα – καλοκαίρι και δεν υπολογίστηκαν από το Ecotect.
- Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε λαμβάνει τα θερμικά κέρδη από τις εκπομπές των εργαζομένων και των ηλεκτρικών συσκευών σαν σύνολο και όχι σαν πηγή θερμότητας, που θα επιδρούσε στην τοπική αίσθηση θερμότητας. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι εάν μια ηλεκτρική συσκευή βρισκόταν στα πόδια του εργαζόμενου για παράδειγμα τότε η θερμική δυσφορία στα πόδια του θα ήταν μεγαλύτερη από το υπόλοιπο σώμα.
- Η ταχύτητα του ανέμου επιλέχθηκε να είναι 0,12m/s που είναι η ιδανική για χώρους γραφείων και δεν υπολογίστηκε μέσα από το πρόγραμμα.
- Ο χώρος θεωρήθηκε κενός από αντικείμενα, έπιπλα κτλ., που σημαίνει ότι η διάχυση της ακτινοβολίας είναι ομοιόμορφη σε όλο το χώρο.
- Οι μετρήσεις που γίνονται για τη μελέτη της θερμικής άνεσης, όπως ορίζεται από την ISO, πρέπει να γίνονται σε ύψος 0,60m, ώστε να είναι εφικτή η σύγκριση των μοντέλων. Σε αυτή τη μελέτη, για την καλύτερη απεικόνιση των αποτελεσμάτων πάνω στο πλέγμα, οι μετρήσεις έγιναν κοντά στο έδαφος.

Συμπεράσματα

Η ηλεκτρομηχανολογική και αρχιτεκτονική μελέτη των κτηρίων έχει σαν σκοπό την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας χωρίς να θυσιάζεται η επίτευξη θερμικής άνεσης και ικανοποιητικής ποιότητας εσωτερικού αέρα. Η θερμική άνεση καθορίζεται κυρίως από τέσσερις φυσικές παραμέτρους: τη θερμοκρασία του αέρα, την υγρασία του αέρα, τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας και την ταχύτητα του αέρα. Όμως, υπάρχει ένας σημαντικός αριθμός παραγόντων που επιδρά στη θερμική άνεση στο εσωτερικό των κτηρίων οι οποίοι δεν είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους αλλά αλληλεπιδρούν στη δημιουργία του θερμικού περιβάλλοντος στα κτήρια.

Με το πρόγραμμα Ecotect Analysis 2010 έγινε προσπάθεια να μελετηθεί ένας χώρος γραφείων συγκεκριμένων διαστάσεων και χαρακτηριστικών ως προς τη συμπεριφορά του στις συνθήκες θερμικής άνεσης. Μπορούν να γίνουν πολλές δοκιμές ακόμα, όμως σε κάθε μελέτη ο χώρος σχεδιάζεται και εξετάζεται στις συνθήκες που μας ενδιαφέρει. Δεν μπορούμε να ακολουθήσουμε κάποιο πρότυπο καθώς θα οδηγηθούμε σε λανθασμένα αποτελέσματα.

Ο σωστός σχεδιασμός των κτηρίων οφείλει να λαμβάνει υπόψη του όλες τις παραμέτρους που διαμορφώνουν το εσωτερικό περιβάλλον και τη διασύνδεσή τους ώστε να επιτυγχάνονται οι στόχοι τόσο της θερμικής άνεσης όσο και της ικανοποιητικής ποιότητας εσωτερικού αέρα.

Σημαντική παράμετρος για το σωστό σχεδιασμό των κτηρίων είναι η μορφή χρήσης του (κατοικία, χώρος γραφείων, κατάστημα κλπ) και οι ιδιαιτερότητες των ανθρώπων που θα διαμένουν ή θα εργάζονται εκεί. Σήμερα οι μελέτες που γίνονται στηρίζονται στη στατική θεωρία της θερμικής άνεσης, ενώ θα έπρεπε να υπάρχουν δυναμικά μοντέλα σχεδιασμού εφόσον ο άνθρωπος μπορεί να προσαρμοστεί σε μεταβλητές συνθήκες.

Αυτό που προκύπτει από την παρούσα μελέτη είναι ότι η θερμική άνεση επηρεάζεται περισσότερο από τις μεταβλητές που αφορούν το ίδιο το άτομο (ενδυμασία, δραστηριότητα κλπ) και λιγότερο από τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία ή την ταχύτητα του αέρα. Οπότε, δεν ορίζουμε προκαθορισμένες συνθήκες άνεσης, αλλά συνθήκες προσαρμόσιμης άνεσης.

Τέλος, η βελτίωση των συνθηκών άνεσης δε γίνεται μόνο κατά τη φάση του σχεδιασμού αλλά και κατά τη φάση της λειτουργίας του κτηρίου. Η μεταβλητή με το μεγαλύτερο συντελεστή είναι ο ανθρώπινος παράγοντας και η ψυχολογία του. Έτσι, η θερμική άνεση είναι καλύτερα διασφαλισμένη όταν παραχωρείται όσο το δυνατόν αποτελεσματικός έλεγχος στους χρήστες των κτηρίων.

Βιβλιογραφία

1. Κ. Α. Αντωνόπουλος (2007), «Κλιματισμός», Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα
2. Β. Η. Σελλούντος (2002), «Θέρμανση και κλιματισμός, μελέτη, κατασκευή, εγκαταστάσεις, υλικά, δίκτυα, εξοπλισμός», Εκδόσεις ΣΕΛΚΑ - 4Μ, Αθήνα
3. Α. Μ. Παπαδόπουλος (2006), «Θερμική άνεση στα κτήρια. Νέα πρότυπα και βελτίωση θερμικής άνεσης στα κτήρια», Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΑΠΘ, Ιωάννινα
4. Γ. Α. Κοτσίρης (2007), «Ορισμοί, δείκτες και μοντέλα εκτίμησης, διεθνή πρότυπα, μεθοδολογία-μελέτη περίπτωσης», Εκδόσεις Ίων, Αθήνα
5. Θ. Παπαδάκης (1995), «Σημειώσεις Κλιματισμού», Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα
6. Κ. Παπακώστας, Π. Κικίδης (2006), «Παρουσίαση, Γενικές αρχές υπολογισμού συστημάτων κλιματισμού», Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΑΠΘ
7. Π. Τσιμπάνος (2008), «Επίδραση ηλιακής ακτινοβολίας στην εσωτερική θερμική άνεση κτηρίων», Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα
8. «ASHRAE Handbook – Heating, Ventilating and Air-Conditioning Systems and Equipment» (2008), «American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.»
9. Hugo S.L.C. Hens (2008), «Thermal comfort in office buildings: Two case studies commented», Department of Civil Engineering, K.U. Leuven, Belgium

