

**ΤΕΕ – ΤΚΜ
ΣΕΜΙΝΑΡΙΑ ΜΙΚΡΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑ
ΣΤ' ΚΥΚΛΟΣ2005**

“ΥΓΕΙΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ”

ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

**Ν. Μαραγκός
Μηχανολόγος Μηχ. Msc**

ΚΙΛΚΙΣ 2005

ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Νίκος Μαραγκός, Μηχανολόγος Μηχ., Msc

Γενικά

Οι συνθήκες του μικροκλίματος στους χώρους εργασίας προσδιορίζονται από την θερμική κατάσταση του περιβάλλοντος και την βαρομετρική πίεση του αέρα.

Επειδή η βαρομετρική πίεση παίζει σημαντικό ρόλο μόνο σε ορισμένες περιπτώσεις (πχ εργασία σε περιβάλλον αέρα υπό πίεση, σε θέσεις με μεγάλο υψόμετρο κτλ), η εκτίμηση του μικροκλίματος περιορίζεται μόνο στην μέτρηση της θερμικής κατάστασης.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την θερμική κατάσταση του περιβάλλοντος είναι:

–Θερμοκρασία του αέρα

–Υγρασία του αέρα

–Ταχύτητα κίνησης του αέρα

–Θερμική ακτινοβολία (συνάρτηση της θερμοκρασίας του χώρου και των αντικειμένων του περιβάλλοντος)

Κατά την ανάλυση του μικροκλίματος, συνήθως μετρούμε τους παράγοντες αυτούς ξεχωριστά. Σε μερικές πάντως περιπτώσεις το τελικό θερμικό αποτέλεσμα μπορεί να εκφρασθεί με μία μόνο ποσότητα την ονομαζόμενη Κατατιμή ή Ισοδύναμη Ενεργό Θερμοκρασία

Μέθοδοι και τεχνικές μέτρησης

Θερμοκρασία αέρα

Το συχνότερο χρησιμοποιούμενο όργανο είναι το συνηθισμένο υδραργυρικό θερμόμετρο με κλίμακα -5 έως 50°C . Για υπερβολικά θερμούς χώρους εργασίας μπορεί να χρησιμοποιηθούν θερμόμετρα με κλίμακα μέχρι 100°C . Για υπερβολικά ψυχρούς χώρους εργασίας (ψυκτικούς θαλάμους) μπορεί να χρησιμοποιηθούν θερμόμετρα οινόπνευματος με κλίμακα μέχρι -30°C .

Κατά την διάρκεια της μέτρησης δεν πρέπει ποτέ τα θερμόμετρα να κρατούνται στο χέρι, αλλά είτε να αναρτώνται στην θέση της μέτρησης, είτε να στερεώνονται σε κατάλληλη βάση.

Το θερμόμετρο πρέπει να προστατεύεται από την ακτινοβολούμενη θερμότητα με κάποιο σχετικό κάλυμμα, που όμως επιτρέπει την είσοδο του αέρα.

Σχετική υγρασία αέρα

Ψυχρομετρική μέθοδος

Το ψυχρόμετρο είναι ένα απλό όργανο που αποτελείται βασικά από δύο όμοια θερμόμετρα σταθεροποιημένα σε ένα στήριγμα ή πλαίσιο. Το δοχείο του ενός θερμομέτρου αφήνεται στεγνό κατά την μέτρηση (θερμόμετρο ξηρού), ενώ το δοχείο του δεύτερου είναι περιτυλιγμένο με ένα κομμάτι ύφασμα που υγραίνεται με νερό κατά την μέτρηση (θερμόμετρο υγρού).

Κατά την μέτρηση, λόγω της θερμότητας που απορροφάται κατά την εξάτμιση του νερού, η θερμοκρασιακή ένδειξη στο θερμόμετρο υγρού θα είναι πάντα μικρότερη από την ένδειξη του θερμομέτρου ξηρού.

Όσο μικρότερη είναι η συγκέντρωση υδρατμών στον αέρα, τόσο μεγαλύτερη και ταχύτερη είναι η εξάτμιση του νερού στο δοχείο του υγρού θερμομέτρου, με αποτέλεσμα μεγαλύτερη ψύξη και μεγαλύτερη διαφορά των δύο θερμοκρασιακών ενδείξεων.

Η σχετική υγρασία του αέρα μπορεί να υπολογισθεί από την εξίσωση:

$$h_r\% = 100 / p_1 (p_2 - A b (t_d - t_m))$$

όπου :

$h_r\%$ = εκατοστιαία αναλογία σχετικής υγρασίας

p_1 = μερική τάση ατμών σε κορεσμένο αέρα θερμοκρασίας t_d (mmHg)

p_2 = μερική τάση ατμών σε κορεσμένο αέρα θερμοκρασίας t_m (mmHg)

b = βαρομετρική πίεση (755mmHg)

t_d = ένδειξη ξηρού θερμομέτρου

t_m = ένδειξη υγρού θερμομέτρου

A = ψυχρομετρική σταθερά που εξαρτάται από την ταχύτητα του αέρα V .

$A=0.0012$ για $V=0.0-0.5\text{m/sec}$,

$A=0.0008$ για $V=0.6-1.5\text{m/sec}$

$A=0.000656$ για $V>1.6\text{m/sec}$

Ταχύτητα κίνησης του αέρα

Ανεμόμετρο θερμοστοιχείου

Είναι ένα ηλεκτρονικό όργανο που φέρει ένα ευαίσθητο θερμοστοιχείο με μορφή σύρματος, σπείρας ή μικρής μεταλλικής σφαίρας. Το στοιχείο θερμαίνεται ηλεκτρικά σε θερμοκρασία αρκετά υψηλότερη από αυτή του περιβάλλοντος αέρα. Η απόψυξη του θερμοστοιχείου είναι ανάλογη προς την ταχύτητα κίνησης του αέρα στον οποίο είναι εκτεθειμένο το στοιχείο.

Η μέτρηση μπορεί να γίνει κατά δύο τρόπους:

- Είτε το στοιχείο θερμαίνεται σε μία σταθερή θερμοκρασία οπότε η ταχύτητα της ροής του αέρα είναι ανάλογη προς την ένταση του θερμαίνοντα ηλεκτρικού ρεύματος (Αμπερόμετρο),
- Είτε η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος διατηρείται σταθερή οπότε η ταχύτητα είναι ανάλογη προς την θερμοκρασία του στοιχείου ή ακριβέστερα προς την διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας του στοιχείου και της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος αέρα (θερμοζεύγος ή μιλιβολτόμετρο).

Καταθερμόμετρο

Το Καταθερμόμετρο είναι ένα άλλο όργανο κατάλληλο για τη μέτρηση χαμηλών ταχυτήτων αέρα. Είναι ένα επίμηκες θερμόμετρο αποτελούμενο από ένα τριχοειδή σωλήνα με παχιά τοιχώματα και με δύο αποθηκευτικά δοχεία για το θερμομετρικό υγρό στα δύο άκρα του.

Ο τριχοειδής σωλήνας φέρει δύο σημάνσεις, μία στο χαμηλότερο και μία στο υψηλότερο άκρο του, που αντιστοιχούν στις θερμοκρασίες 35 και 38°C. Η μέση τιμή των δύο αυτών θερμοκρασιών αντιστοιχεί στην θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος.

Μέτρηση

Γιά την μέτρηση το δοχείο στο κάτω άκρο του καταθερμομέτρου βυθίζεται σε ζεστό νερό θερμοκρασίας 60-70°C. Προκαλείται διαστολή του θερμομετρικού υγρού το οποίο φθάνει στο δοχείο του άνω άκρου. Τότε το καταθερμόμετρο απομακρύνεται και προσαρμόζεται σε ένα στήριγμα στην θέση μέτρησης.

Η επιφάνεια του καταθερμομέτρου ψύχεται από τον περιβάλλοντα αέρα με μεταφορά θερμότητας και ακτινοβολία, με αποτέλεσμα το θερμομετρικό υγρό να αρχίσει να κατέρχεται.

Ο χειριστής μετρά με ένα χρονόμετρο τον χρόνο Z σε δευτερόλεπτα που χρειάστηκε το υγρό για να κατέβει από την ένδειξη 38°C, στην ένδειξη 35°C.

Το ποσό θερμότητας που διαχύθηκε στο περιβάλλον από ένα τετραγωνικό εκατοστό επιφανείας του δοχείου του καταθερμομέτρου κατά την ψύξη από 38°C σε 35°C, είναι η καλούμενη *πιμή βαθμονόμησης* Q του καταθερμομέτρου:

$$Q \text{ (mcal/cm}^2\text{)} = a (36.5 - t_v) Z$$

όπου:

$a = a_o + a_r$: συντελεστής διάχυσης της θερμότητας από την επιφάνεια του καταθερμομέτρου με μεταφορά και ακτινοβολία σε (mcal/cm² sec °C).

Όταν δεν υπάρχει αξιόλογη ακτινοβολία τότε:

$$a = 0.205 + 0.385 V^{0.5} \text{ για } V \leq 1 \text{ m/sec}$$

$$a = 0.105 + 0.485 V^{0.5} \text{ για } V > 1 \text{ m/sec}$$

t_v = θερμοκρασία περιβάλλοντος αέρα

επιλύοντας προς V:

$$\text{για } V \leq 1 \text{ m/sec } V = \left(\frac{K}{(36.5 - t_v)} - 0.205 \right) / 0.385^2$$

$$\text{για } V > 1 \text{ m/sec } V = \left(\frac{K}{(36.5 - t_v)} - 0.105 \right) / 0.485^2$$

όπου:

$$K = Q/Z = a (36.5 - t_v) \text{ mcal/cm}^2 \text{ sec}$$

Η ποσότης K καλείται Καταπιμή και όπως φαίνεται υπολογίζεται εύκολα σαν το πηλίκο της τιμής βαθμονόμησης Q ενός Καταθερμομέτρου (δίνεται από τον κατασκευαστή) προς τον χρόνο Z (Καταχρόνος).

Με την χρήση διαγραμμάτων, ο χειριστής μετρά τον Καταχρόνο Z, την θερμοκρασία t_v υπολογίζει την Καταπιμή, και από διαγράμματα διαβάζει την ταχύτητα του αέρα.

Θερμική ακτινοβολία

Μέθοδος σφαιρικού θερμομέτρου

Το σφαιρικό θερμόμετρο αποτελείται από μιά κοίλη σφαίρα (με διάμετρο 10 -15εκ) κατασκευασμένη από λεπτό μεταλλικό φύλλο, η επιφάνεια του οποίου είναι μαύρου ματ χρώματος. Η σφαίρα έχει έναν ανοικτό λαιμό για την εισαγωγή υδραργυρικού θερμομέτρου.

Το θερμόμετρο εισάγεται στο άνοιγμα του λαιμού ώστε το δοχείο του να φθάσει στο κέντρο της σφαίρας, θέση στην οποία στερεώνεται.

Η μαύρη επιφάνεια της σφαίρας απορροφά την ακτινοβολούμενη θερμότητα που εκπέμπουν οι περιβάλλουσες επιφάνειες.

Μετά από 20-30 λεπτά το σύστημα φθάνει σε μία κατάσταση θερμικής ισορροπίας όπου η απορροφούμενη θερμότητα από ακτινοβολία είναι ίση με την διαχεόμενη θερμότητα από την επιφάνεια της σφαίρας, με μετάφορά προς τον περιβάλλοντα χώρο.

Η θερμοκρασία που δείχνει το υδραργυρικό θερμόμετρο σ' αυτή την σταθερή κατάσταση καλείται *συνιστάμενη θερμοκρασία (resulting ultimate temperature)*.

Η ενεργός θερμοκρασία των περιβαλλουσών επιφανειών t_u °C ή $(273 + t_u)$ °K σαν χαρακτηριστική της ακτινοβολούμενης θερμότητας, μπορεί τώρα να υπολογισθεί από την εξής εξίσωση:

$$(273 + t_u)^4 \cdot 10^{-8} = (273 + t_c)^4 \cdot 10^{-8} + 2.77 V^{0.5} (t_c - t_v)$$

όπου:

t_c = συνιστάμενη θερμοκρασία, μετρημένη με σφαιρικό θερμόμετρο (°C)

t_v = θερμοκρασία του αέρα (°C)

V = ταχύτητα ροής του αέρα (m/sec)

Συνήθως στην πράξη αρκούμεθα στην θερμοκρασία σφαιρικού θερμομέτρου, θεωρώντας την σαν μέτρο της έντασης της ακτινοβολούμενης θερμότητας και δεν υπολογίζουμε την ενεργό θερμοκρασία των περιβαλλουσών επιφανειών.

Εκτίμηση των συνθηκών μικροκλίματος στους εργαζομένους

Κριτήρια για την εκτίμηση του μικροκλίματος

Ο ανθρώπινος οργανισμός έχει την ικανότητα να διατηρεί την θερμοκρασία του σώματος σχεδόν σταθερή, μέσα σε πολύ στενά όρια. Αυτή η θερμορύθμιση στηρίζεται σε δύο μηχανισμούς:

α) παραγωγή θερμότητας από τις διαδικασίες μεταβολισμού μέσα στο σώμα (χημική θερμορρύθμιση)

β) ανταλλαγή θερμότητας (θετική ή αρνητική) μεταξύ του σώματος και του περιβάλλοντος με

- αγωγιμότητα
- μεταφορά θερμότητας
- ακτινοβολία
- εξάτμιση του ιδρώτα
- την αναπνοή
- (φυσική θερμορρύθμιση)

Ο άνθρωπος πρέπει να αισθάνεται θερμική άνεση και πρέπει να ζεί σε θερμική ισορροπία με το περιβάλλον.

Αυτό σημαίνει ότι κάθε περιττό ποσό θερμότητας (από μεταβολική δραστηριότητα σε ανάπαυση ή σε κίνηση ή από εξωτερική θερμότητα που απορροφά ο οργανισμός από το περιβάλλον) που θα ανέβαζε την θερμοκρασία του σώματος πρέπει να αποβάλλεται από την επιφάνειά του (το δέρμα του).

Η θερμική κατάσταση του περιβάλλοντος, που καθορίζεται από

- τα επίπεδα θερμοκρασίας,
- σχετικής υγρασίας,
- ταχύτητας αέρα και
- ακτινοβολούμενης θερμότητας,

μπορεί να επηρεάζει την διάχυση θερμότητας από τον ανθρώπινο οργανισμό κατά αρνητικό και θετικό τρόπο (είτε προσφέρει είτε απομακρύνει θερμότητα στον άνθρωπο). Αυτό ονομάζεται *θερμική επίδραση* του περιβάλλοντος.

Η ίδια θερμική επίδραση μπορεί να προκληθεί από διάφορους συνδυασμούς των τεσσάρων συνιστωσών της θερμικής κατάστασης του περιβάλλοντος.

Υπάρχει για τον λόγο αυτό η τάση να εκφράζεται το θερμικό αποτέλεσμα με μία μόνο ποσότητα.

Τέτοιες ποσότητες είναι:

α) η ισοδύναμη ενεργός θερμοκρασία ή διορθωμένη ισοδύναμος ενεργός θερμοκρασία

Ορίζεται σαν η θερμοκρασία ακίνητου, κεκορεσμένου αέρα σε υδρατμούς που προκαλεί το ίδιο θερμικό αποτέλεσμα στον άνθρωπο με το περιβάλλον μίας δεδομένης θερμικής κατάστασης (δεδομένα θερμοκρασία αέρα t_v °C, σχετική υγρασία hr%, ταχύτητα κίνησης αέρα V m/sec) και ευρίσκεται με την χρήση νομογράμματος. Για την χρήση του νομογράμματος απαιτούνται η θερμοκρασία ξηρού, η θερμοκρασία υγρού και η ταχύτητα κίνησης του αέρα.

Για περιβάλλον με έντονη ακτινοβολία αντί την θερμοκρασία ξηρού χρησιμοποιούμε την θερμοκρασία σφαιρικού θερμομέτρου.

Πραγματικά άνετες θερμικές συνθήκες για έναν κανονικά ντυμένο άνθρωπο, που εργάζεται ελαφρά ή μέτρια, υπάρχουν όταν οι τιμές της ισοδύναμης ενεργού θερμότητας είναι μεταξύ 17°C και 20°C. Μέχρι και τους 30°C δεν υπάρχει σημαντική πτώση στην αποτελεσματικότητα και απόδοση του εργαζομένου εάν η σχετική υγρασία δεν είναι ιδιαίτερα υψηλή.

Τιμές IEΘ λίγο πάνω από τους 30°C γίνονται αμέσως αισθητές, η απόδοση χειροτερεύει και η παραγωγή μειώνεται. Τιμές γύρω στους 35°C-36°C προκαλούν πτώση κατά 50% στην απόδοση και στην αποτελεσματικότητα, ενώ τιμές πάνω από 37.5°C δεν γίνονται ανεκτές από την πλειοψηφία των εργαζομένων.

Πάντως πρέπει να αναφέρουμε ότι η θερμική άνεση του ανθρώπου είναι ένα σύνθετο φαινόμενο που εξαρτάται και από πολλούς παράγοντες που δεν είναι μετρήσιμοι όπως ο εγκλιματισμός του ατόμου, η θερμική προσαρμοστικότητα του, η γενική κατάσταση της υγείας του, η αποτελεσματικότητα του κυκλοφοριακού του συστήματος κτλ.

β) Ο δείκτης WBGT (wet-bulb globe thermometer)

WBGT = 0.7 (ένδειξη υγρού θερμομέτρου) + 0.3 (ένδειξη του σφαιρικού ή ξηρού θερμομέτρου)

γ) Η **συνιστάμενη θερμοκρασία** (θερμοκρασία σφαιρικού θερμομέτρου) χαρακτηρίζει με μία τιμή την θερμική κατάσταση του περιβάλλοντος, όπως αυτή διαμορφώνεται από την θερμοκρασία του αέρα, την ταχύτητα κίνησης του αέρα και την ακτινοβολούμενη θερμότητα. Ενδείκνυται για την εκτίμηση του θερμικού περιβάλλοντος σε χώρους με σημαντική θερμική ακτινοβολία. Δεν λαμβάνει υπ' όψη την σχετική υγρασία αλλά σε τέτοιους χώρους έτσι και αλλιώς είναι πολύ χαμηλή.

Ενδεικτικά: Συνιστάμενη θερμοκρασία

μέχρι 45°C
45 - 55°C
55 - 65°C
65 - 75°C
75 - 85°C
90 - 100°C

ανεκτή παραμονή

απεριόριστη
1 ώρα
45 λεπτά
15-30 λεπτά
10 λεπτά
0.5-1 λεπτό

δ) Η Κατατιμή

Η Κατατιμή $K=Q/Z$ είναι ευθέως ανάλογη προς την ειδική θερμική απώλεια του ανθρώπινου σώματος. Για έναν κανονικά ντυμένο άνθρωπο που παράγει περίπου 100Kcal/ώρα (καθιστική εργασία), τα όρια θερμικής άνεσης είναι μεταξύ $K=4$ και $K=6\text{mcal/m}^2$.

Εάν η Κατατιμή είναι μεγαλύτερη από 6 θα αισθάνεται κρύο, ενώ αν είναι μικρότερη από 4 θα αισθάνεται υπερβολική ζέστη.

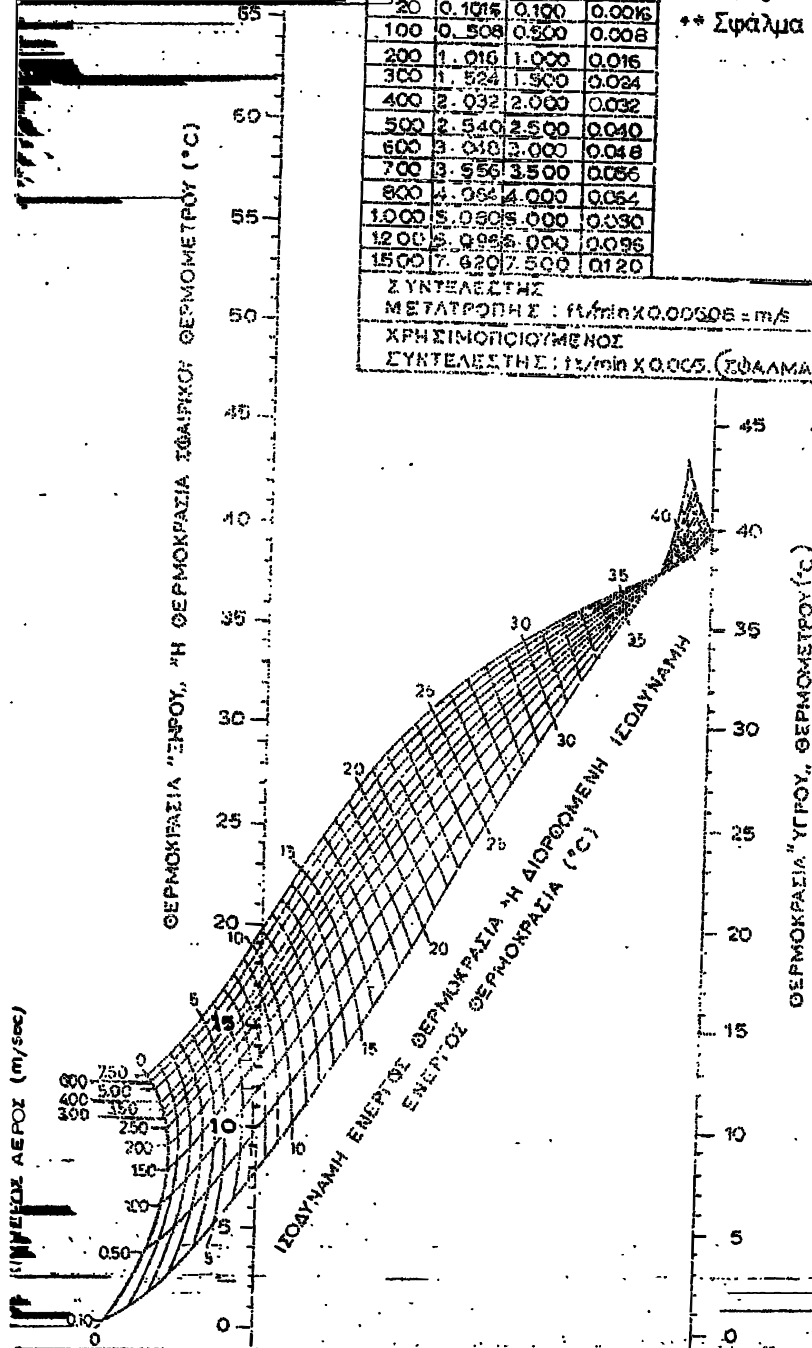
Εάν ο άνθρωπος κάνει κάποια έντονη μυική δραστηριότητα και η θερμική του παραγωγή αυξάνει, τότε η θερμική του άνεση επιτυγχάνεται σε μεγαλύτερες από $K=6$ τιμές.

ΤΑΧΥΤΗ ΚΙΝΗΣΕΩΣ ΤΟΥ ΑΕΡΟΣ

ft/min	m/s	m/s*	m/s**
20	0.1016	0.100	0.0016
100	0.508	0.500	0.008
200	1.016	1.000	0.016
300	1.524	1.500	0.024
400	2.032	2.000	0.032
500	2.540	2.500	0.040
600	3.048	3.000	0.048
700	3.556	3.500	0.056
800	4.064	4.000	0.064
1000	5.080	5.000	0.080
1200	6.096	6.000	0.096
1500	7.620	7.500	0.120

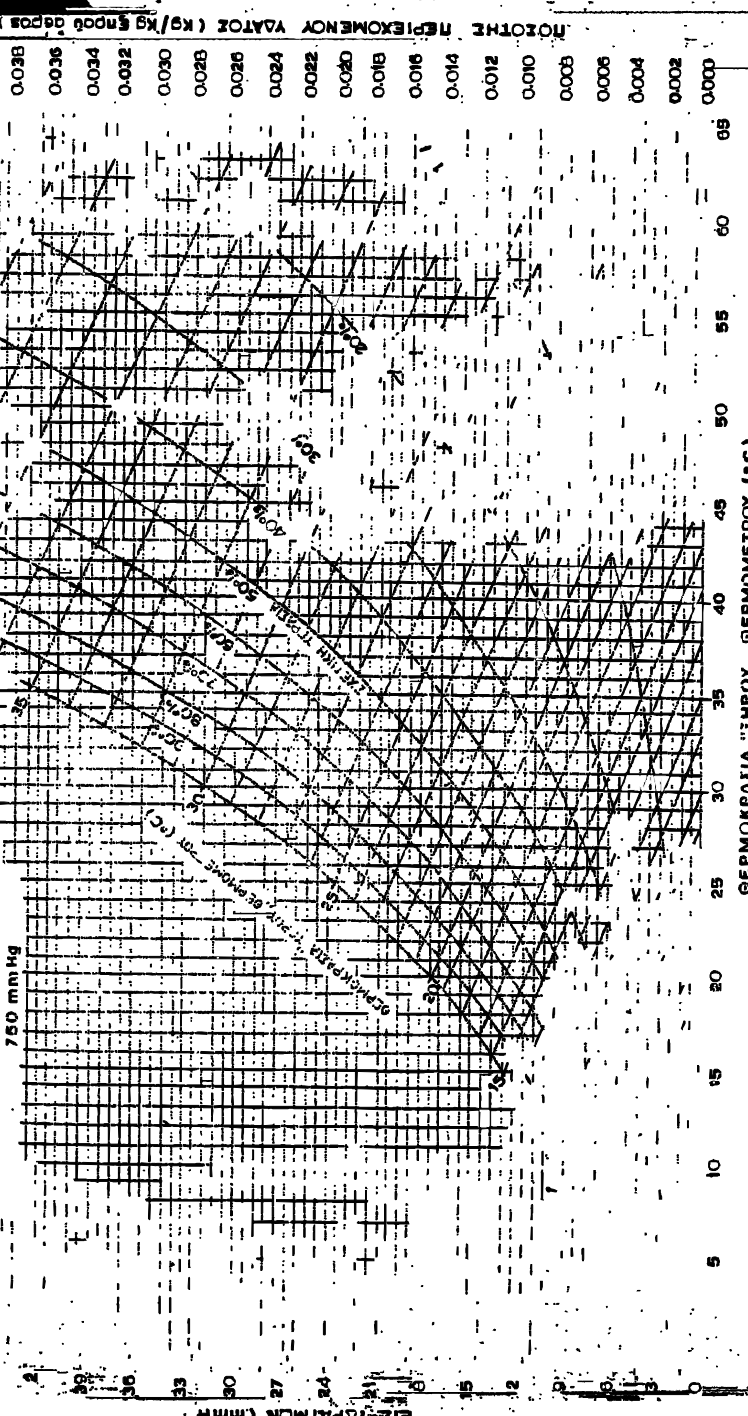
* Τιμές από το νομόγραμμα
 ** Σφάλμα

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ
 ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ : ft/min x 0.00508 = m/s
 ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΟΣ
 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ : ft/min x 0.005 (ΣΦΑΛΜΑ 16%)



ΒΟΥΧ ΜΕΤΡΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ

ΒΑΡΟΜΕΤΡΙΚΗ ΠΙΕΣΗ
750 mmHg



ΠΟΣΟΤΗΤΗ ΑΠΕΞΟΜΩΣΗΣ (kg/kg εμπορ. αέρα)

0.040
0.038
0.036
0.034
0.032
0.030
0.028
0.026
0.024
0.022
0.020
0.018
0.016
0.014
0.012
0.010
0.008
0.006
0.004
0.002
0.000

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΞΗΡΟΥ, ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΟΥ (°C)

ΣΧΗΜΑ 1

ΕΠΕΞΑΡΤΗΜΕΝΟ (g/m³)