

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 6

ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ, ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ
ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ
ΧΩΡΟΥΣ



Επιμέλεια Παρουσίασης:
Γλυτσός Θόδωρος, Λαζαρίδης Μιχάλης

ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΠΟΛΕΙΣ

- Σύμφωνα με στοιχεία του 2018, το 55% του παγκόσμιου πληθυσμού ζει σε αστικές περιοχές (αναμένεται να φτάσει το 60% το 2030).
- Επιπλέον το 30% του παγκόσμιου πληθυσμού ζει σε πόλεις με πληθυσμό >500.000
- Το 11% ζει σε πόλεις με περισσότερους από 5.000.000 κατοίκους.



ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΠΟΛΕΙΣ

Η ζωή στα σύγχρονα αστικά περιβάλλοντα έχει ως αποτέλεσμα οι άνθρωποι να βρίσκονται περίπου 80%-90% του ημερήσιου χρόνου σε εσωτερικά «μικροπεριβάλλοντα» (π.χ. Γραφεία, χώροι εκπαίδευσης, μέσα μεταφοράς, χώροι άθλησης και διασκέδασης ή στις οικίες τους)



ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΚΤΗΡΙΑ

Τα σύγχρονα κτήρια επομένως θα πρέπει να αποτελούν χώρους που οι άνθρωποι ζουν, μαθαίνουν, δουλεύουν και διασκεδάζουν.

Μέσα σε αυτά θα πρέπει να πληρούνται οι κατάλληλες προϋποθέσεις για καλή ποιότητα αέρα, θερμική και ακουστική άνεση, ενώ επιπλέον θα πρέπει να εξασφαλίζονται συνθήκες βέλτιστης ενεργειακής κατανάλωσης



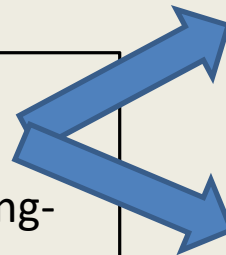
ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΚΤΗΡΙΑ

Τα σύγχρονα κτήρια πρέπει να παρέχουν:

- Κατάλληλες συνθήκες λειτουργίας μηχανημάτων
- Θερμική άνεση στους διαμένοντες ή επισκέπτες
- Χαμηλά επίπεδα θορύβου
- Βέλτιστο φωτισμό
- Ελάχιστες δυνατές οσμές
- Συνθήκες καλής ποιότητας αέρα (μειωμένοι ρύποι)



Χρήση συστημάτων εξαερισμού και ελέγχου θερμοκρασίας και υγρασίας (Heating, ventilation and Air Conditioning- HVAC)



Οικονομικές-Κοινωνικές επιπτώσεις

- Αυξημένη ενεργειακή κατανάλωση
- Αυξημένο κόστος συντήρησης

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

- Αυξημένες εκπομπές CO₂
- Επιδείνωση φαινομένου θερμοκηπίου

ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΚΤΗΡΙΑ

- ❑ Στα σύγχρονα κτήρια πραγματοποιείται περίπου το 40% της παγκόσμιας ενεργειακής κατανάλωσης (40% στις ΗΠΑ, 39% στο Ηνωμένο Βασίλειο και 37% συνολικά στην Ευρωπαϊκή Ένωση-στοιχεία 2004)
- ❑ Στις αναπτυγμένες χώρες η χρήση συστημάτων HVAC αντιστοιχεί στο 50% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας
- ❑ Η χρήση τους προκαλεί το 30% των συνολικών εκπομπών CO₂



ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ

Σημαντικότεροι ρύποι που συναντώνται σε εσωτερικούς χώρους:

- ☐ Αιωρούμενα Σωματίδια
- ☐ Καπνός τσιγάρου
- ☐ Όζον
- ☐ Φορμαλδεΐδη
- ☐ Οξείδια του αζώτου
- ☐ Πτητικές οργανικές ενώσεις
- ☐ Αερομεταφερόμενοι μικροοργανισμοί

Απαιτείται η χρήση συστημάτων εξαερισμού (HVAC) ή επαρκής φυσικός εξαερισμός για τη διατήρηση χαμηλών συγκεντρώσεων των παραπάνω ρυπαντών

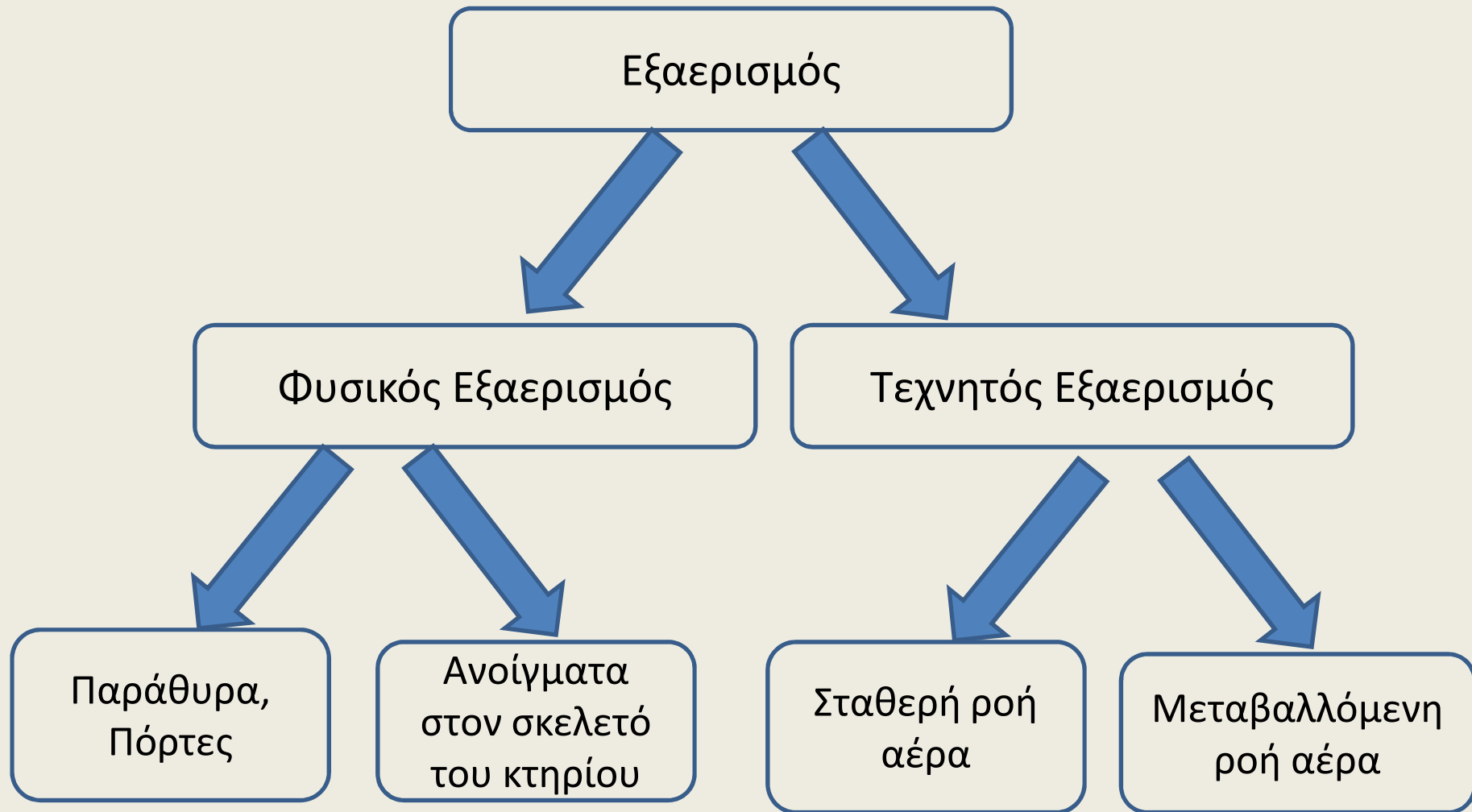
ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ

Επιπτώσεις της κακής ποιότητας αέρα στην υγεία των ανθρώπων σε εσωτερικούς χώρους:

- ☐ Αυξημένες αλλεργίες και άσθμα (υψηλή υγρασία και μούχλα)
- ☐ Έκθεση σε γρίπη και μεταδοτικές νόσους (κακός εξαερισμός)
- ☐ Σύνδρομο «άρρωστου κτηρίου» - δυσκολία στην αναπνοή, πονοκέφαλος, ξηρότητα στο λαιμό κλπ (μη εμφανείς αιτίες).

Απαιτείται η χρήση συστημάτων εξαερισμού (HVAC) ή επαρκής φυσικός εξαερισμός για τη διατήρηση χαμηλών συγκεντρώσεων των παραπάνω ρυπαντών

ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ



ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΧΩΡΟ

Η ενέργεια που απαιτείται για να θερμανθεί ή να ψυχθεί ένας χώρος και να κινηθεί ο αέρας λόγω εξαερισμού προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$E = Q_S + Q_T = \rho C_p Q \Delta T + \rho C_l Q \Delta W + E_{fan} - E_{hr} \text{ (Watt)}$$

Όπου Q_S και Q_T η αισθητή και η λανθάνουσα θερμότητα αντίστοιχα

ρ : η πυκνότητα του αέρα

C_p : ειδική θερμοχωρητικότητα του αέρα

Q : ο ρυθμός εξαερισμού

ΔT : η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στο εσωτερικό και το εξωτερικό περιβάλλον

C_l : ο συντελεστής λανθάνουσας θερμότητας

ΔW : η αναλογία υγρασίας (kg νερού/kg ξηρού αέρα) στον εσωτερικό χώρο

E_{fan} : η ενέργεια που καταναλώνεται από συστήματα μεταφοράς/κίνησης του αέρα (αεραγωγοί)

E_{hr} : η ενέργεια που ανακτάται με χρήση ειδικού εξοπλισμού

Η παραπάνω σχέση μπορεί να εφαρμοστεί για εσωτερικό χώρο που δεν επικοινωνεί με άλλα εσωτερικά περιβάλλοντα.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΧΩΡΟ

Αύξηση ρυθμού εξαερισμού με χρήση HVAC



Αύξηση ενέργειας που απαιτείται για θέρμανση/ψύξη του αέρα



Αύξηση ενεργειακής κατανάλωσης

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΡΥΠΩΝ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΧΩΡΟ

Η εξίσωση που δίνει τη μεταβολή της συγκέντρωσης ενός αέριου ρύπου σε εσωτερικό χώρο με φυσικό αερισμό είναι:

$$V \frac{dC}{dt} = Q C_a + E - Q C \pm R V$$

Όπου V: ο όγκος του χώρου

Q: Ο ρυθμός εξαερισμού

E: Ο ρυθμός εκπομπής του ρύπου

R: Η παραγωγή ή κατανάλωση του ρύπου λόγω χημικών αντιδράσεων

C_a : Η εξωτερική συγκέντρωση του ρύπου

Σε συνθήκες ισορροπίας η εξίσωση γίνεται:

$$C = \frac{E/V + C_a Q/V}{Q/V \pm R}$$

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΡΥΠΩΝ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΧΩΡΟ

Η μείωση της συγκέντρωσης των ρυπαντών και η διασφάλιση της καλής ποιότητας αέρα απαιτεί αυξημένες τιμές ρυθμού εξαερισμού.



Αύξηση ενέργειας που απαιτείται για την ανανέωση του αέρα



Αύξηση ενεργειακής κατανάλωσης

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- ❑ Η διατήρηση καλής ποιότητας αέρα σε συνδυασμό με χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση αποτελεί μεγάλη πρόκληση.
- ❑ Απαιτεί καλή γνώση:
 - Μικροκλιματικών συνθηκών (θερμοκρασία, υγρασία, ταχύτητα αέρα, μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας)
 - Συγκεντρώσεις ρυπαντών στο εξωτερικό περιβάλλον
 - Ρυθμούς εκπομπής ρυπαντών στο εσωτερικό περιβάλλον
 - Τιμές φυσικού εξαερισμού



Ανάγκη και είδος τεχνητού εξαερισμού
Συνολικό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας

ΔΙΕΘΝΗ ΠΡΟΤΥΠΑ

❑ «**Πρότυπο**» είναι το έγγραφο που έχει καθιερωθεί με συναίνεση και έχει εγκριθεί από έναν αναγνωρισμένο φορέα, παρέχει, για κοινή και επαναλαμβανόμενη χρήση, κανόνες, κατευθυντήριες οδηγίες ή χαρακτηριστικά, για δραστηριότητες ή τα αποτελέσματά τους και αποσκοπεί στην επίτευξη του βέλτιστου βαθμού τάξης σε ένα συγκεκριμένο πλαίσιο εφαρμογής.

❑ Μέσω των προτύπων καθορίζονται οι ελάχιστες απαιτήσεις για ένα προϊόν ή τμήμα προϊόντος, μια υπηρεσία, μία μέθοδο ή μία διαδικασία.



ΔΙΕΘΝΗ ΠΡΟΤΥΠΑ

Σημαντικότεροι οργανισμοί τυποποίησης:

- Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (**ISO**)
- Αμερικανική Ένωση Μηχανικών Θέρμανσης, Ψύξης και Κλιματισμού (**ASHRAE**, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers)
- Τα Ευρωπαϊκά πρότυπα (**ENs**)



Στην Ελλάδα αρμόδιο όργανο για την ανάπτυξη και διάδοση της Τυποποίησης είναι ο Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης (ΕΛΟΤ), ο οποίος είναι και το αποκλειστικό μέλος από τη χώρα μας στη Διεθνή Οργάνωση Τυποποίησης (ISO).

ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ

Ορίζεται ως:

«Η νοητική κατάσταση κατά την οποία ένα άτομο είναι ικανοποιημένο μέσα στο θερμικό περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται» (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers-ASHRAE).

ή εναλλακτικά ως:

«Η κατάσταση στην οποία ένα άτομο δεν επιθυμεί να μεταβάλλει το θερμικό περιβάλλον μέσω των πράξεων ή της συμπεριφοράς του» (Hensen, 2004)»

ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ

- Δεν είναι μία πραγματική περιβαλλοντική κατάσταση.
- Καθορίζεται με βάση υποκειμενικά κριτήρια και διαφέρει ανάμεσα στα άτομα.
- Εξαρτάται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες του χώρου στον οποίο βρίσκεται το άτομο.
- Εξαρτάται από τα φυσικά χαρακτηριστικά αλλά και την τρέχουσα ψυχολογική κατάσταση του ατόμου.
- Άτομα ίδιας πολιτιστικής ταυτότητας που διαμένουν σε διαφορετικούς τόπους, με παρόμοιες κλιματικές συνθήκες εκφράζουν διαφορετική αίσθηση για τη θερμική άνεση.



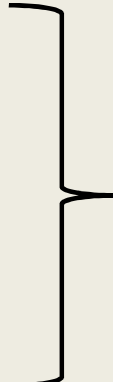
ΕΙΝΑΙ ΠΟΛΥ ΔΥΣΚΟΛΟΣ Ο ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗ
ΠΟΥ ΘΑ ΕΚΦΡΑΖΕΙ ΤΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ

ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ

Οφέλη λόγω Θερμικής Άνεσης:

1. Χώροι κατοικίας ή χώροι ψυχαγωγίας
 - Βελτίωση της ψυχολογικής κατάστασης
 - Βελτίωση της υγείας (Μείωση ασθενειών αναπνευστικού)

2. Χώροι εργασίας ή χώροι εκπαίδευσης:
 - Αυξημένη προσοχή
 - Μείωση περιστατικών απουσίας
 - Μείωση ατυχημάτων
 - Ψυχολογική κατάσταση



**Αύξηση της
παραγωγικότητας**

ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ

Παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική άνεση σε εσωτερικούς χώρους:

1. Τέσσερις περιβαλλοντικές μεταβλητές:
 - Θερμοκρασία αέρα
 - Ταχύτητα αέρα
 - Σχετική υγρασία
 - Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (mean radiant temperature)

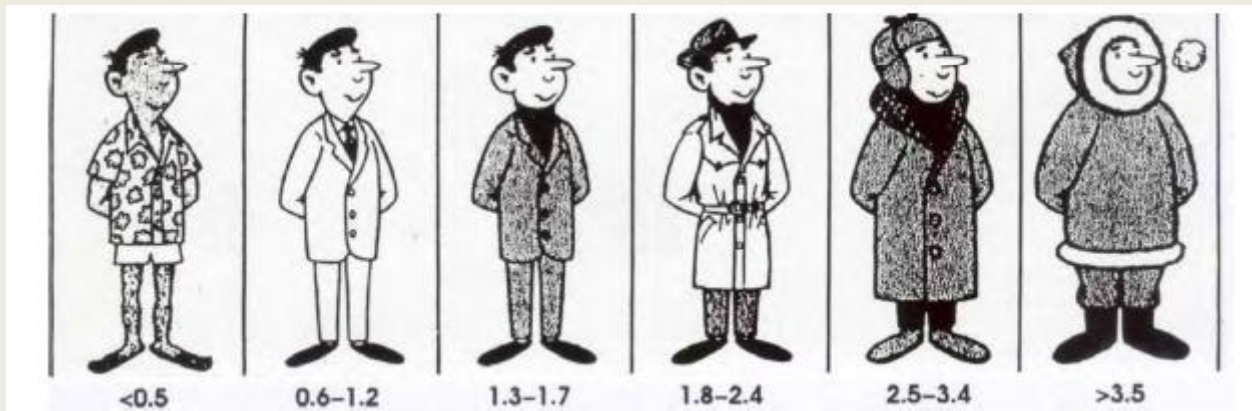
2. Ατομικές (προσωπικές) μεταβλητές:
 - Ρουχισμός
 - Είδος και ένταση δραστηριοτήτων (ρυθμός μεταβολισμού)
 - Σχήμα σώματος
 - Κατανάλωση φαγητού ή υγρών
 - Δυνατότητα εγκλιματισμού στο περιβάλλον.



Ένα άτομο αισθάνεται «άνετα» όταν δεν μεταβάλλεται σημαντικά η θερμοκρασία, η υγρασία του δέρματος είναι μικρή και καταβάλλεται η ελάχιστη προσπάθεια για αλλαγή των περιβαλλοντικών συνθηκών.

ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ

Ο ρουχισμός συμβάλλει στη θερμική μόνωση του ανθρώπινου σώματος και επηρεάζει την ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον. Μπορεί να ποσοτικοποιηθεί και να εισαχθεί σε μαθηματικές εξισώσεις.



ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ

Μονάδα: 1 clo

- ☐ Ισχύει ότι $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2\text{K/W}$ (οι μονάδες αντιστοιχούν στις μονάδες θερμικής μόνωσης που χρησιμοποιούνται για τα υλικά κατασκευής κτηρίων).
- ☐ Αντιστοιχεί σε παντελόνι, μακρυμάνικο πουκάμισο, λεπτό μπουφάν και βαμβακερά εσώρουχα ή κουστούμι, πουκάμισο και βαμβακερά εσώρουχα.
- ☐ Είναι η θερμική μόνωση που απαιτείται για να παραμένει ένα άτομο σε θερμική ισορροπία με το περιβάλλον σε θερμοκρασία 21°C σε ένα φυσικά αεριζόμενο χώρο με ταχύτητα αέρα $0,1 \text{ m/s}$.

ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ

Είδος ένδυσης		Περιγραφή				Θερμική μόνωση (clo)		
Άνδρες								
Εσώρουχα		Μποξεράκι				0,06		
		Κοντομάνικο μπλουζάκι				0,09		
		Πυτζάμα (πάνω μέρος, μακρύ μανίκι)				0,35		
		Πυτζάμα (μακρύ παντελόνι)				0,35		
Πουκάμισο		Ελαφρύ (κοντό μανίκι)				0,14		
		Ελαφρύ (μακρύ μανίκι)				0,22		
		Χοντρό (Μακρύ μανίκι)				0,29		
Γλέκο		Ελαφρύ				0,15		
		Χοντρό				0,29		
Παντελόνι		Ελαφρύ				0,26		
		Χοντρό				0,32		
Πουλόβερ		Ελαφρύ				0,20		
		Χοντρό				0,37		
Μπουφάν		Ελαφρύ				0,22		
		Χοντρό				0,49		
Κάλτσες		Μέχρι τον αστράγαλο				0,04		
		Μέχρι το γόνατο				0,10		
Υποδήματα		Σανδάλια/παντόφλες				0,02		
		Αθλητικά				0,04		
		Μπότες				0,08		

ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ

Είδος ένδυσης	Περιγραφή	Θερμική μόνωση (clo)
Γυναίκες		
Εσώρουχα	Σλίπ και σουτιέν	0,05
	Πυτζάμα (πάνω μέρος, μακρύ μανίκι)	0,35
	Πυτζάμα (μακρύ παντελόνι)	0,35
Μπλούζα	Ελαφριά	0,20
	Χοντρή	0,29
Φόρεμα	Ελαφρύ	0,22
	Χοντρό	0,70
Φούστα	Ελαφριά	0,10
	Χοντρή	0,22
Μπουφάν	Ελαφρύ	0,17
	Χοντρό	0,37
Καλτσόν	Οποιοδήποτε μήκος	0,01
Υποδήματα	Σανδάλια/παντόφλες	0,02
	Αθλητικά	0,04
	Μπότες	0,08

ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ

Μεταβολισμός

- ❑ Ονομάζεται η οξείδωση μέσα στο ανθρώπινο σώμα του φαγητού που λαμβάνει μετατρέποντας το σε ηλεκτροχημική ενέργεια.
- ❑ Μόλις το 20% όλης της διαθέσιμης ενέργειας που περιλαμβάνουν οι τροφές χρησιμοποιείται για τις ζωτικές λειτουργίες και τη παραγωγή έργου.
- ❑ Το υπόλοιπο 80% μετατρέπεται σε θερμότητα, με αποτέλεσμα να υπάρχει μία συνεχής παραγωγή θερμότητας μέσα στον ανθρώπινο οργανισμό.

Η παραγόμενη αυτή θερμότητα πρέπει να αποβάλλεται από τον οργανισμό μέσω ροής αισθητής θερμότητας (sensible heat) και συγκεκριμένα μέσω ακτινοβολίας (radiation), επαφής (conduction) ή μεταφοράς (convection). Αποβολή θερμότητας επιτυγχάνεται επίσης μέσω εξάτμισης σωματικών υγρών.

ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ

Μεταβολισμός

Μονάδα: 1 met

- ❑ 1 met = $58,2 \text{ W/m}^2 = 50 \text{ Kcal/(h} \cdot \text{m}^2)$.
- ❑ Αντιστοιχεί στην ισχύ που παράγεται ανά μονάδα ανθρώπινης επιφάνειας από ένα άτομο που κάθεται χωρίς να εκτελεί κάποια άλλη δραστηριότητα.
- ❑ Η επιφάνεια ενός μέσου ανθρώπου ορίζεται σε $1,8 \text{ m}^2$.

ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ

Εξάρτηση ρυθμού μεταβολισμού από είδος δραστηριότητας

Είδος δραστηριότητας	Met*	W/m ²
Υπνος	0.7	40
Ανάπαυση, ξαπλωμένος	0.8	46
Καθιστός	1.0	58
Ορθιος	1.2	70
Ελαφρά Εργασία	1.6	93
Μέτρια Εργασία για μικρό διάστημα	2.0	116
Μέτρια Εργασία για μεγάλο διάστημα χωρίς διάλειμμα	3.0	175
Εντονη εργασία	6.0	350
Πολύ έντονη εργασία	7.0	410

* 1 Met=58,2 W/m²

ΣΥΝΔΙΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ-ΥΓΡΑΣΙΑΣ

Δείκτης Θερμότητας (Heat Index)

		Θερμοκρασία (°C)																
Σχετική υγρασία (%)		27	28	29	30	31	32	33	34	36	37	38	39	40	41	42	43	
	40	27	27	28	29	31	33	34	36	38	41	43	46	48	51	54	58	
	45	27	28	29	31	32	34	36	38	40	43	46	48	51	54	58		
	50	27	28	29	31	33	35	37	39	42	45	48	51	55	58			
	55	27	29	30	32	34	36	38	41	44	47	51	54	58				
	60	28	29	31	33	35	38	42	43	47	51	54	58					
	65	28	29	32	34	37	39	42	46	49	53	58						
	70	28	30	32	35	38	41	44	48	52	57							
	75	29	31	33	36	39	43	47	51	56								
	80	29	32	34	38	41	45	49	54									
	85	29	32	36	39	43	47	52	57									
	90	30	33	37	41	45	50	55										
	95	30	34	38	42	47	53											
	100	31	35	39	44	49	56											

Εκτίμηση κινδύνου λόγω υπερβολικής έκθεσης ή επίπονης σωματικής δραστηριότητας

Απαιτείται προσοχή

Απαιτείται αυξημένη προσοχή

Κίνδυνος για την υγεία

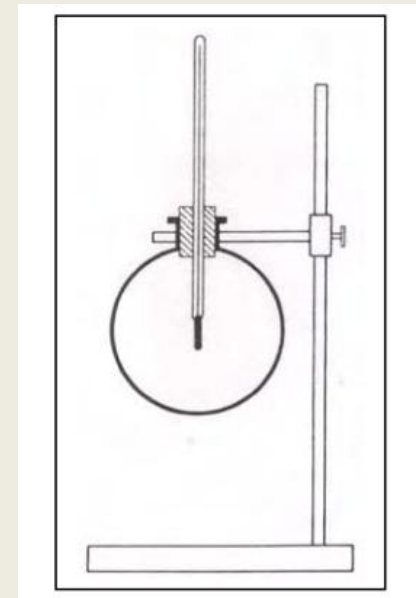
Μεγάλος κίνδυνος για την υγεία

ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ

Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας ονομάζεται η θερμοκρασία των επιφανειών που περιβάλλουν ένα κλειστό χώρο σε σχέση με τη θερμοκρασία ενός σώματος μέσα στο χώρο. Καθορίζει τη ροή θερμότητας λόγω ακτινοβολίας από και προς το ανθρώπινο σώμα σε σχέση με τις υπόλοιπες επιφάνειες του χώρου. Ορίζεται ως:

«Η ομοιόμορφη θερμοκρασία ενός μη πραγματικού κλειστού χώρου στον οποίο η ανταλλαγή θερμότητας λόγω ακτινοβολίας από το ανθρώπινο σώμα θα ισούται με τη μεταφορά θερμότητας λόγω ακτινοβολίας στον μη πραγματικό αυτό χώρο»

Η Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας μετριέται με χρήση ειδικού θερμομέτρου (globe thermometer).
Η θερμοκρασία που μετριέται διορθώνεται αναφορικά με την ταχύτητα του αέρα.



ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ

$$T_{mrt} = \left[(T_G + 273)^4 + \frac{1,1 * 10^8 * v^{0,6}}{\varepsilon * D^{0,4}} * (T_G - T_a) \right]^{1/4} - 273$$

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

T_G η θερμοκρασία του σφαιρικού θερμομέτρου (°C)

T_a η θερμοκρασία του αέρα (°C)

v η ταχύτητα του αέρα (m/s)

ε ο συντελεστής εκπομπής της μαύρης σφαίρας (αδιάστατο μέγεθος, $\varepsilon=0,95$ για το Swema 05)

D η διάμετρος της σφαίρας (m, $D=0,15$ m για το Swema 05).

ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ

Ενεργός θερμοκρασία (operative temperature, T_{op}).

Ορίζεται ως η ομοιόμορφη θερμοκρασία μιας κλειστής επιφάνειας στην οποία η ανταλλαγή θερμότητας λόγω ακτινοβολίας και μεταφοράς από το ανθρώπινο σώμα ισούται με την πραγματική ροή θερμότητας λόγω ακτινοβολίας στο πραγματικό υπό εξέταση περιβάλλον. Προκύπτει ως η μέση τιμή της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας σταθμισμένες με τους αντίστοιχους συντελεστές μεταφοράς.

$$T_{op} = \frac{h_r T_{mrt} + h_c T_a}{h_r + h_c} \quad (5)$$

Όπου T_a η θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου και h_r , h_c οι συντελεστές διάδοσης θερμότητας λόγω ακτινοβολίας και μεταφοράς αντίστοιχα ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$).

ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ

Ενεργός θερμοκρασία (operative temperature, T_{op}).

Ο οργανισμός πιστοποίησης ASHRAE προτείνει ότι χωρίς σημαντικό σφάλμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί απλά ο μέσος όρος των τιμών της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας, δηλαδή:

$$T_{op} = \frac{T_{mrt} + T_a}{2} \quad (6)$$

Η ενεργός θερμοκρασία χρησιμοποιείται πολύ συχνά ως δείκτης για τον καθορισμό του εύρους των θερμοκρασιών ανάμεσα στις οποίες θεωρείται ότι οι διαμένοντες σε ένα εσωτερικό περιβάλλον βιώνουν συνθήκες θερμικής άνεσης.

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ

Υπάρχουν δύο διαφορετικές μεθοδολογίες για την μελέτη της θερμικής άνεσης:

➤ Μετρήσεις/πειράματα σε μικροπεριβαλλοντικούς θαλάμους

- Σταθερές και μετρήσιμες μικροπεριβαλλοντικές συνθήκες(θερμοκρασία, υγρασία, ταχύτητα αέρα).
- Έλεγχος ανεπιθύμητων παραμέτρων που επηρεάζουν το αποτέλεσμα.
- Δυνατότητα δημιουργίας πολλών διαφορετικών σεναρίων.
- Έλεγχος μεταβολών σωματικών παραμέτρων (π.χ. θερμοκρασία δέρματος)

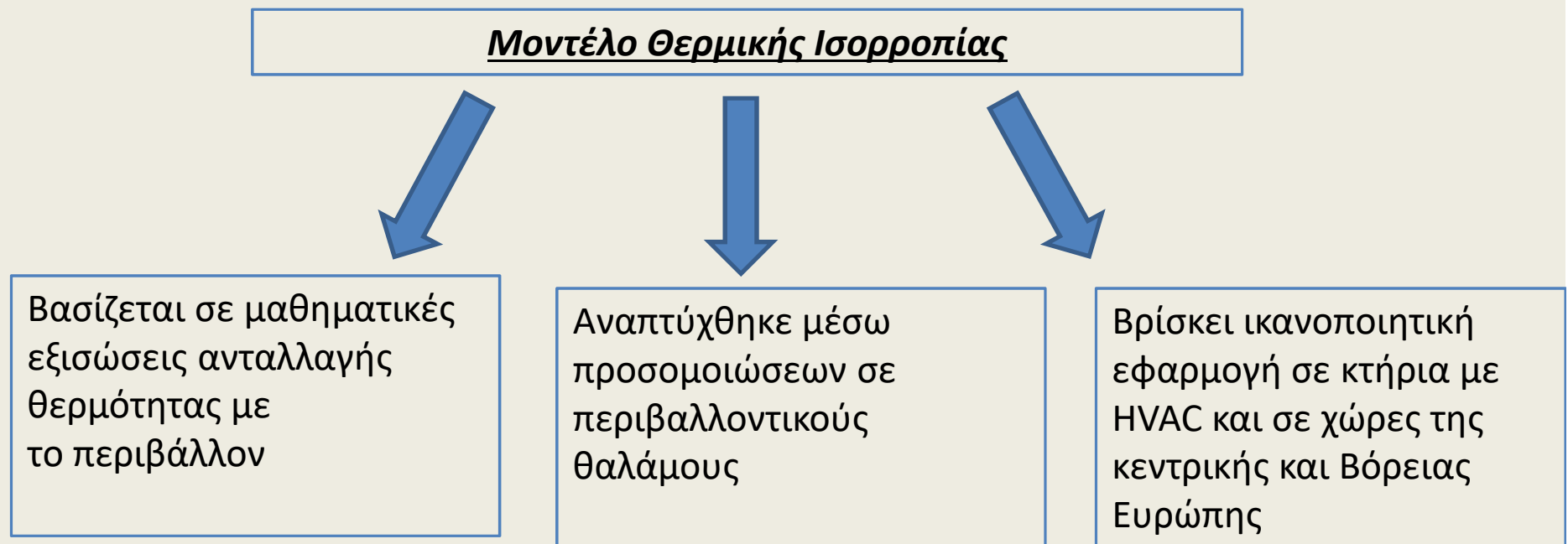
➤ Μετρήσεις σε πραγματικό περιβάλλον.

- Δεν υπάρχει δυνατότητα ελέγχου των συνθηκών-επίδραση πολλών «άγνωστων παραγόντων».
- Αποτύπωση της πραγματικής κατάστασης.
- Επίδραση εξωτερικού περιβάλλοντος.

ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ

Αναπτύχθηκαν δύο βασικές προσεγγίσεις για τη μελέτη της Θερμικής Άνεσης

- ❑ Μοντέλο Θερμικής Ισορροπίας
- ❑ Μοντέλο Προσαρμογής στο Περιβάλλον

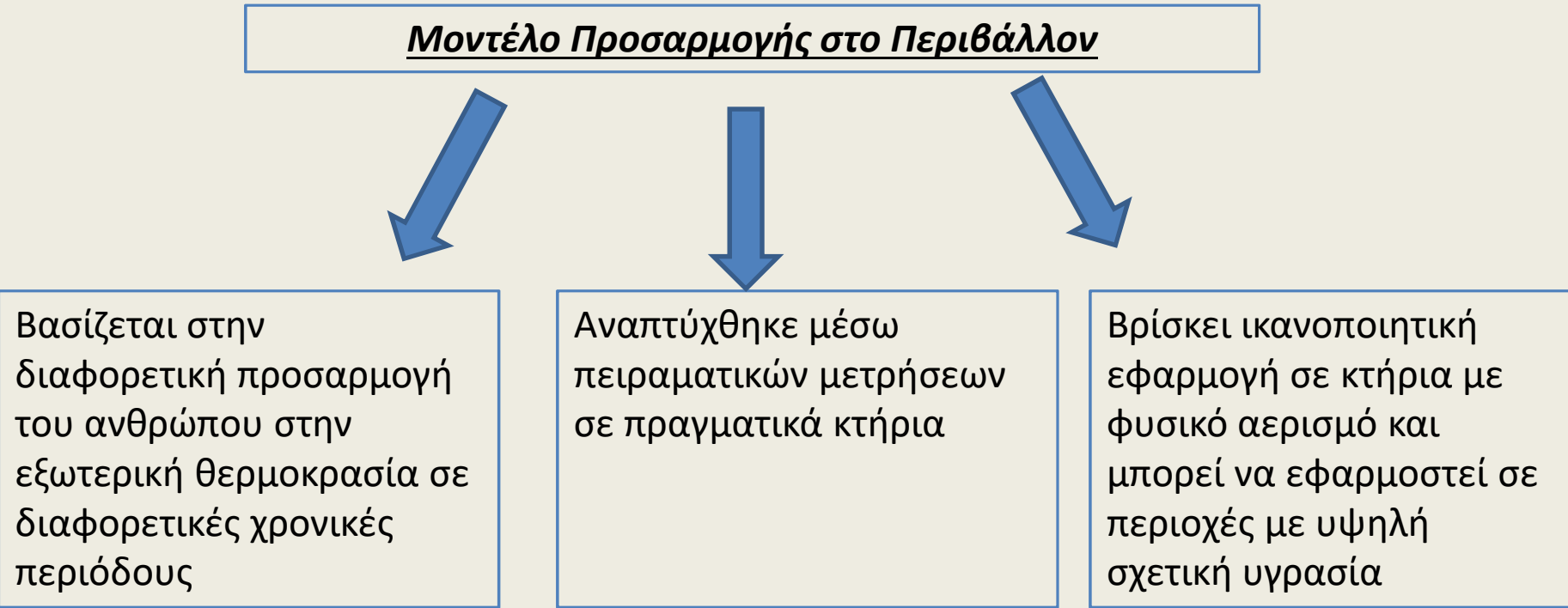


ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ

Αναπτύχθηκαν δύο βασικές προσεγγίσεις για τη μελέτη της Θερμικής Άνεσης

- ❑ Μοντέλο Θερμικής Ισορροπίας
- ❑ **Μοντέλο Προσαρμογής στο Περιβάλλον**

Μοντέλο Προσαρμογής στο Περιβάλλον



```
graph TD; A["Μοντέλο Προσαρμογής στο Περιβάλλον"] --> B["Βασίζεται στην διαφορετική προσαρμογή του ανθρώπου στην εξωτερική θερμοκρασία σε διαφορετικές χρονικές περιόδους"]; A --> C["Αναπτύχθηκε μέσω πειραματικών μετρήσεων σε πραγματικά κτήρια"]; A --> D["Βρίσκει ικανοποιητική εφαρμογή σε κτήρια με φυσικό αερισμό και μπορεί να εφαρμοστεί σε περιοχές με υψηλή σχετική υγρασία"];
```

Βασίζεται στην διαφορετική προσαρμογή του ανθρώπου στην εξωτερική θερμοκρασία σε διαφορετικές χρονικές περιόδους

Αναπτύχθηκε μέσω πειραματικών μετρήσεων σε πραγματικά κτήρια

Βρίσκει ικανοποιητική εφαρμογή σε κτήρια με φυσικό αερισμό και μπορεί να εφαρμοστεί σε περιοχές με υψηλή σχετική υγρασία

ΜΟΝΤΕΛΟ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ

Τα μοντέλα θερμικής ισορροπίας στηρίζονται στους μηχανισμούς ανταλλαγής θερμότητας του ανθρώπινου σώματος με το περιβάλλον.

- ☐ Το σύστημα ρύθμισης της θερμοκρασίας του ανθρώπινου σώματος δρα ώστε να διατηρείται σταθερή μια βασική εσωτερική θερμοκρασία μεταξύ 35°C και 38°C.
- ☐ Το ανθρώπινο σώμα αντιδρά σε κάθε θερμική ανισορροπία μέσω μηχανισμών του ανθρώπινου οργανισμού.
- ☐ Το αίσθημα ζέστης ή κρύου είναι γενικά ανάλογο της μέσης θερμοκρασίας του δέρματος και της απώλειας λανθάνουσας θερμότητας ή υγρών μέσω του ιδρώτα.
- ☐ Επομένως τα αποτελέσματα των μεταβολών του άμεσου θερμικού περιβάλλοντος των ανθρώπων μετριάζονται από μεταφορά θερμότητας μεταξύ του ανθρώπου και του περιβάλλοντος του.

ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

$$\Delta S = M - W \pm R \pm C_v \pm C_d - E - RES$$

ΔS : Μεταβολή αποθηκευμένης θερμότητας (W/m^2 ανθρώπινης επιφάνειας)

M : Μεταβολισμός

W : Ρυθμός παραγωγής Μηχανικού έργου

R : Ανταλλαγή θερμότητας λόγω ακτινοβολίας

C_v : Ανταλλαγή θερμότητας λόγω μεταφοράς (μεταγωγής)

C_d : Ανταλλαγή θερμότητας λόγω επαφής

E : Απώλειες θερμότητας λόγω εξάτμισης

RES : Απώλειες θερμότητας λόγω αναπνοής



ΜΟΝΤΕΛΟ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ

Το γνωστότερο μοντέλο θερμικής ισορροπίας αναπτύχθηκε από τον P.O. Fanger (1970) και εξελίχθηκε με βάση νεότερες μελέτες (Predictive Mean Vote - PMV).

- ❑ Πραγματοποιήθηκαν μελέτες σε περιβαλλοντικούς θαλάμους (1296 Δανοί φοιτητές).
- ❑ Διατήρηση σταθερών περιβαλλοντικών συνθηκών σε κάθε εφαρμογή.
- ❑ Μεταβολή στο ρυθμό μεταβολισμού (δραστηριότητες) και ρουχισμό.



Γραμμική σχέση ανάμεσα ρυθμού μεταβολισμού και εφύδρωσης

Γραμμική σχέση ανάμεσα ρυθμού μεταβολισμού κα μέσης θερμοκρασίας δέρματος

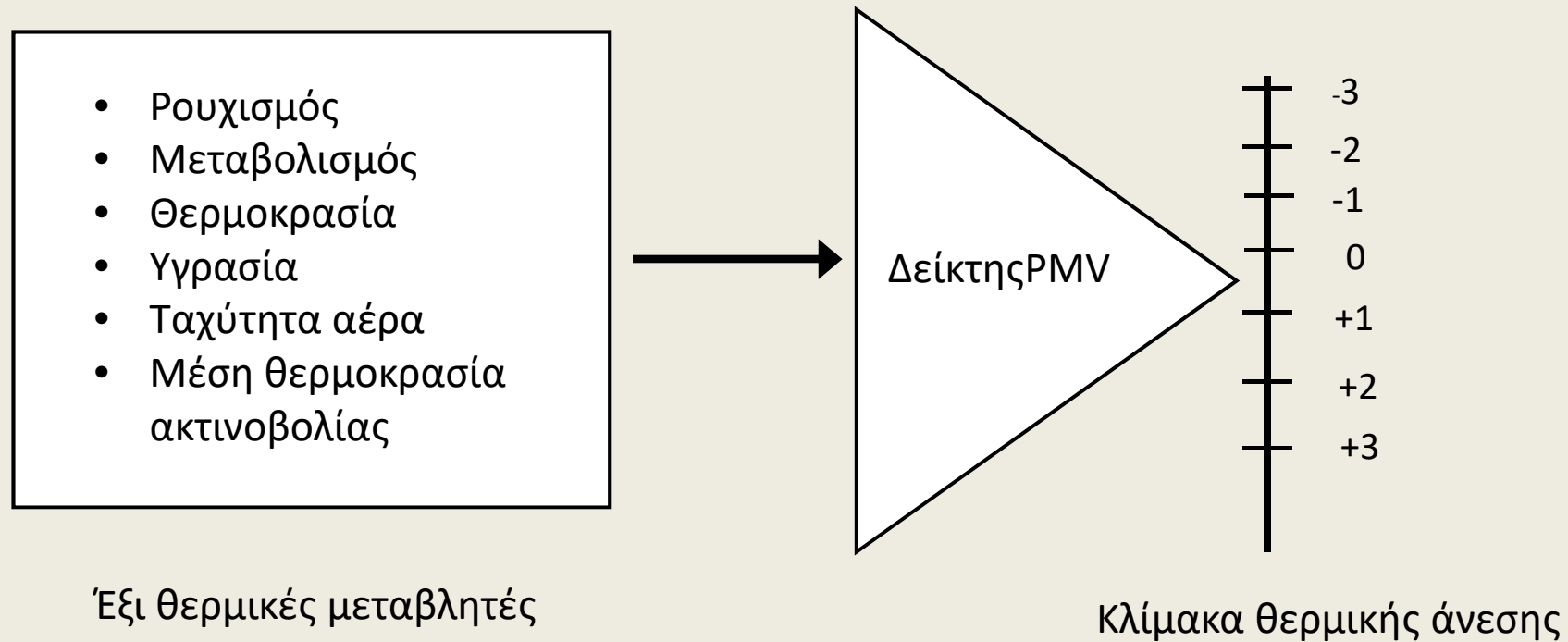
- ❑ Επιπλέον πραγματοποιήθηκε συμπλήρωση ερωτηματολογίων σχετικά με την αίσθηση «ψύχους» ή «ζέστης» την οποία αισθανόταν οι φοιτητές στους περιβαλλοντικούς θαλάμους

ΜΟΝΤΕΛΟ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ

□ Αναπτύχθηκε ένα σύστημα εξισώσεων (ορισμένες εμπειρικές) από τις οποίες προέκυψε μαθηματική σχέση που κατατάσσει τη θερμική αίσθηση σε κλίμακα 7 σημείων από -3 έως 3.

+3 Θερμό περιβάλλον (*hot*)
+2 Ζεστό περιβάλλον (*warm*)
+1 Ελαφρώς ζεστό περιβάλλον (*slightly warm*)
 $PMV=0$ Ουδέτερο Περιβάλλον
-1 Ελαφρώς ψυχρό περιβάλλον (*slightly cool*)
-2 Ψυχρό περιβάλλον (*cool*)
-3 Πολύ ψυχρό περιβάλλον (*cold*)

ΜΟΝΤΕΛΟ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ



ΜΟΝΤΕΛΟ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ

PMV

$$\begin{aligned}
 &= (0,325 * \exp^{-0,042 * M} + 0,032) \\
 &* [M - 0,35 * (43 - 0,061 * M - P_V) - 0,42 * (M - 50) - 0,0023 * M * (44 - P_V) \\
 &- 0,0014 * M * (34 - T_\alpha) - 3,4 * 10^{-8} * f_{cl} \\
 &* [(T_{cl} + 273)^4 - (T_{mrt} + 273)^4 - f_{cl} * (T_{cl} - T_\alpha)] \quad (7)
 \end{aligned}$$

T_{cl}

$$\begin{aligned}
 &= 35,7 - 0,032 * M - 0,18 \\
 &* I_{cl} \{ 3,4 * 10^{-8} * f_{cl} * [(T_{cl} + 273)^4 - (T_{mrt} + 273)^4] + f_{cl} * h_c * (T_{cl} + T_\alpha) \} \quad (7.1)
 \end{aligned}$$

$$h_c = 2,05 * (T_{cl} - T_\alpha)^{0,25} \quad \text{για } 2,38 * (T_{cl} - T_\alpha)^{0,25} > 10,4 * \sqrt{v} \quad (7.2\alpha)$$

$$h_c = 10,4 * \sqrt{v} \quad \text{για } 2,38 * (T_{cl} - T_\alpha)^{0,25} < 10,4 * \sqrt{v} \quad (7.2\beta)$$

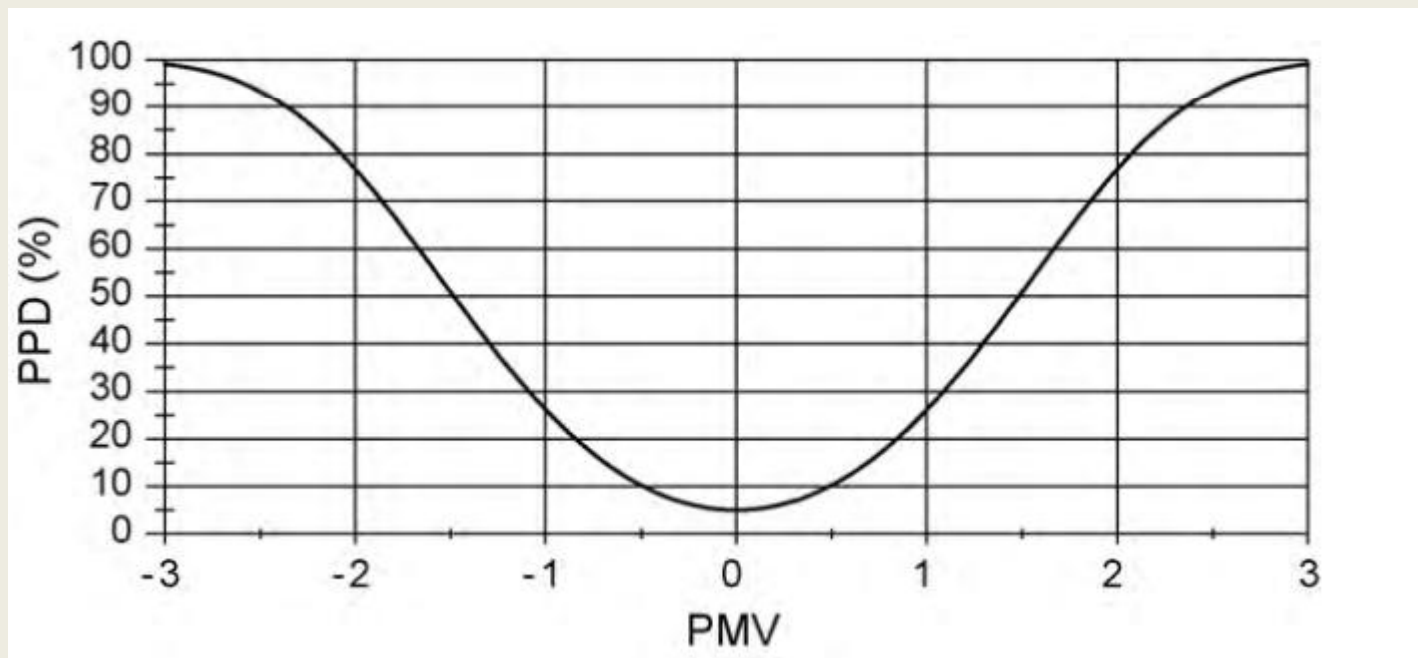
$$P_V = \frac{P_S * RH}{100} \quad (7.3)$$

ΜΟΝΤΕΛΟ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ

Με βάση τις τιμές του δείκτη PMV δημιουργήθηκε μια σχέση που εκφράζει το ποσοστό των ατόμων που εκφράζουν «δυσανεξία» αναφορικά με τις συνθήκες θερμικής άνεσης σε κάποιο χώρο-δείκτης PPD (*Predicted Percentage of dissatisfied*)

$$PPD = 100 - 95 \exp[-(0,03353 PMV^4 + 0,2179 PMV^2)]$$

Γραφική παράσταση του δείκτη PMV (*Predicted Mean Vote*) σε σχέση με το δείκτη PPD (*Predicted Percentage of dissatisfied*)



Προσοχή: 5% του πληθυσμού δεν είναι «ικανοποιημένο» ακόμα και στις ιδανικές συνθήκες

ΜΟΝΤΕΛΟ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ

Ζώνες θερμικής άνεσης ανάλογα με τους δείκτες PMV και PPD

Ζώνη Θερμικής Άνεσης	Δείκτης PPD	Εύρος του δείκτη PMV
1	<6	$-0,2 < PMV < 0,2$
2	<10	$-0,5 < PMV < 0,5$
3	<15	$-0,7 < PMV < 0,7$

Για τιμές εκτός των παραπάνω ορίων θεωρείται ότι το περιβάλλον δεν προσφέρει ικανοποιητική θερμική άνεση στους διαμένοντες σε αυτό.

ΜΟΝΤΕΛΟ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ

Μειονεκτήματα του μοντέλου Θερμικής Ισορροπίας:

- ❑ Διαφοροποίηση ελεγχόμενων περιβαλλοντικών συνθηκών σε θαλάμους σε σχέση με τις περιβαλλοντικές συνθήκες σε πραγματικό περιβάλλον. Οι μετρήσεις πρέπει να επεκταθούν σε καταστάσεις που λαμβάνουν υπόψη τις καθημερινές συνήθειες, χρήση καθημερινού-κοινού ρουχισμού και συμπεριφορά χωρίς περιορισμούς.
- ❑ Απαιτείται λεπτομερής γνώση των μικροκλιματικών παραμέτρων και των διακυμάνσεων τους
- ❑ Το μοντέλο προϋποθέτει ότι οι περιβαλλοντικές συνθήκες δεν μεταβάλλονται με το χρόνο. Διατηρούνται σταθερές συνθήκες χωρίς να παρέχεται η δυνατότητα αλλαγής του ρυθμού μεταβολισμού και του ρουχισμού.
- ❑ Δεν λαμβάνεται υπόψη η προσαρμογή του ανθρώπου στις κλιματικές συνθήκες του περιβάλλοντος.

ΜΟΝΤΕΛΟ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ

Μειονεκτήματα του μοντέλου Θερμικής Ισορροπίας:

- ❑ Δεν λαμβάνονται υπόψη οι περιβαλλοντικές συνθήκες του προηγούμενου χρονικού διαστήματος.
- ❑ Δεν λαμβάνεται υπόψη η ψυχολογική αντίδραση των ανθρώπων στις κλιματικές συνθήκες ανάλογα με την εποχή του έτους και την τοποθεσία (π.χ διαφορετικά αντιμετωπίζεται μία «ζεστή» ημέρα το χειμώνα και διαφορετικά το καλοκαίρι).



Τα μοντέλα θερμικής ισορροπίας μπορούν να βρουν εφαρμογή στο σχεδιασμό νέων κτηρίων και στη διαχείριση κτηρίων με ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας και ταχύτητας αέρα.

ΜΟΝΤΕΛΟ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ

Ο ίδιος ο Fanger αναφέρει (1970):

«Το σύστημα ρύθμισης της θερμοκρασίας του ανθρώπινου οργανισμού είναι αρκετά αποτελεσματικό και επομένως θα δημιουργήσει συνθήκες θερμικής ισορροπίας σε μεγάλα όρια μεταβολών περιβαλλοντικών παραμέτρων, ακόμα και αν δεν «υπάρχει» θερμική άνεση σε αυτά».

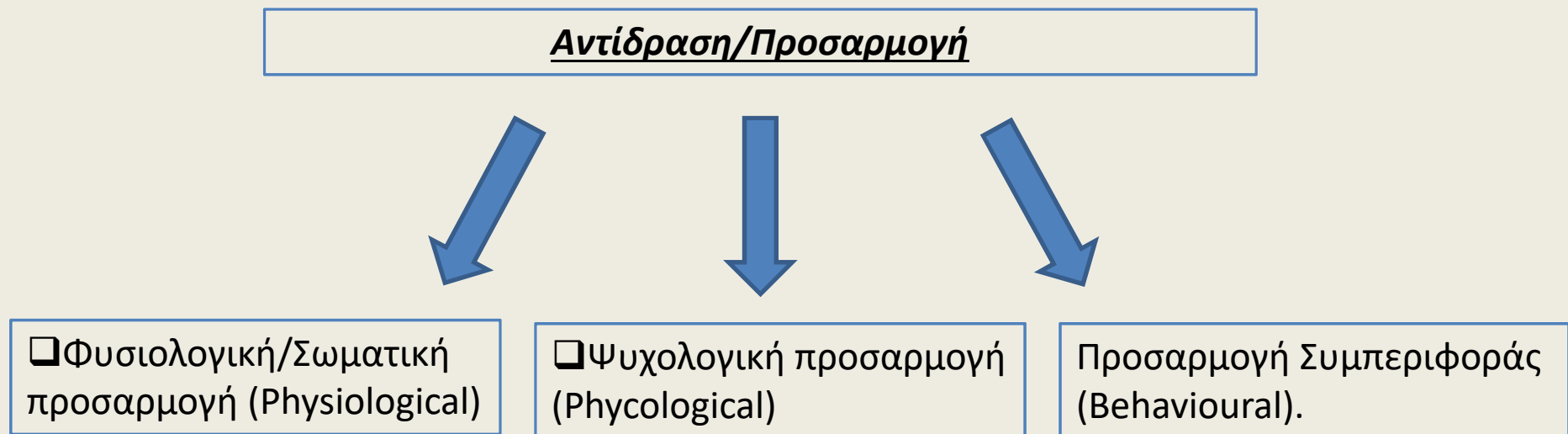
ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ

Βασίζονται στη λογική, ότι ο άνθρωπος δεν είναι παθητικός αποδέκτης των συνθηκών του άμεσου περιβάλλοντος του και

«Αν συμβεί κάποια αλλαγή που του προκαλεί δυσφορία, αντιδρά με διάφορους τρόπους ώστε να επανέλθει σε συνθήκες (θερμικής) άνεσης».

Οι άνθρωποι δεν είναι παθητικοί δέκτες των περιβαλλοντικών συνθηκών στους χώρους που βρίσκονται αλλά αλληλεπιδρούν με αυτά και κα προσαρμόζονται σε αυτά.

Η αντίδραση/προσαρμογή του ανθρώπου γίνεται με 3 διαφορετικούς τρόπους:



ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ

❑ Η φυσιολογική/σωματική προσαρμογή δεν παίζει σημαντικό ρόλο στα εσωτερικά περιβάλλοντα που συνήθως εξετάζονται.

❑ Ψυχολογική προσαρμογή:

Αντικατοπτρίζει το ρόλο γνωστικών, κοινωνικών και πολιτιστικών μεταβλητών και περιγράφει που συνήθειες ή προσδοκίες επηρεάζουν την υποκειμενική αντίληψη της θερμικής άνεσης.

❑ Προσαρμογή συμπεριφοράς:

Αφορά άμεσες καθημερινές ενέργειες που οδηγούν σε θερμική προσαρμογή στο περιβάλλον (άνοιγμα ή κλείσιμο παραθύρων, προστασία από το ήλιο, αλλαγή ενδυμασίας, κατανάλωση τροφής ή υγρών κλπ). Η προσαρμογή συμπεριφοράς είναι ο κυρίαρχος παράγοντας προσαρμογής και ουσιαστικά εκφράζει τη δυνατότητα του ατόμου μέσα από ένα πλήθος ενεργειών να μεταβεί σε κατάσταση θερμικής άνεσης.

Τα μοντέλα προσαρμογής βρίσκουν εφαρμογή σε κτήρια με φυσικό εξαερισμό, όπου οι άνθρωποι επεμβαίνουν για την προσαρμογή τους στο θερμικό περιβάλλον.

ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ

Μελέτες τα τελευταία χρόνια έδειξαν ότι υπάρχει γραμμική σχέση ανάμεσα στη θερμοκρασία που κάποιος αισθάνεται «άνετα» (T_{co}) και στην εξωτερική θερμοκρασία.

Οι σχέσεις αυτές έχουν αποτυπωθεί στο Ευρωπαϊκό πρότυπο (EN15251) και στο πρότυπο των Ηνωμένων πολιτειών (ASHRAE 55-2010) για την Ποιότητα του Αέρα και την Ενεργειακή απόδοση σε Εσωτερικά Περιβάλλοντα.

EN15251

$$T_{co} = 0,33 * T_{rm7} + 18,8 \text{ (}^{\circ}\text{C)}$$

Όπου T_{rm7} η προσαρμοσμένη με συντελεστές βαρύτητας θερμοκρασία των προηγούμενων 7 ημερών.

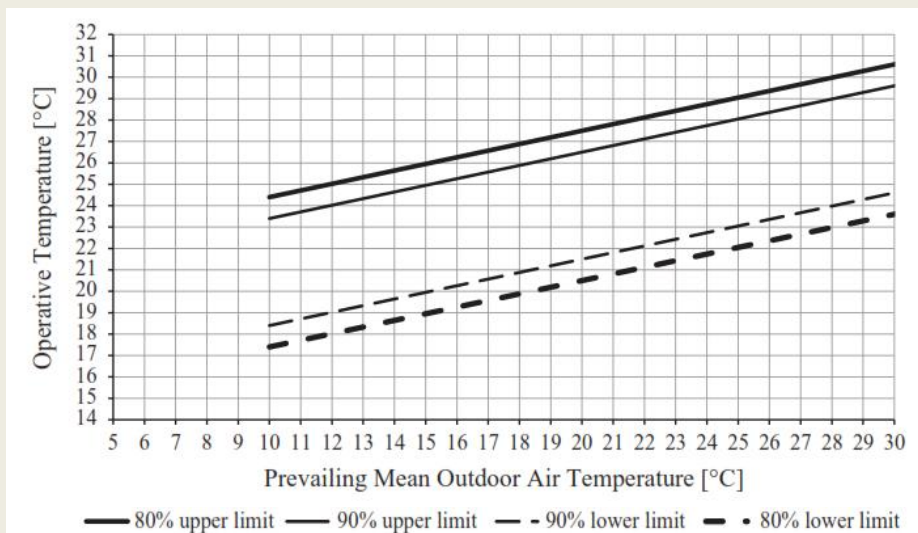
$$T_{rm7} = (T_{-1} + 0,8 T_{-2} + 0,6 T_{-3} + 0,5 T_{-4} + 0,4 T_{-5} + 0,3 T_{-6} + 0,2 T_{-7})/3,8$$

ASHRAE 55-2010

$$T_{co} = 0,31 * T_{ref} + 17,8 \text{ (}^{\circ}\text{C)}$$

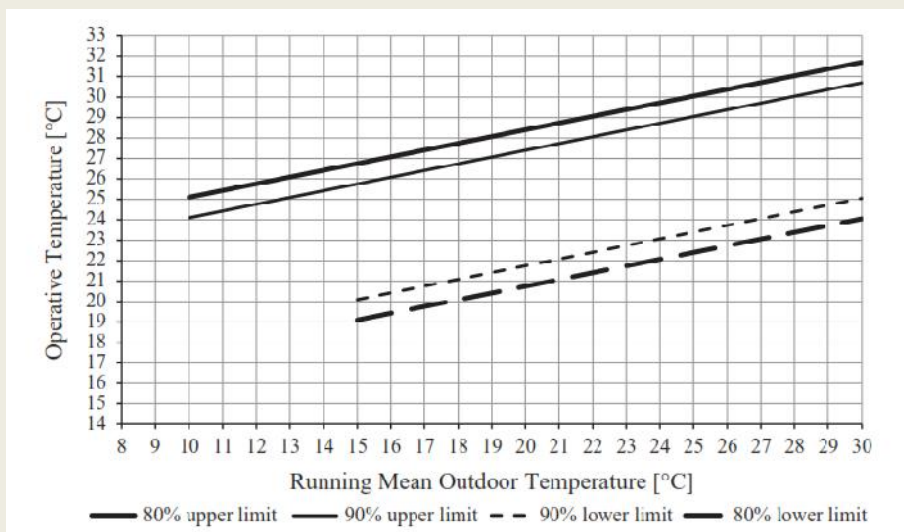
Όπου T_{ref} η μέση τιμή της εξωτερικής θερμοκρασίας για χρονικό διάστημα από 7 έως 30 ημέρας πριν από την ημέρα υπολογισμού.

ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ



Όρια θερμικής άνεσης βάση του προτύπου ASHRAE 55-10

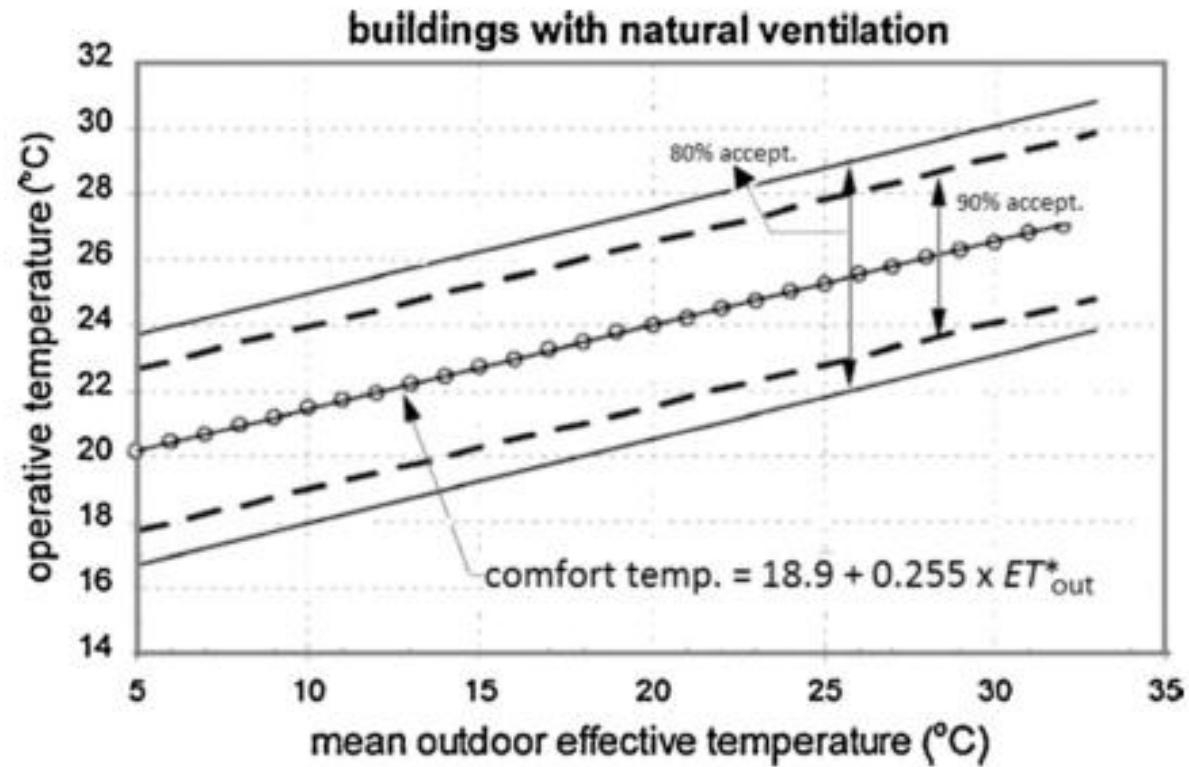
$$T_{co} = 0,31 * T_{ref} + 17,8 \text{ (}^{\circ}\text{C)}$$



Όρια θερμικής άνεσης βάση του προτύπου EN15251

$$T_{co} = 0,33 * T_{rm7} + 18,8 \text{ (}^{\circ}\text{C)}$$

ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ



ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ

Με βάση τα μοντέλα προσαρμογής τα όρια θερμοκρασίας στα οποία υπάρχει θερμική άνεση είναι μεγαλύτερα σε κτήρια με φυσικό εξαερισμό με βάση αυτά που προβλέπουν τα μοντέλα θερμικής ισορροπίας.



Με απλές ενέργειες (άνοιγμα παραθύρων, χρήση περσίδων, κλπ.) μπορεί να επέλθει θερμική άνεση.



Δεν είναι πάντα απαραίτητη η χρήση συστημάτων HVAC.

Γιατί μελετάμε τη θερμική άνεση?

Οι βασικοί στόχοι από τη μελέτη της θερμικής άνεσης είναι:

- ☐ Καλύτερη κατανόηση του εσωτερικού περιβάλλοντος.
- ☐ Βελτίωση της ποιότητας του αέρα.
- ☐ Βέλτιστη διαχείριση της ενεργειακής κατανάλωσης.
- ☐ Μείωση των εκπομπών CO₂.
- ☐ Βελτίωση της απόδοσης στην εργασία και την εκπαίδευση.
- ☐ Δημιουργία βελτιωμένων προτύπων (standards) για την κατασκευή νέων κτηρίων.