

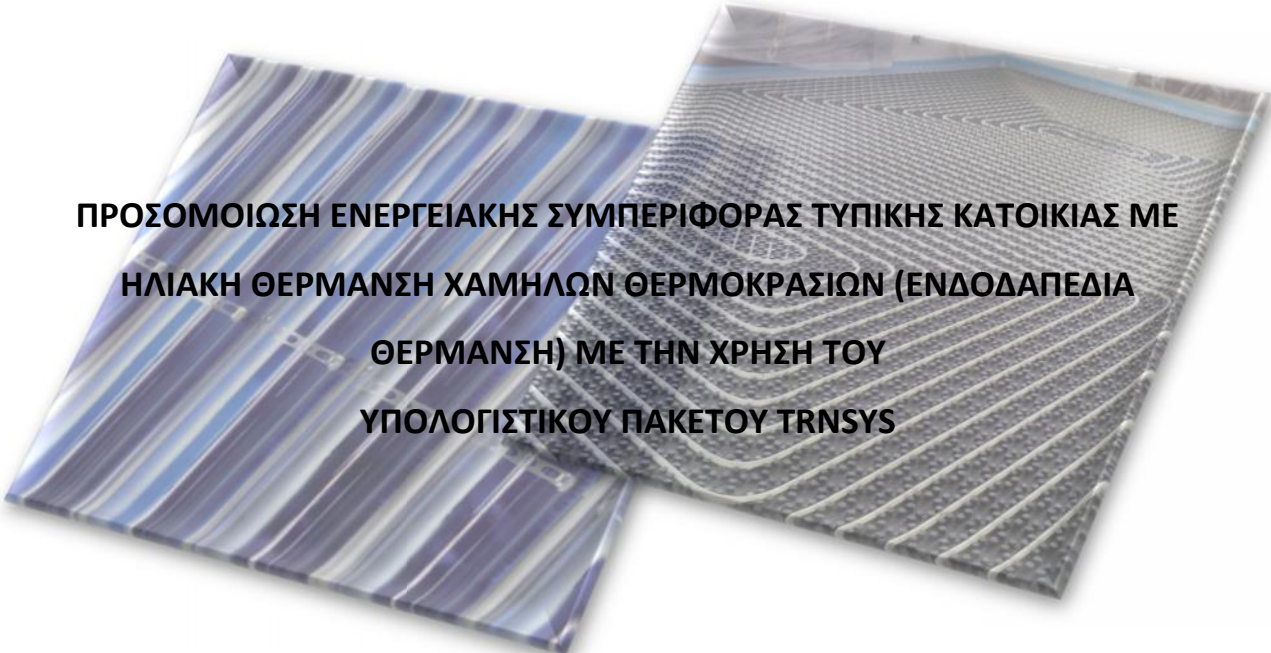


**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΤΖΙΒΑΝΙΔΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**



**ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΥΠΙΚΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΜΕ  
ΗΛΙΑΚΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΧΑΜΗΛΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ (ΕΝΔΟΔΑΠΕΔΙΑ  
ΘΕΡΜΑΝΣΗ) ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΠΑΚΕΤΟΥ TRNSYS**

**ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΠΡΑΣΣΑΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ**

**ΑΜ: 02104648**

**ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2014**

## Περιεχόμενα

1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	6
1.1.1 Από τη φωτιά στο τζάκι .....	7
1.1.2 Σημερινές επιδιώξεις .....	8
1.2 ΑΝΘΡΩΠΟΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ .....	9
1.2.1 Θερμοκρασία περιβάλλοντος και ανθρώπινη συμπεριφορά .....	12
1.2.2 Προδιαγραφές μιας εγκατάστασης θέρμανσης ή κλιματισμού για να επιτευχθεί κλιματική "άνεση" .....	14
1.2.3 Το κλίμα .....	16
1.2.3.1 Εξωκλίμα και εσωκλίμα .....	17
1.2.4 "Φορτία" που πρέπει να "αντιμετωπίσει" ο κλιματισμός.....	20
1.3 ΕΣΩΚΛΙΜΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΝΕΣΗ .....	21
1.3.1 ."Επιθυμητές" συνθήκες κλιματικής άνεσης.....	21
1.3.2. "Ιδανικές" συνθήκες θερμοκρασιακής άνεσης για χειμώνα και καλοκαίρι .....	21
2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΝΔΟΔΑΠΕΔΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ .....	24
2.1 Εισαγωγή.....	24
2.2 Υπόκαυστα .....	26
2.3 Η ενδοδαπέδια θέρμανση σήμερα.....	28
2.4 Περιγραφή της εγκατάστασης της ενδοδαπέδιας θέρμανσης .....	30
3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ - ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ.....	45
3.1 ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ .....	45
3.1.1 Εισαγωγή.....	45
3.1.2 Βασικές Έννοιες .....	47
3.1.3 Γεωμετρική σχέση Γης-Ήλιου. ....	50
3.1.4 Ηλιακή απόκλιση $\delta$ . ....	51
3.1.5 Ηλιακός χρόνος.....	52
3.2 ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ.....	61
3.2.1 Εισαγωγή.....	61
3.2.2 Είδη ηλιακών συλλεκτών .....	61

3.2.2.1 ΕΠΙΠΕΔΟΙ ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ .....	61
3.2.2.2 ΕΠΙΠΕΔΟΙ ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΕΠΙΛΕΚΤΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ .....	63
3.2.2.3 ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ (ΣΩΛΗΝΩΤΟΙ) ΚΕΝΟΥ .....	64
3.2.3 ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ .....	66
3.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ – ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ ΚΕΝΟΥ.....	67
3.4 ΠΑΘΗΤΙΚΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΗΛΙΟΥ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ ΚΕΝΟΥ .....	68
4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: TRNSYS.....	70
4.1 Εισαγωγή.....	70
4.2 ΣΤΟΥΝΤΙΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....	71
4.3 TRNBUILD .....	74
4.3.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΝΕΟΥ ΤΟΙΧΟΥ ΜΕ ΕΝΕΡΓΗ ΣΤΡΩΣΗ (ACTIVE LAYER) .....	83
4.3.2 Κεντρικό παράθυρο του προγράμματος TRNBuild .....	87
4.4 TRNEDIT .....	91
5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ .....	95
5.1 Μοντέλο 109 - ΑΝΑΓΝΩΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙΡΟΥ & ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ.....	95
5.2 Μοντέλο 56 - ΚΤΗΡΙΟ.....	97
5.3 Μοντέλο 1 - ΗΛΙΑΚΟΣ ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ.....	97
5.4 Μοντέλο 24 - ΠΟΣΟΤΙΚΟΣ ΟΛΟΚΛΗΡΩΤΗΣ.....	99
5.5 Μοντέλο 25 - ΕΚΤΥΠΩΤΗΣ.....	100
5.6 Μοντέλο 33 - ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΑ.....	101
5.7 Μοντέλο 2 - ΔΙΑΦΟΡΙΚΟΣ ΕΛΕΓΚΤΗΣ .....	102
5.8 Μοντέλο 65 - ONLINE ΕΚΤΥΠΩΤΗΣ .....	104
5.9 Μοντέλο 69 - ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΟΥΡΑΝΟΥ .....	105
5.10 Μοντέλο 3 - ΚΥΚΛΟΦΟΡΗΤΗΣ - ΑΝΤΛΙΑ .....	106
5.11 Μοντέλο 6 - ΒΟΗΘΗΤΙΚΗ ΠΗΓΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ .....	108
5.12 Μοντέλο 60 - ΔΟΧΕΙΟ ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΩΣΗΣ ΜΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ.....	110
5.13 Μοντέλο 11 - ΤΡΙΟΔΗ ΒΑΝΑ ΑΝΑΜΙΞΗΣ, ΤΡΙΟΔΗ ΒΑΝΑ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ, ΘΕΡΜΟΣΤΑΤΙΚΗ ΤΡΙΟΔΗ ΒΑΛΒΙΔΑ.....	119
6. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΣΕ ΕΝΔΟΔΑΠΕΔΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	125
6.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	125

6.1.1 Το πρωτεύον κύκλωμα .....	125
6.1.2 Το δευτερεύον κύκλωμα .....	128
6.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ .....	132
6.2.1 ΔΟΚΙΜΗ Νο 1 .....	132
6.2.2 ΔΟΚΙΜΗ Νο 2 .....	136
6.2.3 ΔΟΚΙΜΗ Νο 3 .....	140
6.2.4 ΔΟΚΙΜΗ Νο 4 .....	144
6.2.5 ΔΟΚΙΜΗ Νο 5 .....	148
6.2.6 ΔΟΚΙΜΗ Νο 6 .....	152
6.2.7 ΔΟΚΙΜΗ Νο 7 .....	155
6.3 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	159
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	162



**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**  
**ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

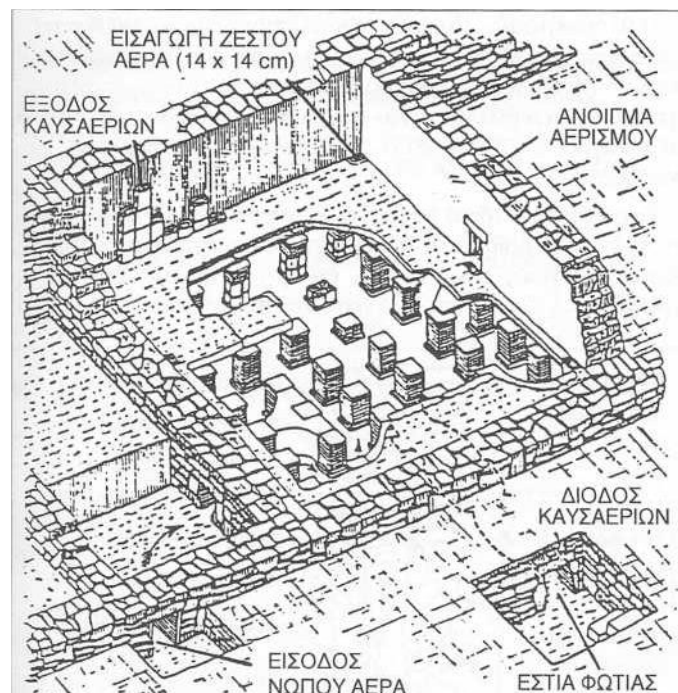
---

## 1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η προσπάθεια να προστατευθεί κάθε ζωντανός οργανισμός από ακραίες (και επομένως επικίνδυνες ή έστω ενοχλητικές) θερμοκρασιακές μεταβολές, είναι αναπόσπαστα συνδεδεμένη με τη φυσική - βιολογική προσπάθεια για επιβίωση. Γι' αυτό ο άνθρωπος, από τα πανάρχαια χρόνια προσπαθούσε να εξασφαλίσει μια ευχάριστη, ή έστω ανεκτή κατάσταση περιβάλλοντος, στους χώρους και τις περιοχές παραμονής, διαμονής και απασχολήσεώς του.

Η επιλογή περιοχών και χώρων εγκατάστασης των ανθρώπων, αλλά και η όλη οικονομική, κοινωνική, πολιτική και πολιτιστική διαμόρφωση της ζωής τους, είναι στενά συνδεδεμένη με το κλίμα και τις συνθήκες που επικράτησαν (και επικρατούν) στο άμεσο φυσικό περιβάλλον τους.



**Σχήμα 1.1.** Εντυπωσιακής εφευρετικότητας θέρμανση δαπέδου στην αρχαία Ρώμη. Με τη βοήθεια φυσικού ελκυσμού, καυσαέρια από την εστία φωτιάς κινούνται κάτω από το διπλού στρώματος δάπεδο και εξέρχονται από την καπνοδόχο (διαμετρικά του χώρου). Νωπός αέρας εισέρχεται μεταξύ των δύο στρώσεων του δαπέδου, θερμαίνεται από τα καυσαέρια (από κάτω) και θερμαίνει την άνω στρώση του δαπέδου. Διατρέχοντας διαγώνια τον χώρο, εξέρχεται από ειδικό άνοιγμα και διαχέεται στον χώρο, συμπληρώνοντας τη θέρμανσή του. Ειδικό άνοιγμα στο πλάι συμπληρώνει τη διαδικασία ανανέωσης του αέρα στον χώρο.

Ο ίδιος ο ανθρώπινος χαρακτήρας, και οι βασικές διαφορές ανάμεσα σε φυλές και κοινωνικές ομάδες, τις περισσότερες φορές σχετίζονται σημαντικά με το φυσικό

περιβάλλον.

Η σπηλιά του πρωτόγονου ανθρώπου, ήταν η πρώτη κατοικία που τον προστάτευε από την παγωνιά του χειμώνα και το θερινό καύσωνα. Στη συνέχεια η φωτιά, πηγή και αφετηρία του πολιτισμού αλλά και βασικός παράγοντας αναπτύξεώς του για πολλές χιλιάδες χρόνια, έδωσε την πρώτη δυνατότητα στον άνθρωπο να μεταβάλει, με δική του πρωτοβουλία και δράση, τη θερμοκρασία του άμεσου περιβάλλοντος του, διαφοροποιώντας την τεχνητά από τον υπόλοιπο περίγυρο.

Η φωτιά, η κατοικία και η θέρμανση (που αρκετά χρόνια αργότερα συμπληρώθηκε με εξαιρετικά ευφυείς μεθόδους δροσισμού), απετέλεσαν βασικά στοιχεία πολιτισμού και συνετέλεσαν σημαντικά στη διαφοροποίηση της ανθρώπινης συμπεριφοράς από αυτή των άλλων έμβιων όντων. Η ικανότητα του ανθρώπου να αντιμετωπίζει την περιστασιακά εχθρική φύση και μερικές φορές να την προσαρμόζει στις ανάγκες του, βασίστηκε στη νοημοσύνη και εφευρετικότητα του, καλλιέργησε τη γνώση και δημιούργησε τον πολιτισμό.

### 1.1.1 Από τη φωτιά στο τζάκι

Όταν η θερμοκρασία του χειμερινού περιβάλλοντος δημιουργούσε στον πρωτόγονο άνθρωπο σοβαρή "ενόχληση" (συχνά κίνδυνο για την επιβίωσή του), αναζητούσε έναν προστατευόμενο (υπήνεμο ή καλυμμένο χώρο) και άναβε μια φωτιά. Η φωτιά, που γρήγορα τη θεοποίησε, αφού μπορούσε να προστατεύει τη ζωή του από την παγωνιά (και παράλληλα να βελτιώσει την τροφή του), έγινε στη συνέχεια η "Εστία" (αγαπημένη θεά των Ελλήνων και των Ρωμαίων και με διάφορες παραλλαγές, ονόματα και συμβολισμούς, όλων των λαών).

Όταν, αρκετά αργότερα, ο άνθρωπος άρχισε να "κατασκευάζει" ή έστω να διαμορφώνει την κατοικία του<sup>[\*]</sup>, η περιοχή όπου άναβε η φωτιά (η βασική πηγή θερμότητας), αποτελούσε το χειμώνα το χώρο που συγκεντρωνόταν η φυλή, η "φάρα" και αργότερα η οικογένεια.

Οι πρώτες προσπάθειες για θέρμανση με στόχο την "άνεση", έγιναν αρκετά αργότερα και βαθμιαία, όταν και όπου το πρόβλημα της επιβίωσης στο ψυχρό περιβάλλον είχε πια ξεπεραστεί. Κάθε τόσο ο άνθρωπος είχε νέες απαιτήσεις και αυτό βέβαια είχε ως αποτέλεσμα αναζητήσεις και νέες βελτιώσεις, που οδήγησαν στα τζάκια, αλλά και εντυπωσιακά, πρωτοποριακής κατασκευής, πρωτόγονα συστήματα κεντρικής θέρμανσης.

Η οπή στην κορυφή της σπηλιάς που έδιωχνε έξω τον καπνό, ήταν μία από τις πρώτες επαναστατικές βελτιώσεις. Είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον, μελετώντας κανείς παλαιά συστήματα θέρμανσης, να διαπιστώνει ότι η ανθρώπινη εφευρετικότητα, όπως και σε τόσους άλλους τομείς, έφτασε κατά καιρούς σε εντυπωσιακές καινοτομίες, που πολλές φορές ξεπερνούσαν τις τεχνολογικές γνώσεις και δυνατότητες της εποχής.



### 1.1.2 Σημερινές επιδιώξεις

Σήμερα με την κεντρική θέρμανση των κτιρίων, επιδιώκεται να επιτευχθούν και να διατηρηθούν συνθήκες, που να ανταποκρίνονται με **πληρότητα, ασφάλεια, αξιοπιστία και προσιτό κόστος**, στις απαιτήσεις του ανθρώπου για **άνετη και υγιεινή** διαβίωση στους κλειστούς χώρους (παραμονής, διαμονής και εργασίας), έστω και αν στο εξωτερικό περιβάλλον επικρατούν χαμηλές χειμερινές θερμοκρασίες.

Με βάση τη θεωρία της θερμοδυναμικής ισορροπίας μπορούμε να πούμε ότι με τη θέρμανση, επιδιώκεται να επιτευχθεί μια λεπτή ισορροπία μεταξύ της φυσιολογικά αποβαλλόμενης θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα και της θερμότητας που το περιβάλλον δίνει στο σώμα, ακριβώς στα θερμοκρασιακά επίπεδα που χρειάζεται ή επιθυμεί ο άνθρωπος.

Η σύγχρονη τεχνολογία και οι οικονομικές δυνατότητες των ανθρώπων, έχουν διαμορφώσει ένα πολύπλευρο πλέγμα απαιτήσεων, οι οποίες πρέπει να καλυφθούν από κάθε σύστημα θέρμανσης και κλιματισμού. Κατ' αρχήν, η αναγκαία συνθήκη για την πλήρη κλιματική άνεση, περιλαμβάνει σήμερα τη θερμοκρασία και υγρασία των χώρων, την καθαρότητα, τον τρόπο και την ταχύτητα κίνησης του αέρα, την ένταση των θορύβων και το επίπεδο του φωτισμού, τη λειτουργικότητα και αισθητική των χώρων, τις ακτινοβολίες, τα χρώματα κ.ά.

Δηλαδή η άνεση (στην ευρεία της έννοια), περιλαμβάνει και τομείς που υπερβαίνουν κατά πολύ ακόμη και την καλύτερη εγκατάσταση κλιματισμού. Η αισθητική π.χ. του χώρου (έπιπλα, επενδύσεις, χρώματα, κ.λπ.) ή το επίπεδο φωτισμού και η προστασία από τους εξωτερικούς θορύβους, αποτελούν σημαντικά στοιχεία που συνδέονται με την ευρεία έννοια της άνεσης.

Εδώ αναφερόμαστε μόνο στα στοιχεία εκείνα της άνεσης που μπορούν να διαμορφωθούν με συστήματα θέρμανσης και κλιματισμού. Σε κάθε συγκεκριμένη κατασκευή (κτίρια, εγκαταστάσεις, χώροι), είναι φανερό ότι οι επιλογές των Μηχανικών (σχεδιαστών, μελετητών, κατασκευαστών), πρέπει να συνδυάζουν μια σειρά από επιθυμίες και στόχους των χρηστών, με τις εφικτές τεχνολογικές λύσεις, τα διαθέσιμα οικονομικά περιθώρια, την αναγκαία λειτουργικότητα και την ιδιαίτερα σημαντική ασφάλεια των ατόμων που χρησιμοποιούν τα κτίρια και χειρίζονται τον εξοπλισμό των εγκαταστάσεων.

## 1.2 ΑΝΘΡΩΠΟΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

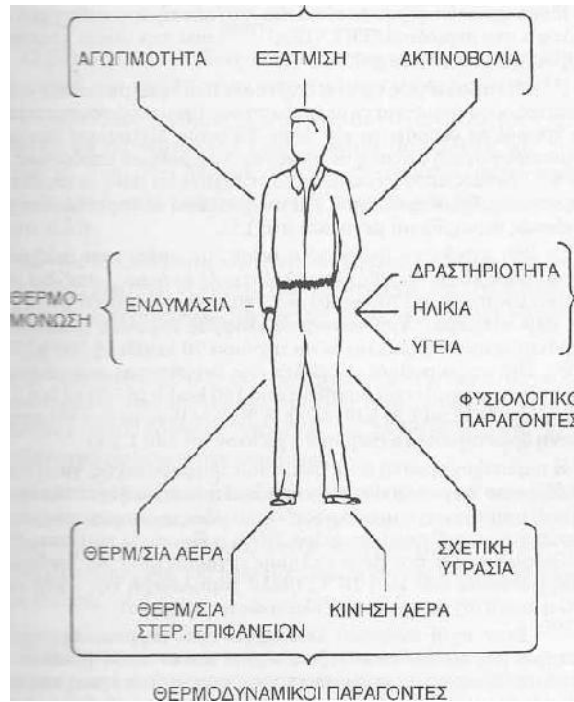
Στο ανθρώπινο σώμα βρίσκεται σε συνεχή εξέλιξη μια μεγάλη σειρά από πολύπλοκες φυσικές και χημικές διεργασίες. Όλες αυτές οι φυσικοχημικές δράσεις έχουν ως αφετηρία την καύση, δηλαδή την παραγωγή ενέργειας που βασίζεται στην επεξεργασία των τροφών. Η ενέργεια αυτή δαπανάται για τη συνολική διαδικασία ζωής και ανάπτυξης, την παραγωγή μηχανικού έργου (κίνηση και λειτουργία οργάνων) και τη διατήρηση της θερμοκρασίας του σώματος σε σχεδόν σταθερά επίπεδα (περίπου 37°C), σ' ένα περιβάλλον (εκτός ελαχίστων περιπτώσεων) χαμηλότερης θερμοκρασίας. Στη χώρα μας, 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 κυκλοφορικό 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.

Ρυθμιστικό ρόλο διαδραματίζει η ενδυμασία, η οποία δρα ως θερμομόνωση μικρής ισχύος, όταν έχουμε μια μικρή θερμοκρασιακή διαφορά περίπου 18°C, η οποία και συνδέεται με την αίσθηση της κλιματικής άνεσης. Η θερμομονωτική δράση των ενδυμάτων γίνεται ισχυρότερη (ζακέτα, σακάκι, παλτό), όταν αυξηθεί η θερμοκρασιακή διαφορά (π.χ. σε μη θερμαινόμενη περιοχή το χειμώνα).

## ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΟΣ ΣΤΟ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΣΩΜΑ



**Σχήμα 1.2.** Η απόρριψη της υπερβολικής θερμότητας στο ανθρώπινο σώμα γίνεται με αγωγιμότητα, εξάτμιση, και ακτινοβολία

Οι παράγοντες που επηρεάζουν ιδιαίτερα την αίσθηση "άνεσης", είναι η **θερμοκρασία** του αέρα και των στερεών επιφανειών κοντά στο ανθρώπινο σώμα, η σχετική **υγρασία**, η **καθαρότητα** και η **κίνηση** του αέρα.

Τα επιθυμητά επίπεδα "άνεσης" σχετίζονται, σε σημαντικό βαθμό, με υποκειμενικούς παράγοντες και επηρεάζονται από φυσιολογικά αίτια τα οποία εξαρτώνται από το κάθε άτομο και την κατάσταση, όπως η υγεία, η ηλικία και η δραστηριότητα που αναπτύσσει τη δεδομένη χρονική στιγμή.

Εξ αιτίας της θερμοκρασιακής διαφοράς σώματος και περιβάλλοντος, το ανθρώπινο σώμα αποτελεί ένα **θερμοπομπό**, ο οποίος εκπέμπει στο άμεσο περιβάλλον του **αισθητή** και **λανθάνουσα** θερμότητα. Τα ρούχα λειτουργούν σαν θερμικές αντιστάσεις (θερμομόνωση) και γι' αυτό γίνονται τόσο περισσότερα, όσο μεγαλώνει η θερμοκρασιακή διαφορά με το περιβάλλον.

Η αισθητή θερμότητα η οποία αποβάλλεται από το ανθρώπινο σώμα, απάγεται με αγωγή, μεταφορά και ακτινοβολία και συντελεί στην αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα των χώρων. Η εξάτμιση της υγρασίας των πνευμόνων, και της επιδερμίδας, οδηγεί παράλληλα σε αύξηση της απόλυτης υγρασίας του περιβάλλοντος αέρα, δηλαδή σε αύξηση της θερμοκρασίας υγρού θερμομέτρου (Υ.Θ. ή W.B.)

Σημαντικές έρευνες έχουν γίνει με στόχο να συσχετιστεί η βιολογική λειτουργία του

ανθρώπινου σώματος με την εν γένει δραστηριότητα του ανθρώπου και ειδικότερα την επαγγελματική του δραστηριότητα. Αφετηρία των σχετικών ερευνών είναι ότι με τον φυσικό μεταβολισμό (βιολογική διεργασία καύσεως θρεπτικών συστατικών τα οποία λαμβάνονται με την τροφή), παράγεται στο ανθρώπινο σώμα ποσό θερμικής ενέργειας, έστω **M**. Η ενέργεια αυτή παράγεται κατά την οξυγόνωση των θρεπτικών συστατικών των τροφών στα κύτταρα και με το κυκλοφορικό σύστημα μεταφέρεται και κατανέμεται, ανάλογα με τις ανάγκες, σε όλο το σώμα.

Μέρος αυτής της ενέργειας (**S**) καταναλώνεται από το σώμα για τη δραστηριοποίηση των οργάνων, την κίνηση, την παραγωγή έργου κ.λπ.

Ένα άλλο μέρος (**E**), αποβάλλεται με τη μορφή υδρατμών (ιδρώτας, εκπνοή), με ακτινοβολία (**R**) και με αγωγιμότητα (**C**) κατά την επαφή με αντικείμενα στερεά, ρευστά και τον αέρα του χώρου. Για τις μεταβολές αυτές ισχύει η σχέση:

$$M = \pm S + E \pm R \pm C$$

Δηλαδή η θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος αποτελεί μια δυναμική συνάρτηση με πολλές παραμέτρους.

Τα "θερμοδυναμικά" στοιχεία του ανθρώπινου σώματος (μέσες τιμές), παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον και ενδεικτικές τους τιμές δίδονται στον πίνακα 1.2.1.

Το ανθρώπινο σώμα αποδίδει θερμότητα με εξάτμιση υγρασίας από την επιφάνεια του δέρματος, χωρίς αυτό να γίνεται αντιληπτό από τον άνθρωπο. Εξατμίζει σε χαμηλές θερμοκρασίες (10 - 20°C) περίπου 40gH<sub>2</sub>O/h, που αυξάνεται πολύ στις υψηλότερες θερμοκρασίες.

Υπάρχει επομένως ένας πολύπλοκος μηχανισμός ρυθμίσεως, του οποίου το "κέντρο" βρίσκεται στον εγκέφαλο (στον υποθάλαμο). Συχνά αυτό το σύστημα δεν επαρκεί για να προσαρμόσει το ανθρώπινο σώμα κατά τρόπο, ώστε να μπορεί να αντιμετωπίσει όλες τις συνθήκες περιβάλλοντος. Έτσι ο άνθρωπος επιστράτευσε τη νοημοσύνη του, για να διαμορφώσει κατάλληλα κατά περίπτωση ενδύματα, αλλά και να βελτιώσει τεχνητά τις περιβαλλοντικές συνθήκες στους χώρους παραμονής του, είτε αυτοί αφορούν στην κατοικία του, είτε αφορούν στην εργασία του. Και τελικά επεδίωξε τη δημιουργία συνθηκών ευεξίας (ραστώνης, άνεσης) για τους χώρους αυτούς, που εκτός από τα χαρακτηριστικά της θερμοκρασίας συναρτώνται προς τις γενικότερες συνθήκες κλιματισμού, όπως είναι ακόμη η υγρασία, η καθαρότητα και η ταχύτητα κινήσεως του αέρα.

Αυτές οι συνθήκες ευεξίας εξαρτώνται πάντως κατ' αρχήν από τη θερμοκρασία του χώρου, αλλά όχι μόνον απ' αυτήν. Εξαρτώνται και από τις θερμοκρασίες των κατασκευών που οριοθετούν τον χώρο ή βρίσκονται μέσα σ' αυτόν, αφού με αυτές ανταλλάσσουν θερμότητα με ακτινοβολία.

Οι συνθήκες άνεσης (ή ευεξίας), εξαρτώνται επίσης από την καταπόνηση του ανθρώπινου μηχανισμού ρυθμίσεως της θερμοκρασίας, αλλά και το είδος, το μέγεθος και την επιφάνεια επίδρασης διαφόρων θερμικών ή ψυκτικών ερεθισμών. Και πρέπει να

σημειωθεί, ότι όλοι αυτοί οι ερεθισμοί και όταν έχουν το αυτό μέγεθος, δε δημιουργούν στον κάθε άνθρωπο όμοια αντίδραση, αφού σημαντικό ρόλο παίζουν οι διάφορες οργανικές εναλλακτικές δράσεις του. Γιατί κάθε άτομο αντιδρά κατ' άλλον τρόπο (σε στενά όρια) στις εξωτερικές επιδράσεις. Η ηλικία, το φύλο, η ένδυση κ.λπ., αποτελούν ουσιώδεις σχετικούς παράγοντες.

Μια άλλη εξαιρετικά χρήσιμη διαπίστωση είναι, ότι είναι διαφορετική η ενόχληση και η αξιολόγηση προβλημάτων που οφείλονται στις καιρικές συνθήκες και αντιμετωπίζονται ανάλογα με τον εθισμό του κάθε ατόμου σε κάποιας μορφής περιβάλλον. Ο άνθρωπος που έχει ζήσει πολλά χρόνια στο βουνό ή γενικά σε ψυχρά κλίματα, αντιμετωπίζει με διαφορετικό τρόπο κάποιες κλιματικές καταστάσεις, σε σχέση με την ανάλογη συμπεριφορά ανθρώπων που ζουν σε πεδιάδες, κοντά στη θάλασσα, ή γενικά σε περιοχή με ήπιο κλίμα.

Ο βασικός αυτός διαχωρισμός επηρεάζει π.χ. σημαντικά τη μορφή και την εν γένει κατασκευή των κατοικιών.

Οι αντίξοες (εχθρικές) καιρικές συνθήκες, οδηγούν στην ανάγκη να ικανοποιηθεί ένα αίσθημα ασφάλειας και προστασίας. Έτσι στα βόρεια κλίματα κατασκευάζονται κατοικίες με χοντρούς τοίχους, μικρά παράθυρα, βαριά κουφώματα κ.λπ.

Αντίθετα στο θερμό ή το ήπιο (εύκρατο) κλίμα, δημιουργείται μια ανάγκη δροσιάς, που οδηγεί σε απλές, ελαφρές, φωτεινές κατασκευές, "ανοικτές" προς το φιλικό περιβάλλον.

Οι διαπιστωμένες αυτές επιλογές αντικατοπτρίζουν ταυτόχρονα την ψυχολογία και τη συμπεριφορά των ανθρώπων που ζουν σε περιοχή με σκληρό ή ήπιο κλίμα αντίστοιχα (φυσική προσαρμογή).

Η καταλυτική αυτή επίδραση του φυσικού περιβάλλοντος στη συμπεριφορά των ανθρώπων, σχετίζεται άμεσα με μια σειρά από επιλογές που αναφέρονται στη μορφή της κατοικίας τους και τις προτιμήσεις τους ως προς την κλιματική άνεση.

### **1.2.1 Θερμοκρασία περιβάλλοντος και ανθρώπινη συμπεριφορά**

Από έρευνες έχει διαπιστωθεί ότι όσο ο χαρακτήρας του ανθρώπου επηρεάζεται μακροπρόθεσμα από το φυσικό περιβάλλον που ζει, άλλο τόσο η περιστασιακή συμπεριφορά του επηρεάζεται επίσης σημαντικά από τις θερμοκρασιακές μεταβολές και τα κλιματικά δεδομένα του άμεσου περιβάλλοντος του. Υπάρχουν μάλιστα και κάποια ακραία όρια, των οποίων η απότομη προσέγγιση υπερβαίνει την επίδραση στα συναισθήματα και τη διάθεση του ανθρώπου και γίνεται επικίνδυνη για την υγεία, όπως είναι π.χ. η παραμονή επί ικανό χρονικό διάστημα σε "σκληρές" συνθήκες θερμοκρασίας (τόσο υψηλής, όσο και χαμηλής).

Κατάλληλα ντυμένα άτομα, μπορούν π.χ. να διατηρήσουν την πνευματική τους διαύγεια και δραστηριότητα σε θερμοκρασίες μέχρι και  $-35^{\circ}\text{C}$ . Με σωστή προετοιμασία

(σοβαρή ενδυματολογική προστασία, επαρκή άσκηση και συστηματική προσαρμογή), έχει διαπιστωθεί ότι το όριο αυτό μπορεί να φθάσει μέχρι και τους  $-50^{\circ}\text{C}$ .

Οι υψηλές θερμοκρασίες του περιβάλλοντος, από την άλλη πλευρά, προκαλούν τοπικές αυξήσεις της θερμοκρασίας της επιδερμίδας και στη συνέχεια όλου του σώματος. Για τη διατήρηση της δραστηριότητας, οριακή θεωρείται η τιμή των  $40^{\circ}\text{C}$ . Στις υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, παρατηρούνται κατά σειρά: ισχυρή **εφίδρωση**, που αποτελεί φυσιολογική προσπάθεια αποβολής θερμότητας, "**θερμική αποβολή**", εμφάνιση σπασμών και τελικά "**θερμική προσβολή**".

Η "**θερμική αποβολή**" κατά την ιατρική ορολογία, αποτελεί κυκλοφορικής φύσεως ανωμαλία, κατά την οποία μειώνεται η ποσότητα του φλεβικού αίματος που επιστρέφει στην καρδιά, με αποτέλεσμα την εμφάνιση λιποθυμικών φαινομένων. Τα λιποθυμικά φαινόμενα προαναγγέλλονται με έντονο αίσθημα κούρασης, πονοκέφαλο, λιγγους, ανορεξία, αύξηση της ταχύτητας αναπνοής, αύξηση των σφυγμών σε επίπεδα ανώτερα των 150/min και γυάλισμα των ματιών. Αμέσως μόλις γίνουν αντιληπτές παρόμοιες προειδοποιήσεις, πρέπει το άτομο να ξαπλώσει αναπαυτικά σε δροσερό μέρος. Σε περιπτώσεις καρδιοπάθειας επιβάλλεται η κλήση ιατρού.

Το φαινόμενο εμφάνισης "σπασμών", αποτελεί τη δεύτερη φάση της επίδρασης υψηλών θερμοκρασιών στον άνθρωπο. Κατά τη φάση αυτή, παρατηρούνται εξαιρετικά οδυνηροί σπασμοί των μυών λόγω της υπερβολικής αποβολής αλάτων από τον οργανισμό κατά την ισχυρή εφίδρωση. Ως αντίδοτο, πρέπει να χορηγηθούν ειδικά αλατούχα χάπια και, εν ανάγκη, υδατικό διάλυμα μαγειρικού άλατος.

Το φαινόμενο της "**θερμικής προσβολής**" αποτελεί τη φυσική συνέχεια των προαναφερθέντων συμπτωμάτων. Εάν δε ληφθούν έγκαιρα και επαρκή μέτρα, η θερμοκρασία του σώματος φθάνει στους  $41^{\circ}\text{C}$ , σταματά η εφίδρωση και εμφανίζεται κώμα.

Είναι φανερό ότι η προσέγγιση των αναφερθέντων ακραίων καταστάσεων, είναι αδιανόητη υπό ομαλές συνθήκες και οι αναφορές γίνονται μόνο για ενημέρωση και για να προσδιορίσουν τα ακραία όρια της αντοχής και ικανότητας προσαρμογής του ανθρώπινου σώματος.

Σήμερα, στα πλαίσια των εγκαταστάσεων θέρμανσης και κλιματισμού, επιδιώκεται η εξασφάλιση συνθηκών κλιματικού περιβάλλοντος πολύ μακράν των ορίων που εγκυμονούν κίνδυνο για τη ζωή του ανθρώπου. Είναι μάλιστα ηθικά και νομικά απαράδεκτη η πιθανότητα να ζουν και να εργάζονται άνθρωποι σε συνθήκες ανθυγιεινές και ενοχλητικές. Για τους δημόσιους χώρους και τους χώρους επαγγελματικής εργασίας, ισχύουν ήδη αυστηρές διεθνείς προδιαγραφές και έχουν θεσμοθετηθεί ευθύνες και ποινές για τους εργοδότες και τους εκπροσώπους τους.

Αντιθέτως η επιστήμη και η τεχνολογία με τη βοήθεια της στατιστικής, αναζητούν πλέον εξειδικευμένες συνθήκες ευχάριστου περιβάλλοντος, κατάλληλες για κάθε ανθρώπινη κατάσταση και δραστηριότητα. Με ερωτηματολόγια, στατιστικές έρευνες, μετρήσεις, πειραματικές δοκιμές και μαθηματικές αναλύσεις, έχουν προσδιοριστεί τα επιθυμητά

(optimum) όρια θερμοκρασίας του περιβάλλοντος παραμονής, διαβίωσης και εργασίας ανθρώπων, ανάλογα με την εποχή του έτους, την ηλικία, το φύλο, το γεωγραφικό πλάτος και το πολιτιστικό και οικονομικό επίπεδο.

Η ισορροπία αυτή πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να εξασφαλίζει την άνετη παραμονή ή εργασία των ανθρώπων σ' ένα χώρο και να προάγει την ενεργητικότητά τους, τουλάχιστον όταν πρόκειται για χώρους εργασίας. Ο προσεκτικός αρχιτεκτονικός σχεδιασμός των κτιρίων, λαμβάνει υπ' όψη του τα περιβαλλοντικά δεδομένα, το σύστημα και την εγκατάσταση θέρμανσης (ή κλιματισμού) και προνοεί για προσανατολισμούς, ανοίγματα και άλλες κατασκευές, που διασφαλίζουν την ποιότητα και, κατά το δυνατόν, την καθαρότητα του αέρα που είναι αναγκαίος για την αναπνοή, ενώ παράλληλα διευκολύνουν την εργασία του μηχανικού που θα θερμάνει ή θα κλιματίσει το χώρο.

### 1.2.2 Προδιαγραφές μιας εγκατάστασης θέρμανσης ή κλιματισμού για να επιτευχθεί κλιματική "άνεση"

Με τις εγκαταστάσεις θέρμανσης και κλιματισμού, προσπαθούμε να προσεγγίσουμε τις συνθήκες της κλιματικής άνεσης.

Οι συνθήκες αυτές δεν αντιστοιχούν σε κάποιες απόλυτες τιμές, προκαθορισμένες για κάθε παράγοντα, αλλά βρίσκονται σε αλληλεξάρτηση και συσχετίζονται σε κάποια όρια. Ούτε άλλωστε οι υποκειμενικές προτιμήσεις των ανθρώπων ταυτίζονται.

Παρ' όλα αυτά είναι γνωστά κάποια όρια, όλων των παραπάνω παραγόντων σε διάφορους συνδυασμούς, που είναι αποδεκτά με υποκειμενικούς χαρακτηρισμούς της μορφής "**ανεκτό**", "**ικανοποιητικό**" ή "**ευχάριστο και άνετο**" περιβάλλον.

Ανάλογοι συνδυασμοί περιβαλλοντικών παραγόντων μπορούν να προσδιοριστούν για ζώα, φυτά και προϊόντα με στόχο τη δημιουργία συνθηκών που ευνοούν την ανάπτυξή τους ή τη συντήρησή τους. Αλλά ακόμη και για την οργανική και ανόργανη ύλη, μπορούν επίσης να καθοριστούν συνθήκες περιβάλλοντος, που ευνοούν ή αποκλείουν μεταβολές ή εξελίξεις.

Για να επανέλθουμε στον άνθρωπο, οι επιθυμητοί αυτοί συνδυασμοί περιβαλλοντικών στοιχείων που του εξασφαλίζουν (εξελικτικά) επιβίωση μέχρι και ευεξία, συνιστούν τις **συνθήκες άνεσης** που επιδιώκουμε να εξασφαλίσουμε με διάφορα μέσα (οικολογικά δομημένες κατοικίες, θέρμανση, δροσισμός, συστήματα καθαρισμού του αέρα, ηχομονωτικά χωρίσματα και άλλες δυνατότητες που θέτει η τεχνολογία στην υπηρεσία του πολιτισμού).

Πριν προσπαθήσουμε να προσδιορίσουμε τα στοιχεία και τους συνδυασμούς εκείνους που εξασφαλίζουν αίσθηση άνεσης στον άνθρωπο (ή ανταποκρίνονται σε άλλους στόχους όταν αναφέρονται σε ζώα, φυτά, προϊόντα κ.λπ.), πρέπει να αναλύσουμε τις έννοιες "κλίμα", "εσώκλιμα", "εξώκλιμα" κλπ., και να διερευνήσουμε τις ανάγκες και δυνατότητες σε κάθε περίπτωση. Ακόμη, επειδή όλες οι παραπάνω αναφορές γίνονται με

κεντρική αναφορά στη θέρμανση και τον κλιματισμό, θα χρειαστεί να υπενθυμίσουμε τους στόχους που έχει μια σχετική εγκατάσταση.

Στη συνέχεια αυτού του κεφαλαίου θα αναφερθούμε στο "μέγιστο", που είναι ο κλιματισμός, και αφαιρετικά θα προκύπτουν τα ανάλογα συμπεράσματα για τις εγκαταστάσεις θέρμανσης.

**Πίνακας 1.1.** ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ, ΥΓΡΑΣΙΑ ΚΑΙ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΡΟΗΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ, ΓΙΑ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΑ ΑΤΟΜΑ

ΕΙΔΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ			ΥΓΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ			ΤΑΧΥΤΗΤΑ
	(°C)			(%)			(m/s)
	min	Αριστη	max	min	Αριστη	max	max
Γραφείου	18	21	24	30	50	70	0,1
Ελαφριά καθιστική	18	20	24	30	50	70	0,1
Ελαφριά όρθια	17	18	22	30	50	70	0,2
Βαριά εργασία	15	17	21	30	50	70	0,4
Πολύ βαριά εργασία	14	16	20	30	50	70	0,5

Μια εγκατάσταση θέρμανσης ή κλιματισμού μπορεί να αναφέρεται σε κτίρια ή χώρους κατοικιών, γραφείων, εμπορίας, αναψυχής, καταστημάτων κ.λπ., οπότε είναι αποκλειστικά κλιματισμός "άνεσης", με στενή έννοια.

Όταν ο κλιματισμός προορίζεται για την εξυπηρέτηση στόχων της βιομηχανίας ή γενικότερα εργασιακών χώρων, μπορεί να έχει σαν άμεσο υποκείμενο τον άνθρωπο, την παραγωγική διαδικασία ή και τα δύο. Σε ένα βιομηχανικό χώρο π.χ., που επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες (π.χ. χυτήριο) ή υπάρχει κίνδυνος να εμφανιστούν επικίνδυνες συγκεντρώσεις τοξικών αερίων, ο κλιματισμός έχει σαν στόχο να επιτύχει ανεκτές συνθήκες (προστασία της υγείας των εργαζομένων) και όχι άνεση. Σε μια βιομηχανία τροφίμων εξ άλλου, είναι συχνό το φαινόμενο να επιδιώκεται ένας συνδυασμός περιβαλλοντικών συνθηκών που εξυπηρετεί την παραγωγική διαδικασία (π.χ. ζυμώσεις, επιτάχυνση ή επιβράδυνση χημικών και βιολογικών εξελίξεων), έστω και αν απομακρύνεται από τις συνθήκες ανέσεως για τους εργαζόμενους.

Μια άλλη κατηγορία βιομηχανικών κλιματισμών, παραβλέπει πλήρως τον παράγοντα άνθρωπο και υπηρετεί αποκλειστικά επιχειρηματικές σκοπιμότητες, που σχετίζονται με την προστασία και κυρίως τη συντήρηση ζωικών ή φυτικών ή βιομηχανικών αγαθών. Ο κλιματισμός αυτού του είδους συνήθως αναφέρεται σαν **ψύξη** και αποτελεί ένα ολόκληρο, ιδιαίτερα ενδιαφέρον κεφάλαιο, που έχει πολλά κοινά αλλά και πολλές διαφορές με τον ανθρωποκεντρικό κλιματισμό.



Σαν διαφορετική κατηγορία κλιματισμού συνηθίζεται να αναφέρεται και εκείνη που έχει σαν στόχο να υπηρετήσει τις ειδικές ανάγκες **νοσοκομείων** και **χειρουργείων**. Εδώ η άνεση πρέπει να συνδυάζεται με πολύ αυστηρές απαιτήσεις σε ό,τι αφορά την καθαρότητα του αέρα, την εξασφαλισμένη απομάκρυνση νοσογόνων μικροοργανισμών και την προσαρμογή στις ειδικές ανάγκες και απαιτήσεις ιατρικών επεμβάσεων και συνθηκών κατάλληλων για την ανάρρωση των ασθενών.

Σε όλες τις περιπτώσεις πάντως, ο κλιματισμός έχει να αντιμετωπίσει ένα "εχθρικό" εξωτερικό περιβάλλον, μια σειρά ανταγωνιστικών παραγόντων στο εσωτερικό και κάποιες συγκεκριμένες κατά περίπτωση απαιτήσεις, που σχετίζονται με το **επιθυμητό** κλιματικό περιβάλλον του χώρου.

### 1.2.3 Το κλίμα

Με τον όρο **κλίμα** χαρακτηρίζεται το σύνολο μιας σειράς περιβαλλοντικών στοιχείων, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η ταχύτητα και η κατεύθυνση μετακίνησης του αέρα, η σύνθεση του αέρα (αναλογία αερίων, παρουσία προσμείξεων και ατμών αλλά και στερεών ή υγρών αιωρημάτων). Με αφετηρία αυτό το γενικό ορισμό, κάθε περιοχή και κάθε χώρος παρουσιάζουν κάποιο "κλίμα", σε κάθε χρονική στιγμή. Στο φυσικό περιβάλλον το "κλίμα" είναι μεταβλητό, εξαρτώμενο από τη γεωγραφική περιοχή, την εποχή του έτους, τη χρονική στιγμή του ημερήσιου κύκλου (ώρα της ημέρας) και συγκυρίες που σχετίζονται βασικά με τις μετακινήσεις θερμών ή ψυχρών αερίων μαζών στην επιφάνεια του πλανήτη μας, αλλά και πολλούς άλλους φυσικούς και τεχνητούς (συχνά ανθρωπογενείς) παράγοντες.

Το φυσικό κλίμα αναφέρεται συνήθως σε εκτεταμένες γεωγραφικές περιοχές. Όμως ακόμη και όταν αναφέρεται σε μικρές περιοχές (π.χ. τοποθεσίες), πάλι παρουσιάζει αισθητές αυξομειώσεις, στη διάρκεια του έτους, της ημέρας κ.λπ., λόγω της αλληλεπίδρασης φυσικών ή τεχνητών παραγόντων. Σ' ένα λόφο π.χ., η ταχύτητα (και γενικά η περιβαλλοντική επίδραση) του ανέμου, διαφέρει σε μια θέση που προσβάλλεται άμεσα, σε σύγκριση με μια περιοχή που προστατεύεται από τον ίδιο τον όγκο του λόφου.

Παρά τις μικροδιαφορές όμως αυτές, μπορούμε να αναφερόμαστε στο κλίμα μιας ευρύτερης περιοχής, με την αποδοχή μιας **μέσης** ή μιας **μεγίστης** ή μιας **ελάχιστης** ή μιας **πιθανής** συμβατικής τιμής κάποιων παραμέτρων, που θα δεχτούμε ότι χαρακτηρίζουν το κλίμα.

Η τιμή αυτή των κύριων χαρακτηριστικών του κλίματος (θερμοκρασία, υγρασία, κατεύθυνση και ταχύτητα του ανέμου "ποιότητα" του αέρα), μπορεί να αναφέρεται σε μια χαρακτηριστική χρονική στιγμή (π.χ. 12η μεσημβρινή) ή να είναι μια μέση τιμή 24ώρου ή να έχει επιλεγεί με βάση μια οποιαδήποτε ευρύτερα αποδεκτή και προσυμφωνημένη διαδικασία. Η ομάδα αυτών των τιμών (στις οποίες μπορούν να προστεθούν και άλλες τιμές και πληροφορίες που θα χαρακτηρίζουν ένα περιβάλλον), είναι ιδιαίτερα χρήσιμη

όταν θέλουμε να εξετάσουμε τις επιπτώσεις που μπορεί να έχει το σχετικό περιβάλλον σε ένα έμβιο ή μη οργανισμό ή προϊόν ή υλικό ή μηχανισμό, που θα εκτεθεί στην επίδρασή τους.

### 1.2.3.1 Εξωκλίμα και εσωκλίμα

Το κλίμα του ανοικτού (ελεύθερου από τοιχώματα) περιβάλλοντος, ονομάζουμε συνήθως "**ΕΞΩΚΛΙΜΑ**", σε αντιδιαστολή με το κλίμα προστατευμένων ή συνηθέστερα κλειστών χώρων, που ονομάζουμε "**ΕΣΩΚΛΙΜΑ**".

Το κλίμα των εσωτερικών χώρων (εσωκλίμα) διαμορφώνεται με αφετηρία τις συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος, την αποτελεσματικότητα της προστασίας που εξασφαλίζει το κέλυφος του χώρου και την επίδραση εσωτερικών παραγόντων και δράσεων.

Η εξάρτηση του εσωκλίματος από το εξώκλιμα ξεκινά από τη θέση του κτίσματος, τη θέση του χώρου στο συνολικό κτίσμα και ακριβέστερα το βαθμό και την αμεσότητα έκθεσης του χώρου και του κτιρίου στις περιβαλλοντικές μεταβολές. Ο προσανατολισμός π.χ. του κτιρίου (και ειδικότερα του εξεταζόμενου χώρου), προκαθορίζει το είδος των ανέμων που θα προσβάλλουν τα εξωτερικά τοιχώματα, αλλά και την ποσότητα και τη χρονική διάρκεια πρόσπτωσης ηλιακής ακτινοβολίας.

Τα κατασκευαστικά (δομικά και αρχιτεκτονικά) στοιχεία του χώρου (τοιχώματα, ανοίγματα, διάφορες κατασκευές) και η "ποιότητα" απομόνωσης του χώρου, είναι ουσιαστικοί παράγοντες που οριοθετούν άμεσα την επιρροή του εξωκλίματος στο εσωκλίμα. Το πόσο πολύπλοκο είναι οι παράγοντες που καθορίζουν το βαθμό εξάρτησης του εσωκλίματος από το εξώκλιμα, φαίνεται καθαρά αν αναφερθεί εδώ ότι ακόμη και το χρώμα της εξωτερικής επιφάνειας του κελύφους, έχει άμεση σχέση με την ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που παραλαμβάνεται από το τοίχωμα και επομένως (κάποιο ποσοστό της), θα καταλήξει στον εσωτερικό χώρο.

Η "ποιότητα" απομόνωσης του χώρου εξαρτάται τόσο από τη θερμομονωτική, θερμοαπορροφητική και θερμοαποθηκευτική ικανότητα των τοιχωμάτων και ανοιγμάτων, όσο και από άλλα στοιχεία όπως ο βαθμός άμεσης επικοινωνίας εσωτερικού χώρου και εξωτερικού περιβάλλοντος (ανοικτά κουφώματα, χαραμάδες), τη συγκεκριμένη χρήση και το υλικοτεχνικό περιεχόμενο του χώρου (έπιπλα, συσκευές, μηχανήματα, ειδικός εξοπλισμός), το είδος, τη δραστηριότητα και την ποσότητα ζωντανών οργανισμών ή άλλων παραγόντων, τις επεμβάσεις και τις επιπτώσεις της τεχνολογίας (π.χ. ποιότητα κουφωμάτων).

Μια πρόχειρη ή κακότεχνη κατασκευή με "αδύνατα" ή ευθερμαγωγά τοιχώματα και ανοικτά (για λειτουργικούς ίσως λόγους) κουφώματα, ή ύπαρξη χαραμάδων ή διόδων άμεσης επικοινωνίας με τον εξωτερικό αέρα, είναι φανερό ότι υφίσταται την άμεση εξάρτηση του εσωκλίματος της από το εξώκλιμα. Αντίθετα, ένας υπόγειος ή ένας εσωτερι-

κός χώρος ή ένας χώρος με ισχυρή θερμομόνωση και ασήμαντη αεροδιαπερατότητα, διαθέτει σε σημαντικό βαθμό αυτονομία από το εξώκλιμα. Αν μάλιστα ένας εσωτερικός χώρος κλιματίζεται, όπως θα εξεταστεί στη συνέχεια, είναι δυνατόν το εσωκλιμα να διαθέτει προκαθορισμένα χαρακτηριστικά, με ελάχιστη διακύμανση τιμών, που και αυτή μπορεί να προκαθορισθεί.

Πριν όμως φθάσουμε στον κλιματισμό, που αποτελεί τεχνητή και ηθελημένη διαμόρφωση του εσωκλίματος, πρέπει να εξεταστούν, ποιοτικά στην αρχή και στη συνέχεια και ποσοτικά, οι παράγοντες που σχετίζονται με το εξώκλιμα και το κέλυφος και επιδρούν στο εσωκλιμα, αλλά και ανάλογης σημασίας στοιχεία του χώρου (χρήση, δραστηριότητες, εξοπλισμός, κ.λπ.).

Σύμφωνα με όσα έχουν ήδη αναφερθεί, αλλά και μερικές αυτονόητες εμπειρικές παρατηρήσεις:

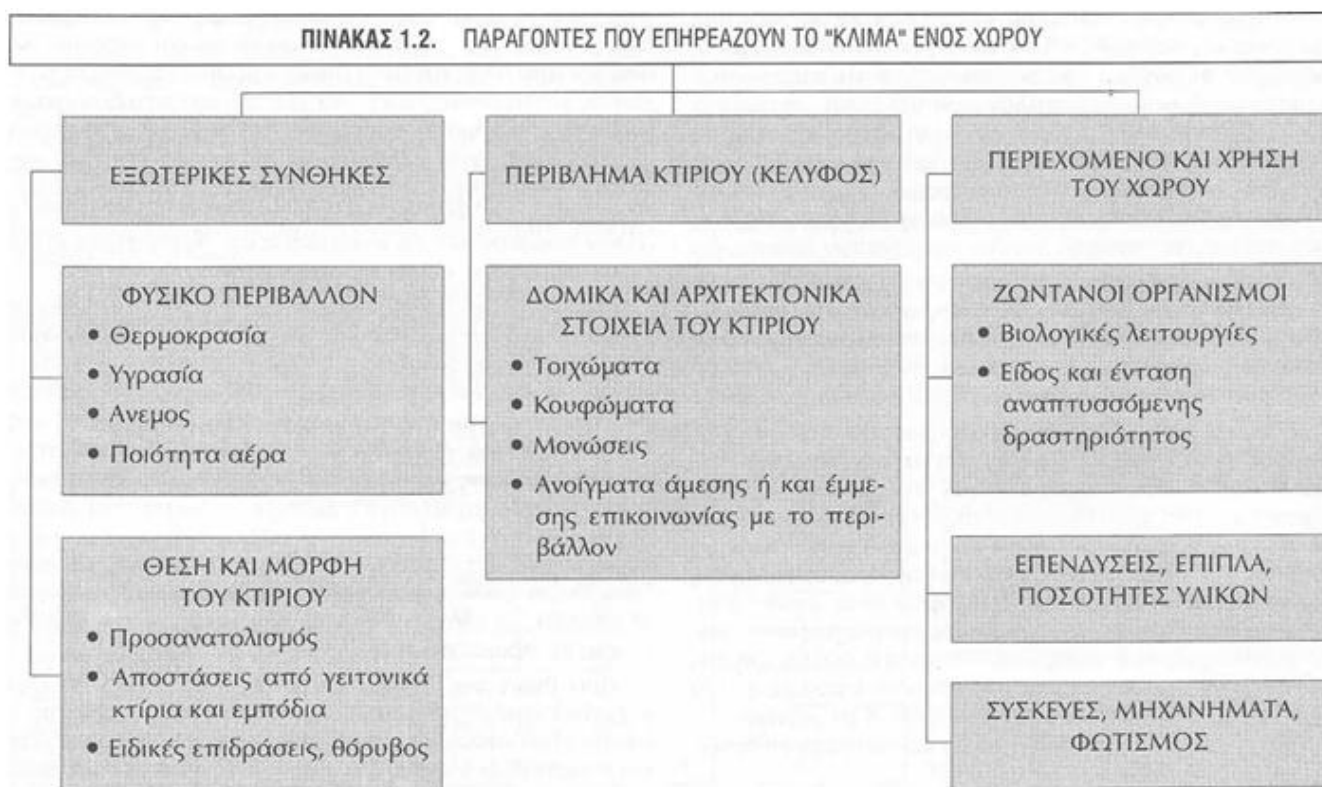
**α.** Το εξωτερικό περιβάλλον παρουσιάζει σημαντικές μεταβολές, τόσο εποχιακά όσο και κατά τη διάρκεια ενός 24ώρου, σε παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, ο φωτισμός, η ταχύτητα και η κατεύθυνση ροής του αέρα, οι ακτινοβολίες (ηλιακή, κοσμική, ραδονίου, κ.λπ.), κ.ά. Ειδικά για το εσωκλιμα παρουσιάζει σημαντικό ενδιαφέρον ο φυσικός προσανατολισμός του χώρου, καθώς και η θέση του ως προς τους ανέμους.

Συχνά στους εξωτερικούς παράγοντες που επιδρούν τελικά και στο εσωκλιμα, πρέπει να συνυπολογιστούν και αιτίες που σχετίζονται με θετικές ή αρνητικές επιπτώσεις της τεχνολογίας. Όταν π.χ. επιδιώκονται συνθήκες άνεσης, η κακή "ποιότητα" του αέρα των πόλεων, η αυξημένη ρύπανση από παρακείμενο εργοστάσιο ή η ηχορύπανση από την κυκλοφορία οχημάτων ή παραγωγικές εργασίες (βιομηχανίες, βιοτεχνίες, εργοτάξια κ.λπ.), πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπ' όψη.

**β.** Τα **κατασκευαστικά** δεδομένα του κελύφους που επιτρέπουν επιδράσεις στο εσωκλιμα, σχετίζονται με την ποιότητα και τη θερμομονωτική, θερμοαπορροφητική, θερμοσυσσωρευτική και ηχομονωτική ικανότητα των τοιχωμάτων και κουφωμάτων, την προσπίπτουσα άμεση και έμμεση ηλιακή ακτινοβολία, την ύπαρξη διόδων κυκλοφορίας αερίων ρευμάτων κ.ά.

**γ.** Το "**περιεχόμενο**" του χώρου σε έμβιους οργανισμούς και υλικά, αντικείμενα και εξοπλισμό, διαδραματίζει ουσιαστικό ρόλο. Η παρουσία π.χ. ανθρώπων και γενικότερα ζώντων οργανισμών, επιβαρύνει το περιβάλλον με θερμικά φορτία, αέρια και υγρασία εκπνοής, οσμές κ.ά. Εξ άλλου τα αντικείμενα, τα υλικά και οι ουσίες που βρίσκονται στον χώρο, μπορούν να προσθέτουν (άλλοτε με μεγάλη βραδύτητα και πρακτικά αμελητέα ποσότητα κι' άλλοτε σε ιδιαίτερα σημαντικό επίπεδο) θερμότητα, αναθυμιάσεις, ατμούς, οσμές κ.ά. Ο εξοπλισμός του χώρου (φωτισμός, οικιακές ή άλλες συσκευές, μηχανήματα και παραγωγικές μονάδες), είναι παράγοντας (άλλοτε επουσιώδους και άλλοτε καθοριστικής σημασίας) για την προσπάθεια διαμόρφωσης επιθυμητού εσωκλίματος.

**δ.** Η **χρήση** κάθε χώρου αποτελεί καθοριστικό παράγοντα, τόσο για την επιλογή των επιθυμητών συνθηκών εσωκλίματος, όσο και για την ποσοτική εκτίμηση των "φορτίων" που πρέπει να αντιμετωπίσει η εγκατάσταση κλιματισμού.



Η παρουσία ζωντανών οργανισμών στον χώρο έχει σαν άμεση και αναπότρεπτη συνέπεια, την ανάγκη να εξασφαλιστεί επαρκής και δεδομένης ποιότητας αέρα (με περίπου σταθερή περιεκτικότητα σε οξυγόνο), για να διασφαλιστεί η συνέχεια της ζωής. Η παραπάνω επιταγή που επιτυγχανόταν παλιότερα (στα συνήθη τουλάχιστον κτίρια κατοικιών ή εργασίας) χωρίς ιδιαίτερη προσπάθεια (φυσικός αερισμός των χώρων από τις χαραμάδες και τα ανοίγματα), δεν είναι πλέον σήμερα αυτονόητη, ούτε τόσο απλή. Σε υπόγειους ή από παντού κλειστούς ή σε κλιματιζόμενους χώρους (στους οποίους συνειδητά επιδιώκεται η μείωση της ποσότητας αέρα που εισέρχεται ή εξέρχεται από τον χώρο από ανοίγματα και χαραμάδες), πρέπει να αντιμετωπίζεται με προσοχή το θέμα της "ποιότητας" του αέρα και η ανάγκη ανανέωσης του (με "νωπό" αέρα από το περιβάλλον) ή της τεχνητής βελτίωσης του.

Για να εκτιμηθούν οι παράγοντες που επιδρούν και μεταβάλλουν την ποιότητα του αέρα των κλειστών χώρων, θα χρειαστεί να επισημάνουμε και να εξετάσουμε τις βασικές βιολογικές ή άλλες λειτουργίες που πρέπει να συντηρηθούν ή να εξυπηρετηθούν και να αναλύσουμε την επίδρασή τους στο εσώκλιμα.

Παρόμοια εξέταση και ανάλυση είναι αναγκαία σε βιομηχανικούς χώρους, όπου συχνά εξελίσσονται φυσικοχημικές δράσεις ή έχουν αποθηκευτεί ουσίες, προϊόντα ή υλικά που "αναπνέουν".

Το εσώκλιμα ακόμη επηρεάζεται από την παρουσία σωμάτων μεγάλης θερμοχωρητικότητας, από την ανακλαστικότητα των επιφανειών, τα φυσικά ή τεχνητά

ρεύματα αέρα, από τις επενδύσεις και τα χρώματα των τοιχωμάτων, από τα ποσά θερμότητας που προκύπτουν από τη λειτουργία συσκευών, μηχανημάτων, φωτισμού κ.ά.

#### **1.2.4 "Φορτία" που πρέπει να "αντιμετωπίσει" ο κλιματισμός**

Με τον κλιματισμό, όπως ήδη αναφέραμε, επιδιώκουμε την προσαρμογή του εσωκλίματος σε προκαθορισμένα πρότυπα. Την αντιμετώπιση των παραγόντων εκείνων που αντιδρούν σ' αυτή την προσαρμογή, αναλαμβάνει η όλη κλιματιστική εγκατάσταση και είναι φανερό ότι χρειάζεται να καταβληθεί κάποιο κόστος (συνήθως σε ενέργεια), το οποίο είναι τόσο μεγαλύτερο, όσο περισσότερο σοβαρές επεμβάσεις και μεταβολές πρέπει να πραγματοποιηθούν. Η κλιματιστική δηλαδή εγκατάσταση καλείται να αντιμετωπίσει κάποια "φορτία", τα οποία μπορεί να είναι πολύ μικρότερα, αν έγκαιρα έχουν γίνει προβλέψεις και διορθωτικές παρεμβάσεις σε συνεργασία με τον αρχιτέκτονα, τον κατασκευαστή και τον χρήστη.

Οι αναγκαίες προβλέψεις και προσαρμογές, θα πρέπει να προκύπτουν από οικονομοτεχνικό συσχετισμό των δομικών και αρχιτεκτονικών κατασκευών που χρειάζονται, με τη λειτουργικότητα του χώρου και την καλύτερη προσέγγιση του επιθυμητού εσωκλίματος, με λογικό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας του συστήματος. Ειδικότερα η προσπάθεια προσαρμογής του εσωκλίματος σε επιθυμητά και προκαθορισμένα πρότυπα, συνεπάγεται:

**α.** Προσεκτική οριοθέτηση των επιθυμητών συνθηκών εσωκλίματος και καθορισμό ανεκτών ορίων απόκλισης τους, με κριτήρια τη χρήση του χώρου και την επίδραση των αποκλίσεων στο επιθυμητό αποτέλεσμα.

**β.** Επιλογή και ποσοτική εκτίμηση των αναγκαίων αρχικών κατασκευαστικών εργασιών και δαπανών, μετά από οικονομοτεχνική ανάλυση (με αφετηρία μια σωστή μελέτη), με στόχο να περιοριστεί η επίδραση των εξωτερικών παραγόντων που αποτελούν εμπόδιο στη δημιουργία του επιθυμητού εσωκλίματος.

**γ.** Περιορισμό των "φορτίων" στο εσωτερικό του χώρου με επεμβάσεις στο κέλυφος, το περιεχόμενο και τις δευτερεύουσες λειτουργίες του χώρου.

**δ.** Επιλογή και εγκατάσταση μηχανημάτων, συσκευών, διατάξεων κ.λπ., που έχουν τη δυνατότητα να επιτύχουν και να διατηρήσουν το επιθυμητό εσωκλίμα, με επαρκή αξιοπιστία και λογικό κόστος.

## 1.3 ΕΣΩΚΛΙΜΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΝΕΣΗ

### 1.3.1 "Επιθυμητές" συνθήκες κλιματικής άνεσης

Η "άνεση" που αναφέρεται σε ανθρώπους εμπεριέχει πολλά υποκειμενικά στοιχεία, που μερικά θα αναλυθούν στη συνέχεια. Πρέπει όμως έγκαιρα να επισημανθεί η διάκριση ανάμεσα στις "ιδανικές", "επιθυμητές", και "εφικτές" συνθήκες άνεσης.

- **"Ιδανικές"** συνθήκες ανέσεως είναι εκείνες που ικανοποιούν κατά άριστο τρόπο το σύνολο των κλιματικών απαιτήσεων του χώρου και προσαρμόζονται κατά ιδανικό τρόπο στις επιθυμίες και τους στόχους των χρηστών.
- **"Επιθυμητές"** είναι οι συνθήκες άνεσης που επιλέγονται για ένα χώρο και προσεγγίζουν σε ικανοποιητικό βαθμό τις ιδανικές συνθήκες άνεσης, χωρίς όμως να παραγνωρίζουν λογικούς παράγοντες κόστους και τεχνολογικών δυνατοτήτων.
- **"Εφικτές"** είναι οι τελικές συνθήκες περιβάλλοντος που επιτυγχάνονται από μια συγκεκριμένη εγκατάσταση που λειτουργεί με αποδεκτά τεχνοοικονομικά δεδομένα, σε συγκεκριμένες (πραγματικές) συνθήκες εξωκλίματος.

Δηλαδή για κάθε χώρο μπορούν να προσδιοριστούν κάποιες "ιδανικές" συνθήκες ανέσεως, που θα προσαρμοστούν ρεαλιστικά για να προκύψουν οι "επιθυμητές". Οι επιθυμητές συνθήκες ανέσεως θα αποτελέσουν την αφετηρία όλων των τεχνικών υπολογισμών σε συνδυασμό με τις "πιθανές μέσες δυσμενέστερες" τιμές του εξωκλίματος. Η τελική εγκατάσταση σε κάθε στιγμή της πραγματικής λειτουργίας της (με δεδομένες συνθήκες - τιμές όλων των σχετικών παραγόντων), θα διαμορφώνει μια πραγματική ("εφικτή") κατάσταση εσωκλίματος.

Για να γίνουν σωστές επιλογές και κυρίως για να μεταβούμε από τις ιδανικές στις επιθυμητές συνθήκες, πρέπει ακόμη να είναι γνωστές οι επιπτώσεις της απομακρύνσεως από κάποια όρια και ακόμη οι επιπτώσεις των αναπόφευκτων διακυμάνσεων.

Για την ανάπτυξη ενός φυτού π.χ., πρέπει να προσδιοριστούν κάποια όρια θερμοκρασίας, υγρασίας κ.λπ., που επιταχύνουν τις επιθυμητές διεργασίες ή βελτιώνουν την απόδοση και να συσχετιστούν τα προκύπτοντα τεχνικά και οικονομικά προβλήματα με το αναμενόμενο αποτέλεσμα (οικονομοτεχνικός συσχετισμός). Είναι φανερό ότι μια τέτοια εργασία μπορεί να βασιστεί σε εμπειρίες, πληροφορίες και στατιστικά δεδομένα ή ακόμη και σε ειδική ερευνητική εργασία (σε εξειδικευμένες και σοβαρές περιπτώσεις).

### 1.3.2 "Ιδανικές" συνθήκες θερμοκρασιακής άνεσης για χειμώνα και καλοκαίρι

Οι "ιδανικές" συνθήκες άνεσης ανταποκρίνονται στις στατιστικά διαπιστωμένες προτιμήσεις μεγάλου αριθμού ανθρώπων.

Οι τιμές των πινάκων που ακολουθούν, βασίζονται σε έγκυρες πηγές και αποτελούν πολύτιμα βοηθήματα για τον μελετητή. Σε πολλές περιπτώσεις οι πίνακες παρουσιάζουν αποκλίσεις. Στις περιπτώσεις αυτές ο μελετητής μπορεί να ακολουθήσει τον Κ.Θ.Κ (Κανονισμό Θερμομόνωσης Κτιρίων) ή κάποια Τ.Ο.ΤΕΕ (Τεχνική Οδηγία ΤΕΕ) ή να αποφασίσει (αιτιολογημένα) να βασιστεί σε κάποια άλλη έγκυρη πηγή.

Οι τιμές του Πίνακα 1.3 βασίζονται σε εμπειριστατωμένη έρευνα της ASHRAE που απευθύνθηκε σε μεγάλο αριθμό ατόμων διαφόρων ηλικιών και κοινωνικών βαθμίδων, σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές, μεγάλης ποικιλία κλιματολογικών χαρακτηριστικών.

Η έρευνα αυτή ασχολήθηκε μόνο με τη θερμοκρασία και υγρασία. **Δεν** έλαβε υπ' όψη της οικονομικά στοιχεία (άλλωστε έγινε πριν από την ενεργειακή κρίση του 1973) και είχε σαν μοναδικό στόχο να διερευνήσει ποιές είναι οι υποκειμενικές "ιδανικές" συνθήκες άνεσης.

Από τα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν έγιναν μερικές βασικές παρατηρήσεις και συντάχθηκε (μετά από στατιστική επεξεργασία) ο Πίνακας 1.3

	/ ( °C)	(%)	/ ( °C)	/ ( °C)	(%)	/ ( °C)	(%)	
, , μ , ,	23-24	30-35	24-25	25+26	45-50	23-24	45-50	
( , ), μ	22-23	30-35	23-24	26-27	45-50	25-26	45-50	
, μ , , ,	22-23	35-40	23-24	26-27	50-60	25-26	50-55	
μ	20-22	30-35	21-23	27-30	45-55	25-26	45-55	

**Πίνακας 1.3. ΙΔΑΝΙΚΕΣ" ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΝΕΣΕΩΣ ΓΙΑ ΧΕΙΜΩΝΑ ΚΑΙ ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ (ASHRAE)**

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

### **ΕΝΔΟΔΑΠΕΔΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ**

---



## 2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΝΔΟΔΑΠΕΔΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ

### 2.1 Εισαγωγή

Η ενδοδαπέδια θέρμανση είναι μία μορφή κεντρικής θέρμανσης η οποία επιτυγχάνει έλεγχο του έσω κλίματος για θερμική άνεση χρησιμοποιώντας αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία. Ο όρος *radiantheating* χρησιμοποιείται συνήθως για να περιγράψει αυτή την προσέγγιση, επειδή η ακτινοβολία είναι υπεύθυνη για ένα σημαντικό ποσοστό του αποτελέσματος της θερμικής άνεσης. Σαν όρος είναι τεχνικά σωστός όταν η ακτινοβολία αποτελεί μεγαλύτερο ποσοστό από το 50% της θερμικής συναλλαγής μεταξύ του δαπέδου και υπόλοιπου χώρου.

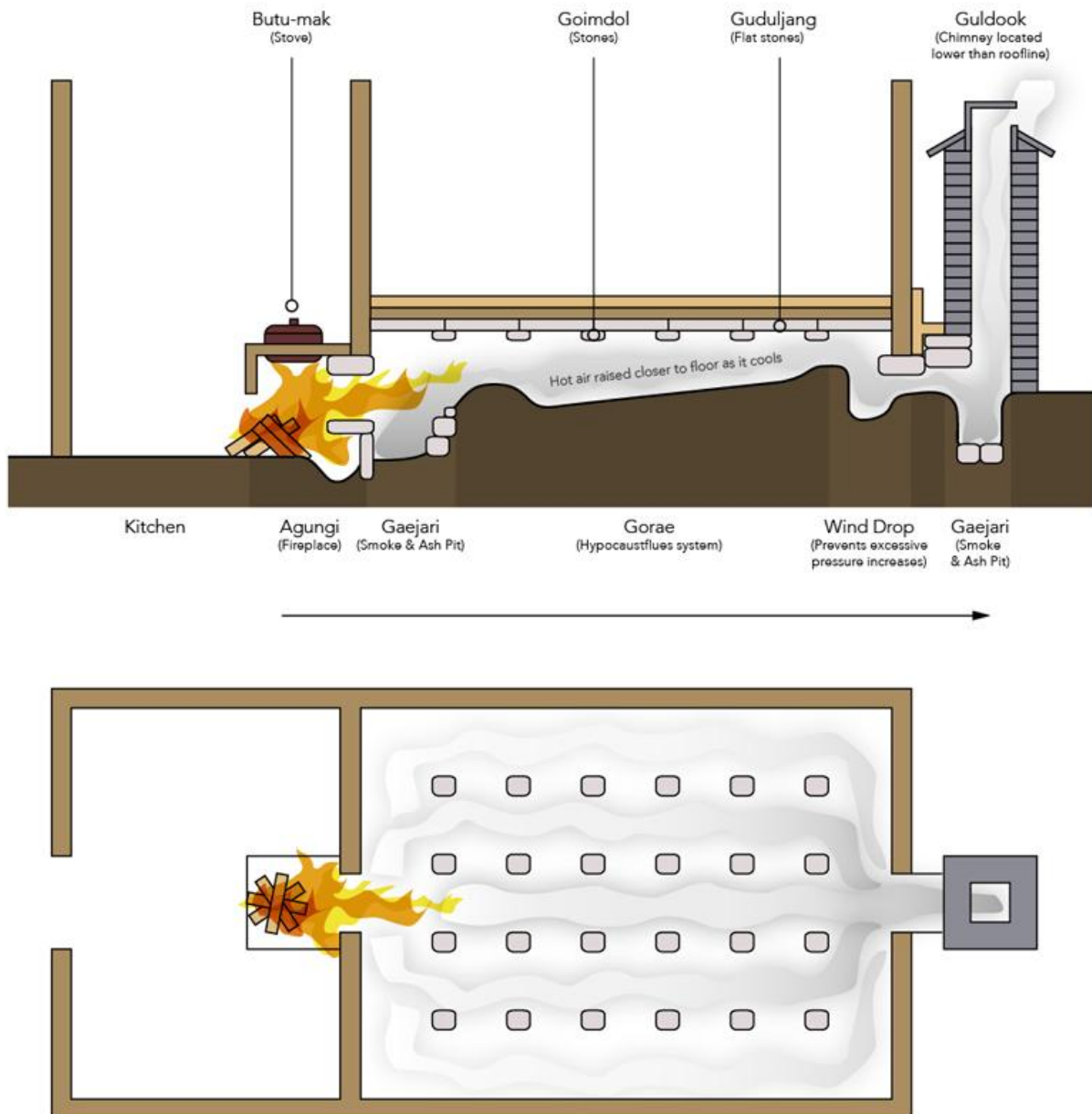
Η ιστορία της ενδοδαπέδιας θέρμανσης έχει μακρά ιστορία από την Νεολιθική Περίοδο. Αρχαιολογικές ανασκαφές στην Ασία και στην Αλάσκα αποκαλύπτουν πως οι κάτοικοι οδηγούσαν τον καπνό από φωτιές μέσα από χαντάκια καλυμμένα με πέτρες κάτω από το δάπεδο των υπόγειων κατοικιών. Ο θερμός καπνός ζέσταινε τις πέτρες οι οποίες ακτινοβόλυσαν την θερμότητα στους κατοικήσιμους χώρους.

Τα πιο γνωστά δείγματα ενδοδαπέδιας θέρμανσης εμφανίζονται στην Ασία (στην Χερσόνησο της Κορέας με τις κατοικίες *Οντόλ-μετάφραση: Θερμοί λάκκοι*) και αργότερα στην Ευρώπη (με το *υπόκαυστον*) που δημιουργήθηκε από τους Ρωμαίους και εξελίχθηκε από τους Έλληνες.

Κατά παράδοση, η πηγή θερμότητας του *Οντόλ* ήταν κάποια εστία. Αυτή μπορεί να βρισκόταν είτε στην κουζίνα είτε στον εξωτερικό τοίχο του καθιστικού. Γύρω από μια κουζίνα με δύο ή τρεις εστίες μπορεί να υπήρχε αντίστοιχος αριθμός δωματίων που ζεσταίνονταν με το σύστημα *οντόλ*. Σε μια παλιά κορεατική κουζίνα, μπορεί να βρίσκατε έναν ή δύο μεγάλους σιδερένιους λέβητες πάνω στην εστία. Έτσι λοιπόν, με τη φωτιά που μαγείρευαν το ρύζι ή τη σούπα θέρμαιναν και το δωμάτιο δίπλα στην κουζίνα.

Γενικά, η κουζίνα χιζόταν περίπου ένα μέτρο χαμηλότερα από το δωμάτιο που θερμαινόταν. Λόγω αυτής της διαφοράς ύψους, ο καπνός και ο ζεστός αέρας ήταν εύκολο να κυκλοφορούν κάτω από το δάπεδο του ανυψωμένου δωματίου. Κάτω από το δάπεδο του δωματίου υπήρχαν οριζόντιοι αγωγοί για τη διέλευση της θερμότητας και του καπνού, οι οποίοι συνέδεαν την εστία με την καμινάδα. Ο ζεστός αέρας από τη φωτιά διερχόταν από τους αγωγούς και ζέσταινε το δάπεδο που ήταν φτιαγμένο από πέτρα και λάσπη. Έπρεπε να πληρούνται δύο αντικρουόμενες προϋποθέσεις. Για να καίγεται αποτελεσματικά το καύσιμο, ο καπνός του έπρεπε να περνάει γρήγορα μέσα από τους αγωγούς και να βγαίνει ανεμπόδιτος από την καμινάδα. Καταλληλότεροι γι' αυτόν το σκοπό ήταν οι ίδιοι αγωγοί με μικρό μήκος. Ωστόσο, για να ζεστάνει η θερμότητα της φωτιάς το δάπεδο, ο ζεστός αέρας και ο καπνός έπρεπε να μείνουν στους αγωγούς όσο το δυνατόν

περισσότερο. Προκειμένου να γίνεται αυτό, οι αγωγοί τοποθετούνταν έτσι ώστε να καλύπτουν ολόκληρη την επιφάνεια κάτω από το δάπεδο, εμποδίζοντας κατ' αυτόν τον τρόπο το ζεστό αέρα να φεύγει πολύ γρήγορα από την καμινάδα. Όταν βρισκόταν η χρυσή τομή όσον αφορά την ταχύτητα, ένα δωμάτιο μπορούσε να παραμείνει ζεστό όλη τη νύχτα με φωτιά που διαρκούσε μόλις δύο ώρες.



**Σχήμα 2.1.** Σχηματική αναπαράσταση (τομή) τρόπου λειτουργίας θέρμανσης Οντόλ

Ένα άλλο μυστικό του συστήματος θέρμανσης Οντόλ σχετίζεται με αυτή καθαυτή την κατασκευή του δαπέδου. Προτού διαμορφωθεί το δάπεδο, κατασκευάζονταν οι αγωγοί θερμού αέρα. Κατόπιν, καλύπτονταν με επίπεδες, λεπτές πέτρες, πάχους πέντε ως εφτά

εκατοστών. Εφόσον το δάπεδο κοντά στην εστία συνήθως είναι θερμότερο, εκεί τοποθετούνταν παχύτερες πέτρες για να αποτραπεί η απώλεια θερμότητας. Στη συνέχεια, έβαζαν πάνω στις πέτρες κίτρινη ώχρα, και έκαναν επίπεδη την επιφάνεια του δαπέδου. Τελικά, έστρωναν πάνω στη βάση αρκετές ειδικές κίτρινες λαδόκολλες.

Σε ένα δωμάτιο που θερμαινόταν με το παραδοσιακό σύστημα *οντόλ*, το δάπεδο στην άλλη άκρη του δωματίου συνήθως ήταν κρύο. Γι' αυτόν το λόγο, οι μεγαλύτεροι σε ηλικία, όπως οι παππούδες ή οι γονείς, καθώς και οι επισκέπτες, προσκαλούνταν να καθήσουν στο θερμότερο μέρος. Αυτό αποτελούσε έκφραση σεβασμού.

Τα παραδοσιακά δωμάτια *Οντόλ* στις βόρειες περιοχές της κορεατικής χερσονήσου ήταν κάπως διαφορετικά από αυτά των νότιων περιοχών. Στις βόρειες περιοχές, το δωμάτιο που θερμαινόταν με το σύστημα *οντόλ* και η κουζίνα δεν χωρίζονταν με τοίχο. Η θερμότητα από την εστία και από το δάπεδο *οντόλ* κρατούσε το δωμάτιο ζεστό. Στις νότιες περιοχές, η κουζίνα χωριζόταν από το καθιστικό με τοίχο, ώστε ο καπνός να μην ενοχλεί τους ανθρώπους που κάθονταν εκεί.

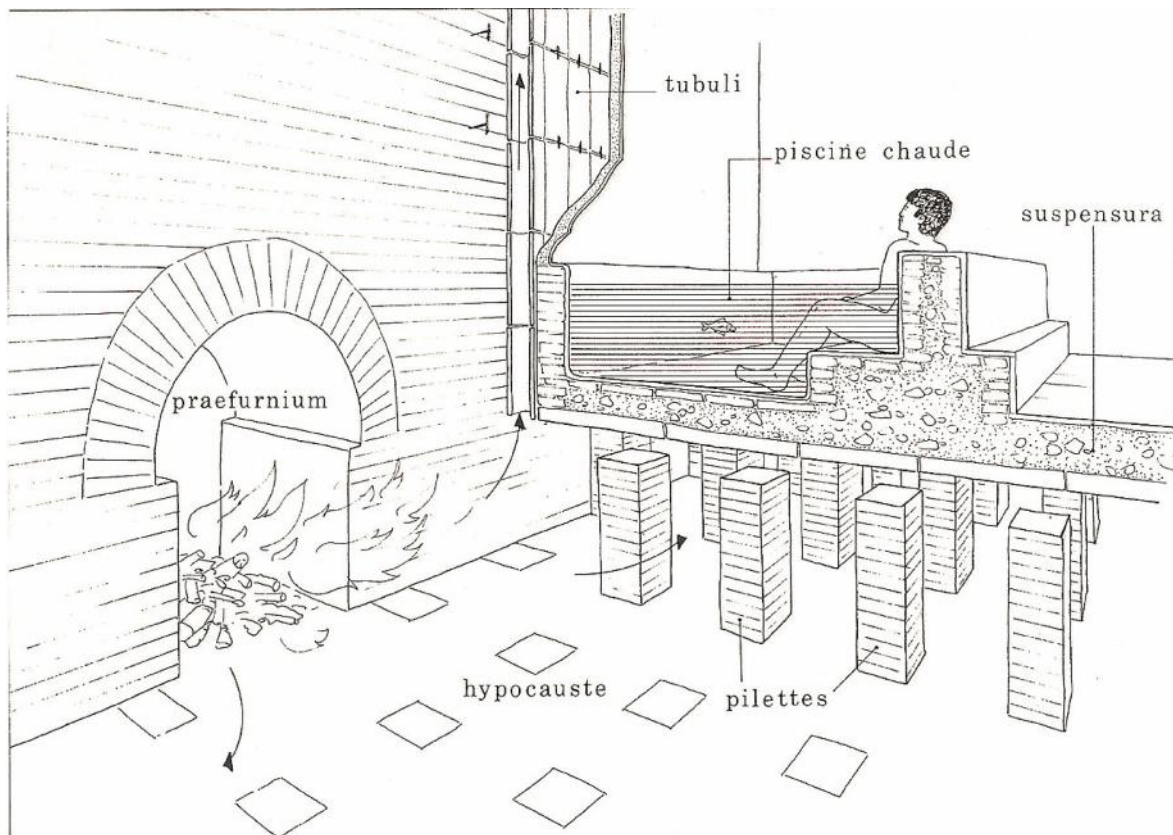
## 2.2 Υπόκαυστα

Το *υπόκαυστον* ήταν ένα αρχαίο ρωμαϊκό σύστημα ενδοδαπέδιας θέρμανσης που το χρησιμοποιούσαν κατά κύριο λόγο οι Ρωμαίοι στα θερμά λουτρά τους, στις ιδιωτικές κατοικίες τους και σε δημόσια κτίρια.

Η προέλευση της λέξης είναι ελληνική και σημαίνει «χαμηλοί χώροι όπου καίει η εστία». Τα *υπόκαυστα* είναι χαμηλοί υπόγειοι χώροι κάτω από τα δάπεδα των δωματίων του λουτρού όπου κυκλοφορούσαν τα καυτά καυσαέρια. Οι χώροι αυτοί δημιουργούνταν με την υπερύψωση των δαπέδων και την έδρασή τους πάνω σε κυλινδρικούς ή τετράγωνους στηλίσκους. Το ύψος των στηλίσκων ποικίλει από 0,60 m ως και 1,00 m. Τουλικό των στηλίσκων είναι από πήλινες πλάκες ώστε να αντέχουν τις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κάτω από το δάπεδο.

Το σύστημα θέρμανσης των δωματίων θα εξελισσόταν λίγο αργότερα με την δημιουργία θερμαινόμενων τοίχων. Η κυκλοφορία των θερμών αερίων στους τοίχους επιτυγχανόταν είτε με πήλινους σωλήνες κυκλικής ή τετράγωνης διατομής που εφάπτονταν με τους τοίχους, είτε με πήλινα πλακίδια στερεωμένα εμπρός από τους τοίχους κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να δημιουργείται κενό ανάμεσα στην ενιαία εσωτερική επιφάνειά και τον τοίχο. Όλο το σύστημα ήταν συνήθως καλυμμένο από ορθομαρμάρωση ενώ τα δάπεδα ήταν στρωμένα με μάρμαρο ή με ψηφιδωτά.

Η καρδιά του συστήματος θέρμανσης ήταν η εστία. Ανάλογα με το μέγεθος του οικήματος και τις ανάγκες του χώρου μπορούσαν να υπάρχουν και περισσότερες από μία εστίες με κυμαινόμενη ένταση σύμφωνα με τις καιρικές συνθήκες.



**Σχήμα 2.2.** Σχηματική αναπαράσταση (τομή) τρόπου λειτουργίας θέρμανσης υπόκαυστων



Εικόνα 2.1. Σχηματική αναπαράσταση υπόκαυστων

### 2.3 Η ενδοδαπέδια θέρμανση σήμερα

Η ενδοδαπέδια θέρμανση αφορά τη θέρμανση του χώρου, μέσα από ένα σύστημα σωληνώσεων που βρίσκεται εντός του δαπέδου και μέσα στο οποίο κυκλοφορεί θερμό νερό. Στο παρελθόν, λόγω της έλλειψης τεχνογνωσίας και εμπειρίας, η ενδοδαπέδια θέρμανση παρουσίασε σημαντικά προβλήματα όπως:

- Επιπτώσεις στην κυκλοφορία του αίματος των ενοίκων λόγω υψηλής θερμοκρασίας του δαπέδου (μεγαλύτερη από 36 °C )
- Ρηγματώσεις στην επικάλυψη του δαπέδου
- Διαρροές από τις σωληνώσεις

Τα προβλήματα αυτά όμως ξεπεράστηκαν και έτσι η ενδοδαπέδια θέρμανση αποτελεί σήμερα ένα από τα πιο πλεονεκτικά συστήματα θέρμανσης.

Καταρχήν, για λόγους υγείας η θερμοκρασία του δαπέδου (στους βασικούς χώρους χωρίς έντονες θερμικές απώλειες) δεν ξεπερνάει τους 29°C.





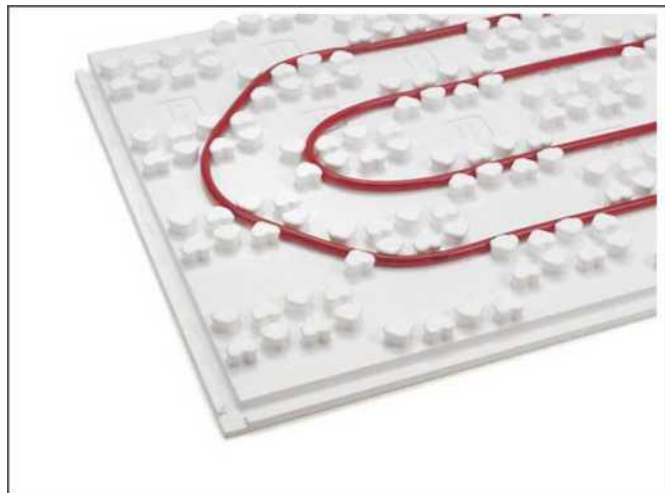
**Εικόνα 2.2.** Τυπική τομή τοποθετημένης ενδοδαπέδιας θέρμανσης

### **ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ**

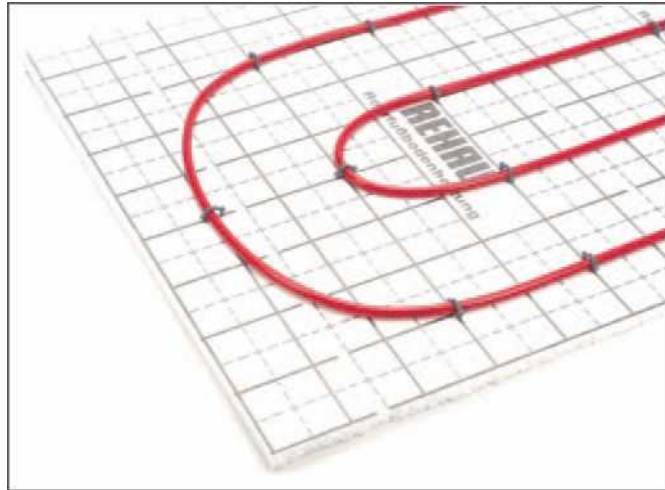
- Η ενδοδαπέδα θέρμανση προσφέρει ομοιόμορφη, ευχάριστη, υγιεινή κατανομή θερμοκρασίας.
- Η θέρμανση είναι καθαρή (δεν καίγεται ούτε αιωρείται η σκόνη, δεν μετακινούνται αέριες μάζες με βακτηρίδια, μικρόβια κ.α.) και υγιεινή επειδή η θερμοκρασία του δαπέδου είναι μικρή, περίπου 26°C - 28°C και ο ανθρώπινος οργανισμός δεν ενοχλείται από αυτή (δεν υπάρχει πρόβλημα για φλεβίτιδα ή κυκλοφορικό).
- Ο αέρας των χώρων δε χάνει την υγρασία του.
- Είναι οικονομικότερη στη λειτουργία από το καλοριφέρ.
- Η ενδοδαπέδια έχει ακριβότερο κόστος κατασκευής, που όμως καλύπτεται γρήγορα από το χαμηλό κόστος λειτουργίας.
- Μπορεί να λειτουργήσει και με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (γεωθερμία κλπ).
- Παρέχει δυνατότητα αυτονομίας σε κάθε δωμάτιο.
- Εξασφαλίζει υψηλή αισθητική στη διακόσμηση και πλήρη εκμετάλλευση χώρου (καλύτερη διάταξη στην επίπλωση).
- Δεν υπάρχουν περιορισμοί στην επιλογή του υλικού του τελικού δαπέδου (πλακάκι, μάρμαρο, ξύλο κολλητό ή ξύλο καρφωτό, συνθετικό δάπεδο), αρκεί να έχει επιλεγεί εκ των προτέρων το υλικό.
- Η ενδοδαπέδια θέρμανση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση όλων των ιδιωτικών και επαγγελματικών χώρων με τα ίδια οφέλη.

**ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ**

- Η ενδοδαπέδια θέρμανση επειδή θερμαίνει δομικά στοιχεία (το δάπεδο λειτουργεί ως θερμαντικό σώμα), παρουσιάζει αδράνεια σε γρήγορες κλιματικές εναλλαγές. Για το λόγο αυτό δεν είναι κατάλληλη για εξοχικές κατοικίες.
- Τα χαλιά δεν μπορούν να καλύπτουν μεγάλη επιφάνεια του χώρου και πρέπει να είναι γνωστή εκ των προτέρων η θέση τους για πυκνότερη διάστρωση των σωλήνων.
- Όταν χρησιμοποιείται για την ψύξη του χώρου, επιτυγχάνεται μερικός μόνο δροσισμός του κτιρίου (απόδοση μέχρι  $30\text{W/m}^2$ )
- Η ενδοδαπέδια συγκριτικά με το καλοριφέρ καθυστερεί αρχικά να αποδώσει απευθείας τη θερμότητα στο χώρο.

**2.4 Περιγραφή της εγκατάστασης της ενδοδαπέδιας θέρμανσης****ΣΥΝΗΘΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΝΔΟΔΑΠΕΔΙΑΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ**

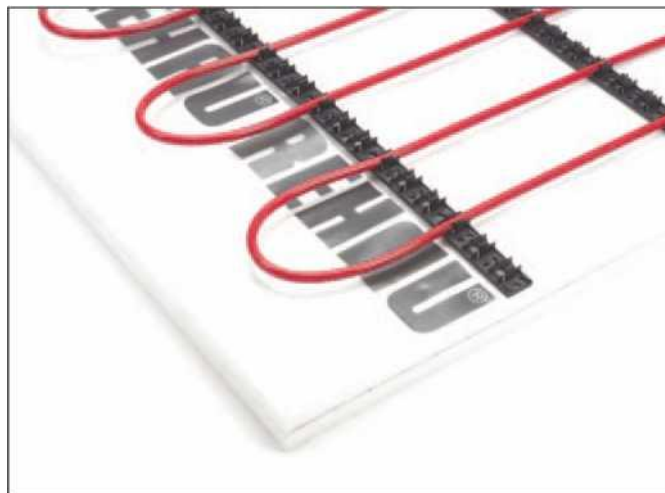
**Εικόνα 2.3.** Σύστημα με πλάκα κόμβων REHAU VARIO



Εικόνα 2.4. Σύστημα καρφωτής τοποθέτησης (tacker system)



Εικόνα 2.5. Σύστημα μεταλλικού πλέγματος στερέωσης σωλήνων



Εικόνα 2.6. Σύστημα ραγών

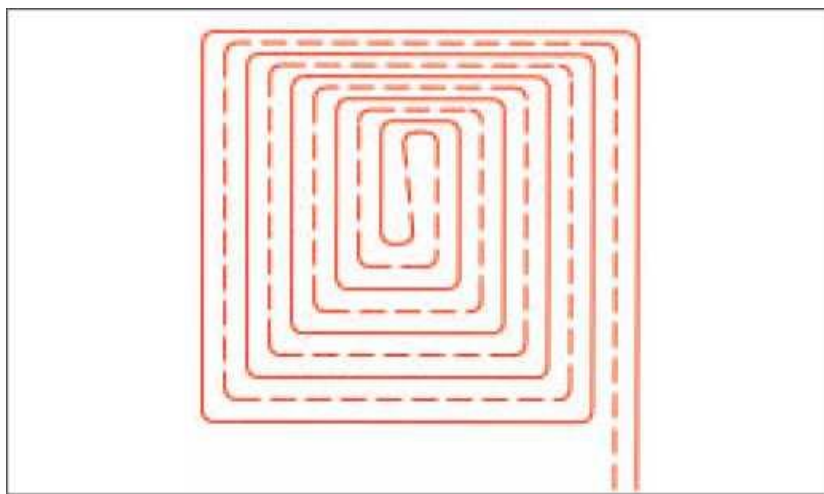


**ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΤΡΟΠΟΙ ΔΙΑΣΤΡΩΣΗΣ ΕΝΔΟΔΑΠΕΔΙΑΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ**

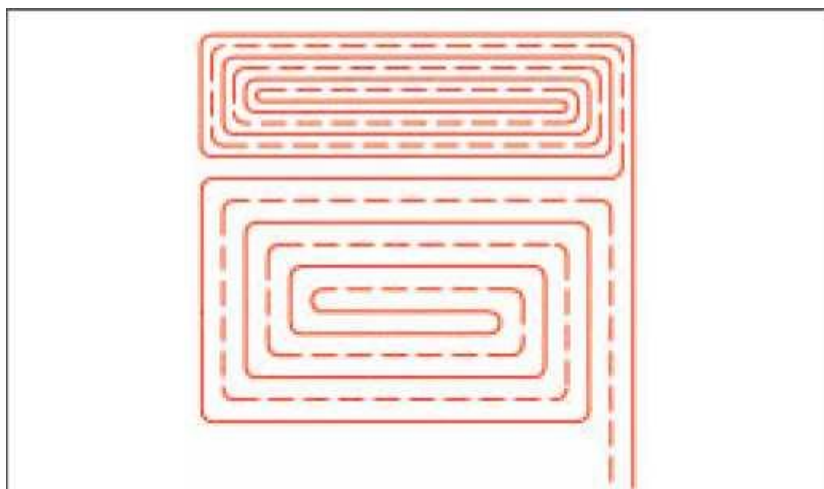
Οι συνήθεις τρόποι διάστρωσης είναι οι εξής:

- Απλού ή διπλού μαιάνδρου
- Σαλίγκαρου

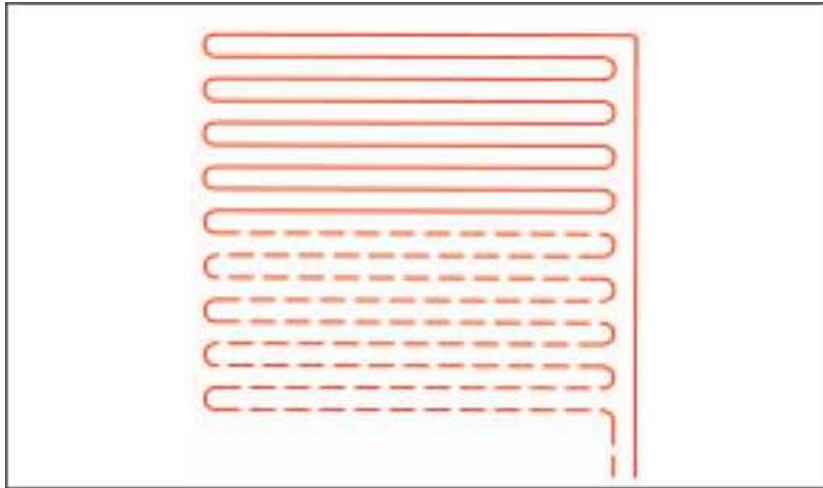
Κάθε τρόπος διάστρωσης εμφανίζει διαφορετικά πλεονεκτήματα (και μειονεκτήματα). Ανάλογα λοιπόν με τις απαιτήσεις του κάθε κτηρίου και τον κάθε μελετητή προτείνεται και ο τύπος διάστρωσης. Ο ποιος συνηθισμένος τρόπος διάστρωσης σήμερα, είναι τύπου σαλίγκαρου.



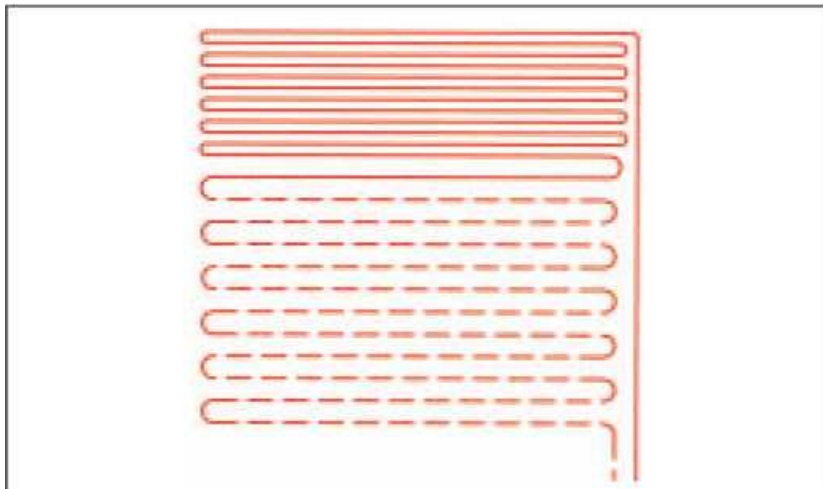
**Εικόνα 2.7.** Σχήμα τοποθέτησης σαλίγκαρου με ενσωματωμένη πυκνότερη περιμετρική ζώνη



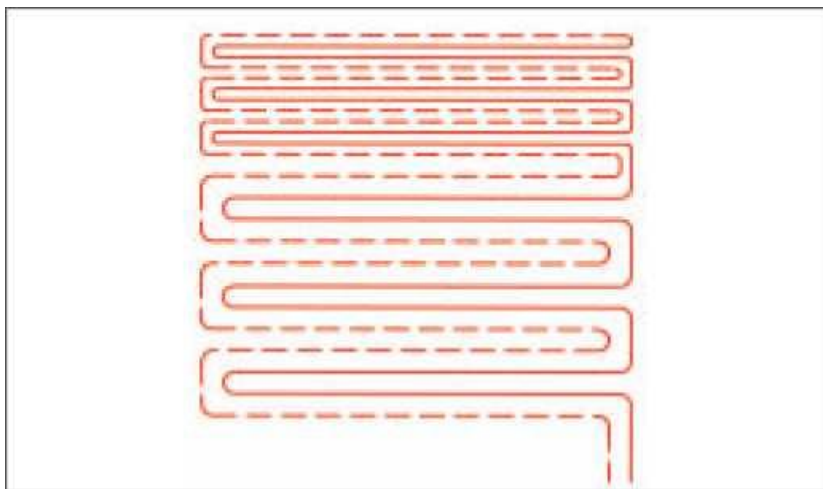
**Εικόνα 2.8.** Σχήμα τοποθέτησης σαλίγκαρου με προσυνδεδεμένη περιμετρική ζώνη



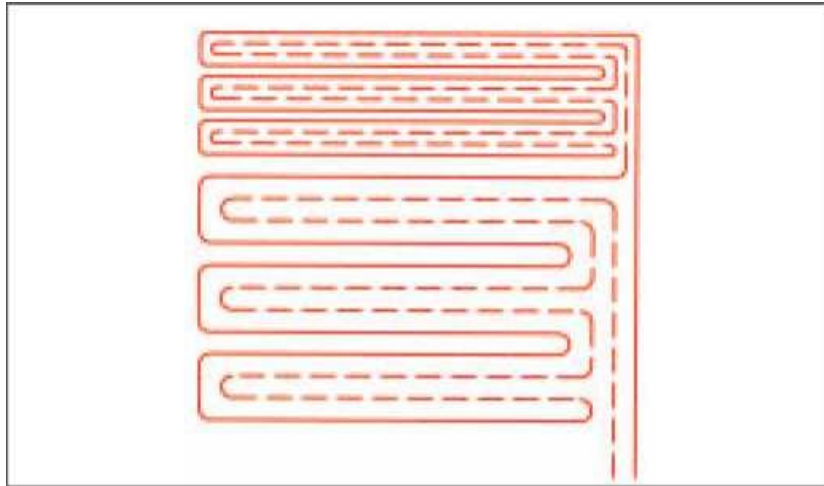
**Εικόνα 2.9.** Σχήμα τοποθέτησης απλού μαιάνδρου



**Εικόνα 2.10.** Σχήμα τοποθέτησης απλού μαιάνδρου με πυκνότερη περιμετρική ζώνη



**Εικόνα 2.11.** Σχήμα τοποθέτησης διπλού μαιάνδρου ενσωματωμένη με ενσωματωμένη πυκνότερη περιμετρική ζώνη



**Εικόνα 2.12.** Σχήμα τοποθέτησης διπλού μαιάνδρου με προσυνδεδεμένη περιμετρική ζώνη

Τόσο στο σχήμα τοποθέτησης απλού μαιάνδρου όσο και στο σχήμα διπλού μαιάνδρου, πρέπει στην περιοχή των τόξων αλλαγής κατεύθυνσης των  $180^\circ$  να τηρηθεί οπωσδήποτε η επιτρεπτή ακτίνα καμπυλότητας του σωλήνα θέρμανσης.

### **ΥΠΟΧΡΕΩΣΕΙΣ ΙΔΙΟΚΤΗΤΗ ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣΕΙ Η ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΕΝΔΟΔΑΠΕΔΙΑΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ**

- Πολύ καλός καθαρισμός της πλάκας της οικοδομής από πιθανούς σοβάδες και εξογκώματα που εμποδίζουν την σωστή στρώση των υλικών. Αν υπάρχουν σωλήνες ύδρευσης ή αποχέτευσης που δημιουργούν σαμαράκια πάνω από 3cm ύψος στην πλάκα της οικοδομής μπορεί να δημιουργήσουν πρόβλημα στην στρώση των υλικών. Στην περίπτωση αυτή μπορεί να χρειασθεί να γίνει ένα γέμισμα με ελαφρομετόν πριν την έναρξη των εργασιών της θέρμανσης.
- Πολύ καλή γνώση του τι δαπέδου θα μπει σε κάθε χώρο. Απαιτείται γνώση του πάχους και του είδους δαπέδου που θα χρησιμοποιηθεί.
- Απαιτείται ενημέρωση του συνεργείου θερμομετόν για το ύψος των μαρμαροποδιών που έχουν ήδη τοποθετηθεί καθώς και το είδος των κουφωμάτων (ανοιγόμενα, συρόμενα κ.τ.λ.) που θα χρησιμοποιηθούν. Είναι συνεπώς, υποχρεωτικός ο ορισμός των τελικών υψομέτρων.
- Απαιτείται γνώση για το πόσο χάνει η πλάκα της οικοδομής, δηλαδή τι κλίση υπάρχει ώστε να υπολογιστεί το γέμισμα θερμομετού όσο το δυνατό ακριβέστερα. Σε πολύ μεγάλες κλίσης της πλάκας του επιπέδου, χρειάζεται ένα

γέμισμα «αλφάδιασμα» ώστε να αποφεύγεται η συγκράτηση αέρα στο κύκλωμα.

- Απαιτείται ορισμός της θέσης των συλλεκτών των κυκλωμάτων θέρμανσης
- (δηλαδή σε ποιο χώρο θα μπει ο συλλέκτης).

## ΟΔΗΓΙΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΝΔΟΔΑΠΕΔΙΑΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

### (ΓΙΑ ΤΟ ΣΥΝΕΡΓΕΙΟ ΔΙΑΣΤΡΩΣΗΣ)

1. Τοποθέτηση της περιμετρικής μονωτικής ταινίας σαν σοβατεπί σε όλους τους εσωτερικούς τοίχους, πόρτες, μπαλκονόπορτες και περιμετρικά σε όλους τους θερμαινόμενους χώρους. Βασική είναι επίσης η τοποθέτηση της περιμετρικής ταινίας στις γωνίες ώστε να μην δημιουργείται τόξο αλλά ορθή γωνία. Όπου η περιμετρική ταινία είναι δύσκολο να τοποθετηθεί (π.χ. έλλειψη τοίχου) καλό είναι να στερεώνεται με κάποιο αυτοσχέδιο καλούπι (π.χ. σανίδα) μιας και η ταινία παίζει ρόλο αρμού διαστολής τουλάχιστον 5mm στο θερμαινόμενο δάπεδο.
2. Σωστή τοποθέτηση της θερμομόνωσης πάνω στην πλάκα της οικοδομής. Πρέπει να αποφεύγονται τα κενά μεταξύ των διαφόρων πλακών μόνωσης, δηλαδή τα διάφορα τεμάχια στρώσης να εφάπτονται μεταξύ τους.
3. Επικάλυψη των μονωτικών πλακών με το υγρομονωτικό φύλλο σε όλη την επιφάνεια των μονωτικών πλακών. Προαιρετικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ηχητικό φράγμα για αυξημένη ηχομόνωση.
4. Τοποθέτηση του πλέγματος γαλβανιζέ 10X10cm πάνω από το υγρομονωτικό φύλλο. Απαιτείται επικάλυψη μεταξύ των τεμαχίων των πλεγμάτων (1X2m<sup>2</sup>) ένα μάτι και καλό δέσιμο. Προσοχή πρέπει να δίνεται ώστε τα πλέγματα να στρώνονται ίσια και γενικά να αποφεύγονται τα λυγισμένα προς τα πάνω πλέγματα .
5. Απαιτείται η τοποθέτηση των συλλεκτών με ή χωρίς ερμάριο σε ουδέτερο συνήθως χώρο (καλό είναι να αποφεύγεται η τοποθέτηση συλλέκτη σε υπαίθριο χώρο ενώ ενδείκνυται σε κάποιο διάδρομο) - στο μέσο του επιπέδου - σε στάθμη +0,4m έως +0,6m από το δάπεδο. Ο κάθε συλλέκτης πρέπει να τοποθετείται στο συγκεκριμένο επίπεδο που θερμαίνεται (π.χ. ο συλλέκτης του 1ου ορόφου πρέπει να τοποθετείται στον 1ο όροφο και όχι στο ισόγειο ή στο υπόγειο) για αποφυγή σιφωνισμού αν υπάρχει ένα επίπεδο με σκαλάκια καλό είναι ο συλλέκτης να τοποθετείται στην υψηλότερη στάθμη του συγκεκριμένου επιπέδου. Τα τμήματα των σωλήνων που ξεκινούν από τον συλλέκτη και ξεκινούν γωνία ορθή για να τρέξουν στο δάπεδο πρέπει να προστατεύονται από σπιράλ και τις μεταλλικές καμπύλες όδευσης της για την μείωση των αυξομειώσεων τάσεων που αναπτύσσονται στα σημεία καμπής.

6. Ακολουθεί η στρώση των κυκλωμάτων θέρμανσης στους συγκεκριμένους χώρους όπως καθορίζει η μελέτη. Το συνεργείο είναι υποχρεωμένο να ακολουθεί το ειδικό σκαρίφημα στρώσης σωλήνα που καθορίζει ο μηχανικός μελετητής.
7. Απαιτείται η τοποθέτηση ειδικών οδηγών κλίπς 3mm στο πλέγμα, συνήθως 2 κλίπς ανά τρέχον μέτρο σωλήνα και από τα σημεία που θα περάσει ο σωλήνας του κυκλώματος.
8. Το μέγιστο πλάτος της περιμετρικής ζώνης δεν πρέπει να ξεπερνά το 1m, όπως αυτό καθορίζει και στο σκαρίφημα στρώσης.
9. Το μέγιστο μήκος του κυκλώματος δεν πρέπει να ξεπερνά τα 120m , προς αποφυγή αυξημένων απωλειών πίεσης.
10. Απαιτείται χάραξη από το συνεργείο των αρμών διαστολής όπως αυτοί ορίζονται στο ειδικό σκαρίφημα αρμολόγησης.
11. Οι διατάξεις σωλήνων πρέπει να τοποθετούνται έτσι ώστε να μην διέρχονται σε καμιά περίπτωση από τους αρμούς διαστολής. Επιτρέπεται η διασταύρωση με αυτούς τους αρμούς μόνο με αγωγούς σύνδεσης από τον συλλέκτη (τμήματα προσαγωγής και επιστροφής). Σε αυτές τις περιοχές οι σωλήνες πρέπει να προστατεύονται από τυχόν διατμητικές καταπονήσεις με σπιράλ το οποίο πρέπει να τοποθετείται και στις δύο πλευρές των αρμών και μάλιστα 30cm από κάθε πλευρά.
12. Όταν περατωθεί η εργασία στρώσης των διαφόρων κυκλωμάτων πρέπει να τοποθετούνται κάτω από το πλέγμα στηρίγματα-αποστάτες ώστε ο σωλήνας να ανασηκώνεται 1-2cm περίπου από το υγρομονωτικό φύλλο, ώστε το θερμομπετόν που θα πέσει αργότερα να αγκαλιάζει όλη την επιφάνεια του σωλήνα και έτσι επιτυγχάνεται η καλύτερη μεταφορά θερμότητας στο χώρο. Απαιτούνται συνήθως 4-5 στηρίγματα-αποστάτες ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας.
13. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην κάμψη των σωλήνων στις μεγάλες καμπυλότητες για αποφυγή τσακίσματος του σωλήνα. Επιτρεπτές ακτίνες λυγισμού 5 φορές τη εξωτερική διάμετρο.
14. Με το πέρας στρώσης των σωλήνων το συνεργείο είναι υποχρεωμένο να πληρώσει την εγκατάσταση με νερό δικτύου και να πρεσάρει στις 10atm για 48 ώρες, ενώ μετά να τις μειώσει στις 6atm και να τις αφήσει μέχρι το πέρας ρίψεως του θερμομπετού.

## **ΟΔΗΓΙΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΝΔΟΔΑΠΕΔΙΑΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ**

### **(ΓΙΑ ΤΟ ΣΥΝΕΡΓΕΙΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΜΠΕΤΟΝ)**

#### **ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ(ανά μπετονιέρα):**

- 50kg τσιμέντο

- 30 φτυαριές άμμο ποταμού
- 18lt νερού δικτύου
- 500gr (0,5lt) προσθετικό γαλάκτωμα REHAU
- Ίνες πολυπροπυλενίου

**ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ(σε 1m<sup>3</sup> μίγματος):**

- 350kg τσιμέντο
  - 1575kg άμμος (60% διαμέτρου 0-4mm , 40% διαμέτρου 4-8mm)
  - 3,5kg προσθετικό δαπέδου REHAU
  - 130kg νερό
1. Απαιτείται αυστηρή τήρηση των αναλογιών του μίγματος,καθώς και του σχεδίου των αρμών.
  2. Απαιτείται αυστηρή τήρηση των προδιαγραφών για τους αρμούς διαστολής.
  3. Συγκεκριμένα στην περίπτωση που έχουμε μαλακή τελική επίστρωση (παρκέ, μοκέτα, πλαστικό τάπητα) το βάθος του αρμού πρέπει να είναι το 1/2 ως το 1/3 του συνολικού ύψους του θερμοπετού. Στην περίπτωση σκληρής τελικής επίστρωσης (πλακάκι, μάρμαρο) το βάθος του αρμού πρέπει να είναι όσο και το ύψος του θερμοπετού, δηλαδή να ξεκινά από το υγρομονωτικό φύλλο και να φθάνει μέτωπο μέχρι την τελική στάθμη του θερμοπετού. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με κάποιο αυτοσχέδιο ξυλότυπο (π.χ. τοποθέτηση μονωτικού υλικού στις θέσεις των αρμών) που το συνεργείο είναι υποχρεωμένο να στήσει ώστε να επιτύχει την κατασκευή των αρμών διαστολής. Το ελάχιστο απαιτούμενο πάχος των αρμών διαστολής είναι 5mm.
  4. Απαιτείται γέμισμα θερμοπετόν 5-7cm ανάλογα με την τελική επίστρωση (εξαίρεση αποτελούν χώροι με μεγάλη κλίση της οικοδομής, όπου για να υπάρχει σωστό αλφάδιασμα απαιτείται παραπάνω γέμισμα).
  5. Απαιτείται επίσκεψη του υπευθύνου του συνεργείου στην οικοδομή, ώστε να καθορισθεί επακριβώς το τι πάχος θερμοπετού θα χρειασθεί σε κάθε χώρο και ανάλογα με την τελική επίστρωση που θα υποδείξει ο ιδιοκτήτης.
  6. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται ώστε η περιμετρική ταινία να είναι ορατή προς τα πάνω και μετά την ρίψη του θερμοπετού.
  7. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στο σωστό αλφάδιασμα της οικοδομής, ανάλογα με την τελική επίστρωση του δαπέδου (πλακάκι, μάρμαρο, ξύλο) και τις μαρμαροποδιές ώστε να αποφεύγονται μετέπειτα παράπονα του ιδιοκτήτη για τις τελικές στάθμες. Απαιτείται συνεπώς η σωστή επικοινωνία μεταξύ συνεργείων ρίψεως θερμοπετού και ιδιοκτήτη για τις αλφαδιές.
  8. Απαιτείται η παράδοση σωστής τελικής επιφάνειας θερμοπετού ,ιδιαίτερα στην

περίπτωση κολλητού δαπέδου(πλακάκι ,παρκέ) ,ώστε να μην απαιτείται επιπλέον τσιμεντοκονία ομαλοποίησης .

9. Το συνεργείο ρίψεως θερμοπετού είναι υποχρεωμένο να αναφέρει οποιοδήποτε γεγονός ή σφάλμα της οικοδομής εμποδίζει την εφαρμογή των παραπάνω οδηγιών .

## ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Με το πέρας ρίψεως του θερμοπετόν η εγκατάσταση παραμένει πρεσαρισμένη. Απαιτείται χρόνος 3 έως 4 εβδομάδων για την έναρξη της δοκιμαστικής θέρμανσης δαπέδου.

Ο υπεύθυνος εγκαταστάτης-καυσηρατζής που θα κάνει τις τελευταίες ηλεκτρολογικές ρυθμίσεις θα πρέπει να δίνει την τελική θερμοκρασία προσαγωγής της εγκατάστασης σταδιακά και αυτό γίνεται με αύξηση 5°C ανά ημέρα για ιδανικό στέγνωμα του θερμοπετόν. Για παράδειγμα, αν η μελέτη έχει γίνει με μέγιστη θερμοκρασία νερού προσαγωγής για το ενδοδαπέδιο, 45°C, τότε η αύξηση πρέπει να γίνει από τους 25 με 30 βαθμούς με σταδιακή αύξηση έως τους 45°C. Αν θα υπάρχει μια σταθερή θερμοκρασία νερού (χρήση απλής τετράοδης, χειροκίνητα ρυθμιζόμενης βάνας) ή μια τελική θερμοκρασία νερού που θα εξαρτάται από τις εκάστοτε καιρικές συνθήκες (χρήση αυτόματου συστήματος εξωτερικής αντιστάθμισης), είναι καθαρά θέμα συνεννόησης ιδιοκτήτη με καυσηρατζή.

Με το πέρας της δοκιμαστικής εκκίνησης επιτρέπεται η τοποθέτηση του τελικού δαπέδου (πλακάκι, μάρμαρο, ξύλινο παρκέ κ.λ.π.)

Η σύνδεση του λέβητα που έχει ήδη γίνει ολοκληρώνεται με την ρύθμιση αυτού, της τετράοδης βάνας , του εξωτερικού θερμοστάτη(αν υπάρχει), των θερμοστατών χώρων και των συλλεκτών (ρυθμιστικά-εξισορρόπηση κυκλωμάτων).

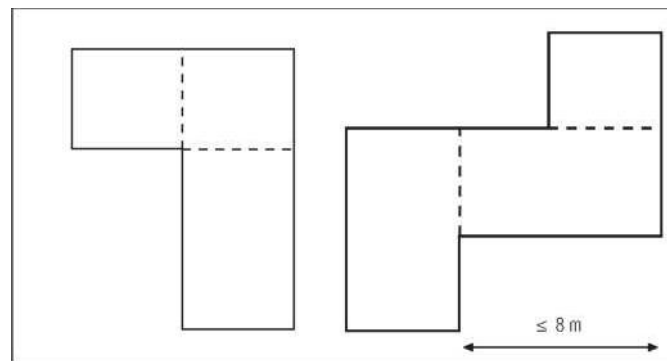
## ΑΡΜΟΙ ΔΙΑΣΤΟΛΗΣ - ΘΕΡΜΑΙΝΟΜΕΝΟ ΔΑΠΕΔΟ

Κατά την επίστρωση του θερμαινόμενου δαπέδου με πλακάκια ή μάρμαρο, η δημιουργία αρμών διαστολής κρίνεται απαραίτητη. Βάσει των προδιαγραφών και για να είμαστε ασφαλείς ο αρμός διαστολής του θερμοπετού πρέπει να προεκτείνεται μέχρι τον αρμό του δαπέδου (π.χ. αρμοί πλακιδίων). Τα κριτήρια δημιουργίας αρμών διαστολής είναι γνωστά:

- Πάνω από αρμούς διαστολής της φέρουσας πλάκας της οικοδομής
- Επιφάνειες πάνω από 40m<sup>2</sup>

- Σε μήκος πλευρών  $> 8\text{m}$
- Ενδιάμεσα χωρίσματα (κατωκάσια) χώρων
- Μακρόστενοι χώροι με λόγο πλευρών  $< 1/2$
- Σε ιδιαίτερα εύθραυστα σημεία

**Προσοχή!!!** Οι αρμοί διαστολής γίνονται κατ' αντιστοιχία με τους αρμούς διαστολής κατά την διάστρωση της ενδοδαπέδιας θέρμανσης



**Εικόνα 2.13.** Διάταξη των αρμών διαστολής. Όπου ----- είναι ο αρμός διαστολής



**Εικόνα 2.14.** Αρμοί διαστολής κατά την τοποθέτηση της ενδοδαπέδιας θέρμανσης





**Εικόνα 2.15.** Αρμός διαστολής στο θερμοπετό

Αν για οποιοδήποτε λόγο ο ιδιοκτήτης ή ο μηχανικός του έργου επιθυμεί να στρώσει τα δάπεδα με κάποιο περίτεχνο ή εξειδικευμένο τρόπο (π.χ. ρομβοειδής στρώση πλακιδίων σε ένα μεγάλο σαλόνι) και η τήρηση των αρμών διαστολής δημιουργεί πρόβλημα αισθητικής τότε μπορεί να προταθεί η παρακάτω λύση:

Στους χώρους και στα σημεία που πρέπει να γίνουν αρμοί διαστολής (εξαιρούνται οι αρμοί στην πλάκα της οικοδομής) υπάρχει η δυνατότητα μη τήρησης των αρμών, κάνοντας την εξής κατασκευή:

Πάνω από τον αρμό διαστολής του θερμοπετόν και σε πλάτος 30cm δεξιά και 30cm αριστερά περίπου από αυτόν πρέπει να τοποθετηθεί ένα λεπτό φύλλο από PE. Στην περίπτωση αυτή οι συστολές και διαστολές του κολυμβητού εκτονώνονται σε αυτό το διπλωμένο φύλλο PE (ολίσθηση του ενός κομματιού πάνω στο άλλο) χωρίς να δημιουργήσει πρόβλημα στην τελική επίστρωση. Βεβαίως η λύση αυτή είναι θέμα εμπειρίας κατασκευής και δεν μπορεί να υπάρξει επίσημη εγγύηση από κάποια εταιρεία.

## ΓΕΜΙΣΜΑ ΑΡΜΩΝ ΔΙΑΣΤΟΛΗΣ ΠΛΑΚΙΔΙΩΝ

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές απαιτείται :

- Γκρι ή έγχρωμος στόκος αρμών τύπου CERESIT CE35 ή CE36 αναμειγνυόμενος με νερό. Κατανάλωση 0,6 έως 1kg/m<sup>2</sup>, ανάλογα με το πάχος του αρμού και του πλακιδίου.
- Ο αρμός διαστολής του θερμοπετόν μπορεί να γεμίζει μεμβράνη PE ή μονωτικό υλικό πολυστερίνης ή με το αντίστοιχο υλικό CERESIT

## ΜΟΡΦΗ ΔΑΠΕΔΟΥ

Συγκεκριμένη κατοικία η οποία θερμαίνεται με ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης και έχει επίστρωση δαπέδου πλακάκι. Ο συγκεκριμένος ιδιοκτήτης αποφασίζει να καλύψει ύστερα απο καιρό τον χώρο του με μοκέτα 10mm .Η ερώτηση είναι αν θα εξακολουθεί να ζεσταίνεται με τον ίδιο τρόπο.

Στην αρχική περίπτωση που υπήρχε μόνο πλακάκι ο συγκεκριμένος χώρος καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες με νερό θερμοκρασίας 45oC και με την δεδομένη πύκνωση των σωλήνων.

Η χρήση μοκέτας επιβαρύνει την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών λόγω του ότι μοκέτα έχει δυσμενή συντελεστή αντίστασης θερμοπερατότητας. Χρησιμοποιώντας το Software της REHAU και χωρίς βέβαια να πυκνώσουμε τα κυκλώματα των σωλήνων μιας και αυτό είναι αδύνατο να γίνει εκ των υστέρων ,αυξάνουμε την θερμοκρασία προσαγωγής του νερού στους 60C και επιτυγχάνεται το ίδιο αποτέλεσμα χωρίς να επιβαρυνθεί η τελική θερμοκρασία δαπέδου. Στην περίπτωση κατά την οποία τοποθετείται μοκέτα σε κάποιους από τους χώρους της κατοικίας η αύξηση της θερμοκρασίας του νερού στους 60C και μεν θα καλύψει τους χώρους με την μοκέτα από την άλλη όμως θα υπερθερμάνει τους χώρους χωρίς μοκέτα. Στην περίπτωση αυτή το Software της REHAU δεν μας δίνει λύση υπολογιστική. Υπάρχει όμως η δυνατότητα να στραγγαλιστούν οι αντίστοιχες βαλβίδες των συγκεκριμένων κυκλωμάτων έτσι ώστε να έχουμε θερμό νερό ικανό να ζεστάνει τους χώρους με πλακάκι στα επίπεδα θερμικής άνεσης του ανθρώπινου οργανισμού. Η δυνατότητα αυτή υπόκειται στο προσωπικό αισθητήριο του καθενός .

## ΤΕΛΙΚΟ ΔΑΠΕΔΟ

Το τελικό δάπεδο (επίστρωση) μπορεί να είναι μάρμαρο, ξύλο, κεραμικά πλακίδια, πλαστικό ή μοκέτα.

Με την ενδοδαπέδια θέρμανση είναι δυνατόν όλα τα υλικά επιστρώσεων χωρίς προβλήματα, αρκεί να εφαρμοστούν πιστά οι οδηγίες του κατασκευαστή της εγκατάστασης ενδοδαπέδιας θέρμανσης και του προμηθευτή των υλικών επίστρωσης.

Για την επιλογή της επίστρωσης πρέπει να ληφθεί υπόψη η θερμική αντίσταση του υλικού τελικής επίστρωσης, που εκφράζει τη μονωτική του ικανότητα. Περισσότερη τεχνογνωσία απαιτούν τα ξύλινα δάπεδα.

Ειδικά για τα ξύλινα δάπεδα, χρησιμοποιείται ξυλεία με περιορισμένη περιεκτικότητα σε υγρασία και με την εγγύηση της προμηθεύτριας εταιρείας (κατάλληλα για χρήση με ενδοδαπέδια θέρμανση). Τα τεμάχια που συνθέτουν την επίστρωση του δαπέδου (σανίδες), ανάλογα με το υλικό και τον τρόπο παραγωγής τους διακρίνονται σε:

- ολόσωμα, που αποτελούνται από το ίδιο ξύλο σε όλο το πάχος τους (μασίφ),
- σύνθετα, που συντίθενται από επάλληλα (δύο ή τρία φύλλα) διαφορετικού ξύλου (αντικολλητά) με το επιθυμητό ξύλο στην τελική επιφάνεια πάχους 3-5mm,
- συνθετικά (LAMINATE), που κατασκευάζονται από μορισανίδα με επικάλυψη από πλαστικό φύλλο υψηλής αντοχής σε απομίμηση ξύλου, κατάλληλο κυρίως για επαγγελματικούς χώρους.

Η τελική επιφάνεια του δαπέδου πρέπει να είναι ανθεκτική σε τριβή, κρούση, πίεση, να μην έχει ρωγμές, σαθρά σημεία, κυματισμούς, οπές, να παρουσιάζει μικρή απορροφητικότητα σε υγρά και υδρατμούς και να εξασφαλίζει άψογο αισθητικό αποτέλεσμα. Χρησιμοποιείται συνήθως ξυλεία σκληρή (οξιά, σφένδαμος, δρυς κ.α.), με σκληρότητα από 3,3 μέχρι 8,1kp/mm<sup>2</sup>, (σε σχετική υγρασία 6%), που ικανοποιεί τις απαιτήσεις αυτές. Οι ιδιότητες της τελικής επιφάνειας πολλές φορές βελτιώνονται με την επάλειψη της με ειδικά βερνίκια.

Σε χώρους όπου η χρήση απαιτεί επίστρωση δαπέδου με αυξημένη αντοχή σε τριβή, κρούση ή πίεση, προτιμούνται τα δάπεδα από συνθετικό ξύλο.

Η υγρασία του ξύλου πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 6% και 10%. Τα επιμέρους τεμάχια πρέπει να εφαρμόζουν απόλυτα μεταξύ τους. Η σύνδεση τους συνήθως εξασφαλίζεται με εγχοπές και προεξοχές (ραμποτέ).

Για την τοποθέτηση των σανίδων πρέπει να χρησιμοποιούνται ειδικές κόλλες, κατάλληλες για τοποθέτηση πάνω σε εγκατάσταση ενδοδαπέδιας θέρμανσης, που προσφέρονται ή συνιστούνται από τους προμηθευτές της ξυλείας.

Όταν έχουμε κολυμβητή τοποθέτηση του ξύλινου δαπέδου χρησιμοποιούνται ως υπόστρωμα φύλλα κυματιστού χαρτιού, ή φελλού ή αφρώδες πλαστικού που προτείνει η εταιρεία προμήθειας ξύλου. Το πάχος τους συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 2 και 3mm.

## ΟΔΗΓΙΕΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΞΥΛΙΝΟΥ ΔΑΠΕΔΟΥ

Το ξύλινο δάπεδο τοποθετείται κολλητό ή κολυμβητό πάνω σε επιφάνεια απόλυτα επίπεδη, λεία και καθαρή. Αν αυτές οι προϋποθέσεις δεν πληρούνται, τότε θα πρέπει να υποστεί η επιφάνεια την απαραίτητη προεργασία (στοκάρισμα, λείανση, καθαρισμός κ.τ.λ.) πριν αρχίσει η τοποθέτηση του δαπέδου.

Το κολλητό δάπεδο εφαρμόζεται με απευθείας κόλληση των σανίδων πάνω στο υπόστρωμα (τσιμεντοκονία). Στην περίπτωση αυτή οι αρμοί της τσιμεντοκονίας συνεχίζονται και στην επίστρωση. Σημαντικό ρόλο στην επιτυχή τοποθέτηση παίζει η επιλογή της κατάλληλης κόλλας (πάχος 1mm). Το κολυμβητό δάπεδο εφαρμόζεται χωρίς κόλληση πάνω στην τσιμεντοκονία, αλλά με την παρεμβολή λεπτού μονωτικού φύλλου

από κυματιστό χαρτί ,φελλό κ.τ.λ.. Οι σανίδες κολλούνται μόνο μεταξύ τους. Οι αρμοί της τσιμεντοκονίας δεν συνεχίζονται στην επίστρωση. Αρμός 5χιλ. πρέπει να αφήνεται στην περίμετρο του δαπέδου, στις θέσεις των θυρών καθώς και στις γραμμές αλλαγής υλικού επίστρωσης .

Για το γέμισμα των αρμών και την κάλυψη τους από τους προμηθευτές των ξύλινων δαπέδων ειδικά προϊόντα (σφραγιστικά κορδόνια, αρμοκάλυπτα) κατάλληλα για εφαρμογή πάνω σε εγκατάσταση ενδοδαπέδιας θέρμανσης.

Η επιτυχία του συνδυασμού της ενδοδαπέδιας θέρμανσης με το ξύλινο δάπεδο εξαρτάται από την υγρασία που έχει το υπόστρωμα (τσιμεντοκονία) κατά την τοποθέτηση της επίστρωσης. Αυτή θα πρέπει να είναι πολύ μικρότερη από την ανεκτή υγρασία του ξύλου (6-10%), για να μην επηρεάσει την συμπεριφορά της επίστρωσης (φουσκώματα, σκασίματα, ξεκόλλημα) κατά την λειτουργία της εγκατάστασης.

Η τσιμεντοκονία αφήνεται να υποστεί φυσική σκλήρυνση και ξήρανση επί 21 ημέρες από την διάστρωση της. Κατόπιν η εγκατάσταση τίθεται σε λειτουργία για 14 ημέρες και η θερμοκρασία της αυξάνεται κατά 5°C κάθε μέρα μέχρι να φτάσει τα 2/3 της μέγιστης θερμοκρασίας λειτουργίας. Κατά τις τελευταίες 5 ημέρες η θερμοκρασία λειτουργίας διατηρείται σταθερή στο μέγιστο (45°C).

Η εγκατάσταση πρέπει να λειτουργεί σταθερά σε 24ωρή βάση και ο χώρος πρέπει να αερίζεται καλά κατά την διάρκεια ξήρανσης (21+14 ημέρες).

Η λειτουργία της εγκατάστασης σταματάει 2 ημέρες πριν την έναρξη τοποθέτησης της επίστρωσης.

Η εφαρμογή της επίστρωσης πρέπει να γίνεται με θερμοκρασία χώρου όχι μικρότερη από 15°C και υγρασία χώρου μεταξύ 50 και 60%.

Ο παραπάνω τρόπος ξήρανσης ακολουθείται πιστά, ανεξάρτητα από την εποχή του χρόνου και τις καιρικές συνθήκες.

Κατά την έναρξη λειτουργίας της εγκατάστασης ενδοδαπέδιας θέρμανσης, η θερμοκρασία του δαπέδου πρέπει να αυξάνεται σταδιακά κατά 5°C κάθε ημέρα μέχρι την ανώτερη τελική θερμοκρασία (28°C). Αυτό πρέπει να γίνεται για κάθε θερμαντική περίοδο.

Κατά την λειτουργία του συστήματος πρέπει να αποφεύγεται η υπέρβαση της μέγιστης τελικής θερμοκρασίας της επιφάνειας του ξύλινου δαπέδου (28°C).

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

### **ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ - ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ**

---

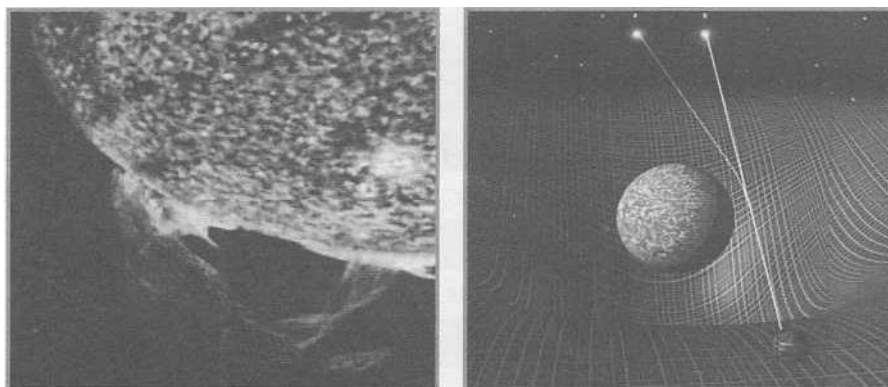
### 3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ - ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ

#### 3.1 ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

##### 3.1.1 Εισαγωγή

Ο Ήλιος είναι ένα άστρο από τα 135 δισεκατομμύρια του Γαλαξία, ο οποίος σχηματίστηκε πριν από 5 δισεκατομμύρια χρόνια, από μεσοαστρικό αέριο και κονιορτό. Μέρος του πιστεύεται ότι προήρθε από κάποιο άλλο γειτονικό άστρο που εξερράγη (Υπερνόβα). Γι' αυτό ο Ήλιος είναι αστέρι δεύτερης γενιάς. Η μάζα του Ήλιου είναι 333582 φορές μεγαλύτερη της Γης. Η ταχύτητα διαφυγής από την επιφάνεια του είναι 33935 km/sec.

Η μάζα του Ήλιου κάτω από την έλξη, προς το κέντρο, της τεράστιας βαρύτητας, φτάνει σε σημείο να ξεπερνά το όριο αντοχής για τα ανέπαφα άτομα. Η πίεση στο κέντρο του προβλέπεται ότι είναι ίση με  $10^{10}$  ατμόσφαιρες. Η σταθερή συσσώρευση της ύλης δυναμώνει συνεχώς τη βαρυτική ένταση, σε σημείο που κατανικά την ηλεκτρομαγνητική δύναμη, η οποία κρατά ανέπαφα τα άτομα και τα αναγκάζει να καταρρέουν το ένα μέσα στο άλλο. Οι στιβάδες των ηλεκτρονίων συντρίβονται κάτω από την τεράστια πίεση και τα ηλεκτρόνια μπορούν ελεύθερα πια να κινηθούν ανεμπόδιστα από αυτές. Οι στιβάδες συνθλίβονται μεταξύ τους και σχηματίζουν ένα είδος ηλεκτρονικού ρευστού χωρίς καμία δομή, πιάνοντας πολύ λιγότερο χώρο, από ότι θα έπιαναν στα ανέπαφα άτομα. Κατά τη σύνθλιψη, η μεταξύ τους ηλεκτρομαγνητική άπωση μεγαλώνει κι άλλο. Το ηλεκτρονικό ρευστό μπορεί να αντέξει μια πολύ μεγαλύτερη βαρυτική σύνθλιψη, απ' ότι μπορούν τα ανέπαφα άτομα. Οι πυρήνες μπορούν να κινηθούν ελεύθερα μέσα στο ηλεκτρονικό ρευστό και να πλησιάσουν πιο κοντά μεταξύ τους, όσο κοντά επιτρέπει η τύχη.



Σχήμα 3.1. Έκρηξη στην επιφάνεια τον ηλίου και απόκλιση όρασης

Η ύλη που έχει σπασμένες τις στιβάδες των ηλεκτρονίων και που οι πυρήνες της κινούνται μέσα στο ηλεκτρονικό ρευστό, ονομάζεται εκφυλισμένη ύλη. Η εκφυλισμένη ύλη μπορεί να είναι πολύ πιο πυκνή από τη συνηθισμένη ύλη. Το πραγματικό μαζικό μέρος της συνηθισμένης ύλης το αποτελούν οι πυρήνες και είναι αυτοί που πραγματικά συνεισφέρουν στη μάζα του κάθε αντικειμένου. Αν αναγκαστούν να πλησιάσουν μεταξύ τους όπως στην εκφυλισμένη ύλη, τότε υπάρχει πολύ μεγαλύτερη μάζα στην μονάδα όγκου, πολύ μεγαλύτερη πυκνότητα. Παρά τη μεγάλη αυτή πυκνότητα οι πυρήνες (που πιάνουν μόνο το ένα εκατομμυριοστό του δισεκατομμυριοστού του όγκου στα ανέπαφα άτομα) μπορούν ακόμη να κινούνται ελεύθερα, ακριβώς όπως τα μόρια και τα άτομα στα συγκεκριμένα αέρια. Η εκφυλισμένη ύλη, παρά την υψηλή της πυκνότητα, συμπεριφέρεται ως αέριο και έχει τις χαρακτηριστικές ιδιότητες αυτών.

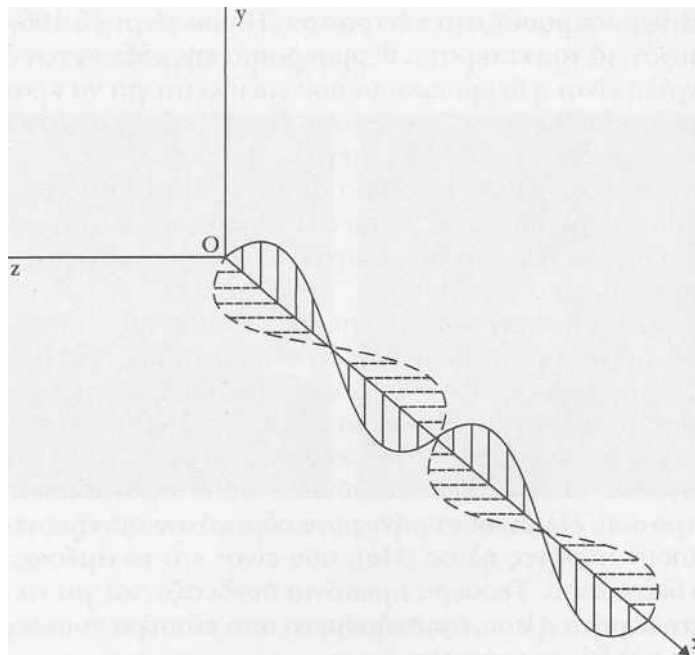
Τα πρώτα επιχειρήματα αυτής της εικόνας του Ήλιου (δηλαδή ότι ο Ήλιος είναι σε αεριώδη κατάσταση) παρουσιάστηκαν το 1907 στο βιβλίο του Ελβετού αστρονόμου Γιακομπ Ρόμπερτ Έμντεν (1862-1940) και στη συνέχεια από τον Άγγλο αστρονόμο Άρθουρ Στάνλεϋ Εντινγκτον (1882-1944). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι τρομερές συνθλίψεις που δημιουργούνται από τη βαρύτητα του Ήλιου έχουν ως αποτέλεσμα την πυκνότητα ηλιακού υλικού στο κέντρο του, που εκτιμάται ότι είναι γύρω στα  $100\text{-}150\text{gr/cm}^3$ , τέσσερις φορές πιο πυκνό από το πυκνότερο υλικό της επιφάνειας της Γης. Ο Ήλιος ακόμη και μ' ένα τόσο πυκνό πυρήνα συμπεριφέρεται σαν να είναι ολόκληρος ένα αέριο. Η θερμοκρασία στο κέντρο του Ήλιου είναι  $15 \cdot 10^6 \sim 40 \cdot 10^6 \text{K}$  (στην επιφάνεια του επικρατεί θερμοκρασία της τάξεως των  $5.777\text{K}$ ). τόσο μεγάλη είναι η θερμοκρασία που χρειάζεται για να κρατήσει τον Ήλιο αρκετά διεσταλμένο, ώστε να προκύψει ολική πυκνότητα μόνο  $1,41 \text{gr/cm}^3$ , μπροστά στην τόσο μεγάλη βαρύτητα.

Τι είναι εκείνο, όμως, το οποίο παράγει μία τόσο τεράστια θερμοκρασία στον πυρήνα του Ήλιου; Η απάντηση είναι η ενέργεια, η οποία ελευθερώνεται από τις πυρηνικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό του Ήλιου.

Ποιες όμως είναι εκείνες οι πυρηνικές αντιδράσεις που ελευθερώνουν αυτή την ενέργεια; Η απάντηση στο ερώτημα αυτό δόθηκε από την ανάλυση του φάσματος του ηλιακού φωτός. Βρέθηκε ότι περίπου το 90% των ατόμων στον Ήλιο είναι υδρογόνο ( $\text{H}_2$ ) και είναι εύλογο να θεωρηθεί ότι οι πυρήνες στο κέντρο θα πρέπει να είναι πυρήνες υδρογόνου, οι οποίοι αποτελούνται από ένα μοναδικό πρωτόνιο. Στο κέντρο του Ήλιου οι πυρήνες του υδρογόνου συντήκονται για να σχηματίσουν πυρήνες ηλίου ( $\text{He}$ ), που είναι και το αμέσως επόμενο σύνθετο δείγμα του. Τέσσερα πρωτόνια συνδυάζονται για να σχηματίσουν ένα πυρήνα ηλίου, αποτελούμενο από τέσσερα νουκλεόνια (δύο πρωτόνια και δύο νετρόνια).

Ο Ήλιος όπως και κάθε άστρο, βρίσκεται σε κατάσταση δυναμικής σταθερότητας, γιατί διατηρεί τη δομή του πληρώνοντας συνεχώς με κάτι από μέσα του, το οποίο αλλάζει συνεχώς. Η βαρύτητα που έλκει τη μάζα του προς το κέντρο είναι ουσιαστικά αμετάβλητη,

αλλά η εσωτερική άπωση που δημιουργείται από τη θερμοκρασία στο κέντρο του, η οποία ισορροπεί αυτή την έλξη, εξαρτάται από τις πυρηνικές αντιδράσεις που καταναλώνουν υδρογόνο και παράγουν ήλιο. Ο Ήλιος παραμένει σε αυτό που είναι, μόνο σε βάρος της αργής μετατροπής  $6 \cdot 10^{10} \text{kg}$  υδρογόνου σε  $5,96 \cdot 10^{10} \text{kg}$  ηλίου κάθε δευτερόλεπτο(sec). Τα υπόλοιπα  $4 \cdot 10^9 \text{kg}$  μετατρέπονται σε ακτινοβολίες που εκπέμπονται σταθερά από τον Ήλιο προς κάθε κατεύθυνση.



**Σχήμα 3.2.** Ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα που διαδίδεται κατά μήκος τον άξονα  $Ox$  συνίσταται από ένα ηλεκτρονικό και ένα μαγνητικό πεδίο, που ταλαντώνονται στις διευθύνσεις  $Oy$  και  $Oz$ , αντίστοιχα.

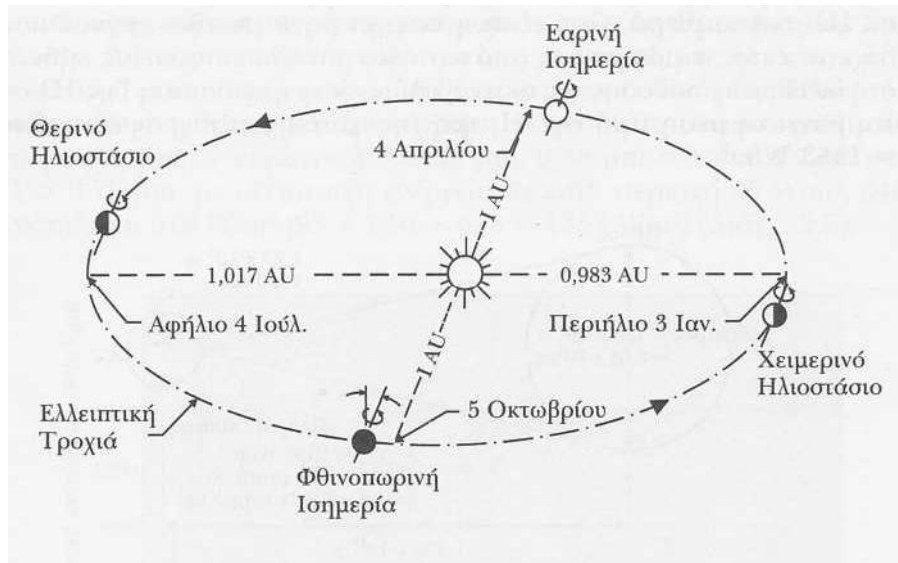
### 3.1.2 Βασικές Έννοιες

Ο Ήλιος αποτελεί τη βασική πηγή ενέργειας, χωρίς την οποία δε θα μπορούσε να υπάρξει ζωή στη Γη. Ακτινοβολεί θερμική ενέργεια από την επιφάνειά του σε φάσμα ακτινοβολιών από 0,29 έως 4,75  $\mu\text{m}$ .

Οι πληροφορίες για τη θέση του Ήλιου σχετικά με ένα σημείο της Γης είναι απαραίτητες για εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας. Χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει σε μία επιφάνεια με τυχαίο προσανατολισμό και κλίση, καθώς επίσης και για το σχεδιασμό συστημάτων που χρησιμοποιούν τη διαθέσιμη σε μία περιοχή, ηλιακή ακτινοβολία.



Η δυναμική του ηλιακού συστήματος καθορίζει τη σχετική κίνηση του συστήματος Γης – Ήλιου. Οι γνώσεις που έχουμε σήμερα σχετικά με αυτές τις κινήσεις είναι αποτέλεσμα παρατηρήσεων και βασικών Νόμων από τα αρχαία χρόνια. Με τις συνεχόμενες παρατηρήσεις του Ήλιου – πλανητών, με την πρόοδο της διαστημικής και τις πληροφορίες που συλλέγονται από τους δορυφόρους, έχουν φέρει τις γνώσεις μας σε πολύ υψηλό επίπεδο.

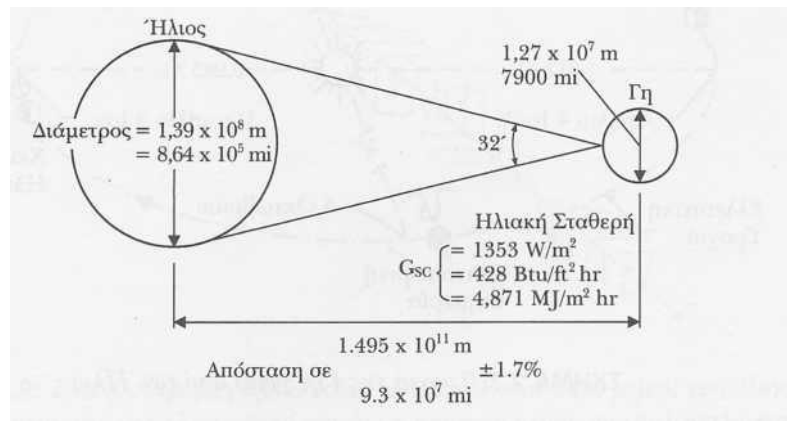


Σχήμα 3.3. Τροχιά της Γης γύρα από τον Ήλιο

Η Γη κινείται γύρω από τον Ήλιο ακολουθώντας ελλειπτική τροχιά με μικρή εκκεντρικότητα, όπως φαίνεται στο σχ. 3.3.

Η πιο κοντινή απόσταση από τον Ήλιο (Περιήλιο) είναι στις αρχές Ιανουαρίου (2 Ιανουαρίου) και η Γη είναι στην πιο μακρινή απόσταση της από τον Ήλιο στις αρχές Ιουλίου (6 Ιουλίου).

**Ηλιακή σταθερά  $G_{sc}$ .** Στο σχ. 3.4 παρουσιάζονται ορισμένα κύρια γεωμετρικά χαρακτηριστικά Ήλιου-Γης. Η τροχιά της γης περί τον Ήλιο είναι τέτοια, ώστε η απόσταση μεταξύ τους να μεταβάλλεται κατά  $\pm 1,7\%$  περί τη μέση απόσταση Γης-Ήλιου, η οποία είναι  $1,495 \times 10^{11} \text{m}$ . Ηλιακή σταθερά,  $G_{sc}$ , είναι η ενέργεια ανά μονάδα χρόνου που δέχεται εκτός ατμόσφαιρας από τον ήλιο επιφάνεια κάθετη στη διεύθυνση διάδοσης της ακτινοβολίας, όταν η απόσταση Γης-Ήλιου λαμβάνει τη μέση τιμή της. Η τιμή της ηλιακής σταθεράς είναι  $G_{sc}=1353 \text{W/m}^2$ .



Σχήμα 3.4. Κύρια γεωμετρικά χαρακτηριστικά Γης-Ήλιου

**Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας εκτός ατμόσφαιρας.** Η μεταβολή της απόστασης Γης-Ήλιου προκαλεί μεταβολή της ακτινοβολίας εκτός ατμόσφαιρας κατά  $\pm 3,3\%$  περί τη μέση τιμή της.

Ο διορθωτικός συντελεστής για την εκκεντρικότητα της γης προσδιορίζεται από τη σχέση:

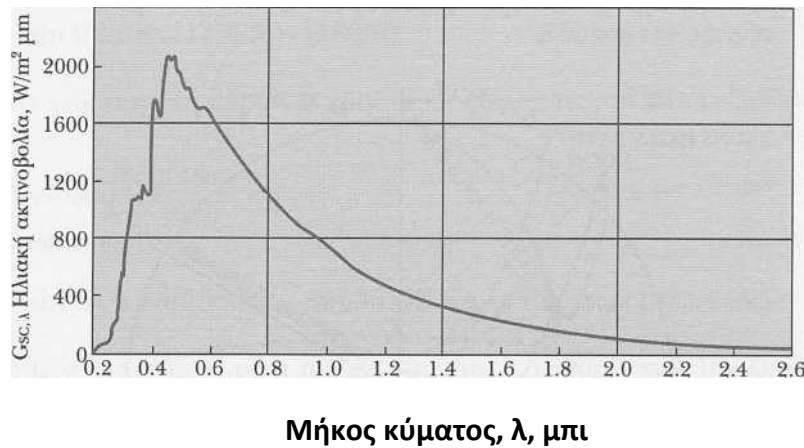
$$E_0 = 1 + 0,033 \cos \frac{360n}{365}$$

Όπου  $n = 1 \div 365$  είναι η ημέρα του έτους.

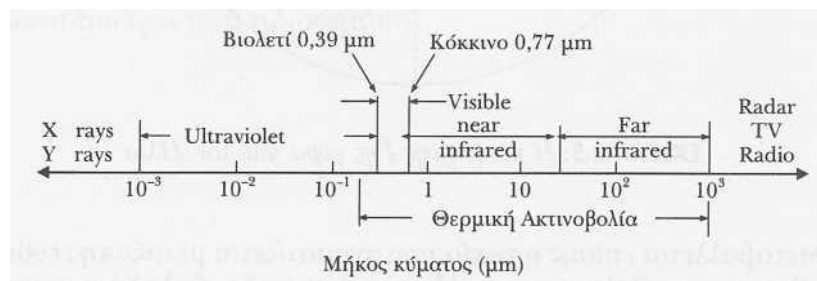
Η ακτινοβολία  $G_{0n}$ , που δέχεται επίπεδο εκτός ατμόσφαιρας κάθετο στις ηλιακές ακτίνες, δίνεται από τη σχέση:

$$G_{0n} = G_{sc} \left( 1 + 0,033 \cos \frac{360n}{365} \right)$$

**Φασματική κατανομή της ακτινοβολίας εκτός ατμόσφαιρας.** Στο διάγραμμα 3.1 παρουσιάζεται η φασματική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας εκτός ατμόσφαιρας κατά τη μέση απόσταση Γης-Ήλιου. Η υπεριώδης, η ορατή και η υπέρυθη ακτινοβολία αντιστοιχούν στις περιοχές μηκών κύματος  $\lambda < 0,38 \mu\text{m}$ ,  $0,38 \mu\text{m} < \lambda < 0,78 \mu\text{m}$  και  $\lambda > 0,78 \mu\text{m}$ , με αντίστοιχη ενέργεια σε κάθε περιοχή  $95 \text{W/m}^2$ ,  $640 \text{W/m}^2$ , και  $618 \text{W/m}^2$  ( $95 + 640 + 618 = 1353 \text{W/m}^2$ ) (διαγρ. 3.2).



**Διάγραμμα 3.1.** Φασματική κατανομή ηλιακής ακτινοβολίας

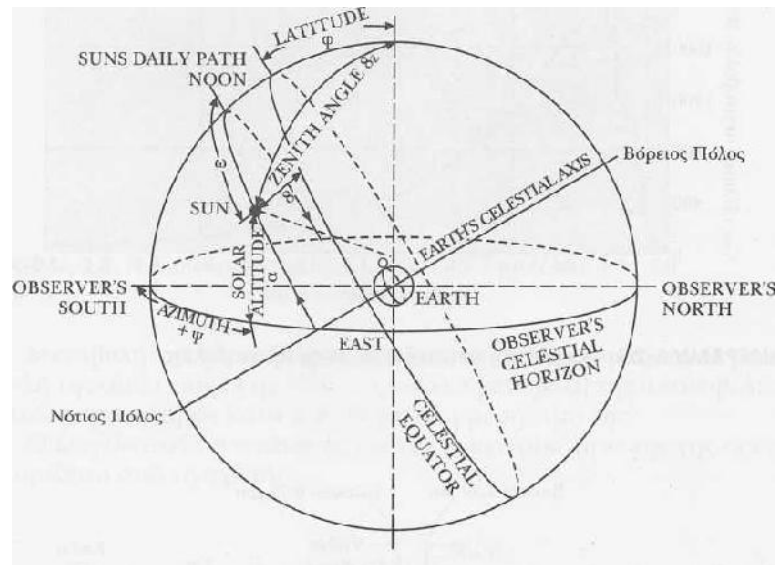


**Διάγραμμα 3.2.** Η υπεριώδης, η ορατή και η υπέρυθη ακτινοβολία

### 3.1.3 Γεωμετρική σχέση Γης-Ήλιου.

Η Γη κάνοντας μία περιστροφή την ημέρα, γυρίζει με ρυθμό  $15^\circ$  ανά ώρα (σε σχέση με τον Ήλιο), με την ώρα να μετράται με βάση τη διεθνή ώρα ή το μέσο ηλιακό χρόνο. Το επίπεδο περιστροφής της Γης γύρω από τον Ήλιο ονομάζεται ελλειπτικό επίπεδο. Ο άξονας περιστροφής της Γης σχηματίζει γωνία περίπου  $23,5^\circ$  με την κάθετο στο ελλειπτικό επίπεδο (σχ 3.5).

Η περιστροφή της Γης γύρω από τον άξονα της προκαλεί τις ημερήσιες μεταβολές στα επίπεδα της ηλιακής ακτινοβολίας. Η θέση αυτού του άξονα σε σχέση με τον Ήλιο προκαλεί εποχικές αλλαγές στην ηλιακή ακτινοβολία. Η γωνία του κυρίου άξονα της Γης και της κάθετου στο ελλειπτικό επίπεδο παραμένει σταθερή. Το ίδιο συμβαίνει με το επίπεδο του ισημερινού της Γης με το ελλειπτικό επίπεδο.



**Σχήμα 3.5.** Η κίνηση της Γης γύρω από τον Ήλιο

Μεταβάλλεται επίσης η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της ευθείας της Γης και του Ήλιου με το ελλειπτικό επίπεδο, δηλαδή η γωνιακή θέση του Ήλιου κατά την ηλιακή μεσημβρία σε σχέση με το επίπεδο του ισημερινού. Η γωνία αυτή μεταβάλλεται συνεχώς και ονομάζεται ηλιακή απόκλιση ( $\delta$ )

### 3.1.4 Ηλιακή απόκλιση $\delta$ .

Είναι η γωνιακή θέση του Ήλιου κατά το ηλιακό μεσημέρι ως προς το επίπεδο του ισημερινού. Ισχύει  $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$ , με θετικές τιμές προς το βορρά.

Κατά τη διάρκεια ενός 24ωρου, η μέγιστη μεταβολή του ( $\delta$ ) είναι μικρότερη της  $0,5^\circ$ . Συνεπώς, εάν η ηλιακή απόκλιση θεωρηθεί σταθερή για 24 ώρες, προκύπτει μέγιστο σφάλμα στους υπολογισμούς των άλλων ηλιακών γωνιών, μεγέθους  $0,5^\circ$ . Ο υπολογισμός του ( $\delta$ ) σε μοίρες μπορεί να γίνει με μεγάλη ακρίβεια (μέγιστο σφάλμα  $0,0006 \text{ rad}$ ) με την εξίσωση του Spencer.

$$\delta = (0,006918 - 0,399912 \cdot \cos(2\pi(n-1)/365) + 0,070257 \cdot \sin(2\pi(n-1)/365) - 0,006758 \cdot \cos^2(2\pi(n-1)/365) - 0,002697 \cdot \cos^3(2\pi(n-1)/365) + 0,00148 \cdot \sin^3(2\pi(n-1)/365)) \cdot (180/\pi)$$

Εξίσωση του Spencer

ή με ικανοποιητική ακρίβεια χρησιμοποιώντας τις πιο κάτω εξισώσεις:

$$\delta = 23,45 \sin\left(\frac{360(284+n)}{365}\right)$$

Εξίσωση του Cooper

$$\delta = \sin^{-1}\{0,4 \sin[360(n - 82)/365]\}$$

Εξίσωση του PerrindeBrichambaut

Όπου  $n=1\div 365$  είναι η ημέρα του έτους, η οποία υπολογίζεται με τη βοήθεια του πίνακα 3.2. στον ίδιο πίνακα δίνεται η ηλιακή απόκλιση  $\delta$  κατά τη μέση ημέρα κάθε μήνα. Μέση ημέρα του μήνα θεωρείται εκείνη η οποία έχει ηλιακή ακτινοβολία, εκτός ατμόσφαιρας, περίπου ίση με τη μέση ημερήσια του μήνα.

Η ηλιακή απόκλιση είναι μηδέν κατά τη φθινοπωρινή ισημερία και έχει την τιμή  $+23,5^\circ$  κατά το θερινό ηλιοστάσιο και  $-23,5^\circ$  το χειμερινό ηλιοστάσιο (για το Β ημισφαίριο).

### 3.1.5 Ηλιακός χρόνος

Είναι ο χρόνος που μετράται με βάση τη φαινόμενη κλίση του Ήλιου στον ουρανό. Χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς των σχέσεων μεταξύ των ηλιακών γωνιών. Ο ηλιακός χρόνος δε συμπίπτει με την τοπική ώρα. Είναι απαραίτητο να συσχετισθεί ο τοπικός χρόνος με τον αντίστοιχο ηλιακό, εφαρμόζοντας δύο διορθώσεις. Πρώτα πρέπει να γίνει μία διόρθωση για τη διαφορά στο γεωγραφικό μήκος μεταξύ του τοπικού μεσημβρινού και του μεσημβρινού, βάσει του οποίου υπολογίζεται η τοπική ώρα. Για την Ελλάδα ο σταθερός μεσημβρινός είναι  $30^\circ\text{A}$ . Ο Ήλιος χρειάζεται 4 λεπτά για να καλύψει γεωγραφικό μήκος  $1^\circ$ . Η δεύτερη διόρθωση σχετίζεται με την εξίσωση του χρόνου, η οποία συμπεριλαμβάνει τις μεταβολές στο ρυθμό περιστροφής της Γης και οι οποίες επιδρούν στο χρόνο που ο Ήλιος περνάει από τον τοπικό μεσημβρινό. Τέλος μπορεί να χρειαστεί και μία ακόμη διόρθωση για τη θερινή ώρα.

Το ηλιακό μεσημέρι είναι η χρονική στιγμή που ο Ήλιος τέμνει το μεσημβρινό του παρατηρητή. Ο ηλιακός χρόνος δε συμπίπτει με τον τοπικό χρόνο,  $t_{\text{ρολ}}$ , που δείχνει το ρολόι. Η παρακάτω σχέση συνδέει τους δύο χρόνους:

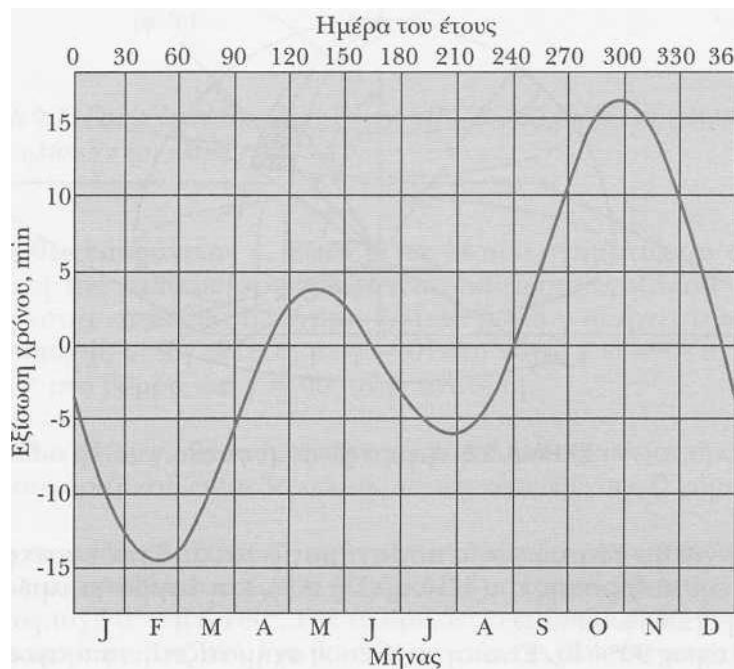
$$T_{\text{sol}} = t_{\text{ρολ}} \pm 4(L_{\text{st}} - L_{\text{loc}}) + E$$

όπου  $L_{\text{st}}$  είναι το γεωγραφικό μήκος του μεσημβρινού στον οποίο βασίζεται ο τοπικός χρόνος (για την Ελλάδα  $L_{\text{st}} = 30^\circ$ ) και  $L_{\text{loc}}$  είναι το γεωγραφικό μήκος του παρατηρητή. Η σχέση ισχύει με  $+$  για τα δυτικά μήκη και με  $-$  για τα ανατολικά, δηλ. (+) στο δυτικό

ημισφαίριο και (-) ανατολικό ημισφαίριο. Ο συντελεστής 4 εκφράζει min/μοίρα. Τέλος  $E(\text{min})$  είναι η εξίσωση του χρόνου που λαμβάνεται για κάθε ημέρα του έτους από την παρακάτω σχέση του Watt ή από το διάγραμμα 3.3

$$E = 9.87 \sin 2B - 7.53 \cos B - 1.5 \sin B$$

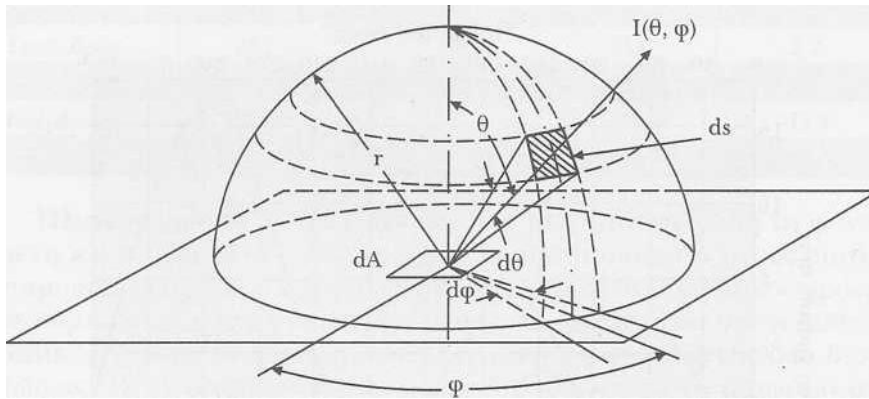
Όπου  $B = 360 \cdot (n-81) / 364$ ,  $n$  η ημέρα του έτους (Πίνακας 3.1)



**Διάγραμμα 3.3.** Η εξίσωση του χρόνου  $E$ , σε πρώτα λεπτά της ώρας, συναρτήσει της ημέρας του έτους

Για τους υπολογισμούς της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της Γης είναι απαραίτητη η γνώση μερικών τριγωνομετρικών σχέσεων μεταξύ της θέσης του ήλιου στον ουρανό και των συντεταγμένων της επιφάνειας στη Γη. Τοποθετείται παρατηρητής πάνω στη Γη, πάνω στον οποίο διαγράφεται η κίνηση του Ήλιου. (Σχ 3.6)

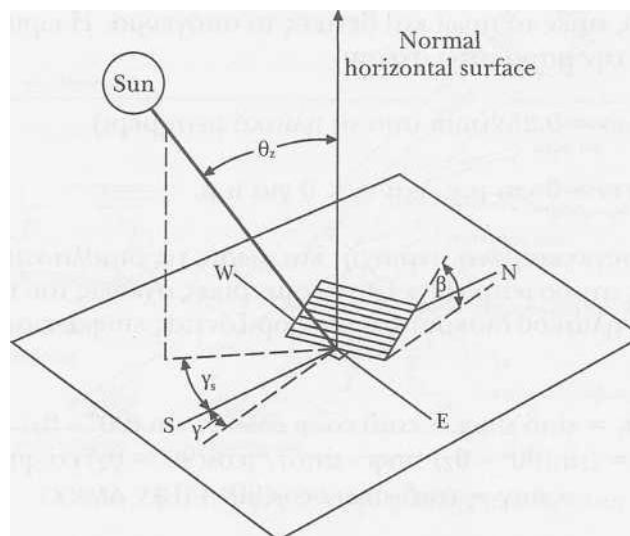
Σε δεδομένο χρόνο ο παρατηρητής πάνω στην επιφάνεια της Γης έχει μία αντίστοιχη θέση πάνω στην επιφάνεια του θόλου που ονομάζεται **ζενίθ**, ζενίθιο σημείο παρατηρητή. Αυτό είναι το σημείο τομής με τον ουράνιο θόλο μιας καθέτου στο σημείο του παρατηρητή. Το σημείο που βρίσκεται σε διαγώνια αντίθετη θέση από το ζενιθιακό σημείο ονομάζεται **ναδίρ**. Ο ορίζοντας του παρατηρητή είναι ο βασικός κύκλος στον ουράνιο θόλο, το επίπεδο του οποίου διέρχεται από το κέντρο της Γης και είναι κάθετο στην ευθεία που ενώνει το κέντρο της Γης με το ζενίθ.



Σχήμα 3.6. Χαρακτηριστικές γωνίες

**Γωνία ζενίθ  $\theta_z$ .** Είναι η γωνία που σχηματίζεται από την κατακόρυφο και την ευθεία όρασης του Ήλιου, (Σχ 3.7) και λαμβάνει τιμές στην περιοχή  $0^\circ \leq \theta_z \leq 90^\circ$ .

**Ηλιακό ύψος  $90^\circ - \theta_z$ .** Είναι η γωνία που σχηματίζεται από την ευθεία όρασης του Ήλιου και την προβολή της στο οριζόντιο επίπεδο. (Σχ 2.7)



Σχήμα 3.7. Γωνία ζενίθ  $\theta_z$ , ηλιακό ύψος  $90^\circ - \theta_z$ , αζιμούθιο επιφάνειας  $\gamma$ , αζι- μούθιο ήλιου και κλίση επιπέδου  $\beta$

**Αζιμούθιο επιφάνειας  $\gamma$ .** Είναι η γωνία που σχηματίζεται από την προβολή της καθέτου στην επιφάνεια, πάνω στο οριζόντιο επίπεδο και τη νότια κατεύθυνση (Σχήμα 3.7). η γωνία  $\gamma$  παίρνει τιμές εντός της περιοχής  $0^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$ , με  $\gamma = 0^\circ$  στο νότο,  $\gamma = -90^\circ$  στη δύση,  $\gamma = 180^\circ$  στο βορρά και  $\gamma = 90^\circ$  στην ανατολή.

**Αζιμούθιο ηλίου  $\gamma_s$ .** Είναι η γωνία της προβολής της ευθείας όρασης του ηλίου στο οριζόντιο επίπεδο και της νότιας κατεύθυνσης (σχήμα 3.7)

**Κλίση επίπεδου  $\beta$ .** είναι η γωνία που σχηματίζει μία επίπεδη επιφάνεια με το οριζόντιο επίπεδο (σχήμα 3.8). Η γωνία  $\beta$  παίρνει τιμές στην περιοχή  $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$ . Για το οριζόντιο επίπεδο είναι  $\beta = 0^\circ$ , για το κατακόρυφο  $\beta = 90^\circ$ . Για  $\beta > 90^\circ$  το επίπεδο βλέπει προς τα κάτω.

**Ωριαία γωνία  $\omega$ .** είναι η γωνία που μετράται στους πόλους του θόλου μεταξύ μεσημβρινού παρατηρητή και ηλιακού μεσημβρινού, δηλαδή η γωνιακή μετατόπιση του ήλιου ανατολικά ή δυτικά του τοπικού μεσημβρινού λόγω της περιστροφής της γης περί τον άξονα της με ρυθμό  $15^\circ/h = 0.25^\circ/\text{min}$ .

Μετρώντας από τη μεσημβρία, η ωριαία γωνία αλλάζει κατά  $15^\circ/h$ , με αρνητικές τιμές το πρωί και θετικές το απόγευμα. Η ωριαία γωνία δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\omega = 0,25 \times (\text{min από το ηλιακό μεσημέρι}).$$

λαμβάνεται  $\omega > 0$  για μ.μ. και  $\omega < 0$  για π.μ.

για μία συγκεκριμένη περιοχή, και χωρίς τις διαθλαστικές παρενέργειες της ατμόσφαιρας, οι τριγωνομετρικές σχέσεις του ήλιου (του κέντρου του ηλιακού δίσκου) και μιας οριζόντιας επιφάνειας δίνονται ως εξής:

$$\begin{aligned} \cos\theta_z &= \sin\delta \sin\phi + \cos\delta \cos\phi \cos\omega = \sin(90^\circ - \theta_z) \\ \cos\gamma &= (\sin(90^\circ - \theta_z) \sin\phi - \sin\delta) / (\cos(90^\circ - \theta_z) \cos\phi) \\ \sin\gamma &= \cos\delta \sin\omega / \cos(90^\circ - \theta_z) \end{aligned}$$

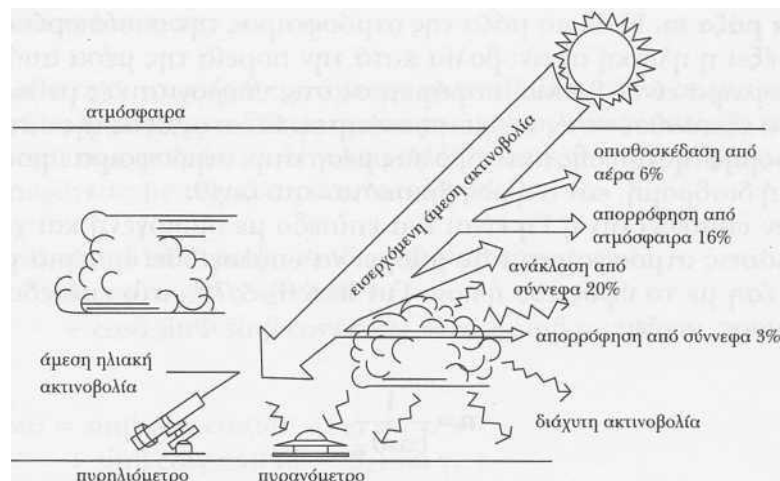
όπου  $\phi$ : το γεωγραφικό πλάτος του παρατηρητή (βόρεια του ισημερινού θετικές τιμές).

**Άμεση ακτινοβολία.** Είναι το μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη γη κατευθείαν από τον ήλιο χωρίς να μεσολαβήσει διασκορπισμός μέσα στην ατμόσφαιρα. Για τη μέτρηση της χρησιμοποιείται το πυρηλιόμετρο που μετρά την άμεση ακτινοβολία σε κάθετο επίπεδο στη διεύθυνση Γης - Ήλιου (σχήμα 2.8). Η στιγμιαία τιμή ( $W/m^2$ ) της άμεσης ακτινοβολίας που δέχεται το οριζόντιο επίπεδο συμβολίζεται με  $G_b$ , ενώ, προκειμένου για κεκλιμένο επίπεδο, με  $G_{bT}$ . Για χρονική περίοδο μιας ώρας ή μιας ημέρας, εφόσον πλέον γίνεται αναφορά στην ωριαία ή ημερήσια ενέργεια που λαμβάνει το οριζόντιο επίπεδο, αντί του συμβόλου  $G$  χρησιμοποιείται το σύμβολο  $I$  και  $H$  αντίστοιχα, δηλαδή  $I_b, I_{bT}, H_b, H_{bT}$  ( $J/m^2$ ).

Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται από:



- Την απόσταση ήλιου, γης
- Την απόκλιση του ήλιου
- Το ύψος του ήλιου
- Το γεωγραφικό πλάτος του τόπου
- Το υψόμετρο του τόπου
- Την κλίση του εδάφους και
- Την απορρόφηση και διάχυση της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα.



**Σχήμα 3.8.** Μέτρηση άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας

**Διάχυτη ακτινοβολία.** Είναι το μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη γη ύστερα από διασκορπισμό και αλλαγή κατεύθυνσης κατά τη διαδρομή μέσα στην ατμόσφαιρα. Συμβολίζεται με ίδια γράμματα όπως και για την άμεση ακτινοβολία αλλά με δείκτη **d** αντί για **b** ( $G_{d,T}$ ,  $I_{d,T}$  κλπ.).

Η διάχυτη ακτινοβολία εξαρτάται από:

- Το ύψος του ήλιου
- Το υψόμετρο του τόπου
- Τη λευκαύγεια του εδάφους
- Το ποσό και το είδος των νεφών που αναπτύσσονται στην ατμόσφαιρα.

**Ολική ακτινοβολία.** Είναι το άθροισμα της άμεσης και διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας, συμπεριλαμβανομένης και της ανακλώμενης ακτινοβολίας από παρακείμενες επιφάνειες. Συμβολισμός όπως και στην περίπτωση της άμεσης ή διάχυτης ακτινοβολίας αλλά χωρίς δείκτη **d** ή **b** δηλαδή **G** είναι η ολική ακτινοβολία του οριζόντιου επίπεδου. Ενώ **G<sub>T</sub>** του κεκλιμένου.

**Ακτινοβολία κάθετου επίπεδου ή κάθετη ακτινοβολία.** Είναι η ακτινοβολία που δέχεται επίπεδο κάθετο στις ηλιακές ακτίνες. Δηλώνεται θέτοντας το δείκτη **n**, πχ **G<sub>bn</sub>** είναι η

άμεση ακτινοβολία κάθετου επίπεδου και  $G_{on}$  είναι η ακτινοβολία κάθετου επίπεδου εκτός ατμόσφαιρας. Ο δείκτης  $o$  δηλώνει ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας.

**Αέρια μάζα  $m$ .** Η αέρια μάζα της ατμόσφαιρας την οποία πρέπει να διατρέξει η ηλιακή ακτινοβολία κατά την πορεία της μέσα από την ατμόσφαιρα είναι βασική παράμετρος στις υπολογιστικές μεθόδους που θα εξετασθούν στις επόμενες ενότητες. Είναι ο λόγος της οπτικής διαδρομής της άμεσης ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα προς την οπτική διαδρομή, εάν ο ήλιος βρισκόταν στο ζενίθ.

Εάν υποθεθεί ότι η γη είναι ένα επίπεδο με ομοιογενή και χωρίς διαθλάσεις ατμόσφαιρα, τότε μπορεί να υπολογιστεί η αέρια μάζα σε σχέση με το ύψος του ήλιου. Για  $0^\circ \leq \theta_z \leq 70^\circ$ , στο επίπεδο της θάλασσας ισχύει:

$$m = 1/\cos \theta_z$$

Το σφάλμα της εξίσωσης είναι 0,25% μέχρι  $\theta_z < 70^\circ$  και φτάνει το 10% για  $\theta_z = 85^\circ$ , δηλαδή για  $\theta_z > 70^\circ$  η επίδραση της καμπυλότητας της γης γίνεται σημαντική και πρέπει να ληφθεί υπόψη. Έξω από την ατμόσφαιρα λαμβάνεται  $m=0$ .

Όταν η καμπυλότητα της ατμόσφαιρας γίνεται σημαντική, δηλαδή σε χαμηλά ηλιακά ύψη ( $90^\circ - \theta_z$ ), τότε προτιμάται ο υπολογισμός του  $m$  Να γίνεται από τον πίνακα 3.1.

$\pi - \delta_z$ (rad)	$m$
0,000	22,0
0,017	20,0
0,035	18,0
0,052	15,6
0,070	12,5
0,087	10,4
0,105	9,0
0,122	8,0
0,140	7,185

**Πίνακας 3.1.** Υπολογισμός αέριας μάζας  $m$

**Γωνία πρόσπτωσης.** Γωνία πρόσπτωσης  $\theta$  της άμεσης ακτινοβολίας πάνω σε μία επιφάνεια είναι η γωνία μεταξύ των προσπιπτουσών ηλιακών ακτινών και της καθέτου στην επιφάνεια. Η γωνία πρόσπτωσης  $\theta$  υπολογίζεται:

Επιφάνειες με τυχαίο προσανατολισμό:

$$\begin{aligned} \cos\theta &= \sin\delta \sin\Phi \cos\beta - \sin\delta \cos\Phi \sin\beta \cos\gamma + \\ &+ \cos\delta \cos\Phi \cos\beta \cos\omega + \\ &+ \cos\delta \sin\Phi \sin\beta \cos\gamma \cos\omega + \cos\delta \sin\beta \sin\gamma \sin\omega \end{aligned} \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} \cos\theta &= \sin\beta \sin\gamma \cos(90^\circ - \theta_z) \sin\gamma_s + \\ &+ \sin\beta \cos\gamma \cos(90^\circ - \theta_z) \sin\gamma_s + \\ &+ \cos\beta \sin(90^\circ - \theta_z) \end{aligned} \quad (3.2)$$

$$\cos\theta = \sin\beta \cos\theta_z + \sin\beta \cos(\gamma_s - \gamma) \sin\theta_z \quad (3.3)$$

Όπου  $\Phi$  είναι το γεωγραφικό πλάτος ( $-90^\circ \leq \Phi \leq 90^\circ$ ) του τόπου, λ.χ. για τη Αθήνα,  $\Phi = 37,97^\circ$ .

Για κατακόρυφες επιφάνειες στις οποίες η γωνία  $\beta$  είναι  $90^\circ$  η παραπάνω σχέση γίνεται:

$$\begin{aligned} \cos\theta &= -\sin\delta \cos\Phi \cos\gamma + \cos\delta \sin\Phi \cos\gamma \cos\omega + \\ &+ \cos\delta \sin\gamma \sin\omega \end{aligned} \quad (3.4)$$

Ενώ για οριζόντιες επιφάνειες που έχουν γωνία  $\beta = 0^\circ$ , ταυτόχρονα η γωνία πρόσπτωσης ταυτίζεται με τη γωνία ζενίθ  $\theta_z$ . Η εξίσωση 3.1 παίρνει τη μορφή:

$$\cos\theta_z = \sin\delta \sin\Phi + \cos\delta \cos\Phi \cos\omega \quad (3.5)$$

Για κεκλιμένες επιφάνειες που βρίσκονται στο βόρειο ημισφαίριο και είναι στραμμένες προς το νότιο ( $\gamma = 0^\circ$ ) ισχύει:

$$\cos\theta = \sin\delta \sin(\Phi - \beta) + \cos\delta \cos(\Phi - \beta) \cos\omega \quad (3.6)$$

Η παραπάνω σχέση προκύπτει από την εξίσωση 3.3 θέτοντας  $(\Phi - \beta)$  αντί  $\Phi$ .

Κάθετες επιφάνειες με δυτικό προσανατολισμό:

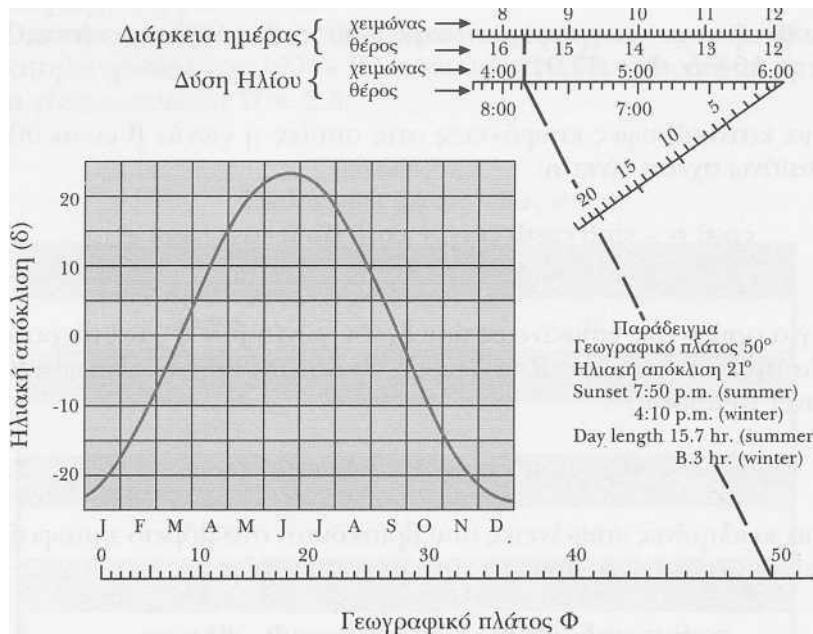
$$\cos\theta = \cos\delta \sin\omega = \cos(90^\circ - \theta_z) \sin\gamma_s \quad (3.7)$$

Για κεκλιμένες επιφάνειες που βρίσκονται στο νότιο ημισφαίριο και είναι στραμμένες προς το βορρά ( $\gamma = 180^\circ$ ) και ισχύει η εξίσωση 3.6 με  $(\Phi + \beta)$  αντί  $(\Phi - \beta)$ .

Η ωριαία γωνία δύσης του ηλίου ως υπολογίζεται από την εξίσωση 3.5 για  $\theta_z = 90^\circ$ , δηλαδή

$$\cos\omega_s = -\frac{\sin\Phi \sin\delta}{\cos\Phi \cos\delta} = -\tan\Phi \tan\delta \quad (3.8)$$

Παρακάτω δίνεται νομογράφημα προσδιορισμού του χρόνου δύσης του ηλίου και της διάρκειας της ημέρας με δεδομένα το γεωγραφικό πλάτος και την ηλιακή απόκλιση (διάγραμμα 3.4).



**Διάγραμμα 3.4.** Νομογράφημα προσδιορισμού χρόνου δύσης και διάρκειας ημέρας

**Γωνία πρόσπτωσης σε κινούμενα επίπεδα.** Οι συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες συχνά φέρουν μηχανισμό κίνησης με στόχο να παρακολουθούν την κίνηση του ήλιου. Διακρίνονται δύο κατηγορίες κίνησης, κίνηση γύρω από τον ένα άξονα, με κατεύθυνση ανατολή – δύση, βορρά – νότο ή κίνηση παράλληλα προς τον άξονα της γης ή γύρω από δύο άξονες. Ο προσδιορισμός της γωνίας πρόσπτωσης για συνηθισμένες περιπτώσεις περιστροφής γίνεται από τις παρακάτω σχέσεις:

- Επίπεδο που στρέφεται γύρω από τον άξονα διεύθυνσης ανατολής – δύσης με μια μόνο ημερήσια ρύθμιση, ώστε οι ακτίνες να είναι κάθετες στο επίπεδο κάθε μεσημέρι:

$$\cos\theta = \sin^2\delta + \cos^2\delta \cos\omega$$

- Επίπεδο που στρέφεται γύρω από τον άξονα διεύθυνσης ανατολής – δύσης με συνεχή ρύθμιση, ώστε να ελαχιστοποιείται η γωνία πρόσπτωσης

$$\cos\theta = (1 - \cos^2\delta \sin^2\omega)^{\circ}$$

- Επίπεδο που στρέφεται γύρω από τον άξονα διεύθυνσης βορρά – νότου με συνεχή ρύθμιση, ώστε να ελαχιστοποιείται η γωνία πρόσπτωσης

$$\cos\theta = [(\sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos\omega)^2 + \cos^2\delta \sin^2\omega]$$

- Επίπεδο που στρέφεται γύρω από τον άξονα παράλληλο στον άξονα της γης με συνεχή ρύθμιση

$$\cos\theta = \cos\delta$$

- Επίπεδο που στρέφεται γύρω από δύο άξονες με συνεχή ρύθμιση ώστε να είναι συνεχώς κάθετο στις ακτίνες

$$\cos\theta = 1$$

## 3.2 ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ

### 3.2.1 Εισαγωγή

Η ιστορία των ηλιακών θερμικών εφαρμογών πηγαίνει αρκετά πίσω μέχρι την εποχή του Αρχιμήδη το 214 πΧ, για την θέρμανση νερού με την χρήση κοίλου καθρέπτη. Σαν όρος «ηλιακός θερμικός» περιλαμβάνει όλες τις θερμικές εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας, και αντιπροσωπεύει ένα αριθμό διαφορετικών τεχνολογικών επιλογών. Εδώ θα μας απασχολήσει τα συστήματα μη συγκεντρωτικών ηλιακών συλλεκτών που χρησιμοποιούνται για οικιακές εφαρμογές.

### 3.2.2 Ειδη ηλιακών συλλεκτών

Στην καρδιά του ηλιακού θερμικού συστήματος είναι ο ηλιακός συλλέκτης. Απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία την μετατρέπει σε θερμότητα, και μεταφέρει χρήσιμη θερμότητα στο ηλιακό σύστημα. Υπάρχουν διάφορα είδη ηλιακών συλλεκτών: εκτός από τους απλούς απορροφητές που χρησιμοποιούνται για την θέρμανση πισινών, έχουν αναπτυχθεί πιο σοφιστικέ συστήματα για υψηλότερες θερμοκρασίες όπως επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες, επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες κενού, και ηλιακοί συλλέκτες κενού τύπου σωλήνα (tube type collectors).

#### 3.2.2.1 ΕΠΙΠΕΔΟΙ ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ

Η πλειοψηφία των ηλιακών συλλεκτών που πωλούνται σε πολλές χώρες είναι παραλλαγή του επίπεδου ηλιακού συλλέκτη. Τα βασικά μέρη είναι ένα διαφανές μπροστινό κάλυμα, η βάση του συλλέκτη και ένας συλλέκτης. Ο συλλέκτης, μέσα στη βάση του επίπεδου ηλιακού συλλέκτη, μετατρέπει την ηλιοφάνεια σε θερμότητα και την μεταφέρει στο ρευστό του σωλήνες του συλλέκτη. Ο συλλέκτης μπορεί να αγγίξει στάσιμες θερμοκρασίες μέχρι και 200 °C (π.χ. όταν δεν κυκλοφορεί καθόλου ρευστό), όλα τα υλικά θα πρέπει να μπορούν να αντέξουν σε αυτές τις θερμοκρασίες. Γι' αυτό τον λόγο, ο συλλέκτης είναι συνήθως κατασκευασμένος από χαλκό, χάλυβα ή αλουμίνιο. Το κέλυφος (ή βάση του ηλιακού) μπορεί να είναι κατασκευασμένο από πλαστικό, μέταλλο ή ξύλο, ενώ το μπροστινό γυάλινο κάλυμμα πρέπει να είναι σφραγισμένο για να μην διαφεύγει η θερμότητα και να μην εισέρχεται στον συλλέκτη σκόνη, έντομα ή υγρασία (μείωση της

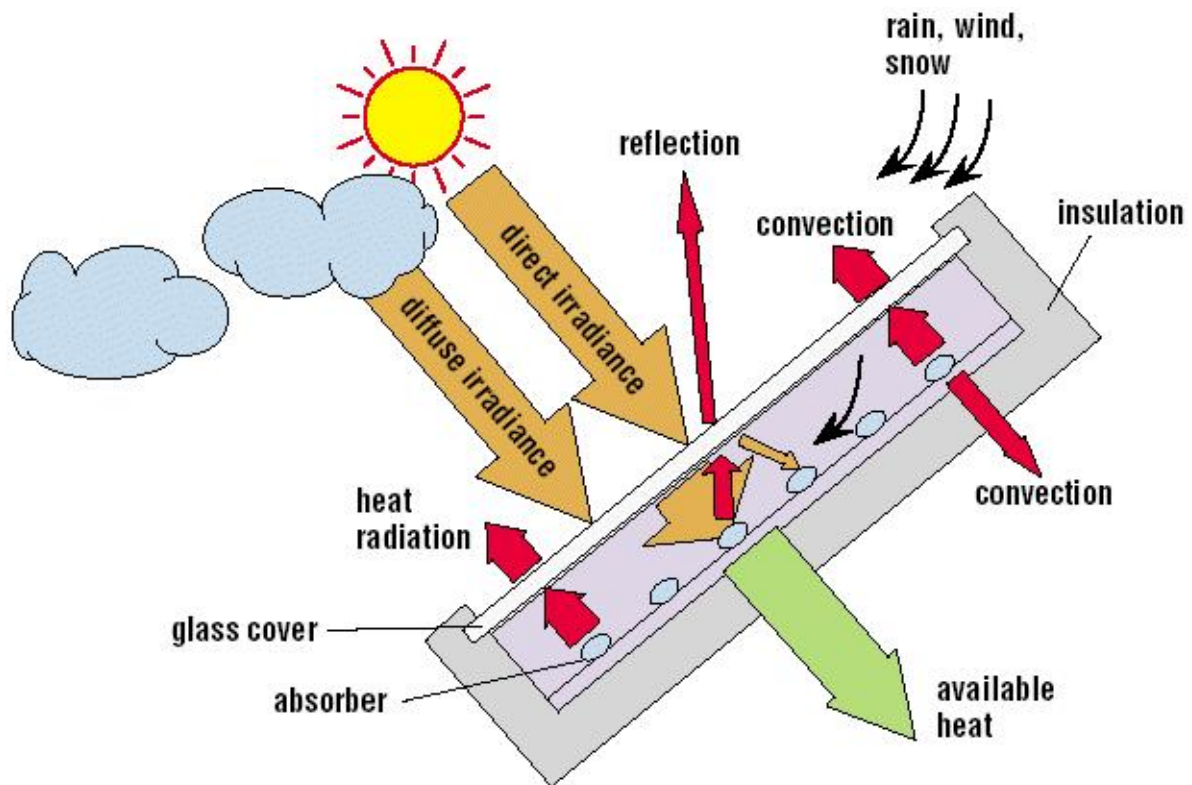
απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας). Πολλοί συλλέκτες διαθέτουν ελεγχόμενο εξαερισμό, για να αποφευχθεί η συμπύκνωση στο γυάλινο κάλυμμα.



**Σχήμα 3.9.** Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης

Το κέλυφος του ηλιακού συλλέκτη είναι ισχυρά μονωμένο από την πίσω και τις πλάγιες πλευρές για να μειωθούν οι θερμικές απώλειες στο ελάχιστο. Παρόλα αυτά ένα μικρό ποσοστό θερμικών απωλειών υφίσταται λόγω της θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ του απορροφητή και του περιβάλλοντος αέρα. Οι θερμικές απώλειες χωρίζονται σε απώλειες συναγωγής και απώλειες ακτινοβολίας. Οι πρώτες προκαλούνται από την κίνηση του αέρα, ενώ οι δεύτερες από την συναλλαγή θερμότητας με ακτινοβολία μεταξύ του απορροφητή και του περιβάλλοντος.

Το γυάλινο κάλυμμα καλύπτει την επιφάνεια του συλλέκτη που κοιτάζει προς τον ήλιο, και προλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος των απωλειών από συναγωγή. Επίσης, μειώνει την ακτινοβολούμενη θερμότητα από τον απορροφητή στο περιβάλλον με έναν ανάλογο τρόπο με το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ωστόσο, ένα μικρό μέρος της ηλιοφάνειας ανακλάται στην επιφάνεια του γυάλινου καλύμματος, το οποίο δεν φτάνει ποτέ στον συλλέκτη. Το παρακάτω σχήμα δείχνει τις διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα σε ένα επίπεδο ηλιακό συλλέκτη.



Σχήμα 3.10. Διεργασίες σε έναν επίπεδο ηλιακό συλλέκτη

### 3.2.2.2 ΕΠΙΠΕΔΟΙ ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΕΠΙΛΕΚΤΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ

Τα υλικά μαύρου χρώματος απορροφούν την ηλιοφάνεια πολύ καλά και θερμαίνονται. Εφόσον τα μεταλλικά υλικά δεν διαθέτουν από την φύση τους μαύρη επιφάνεια, χρειάζεται να επικαλυφθούν για να κάνουν επιλεκτική απορρόφηση. Μαύρη βαφή με κατάλληλη αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αυτό τον σκοπό, αλλά υπάρχουν καλύτερα υλικά για την επικάλυψη του συλλέκτη. Αν μία μαύρη επιφάνεια ζεσταθεί, εκπέμπει ένα μέρος της θερμικής ενέργειας σαν θερμική ακτινοβολία, όπως συμβαίνει και με τις ηλεκτρικές εστίες: όταν μία ηλεκτρική εστία είναι αναμμένη, η θερμική ακτινοβολία είναι αισθητή στο δέρμα χωρίς να αγγίζουμε την ηλεκτρική εστία. Ένας συλλέκτης με μαύρη βαφή εμφανίζει την ίδια συμπεριφορά μεταφέροντας μόνο ένα μέρος από την απορροφούμενη θερμότητα στο ρευστό που ρέει μέσα στις σωλήνες του συλλέκτη, ενώ ακτινοβολεί ένα μέρος πίσω προς το περιβάλλον.

Οι επιλεκτικές επικαλύψεις απορροφούν την ηλιοφάνεια το ίδιο καλά με τις μαύρες βαμμένες επιφάνειες και επανεκπέμπουν ένα σημαντικά μικρότερο ποσό θερμικής ακτινοβολίας. Ενώ η διαδικασία επικάλυψης που χρειάζεται για αυτά τα υλικά είναι πιο πολύπλοκη από την απλή βαφή, αυτό αντισταθμίζεται από τις υψηλότερες αποδόσεις. Σαν αποτέλεσμα, πολλοί ηλιακοί συλλέκτες σήμερα διαθέτουν επιλεκτικές επικαλύψεις με



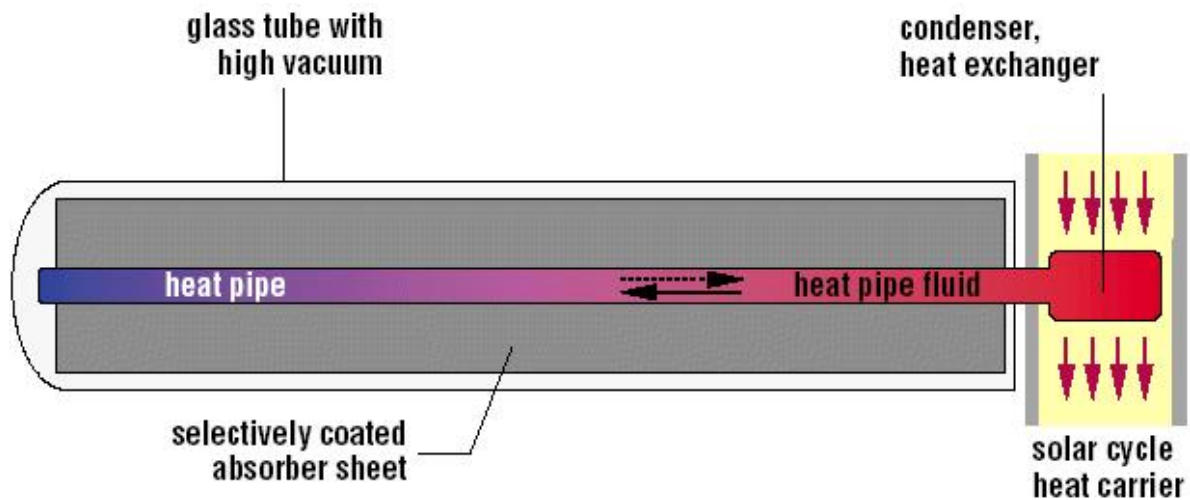
υλικά που συμπεριλαμβάνουν μαύρο χρώμιο (black chrome), μαύρο νίκελ (black nickel) ή TiNOx.

### 3.2.2.3 ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ (ΣΩΛΗΝΩΤΟΙ) ΚΕΝΟΥ

Οι απώλειες συναγωγής λόγω της κίνησης του αέρα μέσα στο συλλέκτη μπορούν να μειωθούν σημαντικά διατηρώντας κενό (αέρα) μεταξύ του μπροστινού καλύμματος και του συλλέκτη σε έναν επίπεδο ηλιακό συλλέκτη. Όμως η περιβάλλουσα ατμοσφαιρική πίεση θα μπορούσε να «πιέσει» το μπροστινό κάλυμμα προς τον συλλέκτη. Για να διατηρηθεί το σχήμα του θα έπρεπε να χρησιμοποιηθούν μικρά στηρίγματα μεταξύ του κελύφους και του μπροστινού καλύμματος του συλλέκτη ώστε να αποφευχθεί η συμπίεση του. Είναι δύσκολο να διατηρηθεί το κενό για ένα μεγάλο διάστημα, αφού ο ατμοσφαιρικός αέρας πάντα θα βρίσκει τρόπο να διεισδύσει στον ηλιακό συλλέκτη καταργώντας ουσιαστικά τα οφέλη του κενού αέρα.

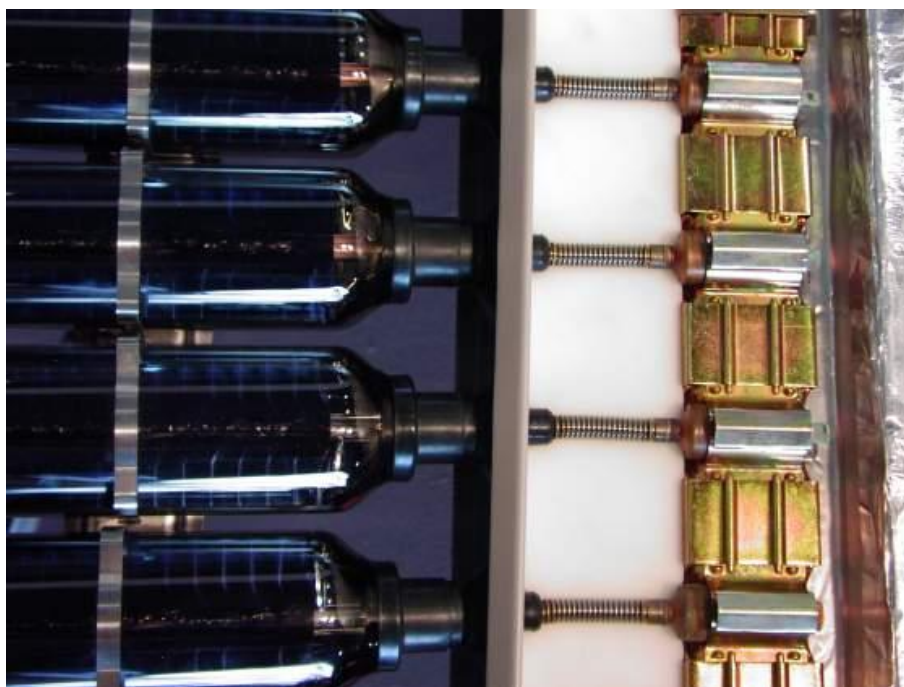
Αυτά τα μειονεκτήματα μπορούν να αποφευχθούν με τους ηλιακούς σωληνωτούς συλλέκτες κενού (evacuated tube type collectors). Το κενό αέρα είναι πλέον στο κλειστό γυάλινο σωλήνα μπορεί να διατηρηθεί για ακόμη περισσότερο χρόνο. Λόγω του κυλινδρικού σχήματος και της ενιαίας κατασκευής, οι πιέσεις από τον ατμοσφαιρικό αέρα μοιράζονται ομοιόμορφα στην επιφάνεια του σωλήνα κενού και διατηρείται το κενό αέρα για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Ένας ηλιακός συλλέκτης κενού αποτελείται από ένα γυάλινο σωλήνα κλειστού τύπου όπου εσωτερικά υπάρχει μία μεταλλική συλλεκτική επιφάνεια (απορροφητής) με έναν σωλήνα (heat pipe) στη μέση που περιέχει ένα θερμοευαίσθητο μέσο όπως είναι η μεθανόλη. Ο ήλιος το θερμαίνει και εξατμίζει το ρευστό του σωλήνα. Το εξατμιζόμενο ρευστό ανεβαίνει μέχρι την άκρη του γυάλινου σωλήνα όπου και συμπυκνώνεται (σημείο συμπύκνωσης και εναλλαγής θερμότητας) μεταφέροντας την θερμότητα στο ηλιακό κλειστό κύκλωμα που περιέχει νερό με αντιψυκτικό. Το συμπυκνωμένο ρευστό επιστρέφει από την άκρη του σωλήνα στο κατώτερο μέρος, και ο ήλιος το θερμαίνει εκ νέου. Για την σωστή λειτουργία, οι γυάλινοι σωλήνες πρέπει να έχουν μία μικρή κλίση ώστε να μπορεί να γίνεται ο κύκλος της εξάτμισης και της συμπύκνωσης εντός του σωλήνα. Σε μερικούς ηλιακούς συλλέκτες κενού, το ρευστό του κλειστού ηλιακού κυκλώματος περνά μέσα από τον γυάλινο σωλήνα και απορροφά θερμότητα. Σε αυτή την περίπτωση, ο ηλιακός συλλέκτης κενού δεν χρειάζεται να τοποθετηθεί με κλίση.



Σχήμα 3.11. Ηλιακός σωλήνας κενού

Με τους ηλιακούς συλλέκτες κενού μπορεί να επιτευχθεί ένα σημαντικά μεγαλύτερο ενεργειακό κέρδος ειδικά κατά την διάρκεια του χειμώνα. Γι' αυτό ένα ηλιακό σύστημα που χρησιμοποιεί ηλιακούς συλλέκτες κενού απαιτεί σημαντικά μικρότερη ενεργή επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη συγκριτικά με κλασικούς επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες.



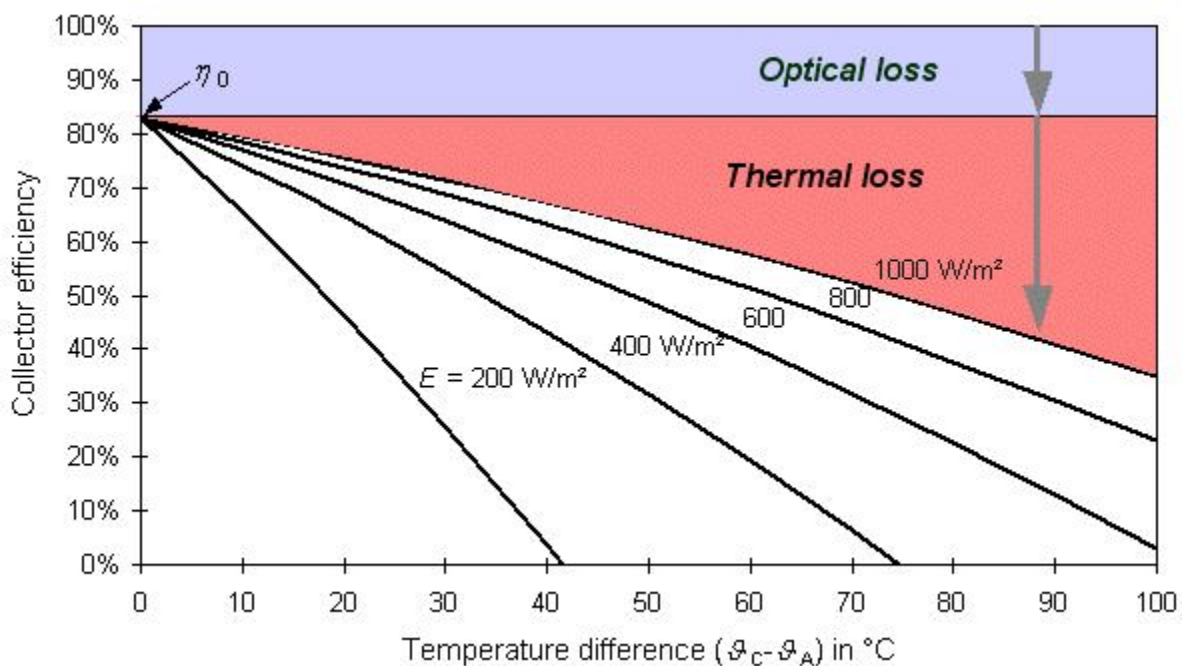
Σχήμα 3.12. Συνδέσεις ηλιακών σωλήνων κενού στο ηλιακό κύκλωμα

### 3.2.3 ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ

Προκειμένου να συγκρίνουμε συλλέκτες, τα ιστιτούτα που διεξάγουν τους ελέγχους, συνήθως εκτιμούν τις καμπύλες απόδοσης βασιζόμενοι σε μετρήσεις της απόδοσης του συλλέκτη. Αυτές οι καμπύλες δίνονται για διαφορετικές εντάσεις φωτός  $E$  και για πλήθος θερμοκρασιακών διαφορών μεταξύ του συλλέκτη  $T_C$  και του αέρα  $T_A$ . Η συνήθης εμπειρική εξίσωση για την απόδοση του συλλέκτη είναι:

$$\eta_{c} = \eta_{c0} - (a_1 \cdot (T_C - T_A) + a_2 \cdot (T_C - T_A)^2) / E$$

Οι 3 παράμετροι  $\eta_{c0}$ ,  $a_1, a_2$  υπολογίζονται από τις μετρήσεις δοκιμής του ηλιακού συλλέκτη, η παράμετρος  $\eta_{c0}$  αναφέρεται επίσης ως οπτική απόδοση. Η παρακάτω εικόνα δείχνει τυπικές αποδόσεις επίπεδου ηλιακού συλλέκτη. Οι θερμικές απώλειες αυξάνουν όσο αυξάνει η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του συλλέκτη και του περιβάλλοντος αέρα. Σε χαμηλές εντάσεις ηλιακού φωτός, η απόδοση μειώνεται με ταχύτερο ρυθμό. Για παράδειγμα, με ένταση ηλιακού φωτός μόλις  $200 \text{ W/m}^2$ , η έξοδος του συλλέκτη του διαγράμματος, γίνεται μηδέν ακόμη και σε χαμηλότερες θερμοκρασιακές διαφορές (περίπου  $40^\circ \text{C}$ ).



**Σχήμα 3.13.** Αποδόσεις ηλιακού συλλέκτη σε διαφορετικές ηλιακές εντάσεις και θερμοκρασιακές διαφορές συλλέκτη – περιβάλλοντος αέρα

### 3.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ – ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ ΚΕΝΟΥ

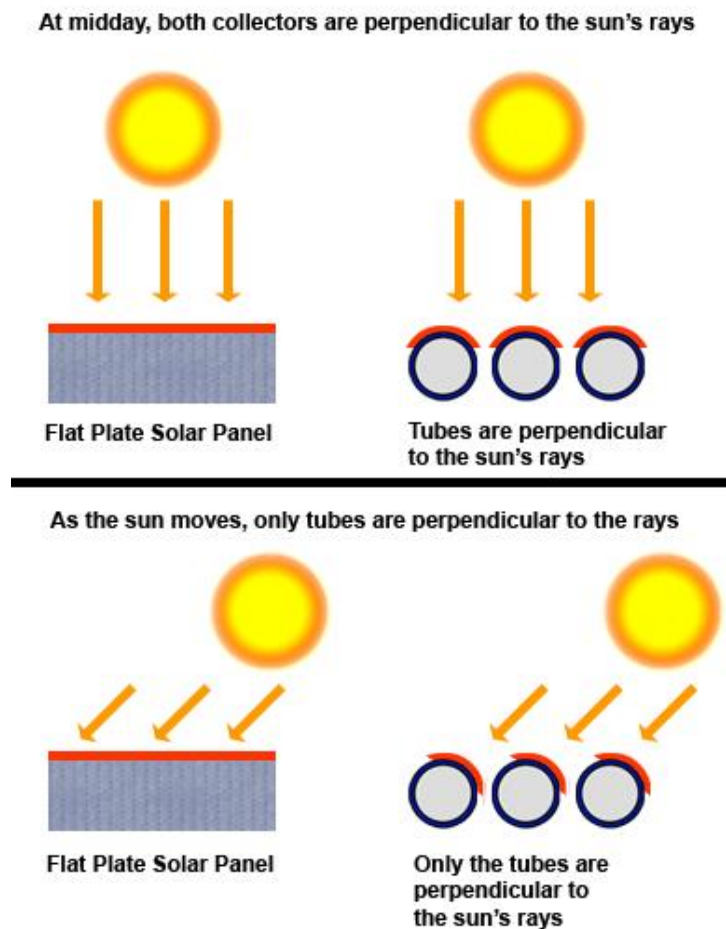
Όταν συγκρίνουμε τα επίπεδα των βαθμών απόδοσης μεταξύ των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών και των συλλεκτών κενού, φαίνεται ότι υπάρχει μικρή διαφορά μεταξύ τους. Αν υπολογίσουμε όμως την απόδοσή τους στη διάρκεια ενός έτους, θα διαπιστώσουμε ότι οι ηλιακοί συλλέκτες κενού έχουν ξεκάθαρο προβάδισμα. Τα σημεία κλειδιά είναι:

1. Λόγω του κυκλινδρικού σχήματος του σωλήνα κενού, οι ηλιακοί σωλήνες μπορούν να παρακολουθούν παθητικά τον ήλιο καθόλη την διάρκεια της ημέρας. Ο επίπεδος ηλιακός συλλέκτης παρέχει την κορυφαία ισχύ εξόδου στο μέσο της ημέρας όταν ο είναι κάθετος στην επιφάνεια του ηλιακού συλλέκτη.
2. Οι ηλιακοί σωλήνες κενού διαθέτουν κενό αέρα. Αυτό μειώνει δραματικά τις θερμικές απώλειες από αγωγή και συναγωγή στο εσωτερικό του σωλήνα, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται ελάχιστα η απόδοσή του λόγω ισχυρών ανέμων και χαμηλών θερμοκρασιών.
3. Οι ηλιακοί συλλέκτες κενού μπορούν να αντικατασταθούν πολύ εύκολα αντικαθιστώντας μόνο τον προβληματικό σωλήνα κενού, σε αντίθεση με τον επίπεδο ηλιακό συλλέκτη που πρέπει να αντικατασταθεί ολόκληρος ο συλλέκτης.
4. Λόγω της υψηλής απόδοσης απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας ακόμη και σε συνθήκες περιορισμένης ηλιοφάνειας, σε συνδυασμό με τις εξαιρετικές μονωτικές ιδιότητες των ηλιακού σωλήνα κενού, μπορούν να θερμάνουν νερό καθόλη την διάρκεια του έτους.
5. Οι ηλιακοί σωλήνες κενού επιτυγχάνουν την ίδια απόδοση με τους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες, απαιτώντας μικρότερη συλλεκτική επιφάνεια στη στέγη.

### 3.4 ΠΑΘΗΤΙΚΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΗΛΙΟΥ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ ΚΕΝΟΥ

Έχοντας το ηλιακό σύστημα απ' ευθείας στραμμένο στον ήλιο έχουμε την βέλτιστη απόδοση του συλλέκτη. Οι ηλιακοί σωλήνες κενού λόγω του κυλινδρικού τους σχεδιασμού παρακολουθούν παθητικά την κίνηση του ήλιου, δηλ. οι ακτίνες του ήλιου «βλέπουν» πάντα κάθετα την επιφάνεια του και μπορεί να απορροφήσει ηλιακή ενέργεια καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας. Αυτό είναι σημαντικό, ιδιαίτερα αν χρειάζεται θερμότητα κατά την διάρκεια της ημέρας χωρίς την χρήση δοχείου διαστρωμάτωσης (π.χ. πισίνες). Αυτό είναι σημαντικό γιατί μειώνεται η χρήση των βοηθητικών μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (π.χ. ηλεκτρισμός, πετρέλαιο).

Από την άλλη πλευρά οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες «βλέπουν» κάθετα τον ήλιο μόνο στο μέσο της ημέρας, μειώνουν την μέγιστη ισχύ εξόδου (στο σύνολο της ημέρας), μειώνεται η διαθέσιμη θερμότητα τις πρώτες πρωινές ώρες και τις απογευματινές με αποτέλεσμα να απαιτείται μεγαλύτερη συλλεκτική επιφάνεια.



**Σχήμα 3.13.** Απορρόφηση ηλιακής ενέργειας από επίπεδο συλλέκτη και από ηλιακό συλλέκτη κενού.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**  
**TRNSYS**

---

## 4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: TRNSYS

### 4.1 Εισαγωγή

Το TRNSYS αποτελεί ένα ευέλικτο και επεκτάσιμο υπολογιστικό περιβάλλον για την προσομοίωση μεταβαλλόμενων συστημάτων στο χρόνο, συμπεριλαμβανομένων των πολυζωνικών κτηρίων. Χρησιμοποιείται από μηχανικούς και ερευνητές παγκοσμίως για την αξιολόγηση νέων ενεργειακών συστημάτων για διάφορες χρήσεις. Από ένα απλό σύστημα θέρμανσης νερού μέχρι τον σχεδιασμό και την προσομοίωση κτηρίων και του εξοπλισμού τους, συμπεριλαμβανομένων των στρατηγικών ελέγχου, την συμπεριφορά κατοίκων και συστήματα εναλλακτικών πηγών ενέργειας (άνεμος, ήλιος, φωτοβολταϊκά, συστήματα υδρογόνου κτλ).

Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του TRNSYS είναι το γεγονός ότι ο πηγαίος κώδικας, ο πυρήνας του προγράμματος καθώς και ο κώδικας των διαφόρων μοντέλων που περιλαμβάνει το TRNSYS, δίνονται στον χρήστη ο οποίος μπορεί να τα τροποποιήσει κατάλληλα ώστε να εξυπηρετεί καλύτερα τις δικές του ανάγκες. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής νέων μοντέλων που μπορεί να κατασκευάσει ο ίδιος ο χρήστης ή άλλοι προγραμματιστές χρησιμοποιώντας κοινές γλώσσες προγραμματισμού (C, C++, PASCAL, FORTRAN κ.α.). Αυτό είναι δυνατόν χάρη στην αρχιτεκτονική του προγράμματος η οποία είναι βασισμένα στα αρχεία DLL. Επιπλέον, το TRNSYS μπορεί να συνδεθεί εύκολα με πολλές άλλες εφαρμογές για επεξεργασία πριν, μετά ή κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης (π.χ. MicrosoftExcel, Matlab, COMIS κτλ.). Το TRNSYS συμπεριλαμβάνει τις ακόλουθες εφαρμογές:

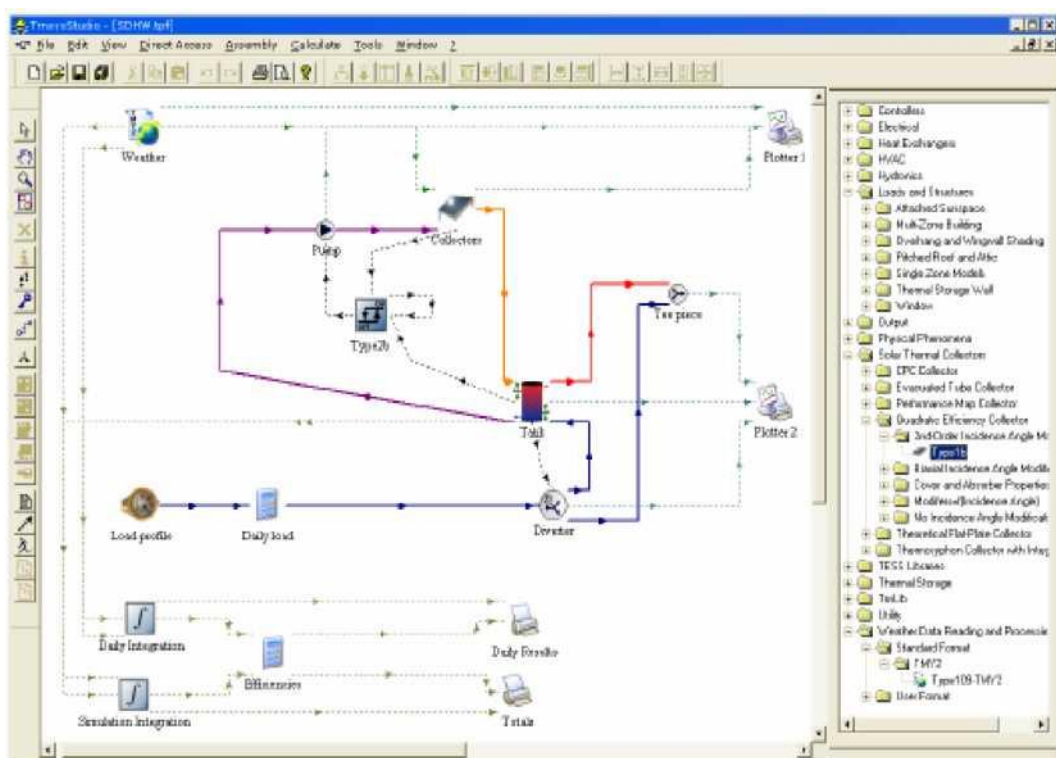
- Ηλιακά συστήματα (θερμικά ηλιακά και φωτοβολταϊκά)
- Συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- Συμπαγωγή. Κυψέλες καυσίμου
- Οτιδήποτε απαιτεί δυναμική προσομοίωση

Το TRNSYS αποτελείται από το σύνολο των ακόλουθων προγραμμάτων: Το στούντιο προσομοίωσης (TRNSYSimulationStudio) και το εκτελέσιμο αρχείο του (TRNExe.exe), το γραφικό περιβάλλον διεπαφής κτηρίου, για την εισαγωγή των δεδομένων κτηρίων (TRNBuild.exe), και τον επεξεργαστή με τον οποίο μπορούν να δημιουργηθούν αυτόνομα προγράμματα, γνωστά ως "TRNSED εφαρμογές" (TRNEdit.exe).

## 4.2 ΣΤΟΥΝΤΙΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Το κεντρικό γραφικό περιβάλλον του TRNSYS αποτελεί το στούντιο προσομοίωσης. Σε αυτό δημιουργούνται τα προγράμματα της προσομοίωσης “ρίχνοντας” με το ποντίκι στο παράθυρο εργασίας τα επιλεγόμενα μοντέλα, συνδέοντάς τα και θέτοντας τις μεταβλητές της προσομοίωσης. Τα μοντέλα παριστάνονται με τα εικονίδια τους στο παράθυρο εργασίας.

Το στούντιο προσομοίωσης δημιουργεί το αρχείο με τα δεδομένα του προγράμματος προσομοίωσης του χρήστη (\*.trf). Επίσης δημιουργεί αρχείο εισόδου, το οποίο είναι ένα αρχείο κειμένου που περιέχει όλες τις πληροφορίες της προσομοίωσης.



**Εικόνα 1:** Στούντιο προσομοίωσης του TRNSYS

Το στούντιο προσομοίωσης περιλαμβάνει επίσης έναν διαχειριστή των εξόδων του προγράμματος, με τον οποίο ο χρήστης μπορεί να καθορίσει ποιές μεταβλητές θα συμπεριληφθούν στις εξόδους, ποιές θα εκτυπωθούν και ποιές θα χρησιμοποιηθούν στα διαγράμματα. Τέλος περιλαμβάνει έναν καταγραφέα/ διαχειριστή σφαλμάτων ο οποίος επιτρέπει την λεπτομερή μελέτη των γεγονότων κατά τη διάρκεια μίας προσομοίωσης.



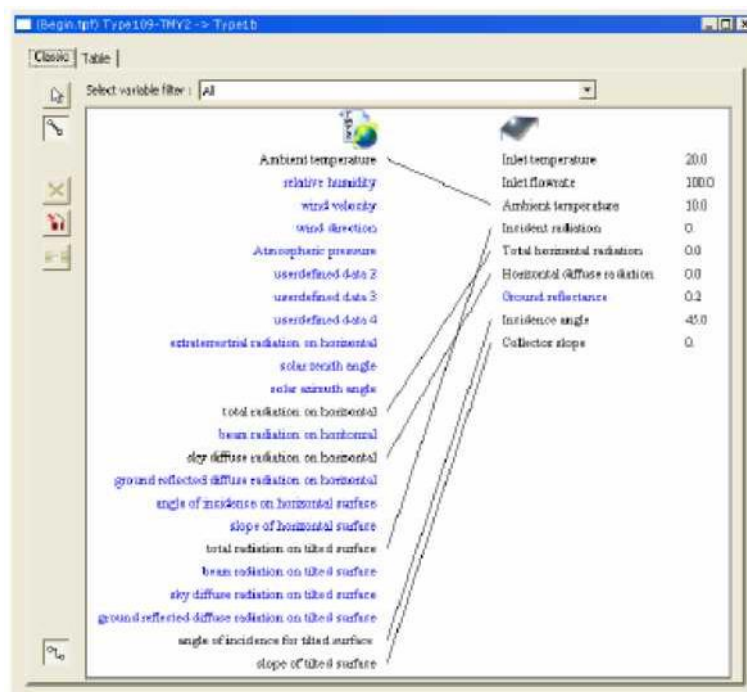
Τέλος, πολλές επιπρόσθετες εργασίες μπορούν να πραγματοποιηθούν μέσα από το στούντιο προσομοίωσης, όπως η δημιουργία νέων υπολογιστικών μοντέλων προς εισαγωγή στο TRNSYS χρησιμοποιώντας την επιλογή “FortranWizard” καθώς επίσης η ανάγνωση των εξαγόμενων αρχείων, η επεξεργασία της περιγραφής ενός μοντέλου τροποποιώντας τις παραμέτρους, τις εισόδους και τις εξόδους του μοντέλου κτλ.

### Ρύθμιση των επιλεγμένων μοντέλων της προσομοίωσης

Η ρύθμιση των μοντέλων της προσομοίωσης γίνεται κάνοντας διπλό κλικ στο εικονίδιο του μοντέλου. Έτσι ανοίγει ένα παράθυρο με τις καρτέλες του μοντέλου. Όλα τα μοντέλα έχουν τις εξής καρτέλες: παραμέτρων, εισόδων, εξόδων και παραγωγών. Από τις καρτέλες αυτές ρυθμίζονται οι τιμές όλων των στοιχείων του μοντέλου. Οι τιμές των εισόδων παραβλέπονται αν το μοντέλο συνδεθεί με κάποιο άλλο μοντέλο.

### Συνδέσεις

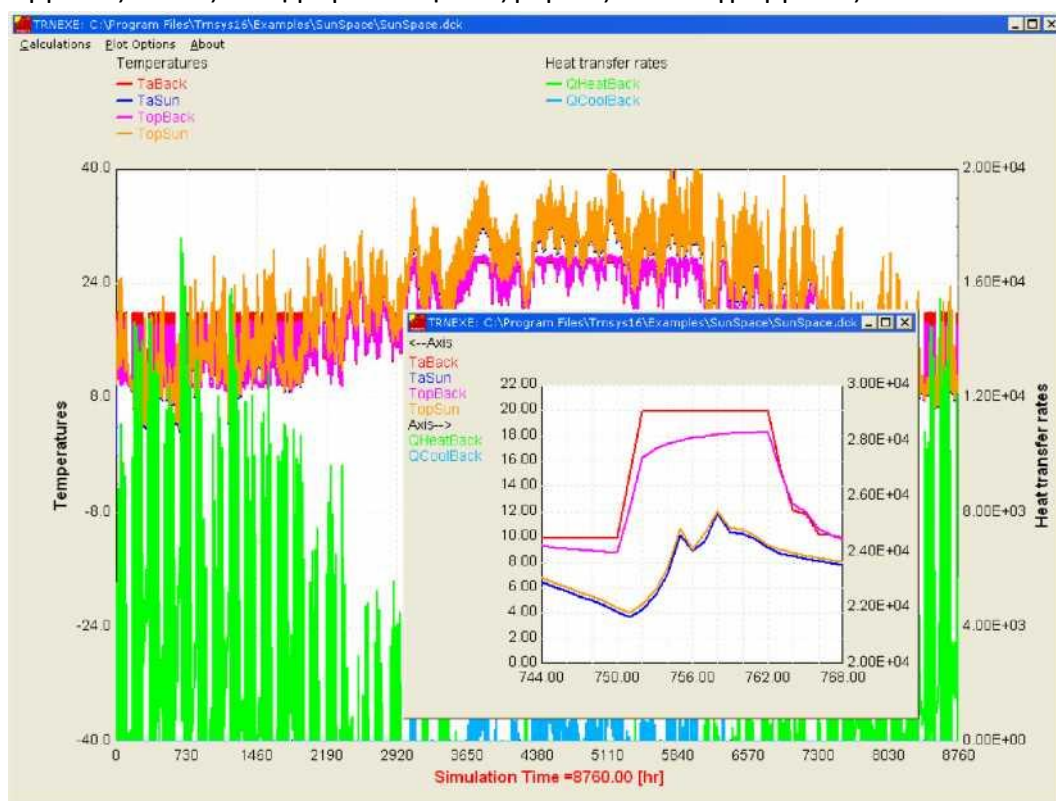
Η σύνδεση των μοντέλων γίνεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο της σύνδεσης στα αριστερά του παραθύρου εργασίας και επιλέγοντας τα δύο στοιχεία που επιθυμούμε να συνδέσουμε. Κάνοντας διπλό κλικ στην γραμμή σύνδεσης μεταξύ των δύο μοντέλων ανοίγει ένα παράθυρο στο οποίο μπορούν να επιλεγούν ποιές έξοδοι του ενός μοντέλου θα συνδεθούν με τις εισόδους του άλλου.



Εικόνα 2: Παράδειγμα παραθύρου συνδέσεων

### Εκτέλεση προσομοίωσης και ανάγνωση αποτελεσμάτων.

Η προσομοίωση εκτελείται πληκτρολογώντας “F8” ή κάνοντας κλικ στην συντόμευση “Calculate/Run” στα αριστερά του παραθύρου εργασίας. Εάν στο πρόγραμμα της προσομοίωσης έχει προστεθεί τουλάχιστον ένα μοντέλο ταυτόχρονης δημιουργίας διαγραμμάτων (OnlinePlotter), εμφανίζεται ένα διάγραμμα κατά τη διάρκεια των υπολογισμών της προσομοίωσης. Το μοντέλο αυτό παρέχει πολλές δυνατότητες που χρησιμεύουν στην ανάλυση των αποτελεσμάτων κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης και αφού αυτή περατωθεί. Ενδεικτικά κάποιες από αυτές τις δυνατότητες είναι η παύση, το σταμάτημα και η επανέναρξη της προσομοίωσης, η απόκρυψη και η εμφάνιση μιας μεταβλητής στο διάγραμμα, η επιλογή χρωμάτων και η προσαρμογή των αξόνων του διαγράμματος καθώς και η μεγέθυνση ενός μέρους του διαγράμματος.

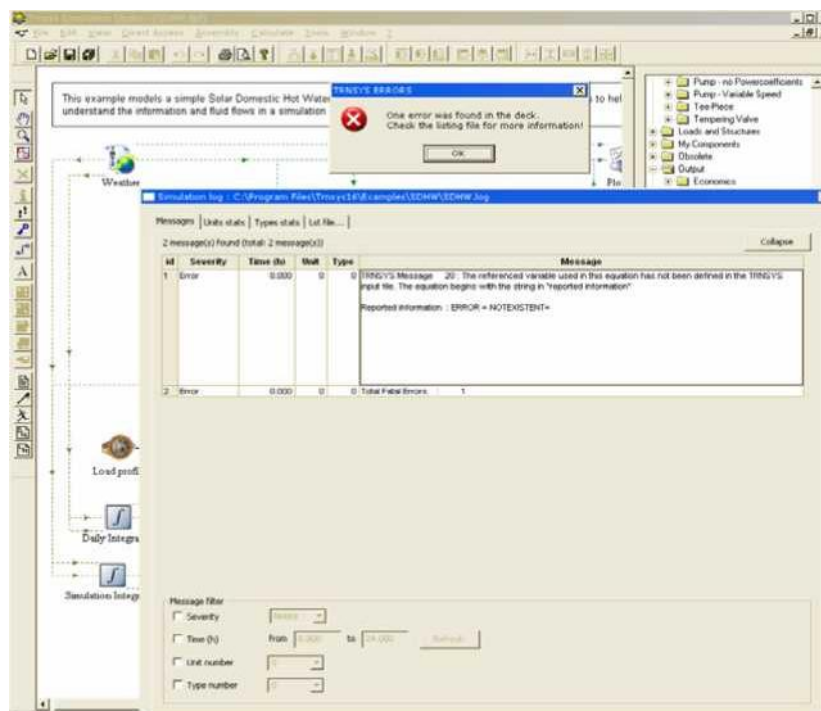


Εικόνα 3: Διάγραμμα κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης

Στην περίπτωση που έχει προστεθεί μοντέλο εκτυπωτή στην προσομοίωση, οι έξοδοι εκτυπώνονται σε ένα αρχείο εξόδου το οποίο μπορεί να ανοιχθεί μέσω του στούντιο προσομοίωσης κάνοντας κλικ στο "Calculate/ Open/ ExternalFiles" στο επάνω μέρος του παραθύρου εργασίας.

Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης δημιουργείται αρχείο καταγραφής γεγονότων στο οποίο καταγράφονται εκτός των άλλων και τα σφάλματα που προκύπτουν κατά τη

προσομοίωση. Το στούντιο προσομοίωσης παρέχει πρόσβαση στο αρχείο αυτό μέσω του διαχειριστή σφαλμάτων. Το παράθυρο του διαχειριστή σφαλμάτων εμφανίζεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “LST” στα αριστερά του παραθύρου εργασίας. Στο παράθυρο αυτό εμφανίζονται όλα τα σφάλματα και οι προειδοποιήσεις που προέκυψαν καθώς και σχετικά στατιστικά στοιχεία. Επίσης μπορεί να ανοιχθεί το αρχείο “Listingfile”, το οποίο δημιουργείται κατά την προσομοίωση και περιέχει και αυτό όλα τα σφάλματα που προκύπτουν καθώς και μια επανάληψη του αρχείου εισόδου του TRNSYS (deck) μαζί με επιπρόσθετες εξόδους.



Εικόνα 4: Ο διαχειριστής σφαλμάτων

### 4.3 TRNBUILD

#### *Γενική περιγραφή*

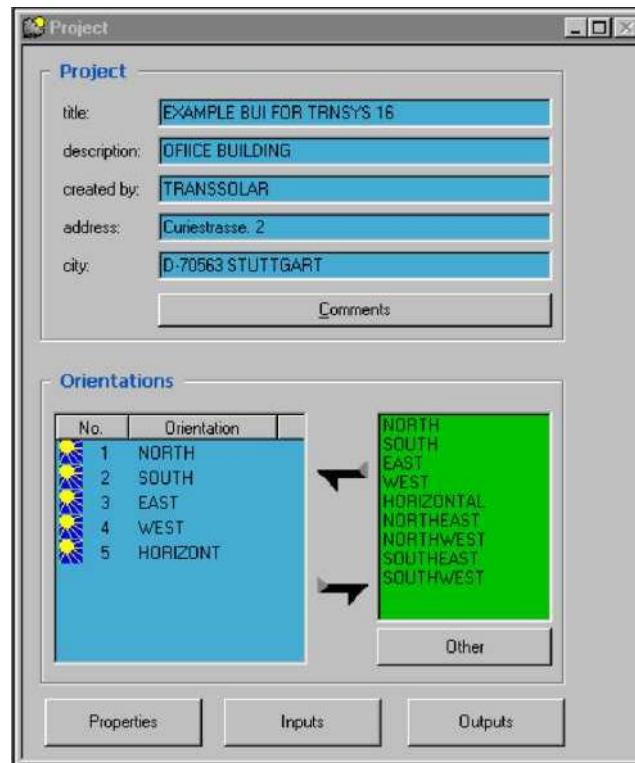
Το TRNBuild είναι το πρόγραμμα εισαγωγής των δεδομένων ενός πολυζωνικού κτηρίου. Επιτρέπει στον χρήστη τον λεπτομερή καθορισμό όλων των κατασκευαστικών στοιχείων του κτηρίου, καθώς και ότι χρειάζεται για τον καθορισμό της θερμικής του συμπεριφοράς, όπως οι οπτικές ιδιότητες των παραθύρων, το πρόγραμμα ψύξης και θέρμανσης που εφαρμόζεται στο κτήριο κτλ.

#### *Επεξεργασία των στοιχείων του κτηρίου*

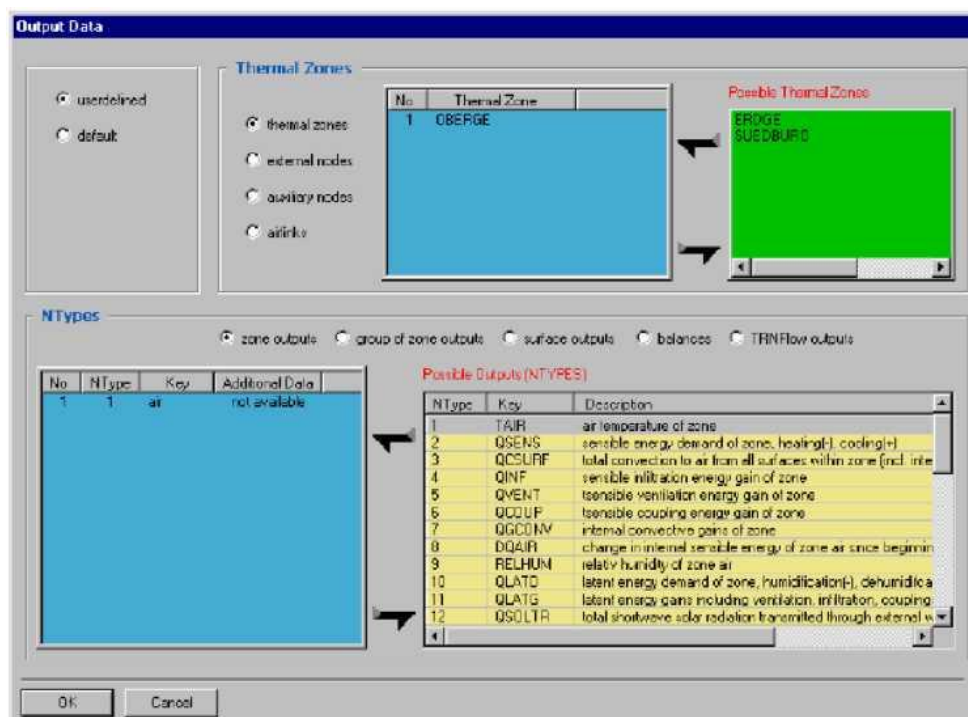
Το μοντέλο του πολυζωνικού κτηρίου εμπλέκει πολλές παραμέτρους ώστε να έχει ένα τυπικό αρχείο περιγραφής όπως τα υπόλοιπα μοντέλα του TRNSYS. Έτσι κάθε κτήριο που δημιουργεί ο χρήστης έχει το δικό του ειδικό αρχείο περιγραφής με επέκταση .bui. Ο καθορισμός των στοιχείων του κτηρίου γίνεται κάνοντας δεξί κλικ στο εικονίδιο του κτηρίου και επιλέγοντας “EditBuilding”. Με τον τρόπο αυτό εκκινεί το πρόγραμμα TRNBuild και ανοίγει το αρχείο περιγραφής του κτηρίου.

Μέσω του TRNBuild καθορίζονται αρχικά οι γενικές παράμετροι του κτηρίου από την καρτέλα “Project” και οι θερμικές ζώνες. Στην καρτέλα “Project” ορίζονται:

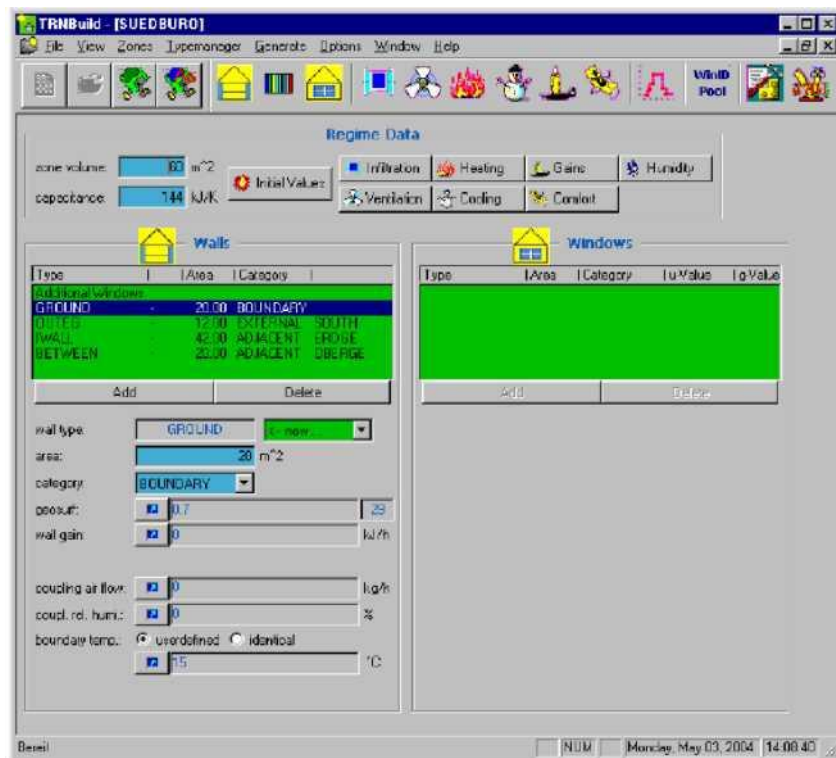
- i. Ιδιότητες του κτηρίου. Οι ιδιότητες περιλαμβάνουν τις τιμές σταθερών όπως αυτή του StephanBoltzmann, την πυκνότητα του αέρα καθώς και τιμές συντελεστών για τον υπολογισμό της μεταφοράς θερμότητας. Οι συντελεστές είναι της μορφής  $\alpha_{conv} = \text{const}(T_{surf} - T_{air})^{exp}$  και στην καρτέλα αυτή καθορίζονται οι συντελεστές const και exp για την καλύτερη προσαρμογή στα διάφορα θεωρητικά μοντέλα.
- ii. Οι επιτρεπτοί προσανατολισμοί για τους τοίχους και τα παράθυρα. Μπορούν να επιλεχθούν συνήθεις προσανατολισμοί που ήδη υπάρχουν ή να καθορισθούν νέοι δίνοντας ένα όνομα για τον προσανατολισμό και ορίζοντας νέες εισόδους στο μοντέλο για τον καθορισμό της ακτινοβολίας στον προσανατολισμό αυτό.
- iii. Οι επιθυμητές έξοδοι του μοντέλου του κτηρίου και οι επιπλέον εισοδοι. Οι επιπλέον εισοδοι ορίζονται στην περίπτωση που επιθυμούμε τον καθορισμό της τιμής μιας μεταβλητής από άλλο μοντέλο που χρησιμοποιείται στην προσομοίωση. Οι έξοδοι που μπορεί να έχει το μοντέλο του πολυζωνικού κτηρίου είναι πολλές και συγκεκριμένες και αφορούν κάθε ζώνη ξεχωριστά, ή ένα σύνολο ζωνών, κάθε επιφάνεια ξεχωριστά ή το σύνολο των επιφανειών και τέλος ενεργειακά ισοζύγια σε επιφάνειες ή ζώνες μεμονωμένα ή στο σύνολό τους.



Εικόνα 5: Το παράθυρο "Project" στο πρόγραμμα TRNBuild



Εικόνα 6: Παράθυρο επιλογής εξόδων του TRNBuild



Εικόνα 7: Το παράθυρο επεξεργασίας της ζώνης

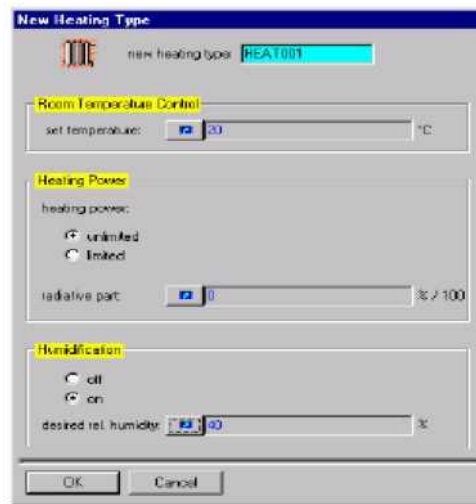
Από το παράθυρο αυτό καθορίζονται:

- i. Τα δεδομένα των τοίχων. Τα δεδομένα για τους τοίχους εισάγονται στο αριστερό μέρος του παραθύρου, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Συγκεκριμένα καθορίζονται οι διαστάσεις, η κατηγορία (παρακείμενος σε άλλη ζώνη, εξωτερικός ή με οριακές συνθήκες), ο προσανατολισμός των τοίχων και το είδος (υλικά) του τοίχου. Εκτός από τα παραπάνω πρέπει να οριστούν ο συντελεστής θέασης του τοίχου από τον ουρανό, ο συντελεστής κατανομής της εισερχόμενης ακτινοβολίας (geosurf) και τυχόν επιπρόσθετα φορτία του τοίχου. Το είδος του τοίχου μπορεί να επιλεγεί από τις παρεχόμενες βιβλιοθήκες του TRNSYS ή να περιγραφεί από τον χρήστη μέσω του διαχειριστή τοίχων στο άνω μέρος του κεντρικού παραθύρου. Οι βιβλιοθήκες που παρέχει το TRNSYS περιλαμβάνουν: α) Την βασική βιβλιοθήκη, η οποία περιλαμβάνει συνηθισμένους τοίχους και οροφές, β) την γερμανική βιβλιοθήκη με τοίχους κατασκευασμένους σύμφωνα με το γερμανικό VDI 2078, γ) την αμερικάνικη βιβλιοθήκη η οποία περιλαμβάνει 144 τοίχους κατασκευασμένους στα πρότυπα της ASHRAE.
- ii. Τα δεδομένα των παραθύρων. Τα παράθυρα μπορούν να τοποθετηθούν σε εξωτερικούς τοίχους και σε τοίχους παρακείμενους σε άλλες ζώνες. Τα δεδομένα εισάγονται στο δεξιό μέρος του παραθύρου επεξεργασίας της ζώνης, απ' όπου καθορίζονται η θέση, οι διαστάσεις το είδος των παραθύρων και ο μηχανισμός

σκίασης. Επίσης καθορίζεται ο συντελεστής θέασης του παραθύρου από τον ουρανό, τυχόν επιπρόσθετα φορτία και τέλος ο προσανατολισμός στην περίπτωση παρακείμενων σε άλλη ζώνη τοίχων ο οποίος μπορεί να είναι ο προσανατολισμός της πρόσθιας ή της οπίσθιας επιφάνειας του τοίχου. Το είδος του παραθύρου επιλέγεται από τις παρεχόμενες βιβλιοθήκες του TRNSYS η καθορίζεται εκ νέου από τον χρήστη. Οι παρεχόμενες βιβλιοθήκες είναι: α) η γερμανική, η οποία περιλαμβάνει 14 συνηθισμένα παράθυρα κατασκευασμένα με τις Γερμανικές προδιαγραφές, καθώς και παράθυρα με στοιχεία που πάρθηκαν από τις εταιρίες Pilkington, SaintGobain, Interpane, και Luxguard β) η Αμερικάνικη, η οποία περιλαμβάνει παράθυρα με προδιαγραφές της ASHRAE. Και οι δύο βιβλιοθήκες έχουν δημιουργηθεί με χρήση του προγράμματος WINDOWS 4.1 που αναπτύχθηκε από το LawrenceBerkeleyLaboratory.

- iii. Η μέθοδος θέρμανσης κάθε ζώνης. Η ενεργειακή απαίτηση μιας ζώνης σε θέρμανση εξαρτάται από την στρατηγική που θα επιλεγεί για τη θέρμανση της ζώνης η οποία καθορίζεται από τη μέθοδο που θα επιλέξει ο χρήστης. Αν ο εξοπλισμός θέρμανσης μοντελοποιείται εξωτερικά του μοντέλου 56 τότε δεν πρέπει να χρησιμοποιηθεί η λειτουργία αυτή, αλλά να ορισθούν ως είσοδοι στο μοντέλο 56 η θερμοκρασία, η υγρασία και οι εναλλαγές του αέρα που υπολογίζονται από το μοντέλο του εξοπλισμού ή εναλλακτικά να ορισθούν ως κέρδη της ζώνης η θερμότητα δια συναγωγής και ακτινοβολίας που παρέχεται από τον εξοπλισμό. Με τη μέθοδο θέρμανσης υπολογίζεται η απαιτούμενη ενέργεια στην περίπτωση ιδανικής λειτουργίας του εξοπλισμού. Η επιλογή της μεθόδου θέρμανσης γίνεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο "Heating" στο άνω μέρος του παραθύρου επεξεργασίας της ζώνης. Στο παράθυρο που εμφανίζεται είτε επιλέγεται μια ήδη υπάρχουσα μέθοδο είτε δημιουργείται νέα επιλέγοντας "New". Στην δεύτερη περίπτωση ο χρήστης εισάγει την επιθυμητή θερμοκρασία του δωματίου κάτω από την οποία λειτουργεί η θέρμανση στη ζώνη, την μέγιστη ισχύ που μπορεί να παραχθεί για θέρμανση μαζί με το ποσοστό αυτής που δίδεται με ακτινοβολία και τέλος αν επιθυμείται υγραποίηση του αέρα στη ζώνη. Στην περίπτωση που επιλεγεί η υγραποίηση του αέρα πρέπει να οριστεί η επιθυμητή σχετική υγρασία στη ζώνη.



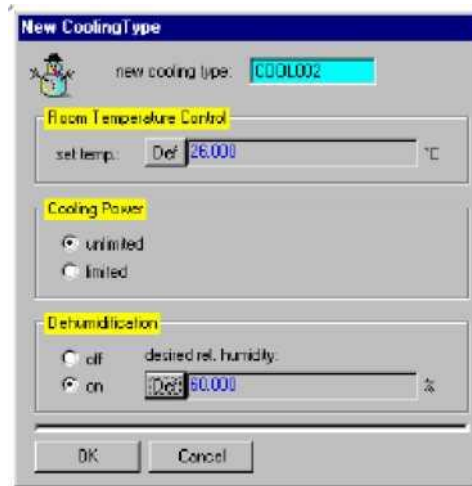


**Εικόνα 8:** Παράθυρο καθορισμού νέας μεθόδου θέρμανσης της ζώνης

Συνήθως στην πραγματικότητα η θέρμανση δεν λειτουργεί ασταμάτητα. Για να είναι η προσομοίωση πιο κοντά στην πραγματικότητα πρέπει να ορισθεί ένα πρόγραμμα λειτουργίας. Αυτό ορίζεται έμμεσα θέτοντας χρονοδιάγραμμα της επιθυμητής θερμοκρασίας της ζώνης σε κάθε χρονική στιγμή. Ο τρόπος εισαγωγής χρονοδιαγραμμάτων αναλύεται παρακάτω.

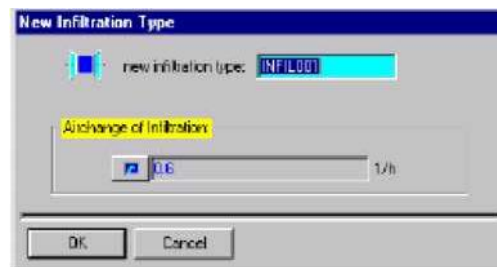
- iv. Η μέθοδος ψύξης της ζώνης. Αντίστοιχα με την μέθοδο θέρμανσης δίνεται η επιλογή εισαγωγής μεθόδου ψύξης της ζώνης. Όμοια, εισάγεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “Cooling” στο άνω μέρος του παραθύρου επεξεργασίας της ζώνης και αφορά την ιδανική λειτουργία του εξοπλισμού. Στο παράθυρο που ανοίγει επιλέγεται μία προϋπάρχουσα μέθοδος ψύξης ή καθορίζεται νέα. Σε κάθε μέθοδο καθορίζεται η θερμοκρασία της ζώνης πάνω από την οποία λειτουργεί ο εξοπλισμός για την ψύξη του χώρου, η μέγιστη παρεχόμενη ισχύς για ψύξη και επιλέγεται αν γίνεται ή όχι αφύγρανση του αέρα καθώς και η επιθυμητή σχετική υγρασία του χώρου στην περίπτωση που έχουμε αφύγρανση. Ο ορισμός χρονοδιαγράμματος λειτουργίας της συσκευής ψύξης καθορίζεται και πάλι έμμεσα μέσω χρονοδιαγράμματος για την επιθυμητή θερμοκρασία στη ζώνη.





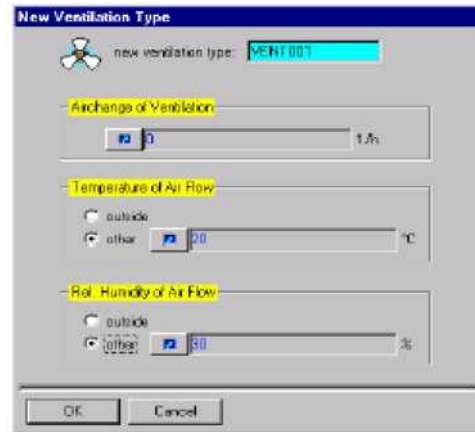
**Εικόνα 9:** Παράθυρο καθορισμού νέας μεθόδου ψύξης.

- v. Η διείσδυση του αέρα. Καθορίζεται το αν θα συνυπολογιστεί για τη συγκεκριμένη ζώνη το φορτίο από τη διείσδυση του αέρα. Επιλέγεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “Infiltration” στο άνω μέρος του παραθύρου επεξεργασίας της ζώνης. Στο παράθυρο που ανοίγει επιλέγεται μια προϋπάρχουσα μέθοδος ή δημιουργείται νέα. Για τον καθορισμό της μεθόδου απαιτείται ο ρυθμός εναλλαγών αέρα. Ο αέρας εισέρχεται με την θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία του περιβάλλοντος.



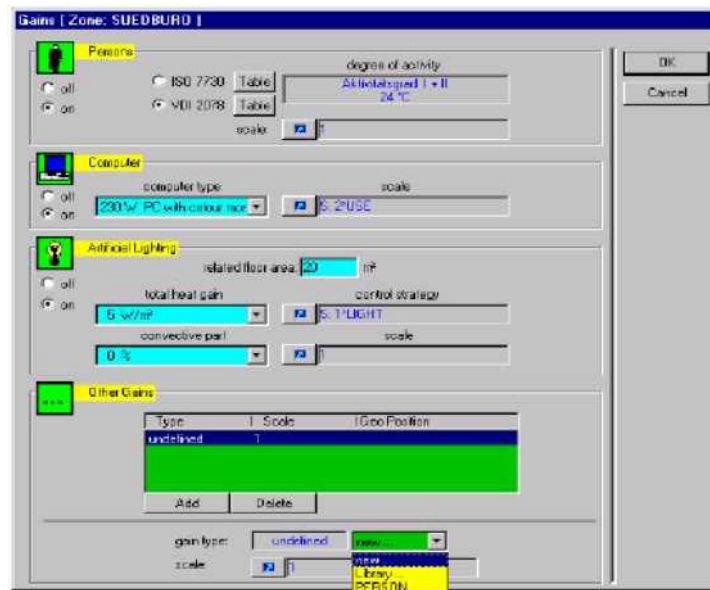
**Εικόνα 10:** Παράθυρο διείσδυσης αέρα

- vi. Η μέθοδος αερισμός κάθε ζώνης. Με τη μέθοδο αυτή μπορεί να καθορισθεί η εισροή αέρα από οποιαδήποτε πηγή (π.χ. από ένα κλιματιστικό). Ο ορισμός μεθόδου αερισμού είναι προαιρετικός και πραγματοποιείται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “Ventilation” στο άνω μέρος του παραθύρου. Μπορεί να επιλεγεί μια προϋπάρχουσα μέθοδος ή να οριστεί μία καινούρια. Για τον ορισμό μιας μεθόδου αερισμού εισάγεται ο ρυθμός εναλλαγής αέρα, καθώς και η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία του εισερχόμενου αέρα. Μπορεί αντί της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας να οριστεί ότι ο αέρας εισέρχεται με τις συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος.



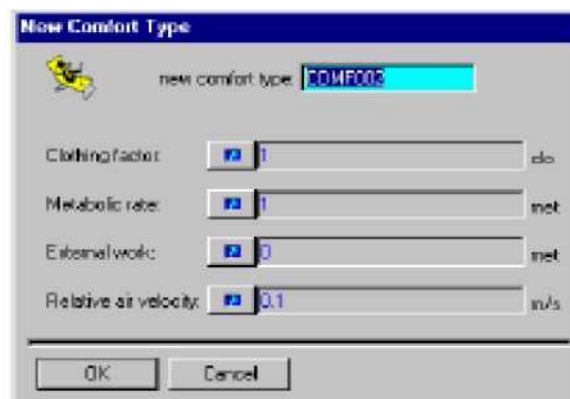
**Εικόνα 11:** Παράθυρο ορισμού μεθόδου αερισμού της ζώνης

- vi. Τα εσωτερικά φορτία κάθε ζώνης. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα φορτία ανθρώπων, υπολογιστών, φωτισμού καθώς και κάθε άλλο φορτίο που ορίζεται από το χρήστη. Ο ορισμός των φορτίων γίνεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “Gains” στο άνω μέρος του παραθύρου. Το παράθυρο που εμφανίζεται είναι διαμορφωμένο έτσι ώστε να διευκολύνεται η εισαγωγή των φορτίων ανθρώπων υπολογιστών και φωτισμού. Για το φορτίο των ανθρώπων δίνεται πίνακας για την εργασία που εκτελούν τα άτομα στο χώρο με βάση τις προδιαγραφές ISO 7730 ή VDI 2078. Για τους υπολογιστές καθορίζεται από λίστα η ισχύς τους και το αν έχουν ή όχι έγχρωμη οθόνη. Τέλος για τον τεχνητό φωτισμό επιλέγεται από λίστα η εγκατεστημένη ισχύς σε  $\text{watt/m}^2$  και το είδος του λαμπτήρα μαζί με το μέρος της ισχύς που μεταδίδεται στον αέρα μέσω συναγωγής. Το πεδίο “scale” αναφέρεται στον αριθμό ατόμων ή υπολογιστών ενώ στην περίπτωση του φωτισμού λαμβάνει τιμές 0 ή 1 ορίζοντας έτσι το πότε ανάβει και σβήνει ο φωτισμός. Εναλλακτικά για τον φωτισμό μπορεί να οριστεί στρατηγική έλεγχου από το αντίστοιχο πεδίο “controlstrategy”. Τα υπόλοιπα εσωτερικά κέρδη της ζώνης καθορίζονται στο κάτω μέρος του παραθύρου κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “Add”. Ο ορισμός ενός κέρδους απαιτεί την εισαγωγή της ισχύος που μεταδίδεται στη ζώνη μέσω συναγωγής, ακτινοβολίας και της απόλυτης υγρασίας που παράγεται.



Εικόνα 12: Παράθυρο ορισμού εσωτερικών φορτίων της ζώνης

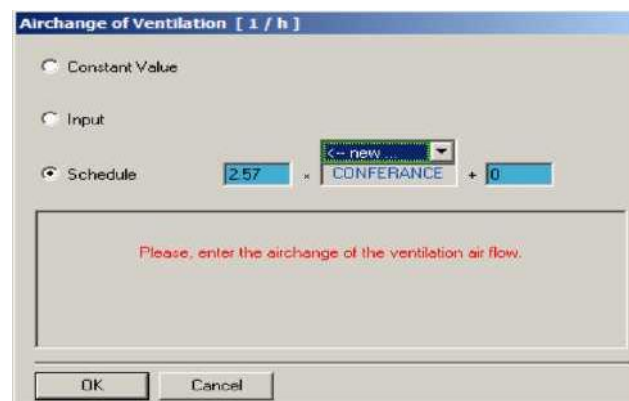
- vii. Επιλογή συνυπολογισμού της θερμικής άνεσης σε μία ζώνη. Η θερμική άνεση είναι προαιρετική και ορίζεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “Comfort” στο άνω μέρος του παραθύρου. Στο παράθυρο που ανοίγει απαιτείται εισαγωγή του συντελεστή ένδυσης ανάλογα με την ένδυση των ατόμων στο χώρο, του μεταβολικού ρυθμού ανάλογα με την δραστηριότητα των ατόμων στο χώρο, του εξωτερικού έργου, το οποίο συνήθως είναι περίπου μηδέν, και της σχετικής ταχύτητας του αέρα με τα άτομα στο χώρο. Το μοντέλο βασίζεται στις προδιαγραφές ISO 7730 και παρακάτω δίνονται πίνακες για τις τιμές του συντελεστή ένδυσης για συνηθισμένους τύπους ένδυσης και για τον μεταβολικό ρυθμό για συνηθείς εργασίες.



Εικόνα 13: Παράθυρο ορισμού παραμέτρων για τον συνυπολογισμό της θερμικής άνεσης στη ζώνη

Κατά τον ορισμό μίας από τις παραπάνω μεθόδους, ο καθορισμός της τιμής μιας μεταβλητής (εκτός αυτών που επιλέγονται από λίστες ή πίνακες που παρέχει το TRNSYS) μπορεί να γίνει είτε δίνοντας μία σταθερή τιμή στη μεταβλητή, είτε ορίζοντας να διαβάζεται η τιμή από μία είσοδο στο μοντέλο 56, είτε τέλος ορίζοντας ένα χρονοδιάγραμμα για τις τιμές που λαμβάνει η μεταβλητή σε διάφορες χρονικές περιόδους. Στην περίπτωση χρήσης χρονοδιαγράμματος η τιμή καθορίζεται υπό την ακόλουθη μορφή:  $x = a\text{-schedule}+b$ , όπου  $x$  η τιμή της μεταβλητής,  $\text{schedule}$  το χρονοδιάγραμμα που χρησιμοποιείται και  $a$ ,  $b$  συντελεστές που ορίζονται από τον χρήστη για τον καθορισμό της τιμής. Έτσι, αν θέλουμε η μεταβλητή να έχει τιμή 5 σε μία χρονική περίοδο και 2 σε κάθε άλλη περίπτωση, ορίζουμε με το χρονοδιάγραμμα στην περίοδο αυτή τιμή ίση με 1 και θέτουμε  $a=3$  και  $b=2$ . Έτσι έχουμε στην περίοδο αυτή  $x=3\cdot 1+2=5$  και σε κάθε άλλη χρονική στιγμή  $x=3\cdot 0+2=2$ .

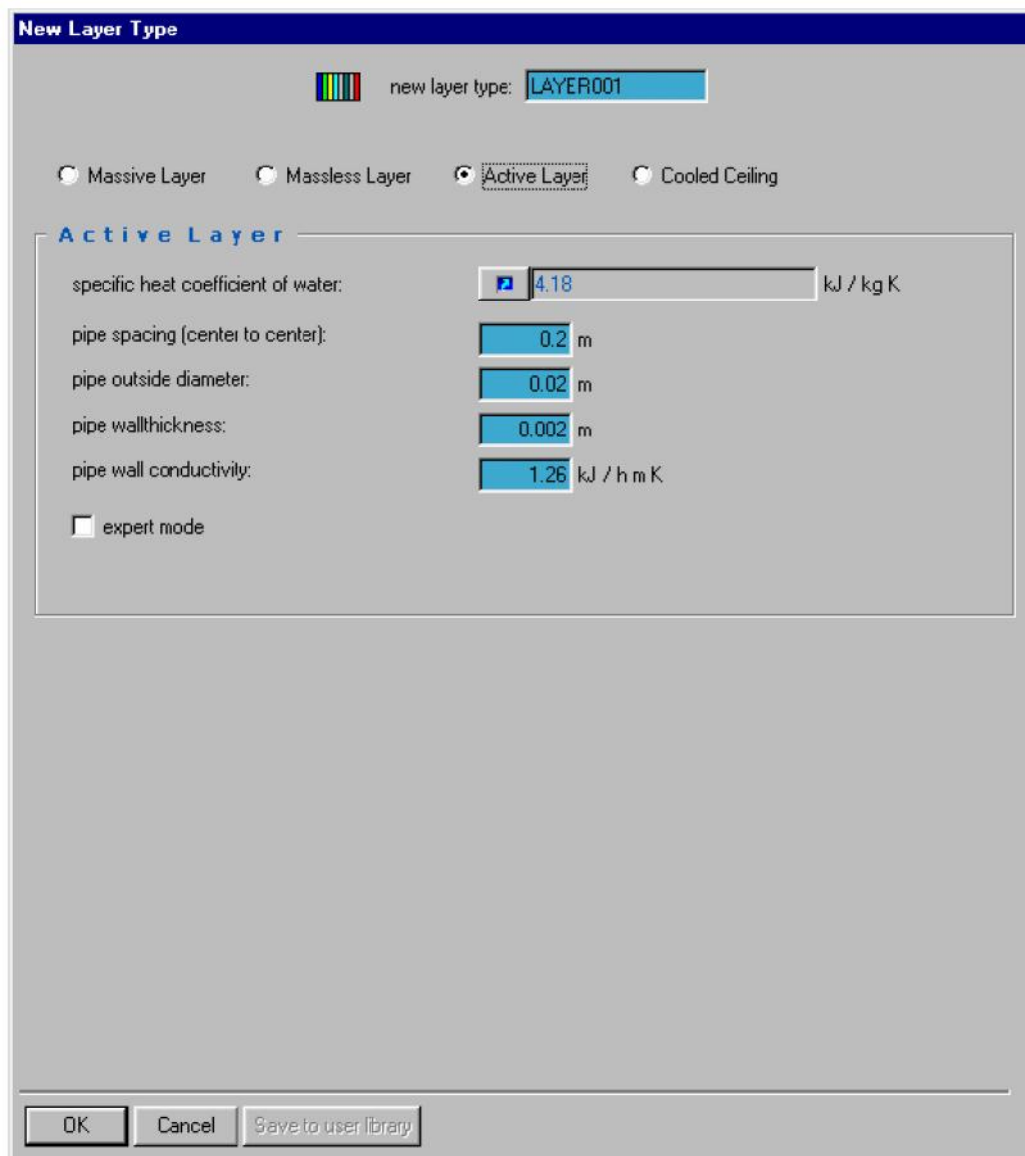
Τα χρονοδιαγράμματα μπορεί να είναι ημερήσια ή εβδομαδιαία και αναλύονται παρακάτω.



**Εικόνα 14:** Παράδειγμα ορισμού του ρυθμού εναλλαγής αέρα σε μία ζώνη με χρήση χρονοδιαγράμματος.

#### 4.3.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΝΕΟΥ ΤΟΙΧΟΥ ΜΕ ΕΝΕΡΓΗ ΣΤΡΩΣΗ (ACTIVE LAYER)

Για την μοντελοποίηση μιας ενδοδαπέδιας θέρμανσης και δροσισμού, προστίθεται στο δομικό στοιχείο – τοίχο μία ενεργή στρώση (active layer) είτε πρόκειται για δάπεδο είτε πρόκειται για οροφή. Αυτή η στρώση αποκαλείται ενεργή γιατί περιέχει σωληνώσεις πληρωμένες με ρευστό, οι οποίες είτε προσδίδουν είτε απορροφούν θερμότητα από την επιφάνεια. Γενικά, η διαδικασία καθορισμού μίας ενεργής στρώσης είναι όμοια με την διαδικασία καθορισμού ενός οποιουδήποτε τοίχου. Η ενεργή στρώση περιγράφεται με 5 παραμέτρους

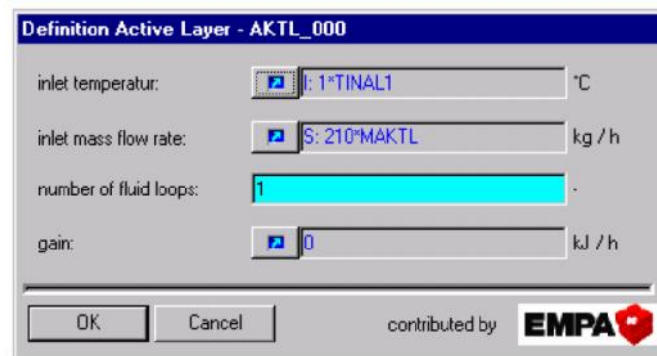


**Εικόνα 15:** Νέα ενεργή στρώση (active layer definition)

Ο συντελεστής συναγωγής μεταφοράς θερμότητας για επιφάνειες που περιέχουν μία ενεργή στρώση μεταξύ της επιφάνειας και του αέρα της ζώνης εξαρτάται από την θερμοκρασία της ενεργής στρώσης.

Μετά τον καθορισμό του τοίχου, ο τοίχος που διαθέτει ενεργή στρώση μαρκάρεται με ένα «Α». Πρόσθετα εμφανίζεται ένα κουμπί για τον προσδιορισμό της ενεργής στρώσης στο παράθυρο της ζώνης. Πατώντας το κουμπί καθορίζονται διάφορες τιμές όπως η παροχή του ρευστού, η θερμοκρασία εισόδου, ο αριθμός των κυκλωμάτων κλπ. Ο αριθμός των κυκλωμάτων χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του μήκους του σωλήνα:

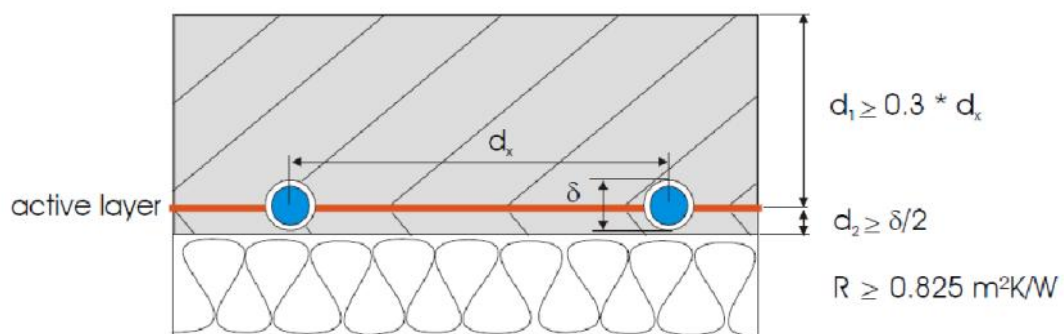
$$\text{pipelength} = \frac{\text{wallarea}}{\text{pipe spacing} \cdot \text{number of loops}}$$



**Εικόνα 16:** Παράθυρο ιδιοτήτων της ενεργής στρώσης

Τα βήματα για τον καθορισμό μίας ενεργής στρώσης – ενδοδαπέδιας θέρμανσης είναι τα εξής:

- Για την εισαγωγή της στρώσης της ενδοδαπέδιας θέρμανσης ξεκινάμε με ένα πάχος στρώσης που «συνορεύει» με την ενεργή στρώση με ένα πάχος  $\geq 0,3 * \text{απόσταση σωλήνων}$ .
- Ορίζουμε μία ενεργή στρώση. Αυτόματα, προστίθεται μία νέα στρώση από την κάτω πλευρά με τις ίδιες ιδιότητες με την παραπάνω στρώση.
- Προστίθεται μία στρώση μονωτικού με αντίσταση θερμικής μετάβασης  $R$  τουλάχιστον  $0,825 \text{ (m}^2\text{K/W)}$ .
- Τώρα μεταβάλλουμε το πάχος της στρώσης μεταξύ της ενεργής στρώσης και της μόνωσης (πάχος στρώσης  $\geq \frac{1}{2} * \text{εξωτερική διάμετρος σωλήνα}$ )



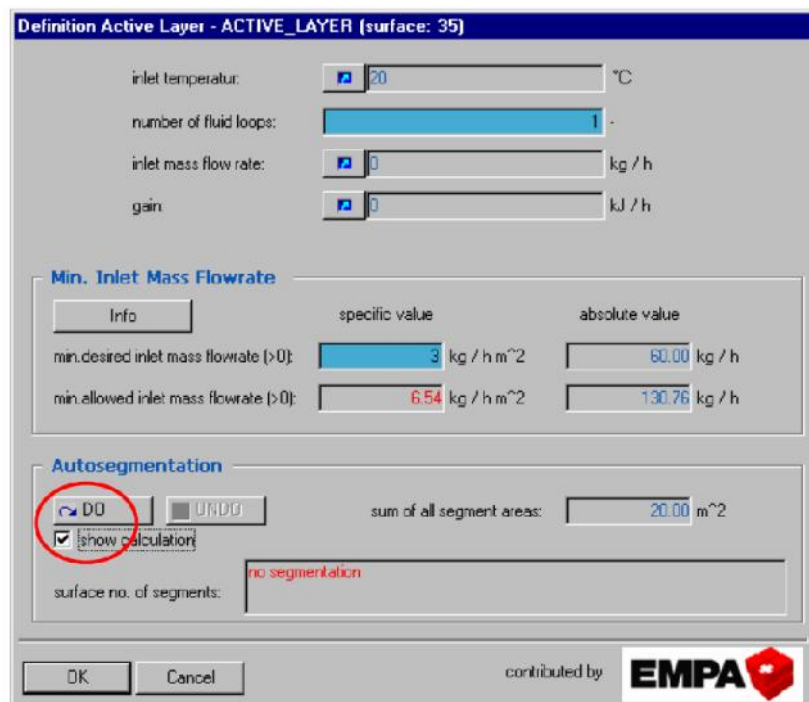
**Εικόνα 17:** Τοίχος με ενεργή στρώση για ενδοπέδια θέρμανση ή δροσισμό

- Μετά την επιβεβαίωση των δεδομένων, επιστρέφουμε στο σύστημα. Όταν έχει επιλεγεί μία ενεργή στρώση, εμφανίζεται ένα κουμπί καθορισμού της ενεργής στρώσης.



Εικόνα 18: Κουμπί καθορισμού ενεργής στρώσης

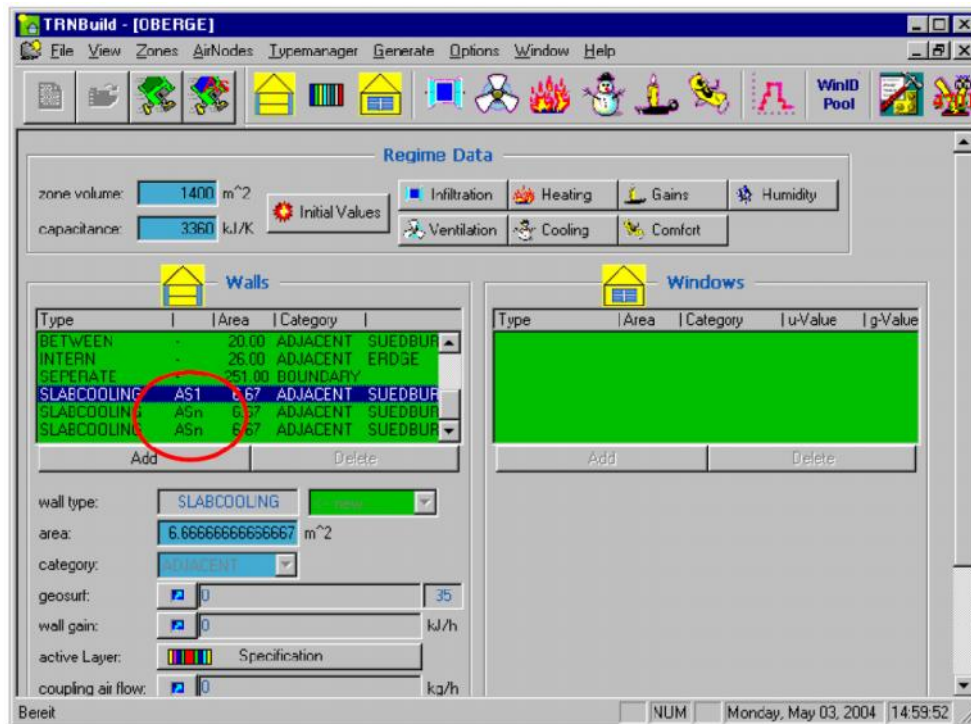
- Ανάλογα τον καθορισμό των παραμέτρων της ενεργής στρώσης (διάμετρος σωλήνα, απόσταση σωλήνων, παροχή ρευστού, κλπ.) είναι πιθανόν να χρειάζεται να καθοριστούν διάφορα τμήματα (segments). Το πρώτο τμήμα θα έχει την υψηλότερη θερμοκρασία (άρα και υψηλότερη ροή θερμότητας στον χώρο), το δεύτερο τμήμα θα έχει λίγο μικρότερη ροή θερμότητας στον χώρο κλπ. Για να διευκολυνθεί η χρήση της ενεργής στρώσης και το αποτέλεσμα να είναι φυσικά σωστό, διατίθεται ένα εργαλείο «αυτόματης τμηματοποίησης» (auto segmentation). Εφόσον επιλεγεί το κουμπί της αυτόματης τμηματοποίησης, αναπαράγονται όσα τμήματα απαιτούνται για το σύνολο της επιφάνειας της θερμικής ζώνης. Αν δεν απαιτείται τμηματοποίηση της επιφάνειάς μας τότε εμφανίζεται το μήνυμα «no segmentation».



Εικόνα 19: Αυτόματη τμηματοποίηση (auto segmentation)

- Πατώντας το κουμπί “OK”, εμφανίζεται ο τοίχος με την ενεργή στρώση (active layer) με την ένδειξη AS1, και το υπόλοιπο πλήθος των τμημάτων της επιφάνειας με την ASn.





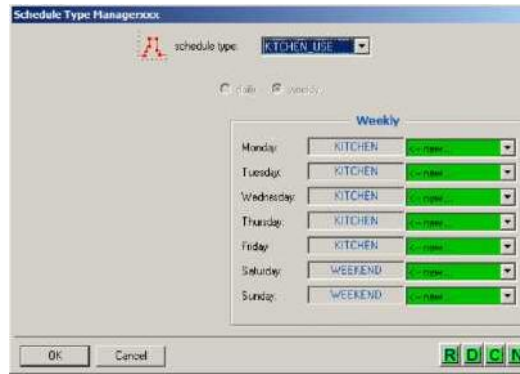
Εικόνα 20: ένδειξη AS1 και ASn.

#### 4.3.2 Κεντρικό παράθυρο του προγράμματος TRNBuild

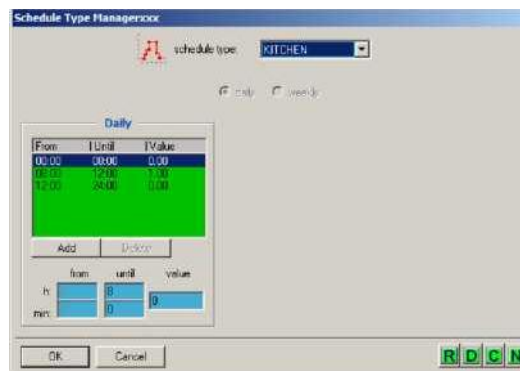
Στο άνω μέρος του κεντρικού παραθύρου του προγράμματος TRNBuild υπάρχουν τα εικονίδια των διαχειριστών διαφόρων τύπων. Αυτοί είναι οι διαχειριστές α) θέρμανσης, β) ψύξης, γ) αερισμού, δ) διείσδυσης αέρα, ε) εσωτερικών φορτίων στ) θερμικής άνεσης, ζ) τοίχων, η) παραθύρων, θ) στρώσεων υλικών των τοίχων, ι) χρονοδιαγραμμάτων. Από τους διαχειριστές αυτούς οι έξι πρώτοι χρησιμεύουν στην διαχείριση και στην επεξεργασία των μεθόδων των αντίστοιχων διεργασιών που έχουν εισαχθεί σε κάθε ζώνη. Μέσω των υπόλοιπων διαχειριστών δίδονται οι ακόλουθες επιλογές:

- i. Χρονοδιάγραμμα λειτουργίας των συσκευών θέρμανσης και ψύξης και χρονοδιάγραμμα έναρξης και λήξης της ισχύος των διαφόρων φορτίων. Μπορούν να ορισθούν ημερήσια και εβδομαδιαία προγράμματα. Στα ημερήσια επιλέγονται τα χρονικά διαστήματα κατά την διάρκεια της ημέρα όπου λαμβάνεται η τιμή 1 ή 0. Στα εβδομαδιαία επιλέγονται τα ημερήσια προγράμματα που χρησιμοποιούνται κάθε μέρα στην περίοδο μιας βδομάδας. Στο κάτω μέρος του παραθύρου του διαχειριστή υπάρχουν τα εικονίδια R,D,C,N τα οποία χρησιμεύουν αντίστοιχα στην μετονομασία, διαγραφή, αντιγραφή και τη δημιουργία νέου χρονοδιαγράμματος.



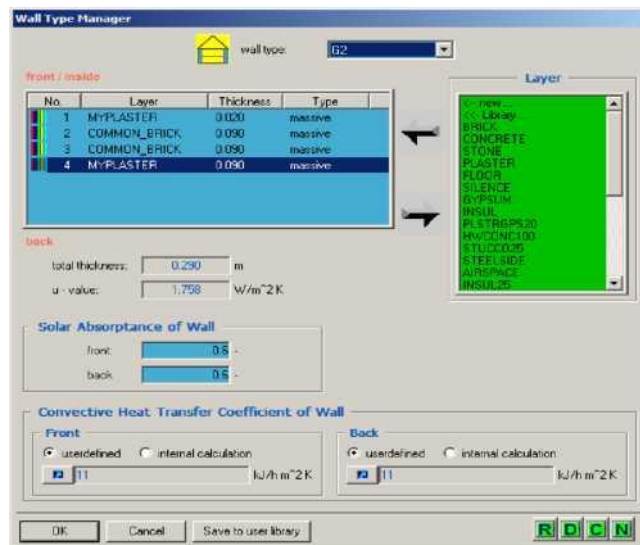


**Εικόνα 21α:** Καθορισμός εβδομαδιαίου χρονοδιαγράμματος



**Εικόνα 21β:** Καθορισμός ημερήσιου χρονοδιαγράμματος

- ii. Δημιουργία νέων τοίχων. Επιλέγοντας τον διαχειριστή τοίχων (walltypemanager) ανοίγει ένα παράθυρο στο οποίο μπορεί να γίνει επεξεργασία ενός τοίχου ή να οριστεί ένας νέος. Αυτό γίνεται επιλέγοντας τις στρώσεις των υλικών που αποτελεί τον τοίχο, με το πάχος κάθε στρώσης, ορίζοντας τους συντελεστές απορρόφησης ηλιακής ακτινοβολίας για τις δύο επιφάνειες του τοίχου και τέλος δίνοντας τον συντελεστή μεταφοράς θερμότητας για τις δύο επιφάνειες του τοίχου. Ο συντελεστής αυτός μπορεί να υπολογιστεί αν επιλεγεί από το πρόγραμμα. Στο παράθυρο φαίνεται το συνολικό πάχος του τοίχου και ο ολικός συντελεστής θερμοπερατότητας που προκύπτει από την επιλογή των στρώσεων των υλικών και τα πάχη τους. Οι στρώσεις των υλικών εισάγονται από βιβλιοθήκη ή καθορίζονται νέες από τον χρήστη. Τέλος, υπάρχουν και πάλι τα εικονίδια R,D,C,N που αντιστοιχούν στις ίδιες ενέργειες με πριν.



Εικόνα 22: Παράθυρο του διαχειριστή τοίχων

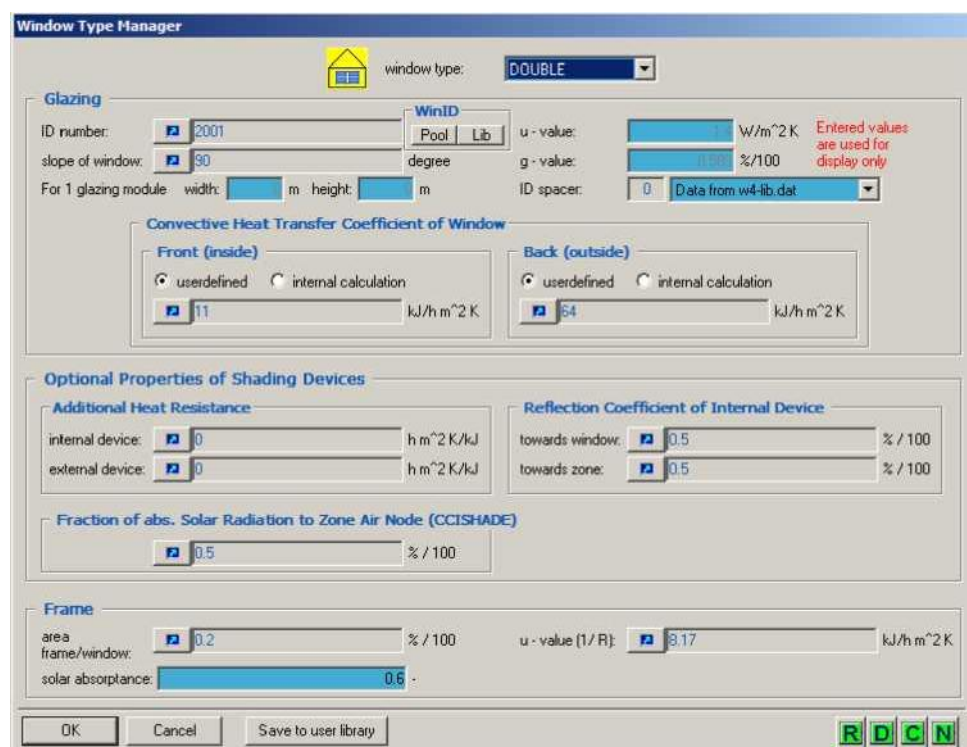
- iii. Επεξεργασία και εισαγωγή νέων στρώσεων υλικών για τους τοίχους. Οι ενέργειες αυτές γίνονται μέσω του διαχειριστή στρώσεων υλικών (LayerTypeManager). Στο παράθυρο του διαχειριστή επιλέγεται ένα υλικό και καθορίζεται η αγωγιμότητα του υλικού ( $\text{kJ/h-m-K}$ ), η θερμοχωρητικότητα ( $\text{kJ/kg-K}$ ) και η πυκνότητα ( $\text{kg/m}^3$ ). Η δημιουργία νέας στρώσης, η μετονομασία, η αντιγραφή και η διαγραφή γίνονται και πάλι μέσω των εικονιδίων R,D,C,N.



Εικόνα 23: Παράθυρο διαχειριστή υλικών των τοίχων

- iv. Επεξεργασία και δημιουργία νέων παραθύρων. Μέσω του διαχειριστή παραθύρων δίνεται επιλογή του συνδυασμού ήδη υπάρχοντων υαλοπινάκων με ήδη υπάρχοντα πλαίσια, καθώς επίσης και ορισμός επιπλέον θερμικής αντίστασης από εσωτερικά ή εξωτερικά σκίαστρα. Οι υαλοπίνακες ορίζονται με την αρίθμηση που έχουν λάβει από την βιβλιοθήκη του “windows4.1” και συνεπώς το όνομα (IDnumber) του υαλοπίνακα που επιθυμούμε να εισάγουμε πρέπει να υπάρχει στη βιβλιοθήκη. Επιπλέον, πρέπει να οριστεί για τον υαλοπίνακα ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας δια συναγωγής και για τις δύο επιφάνειες του υαλοπίνακα ενώ η τιμή των συντελεστών  $u$  και  $g$  διαβάζονται από την βιβλιοθήκη. Επίσης από το παράθυρο ορίζεται το πλαίσιο του υαλοπίνακα από την παρεχόμενη λίστα καθώς και το ποσοστό της επιφάνειας του παραθύρου που καταλαμβάνει, ο συντελεστής ανάκλασης και ο ολικός συντελεστής θερμοπερατότητας  $u$ .

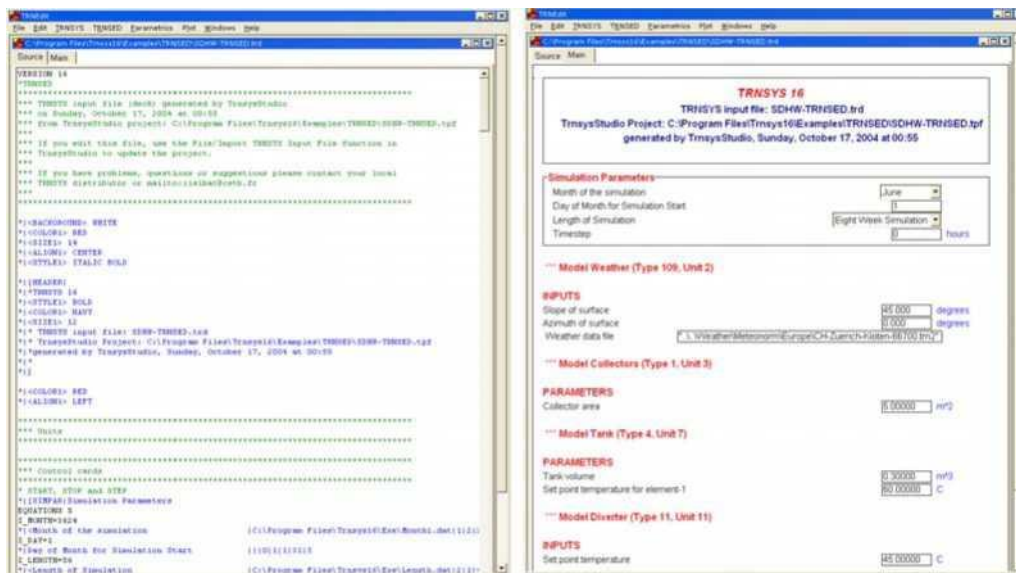
**Σημείωση:** Η τιμή του συντελεστή  $u$  πρέπει να εισαχθεί χωρίς να συνυπολογίζονται οι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας δια συναγωγής της εξωτερικής και της εσωτερικής επιφάνειας.



**Εικόνα 24:** Παράθυρο του διαχειριστή παραθύρων

#### 4.4 TRNEDIT

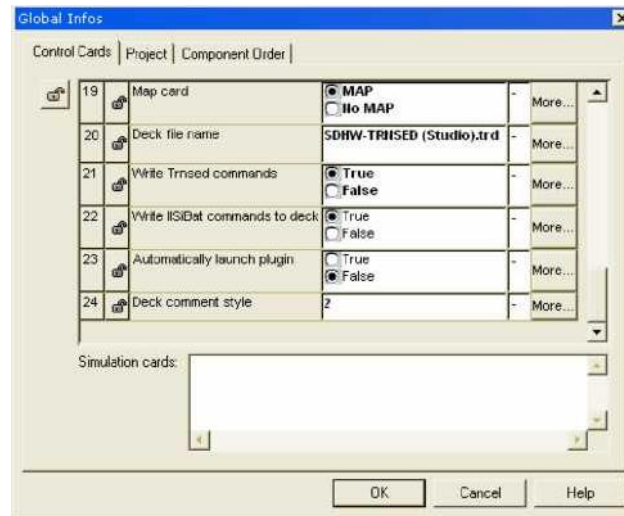
Το πρόγραμμα TRNEdit είναι ένας εξειδικευμένος επεξεργαστής (editor) ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τροποποίηση των αρχείων εισόδου του TRNSYS (decks). Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία αυτόνομων εφαρμογών οι οποίες είναι γνωστές ως TRNSED εφαρμογές. Οι εφαρμογές αυτές μπορούν να διανεμηθούν ελεύθερα μεταξύ των χρηστών που δεν έχουν άδεια χρήσης του TRNSYS με σκοπό να τους παραχθεί ένα απλοποιημένο εργαλείο προσομοίωσης. Το πρόγραμμα TRNEdit παρέχεται με ένα κατάλληλο γραφικό περιβάλλον στο οποίο ο χρήστης μπορεί να τροποποιήσει το αρχείο εισόδου του TRNSYS εισάγοντας ειδικές εντολές ώστε να προστεθούν στο πρόγραμμα που κατασκευάζεται στοιχεία όπως πολλαπλά παράθυρα και ενεργές εικόνες. Το περιβάλλον του TRNEdit αποτελείται από δύο καρτέλες. Στην πρώτη φαίνεται ο κώδικας του αρχείου εισαγωγής, και στην άλλη το γραφικό αποτέλεσμα του κώδικα που αποτελεί την Trnsed εφαρμογή.



Εικόνα 25: Καρτέλα του κώδικα του TRNEdit και η μορφή της Trnsed εφαρμογής

Για να είναι δυνατή η δημιουργία TRNSED εφαρμογών θα πρέπει από την καρτέλα ελέγχου στο στούντιο προσομοίωσης να αλλαχθεί η επέκταση του αρχείου εισόδου του TRNSYS από \*.dck σε \*.trd και θέτοντας την τιμή “True” στην επιλογή “WriteTrnsedcommands”. Έπειτα, επιλέγονται οι είσοδοι και οι παράμετροι των μοντέλων που χρησιμοποιούνται στην προσομοίωση των οποίων οι τιμές θα μπορούν να επεξεργαστούν μέσω του προγράμματος TRNEdit και θα αποτελούν αργότερα παραμέτρους της Trnsed εφαρμογής. Αυτό γίνεται κάνοντας διπλό κλικ σε όλα τα μοντέλα της προσομοίωσης και επιλέγοντας “lock” σε κάθε μεταβλητή που δεν επιθυμούμε να αποτελεί παράμετρο της Trnsed εφαρμογής. Τέλος επιλέγουμε να γραφτεί το αρχείο

εισόδου και το ανοίγουμε μέσω του προγράμματος TRNEdit όπου και τροποποιείται περαιτέρω.



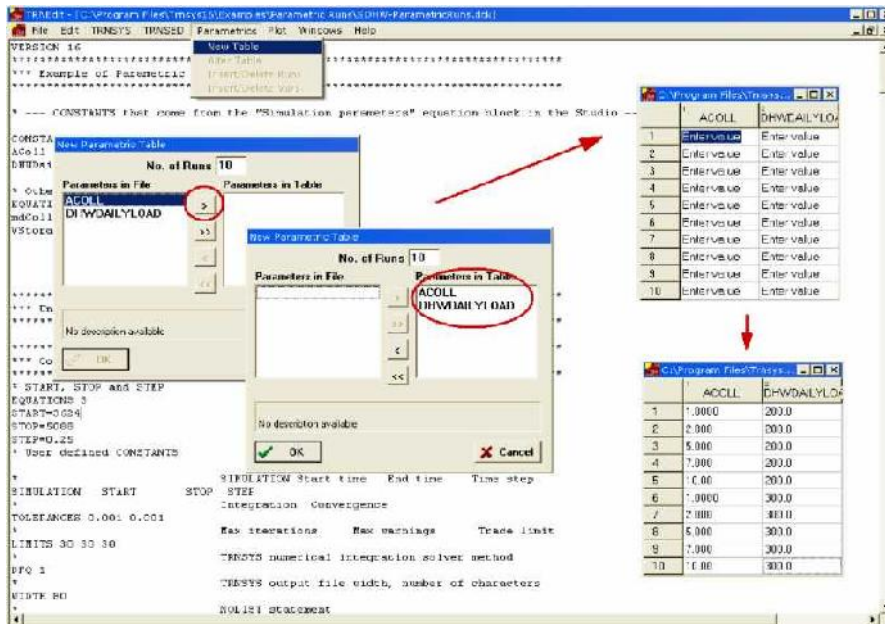
**Εικόνα 26:** Καρτέλα ελέγχου της προσομοίωσης

Με το πρόγραμμα TRNEdit παρέχονται οι ακόλουθες δυνατότητες εισάγοντας τις κατάλληλες εντολές:

- i. Ορισμός σταθερών του προγράμματος ως μεταβλητές και αντίστροφα.
- ii. Αλλαγή των τιμών σταθερών, μεταβλητών και παραμέτρων.
- iii. Ορισμός των εξωτερικών αρχείων που χρησιμοποιούν τα μοντέλα του προγράμματος (π.χ. μετεωρολογικά δεδομένα, αρχείο περιγραφής κτηρίου κτλ).
- iv. Καθορισμός γραφικών παραμέτρων όπως δημιουργία πολλαπλών παραθύρων, ενεργών εικόνων, εισαγωγή εικόνων.
- v. Ρύθμιση των Trnsed εφαρμογών έτσι ώστε να μπορούν να επιλεγθούν οι τιμές άμεσα ή από λίστα ή από καθοριζόμενο αρχείο και εισαγωγή αποκλειστικών και μη αποκλειστικών επιλογών.
- vi. Παραμετρικές εκτελέσεις της προσομοίωσης.

Οι παραμετρικές εκτελέσεις πραγματοποιούνται δημιουργώντας έναν πίνακα των σταθερών του προγράμματος που επιθυμούμε να οριστούν ως οι παράμετροι των εκτελέσεων με τις τιμές που επιθυμούμε να λάβουν οι σταθερές αυτές σε κάθε εκτέλεση. Για να δημιουργηθεί ο πίνακας αυτός, επιλέγεται από το άνω μέρος του παραθύρου "Parametric" και "newtable". Στο παράθυρο που ανοίγει ορίζουμε τον αριθμό των παραμετρικών εκτελέσεων και επιλέγονται από τη λίστα οι σταθερές βάσει των οποίων θέλουμε να γίνει η παραμετροποίηση. Τέλος συμπληρώνονται οι επιθυμητές τιμές στον πίνακα έτσι ώστε κάθε γραμμή του πίνακα να περιέχει τον επιθυμητό συνδυασμό των τιμών των παραμέτρων που θα χρησιμοποιηθούν σε κάθε εκτέλεση. Η παραμετρική μελέτη

εκκινεί επιλέγοντας “runtable” από το μενού “Trnsys” στο άνω μέρος του παραθύρου του προγράμματος TRNEdit.



Εικόνα 27: Παραμετρική μελέτη

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

### **ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ**

---

## 5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

### 5.1 Μοντέλο 109 - ΑΝΑΓΝΩΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙΡΟΥ & ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Το μοντέλο αυτό εξυπηρετεί το γενικό σκοπό ανάγνωσης μετεωρολογικών δεδομένων ανά τακτά χρονικά διαστήματα από ένα αρχείο δεδομένων, τα μετατρέπει στο επιθυμητό σύστημα μονάδων και υπολογίζει την άμεση και διάχυτη ακτινοβολία για έναν αυθαίρετο αριθμό επιφανειών με αυθαίρετο προσανατολισμό και κλίση. Το μοντέλο 109 διαβάζει ορισμένα αρχεία με γνωστή μορφοποίηση καθώς επίσης και αρχεία με μορφοποίηση που καθορίζεται από τον χρήστη με την σύνταξη που αναφέρεται παρακάτω.

#### Λειτουργίες

Υπάρχουν 4 διαφορετικές λειτουργίες για την διαχείριση μορφοποιημένων αρχείων:

- Η λειτουργία 1 στην οποία ο καθορισμός μορφοποίησης γίνεται από τον χρήστη και αναφέρεται σε αυθαίρετα μετεωρολογικά δεδομένα.
- Η λειτουργία 2 η οποία διαβάζει αρχεία με μορφοποίηση TMY2
- Η λειτουργία 3 η οποία διαβάζει αρχεία με τη γερμανική μορφοποίηση TRY.
- Η λειτουργία 4 η οποία διαβάζει αρχεία VDI 91x και 92x σύμφωνα με τον γερμανικό κώδικα VDI 2078

Επίσης, το μοντέλο αυτό μπορεί να διαβάσει γενικά αρχεία δεδομένων, τα οποία δεν έχουν απαραίτητα μετεωρολογικά δεδομένα, μετατρέποντάς τα στο επιθυμητό σύστημα μονάδων. Το μοντέλο 109 υποστηρίζει αρχεία ελεύθερης μορφοποίησης καθορισμένης από τον χρήστη. Κάθε τιμή πρέπει να διαχωρίζεται από την προηγούμενη με κενό ή κόμμα για τις λειτουργίες 0 και 1.

#### Παρατηρήσεις

- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως 5 μοντέλα 109 σε μία προσομοίωση
- Τα δεδομένα από γραμμή σε γραμμή πρέπει να απέχουν σταθερά χρονικά διαστήματα.
- Στην λειτουργία 0 όπου η μορφοποίηση των δεδομένων καθορίζεται από τον χρήστη, τα δεδομένα εξάγονται με την ίδια σειρά που εμφανίζονται στο αρχείο



δεδομένων. Σε όλες τις λειτουργίες διαχείρισης δεδομένων, οι έξοδοι έχουν την ίδια προκαθορισμένη σειρά εξόδου έτσι ώστε να διευκολύνεται η διαδικασία.

- Στην λειτουργία 0, μπορούν να υπάρχουν ως 20 γραμμές με σχόλια πριν τις γραμμές με τα δεδομένα. Οι γραμμές με τα σχόλια δεν πρέπει να ξεκινούν με αριθμό.
- Στα δεδομένα μπορεί ή όχι να εφαρμόζεται παρεμβολή ανάμεσα στα χρονικά βήματα αναλόγως με τις καθορισμένες παραμέτρους.
- Αν η προσομοίωση λήγει με τα δεδομένα να δίνουν ακτινοβολία  $\neq 0$  η τιμή της ακτινοβολίας ορίζεται 0 για την τελευταία ώρα της προσομοίωσης

### **Μαθηματικό μοντέλο**

Το μοντέλο 109 χρησιμοποιεί τους ίδιους αλγόριθμους με το μοντέλο 16 για τον υπολογισμό της ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο (με τις ίδιες λειτουργίες κεκλιμένης επιφάνειας 1-4) και για τον υπολογισμό της θέσης μίας κινούμενης επιφάνειας γύρω από έναν ή δύο άξονες.

Τα δεδομένα της ακτινοβολίας ελέγχονται για τιμές μεγαλύτερες του μηδενός πριν την ανατολή και μετά την δύση του ηλίου και εφαρμόζεται παρεμβολή για χρονικά διαστήματα μικρότερα ή μεγαλύτερα του διαστήματος που χωρίζει δύο διαδοχικές γραμμές. Η εσωτερική διαδικασία υπολογισμού της ακτινοβολίας παράγει τιμές της διάχυτης και της άμεσης ακτινοβολίας για έναν αυθαίρετο αριθμό επιφανειών με οποιαδήποτε γωνία αζιμουθίου και κλίση. Τέλος, προκαθορισμένες εξόδους αποτελούν η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, η ταχύτητα του ανέμου και η κατεύθυνση του ανέμου. Ως 4 επιπλέον στήλες δεδομένων μπορούν να επεξεργαστούν στην λειτουργία 1 όπου καθορίζονται από τον χρήστη.

### **Λειτουργίες οριζόντιας ακτινοβολίας**

Το μοντέλο 109 χρειάζεται δύο στοιχεία της ηλιακής ακτινοβολίας για τον υπολογισμό της ακτινοβολίας σε μία κεκλιμένη επιφάνεια. Οι συνδυασμοί που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι οι ακόλουθοι:

- $I_b$  και  $I_d$
- $I$  και  $I_d$
- $I$  και  $I_{on}$

- $I$ ,  $T_{amb}$  και  $RH$ . Η διάχυτη ακτινοβολία υπολογίζεται με βάση το πλήρες μοντέλο του Reindl.
- $I$ . Η διάχυτη ακτινοβολία υπολογίζεται με βάση τους απλοποιημένους συσχετισμούς του μοντέλου του Reindl.

## 5.2 Μοντέλο 56 - ΚΤΗΡΙΟ

### Περιγραφή μοντέλου

Το πολυζωνικό κτήριο προσομοιώνεται με το μοντέλο 56 του προγράμματος TRNSYS. Στο μοντέλο αυτό κάθε ζώνη περιγράφεται από την θερμοχωρητικότητα της, τον όγκο αέρα που περικλείει και την θερμοχωρητικότητα των στοιχείων που βρίσκονται σε αυτήν (π.χ. επίπλωση). Κάθε ζώνη αποτελεί ένα ξεχωριστό υπολογιστικό κόμβο στον οποίο η θερμοχωρητικότητα και ο όγκος της ζώνης αποτελούν ξεχωριστές εισόδους. Για περισσότερες λεπτομέρειες αυτού του μοντέλου ο αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει στο εγχειρίδιο του TRNSYS.

## 5.3 Μοντέλο 1 - ΗΛΙΑΚΟΣ ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ

### Περιγραφή μοντέλου

Ο συλλέκτης αυτός μοντελοποιεί τη θερμική συμπεριφορά μιας πληθώρας συλλεκτών χρησιμοποιώντας τη θεωρία. Το συνολικό πεδίο μπορεί να αποτελείται από συλλέκτες συνδεδεμένους σε σειρά αλλά και παράλληλα. Η θερμική συμπεριφορά του πεδίου καθορίζεται από τον αριθμό των συλλεκτών σε σειρά και από τα χαρακτηριστικά τους. Ο χρήστης πρέπει να εισάγει τα αποτελέσματα από τυποποιημένους ελέγχους της απόδοσης συναρτήσει του κλάσματος της θερμοκρασίας του ρευστού μείον της θερμοκρασίας περιβάλλοντος δια της ακτινοβολίας ( $\Delta T/I$ ). Η θερμοκρασία του ρευστού μπορεί να είναι εισόδου, εξόδου ή  $T$  μέση. Το μοντέλο υποθέτει ότι η καμπύλη της απόδοσης συναρτήσει του κλάσματος  $\Delta T/IT$ , μπορεί να προσεγγισθεί από μία δευτεροβάθμια εξίσωση.

**Συμβολισμός**

$A[m^2]$	Συνολική μεικτή επιφάνεια των συλλεκτών
$a0[-]$	Το γινόμενο $FR^*$ ( $\tau\alpha$ )
$a1[kJ/h-m^2-K]$	Το γινόμενο $FR^*U_L$
$a2[kJ/h-m^2-K^2]$	Το γινόμενο $FR^* U_L/T$
$C_{pf}[kJ/kg-K]$	Ειδική θερμοχωρητικότητα του ρευστού που διαρρέει τον συλλέκτη
$FR[-]$	Παράγων θερμικής απολαβής
$I_T[kJ/h-m^2]$	Ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία στην επιφάνεια του συλλέκτη
$m[kg/h]$	Ροή μάζας σε συνθήκες λειτουργίας
$T_a[^\circ C]$	Θερμοκρασία περιβάλλοντος
$T_i[^\circ C]$	Θερμοκρασία του ρευστού στην είσοδο του συλλέκτη
$T_o[^\circ C]$	Θερμοκρασία του ρευστού στην έξοδο του συλλέκτη
$U_L[kJ/h-m^2-K]$	Συντελεστής θερμικών απωλειών του συλλέκτη ανα μονάδα επιφανείας
$U_L/T[kJ/h-m^2-K^2]$	Συντελεστής θερμικών απωλειών του συλλέκτη εξαρτώμενος από τη θερμοκρασία
$(\tau\alpha) [-]$	Το γινόμενο διαπερατότητας του καλύματος και της απορροφητικότητας του απορροφητήρα
$(\tau\alpha)_h[-](\tau\alpha)$	για την ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο

**Μαθηματική περιγραφή**

Η γενική εξίσωση για την απόδοση του επίπεδου ηλιακού συλλέκτη μπορεί να ληφθεί

Από την εξίσωση των Hottel-Whillier (Duffie and Beckman, 1991):

$$\eta = \frac{Q_u}{A I_T} = \frac{\dot{m} C_{pf} (T_o - T_i)}{A I_T} = F_R (\tau\alpha)_h - F_R U_L \frac{(T_i - T_a)}{I_T}$$

Ο συντελεστής απωλειών  $U_L$  δεν είναι ακριβώς σταθερά, επομένως μια καλύτερη προσέγγιση μπορεί να γίνει αν λάβουμε υπόψη τη γραμμική εξάρτηση του  $U_L$  με τη διαφορά  $(T_i - T_a)$ :

$$\eta = \frac{Q_u}{A I_T} = F_R (\tau\alpha)_n - F_R U_L \frac{(T_i - T_a)}{I_T} - F_R U_{L/T} \frac{(T_i - T_a)^2}{I_T}$$

Η παραπάνω εξίσωση μπορεί να γραφτεί ως:

$$\eta = a_0 - a_1 \frac{(\Delta T)}{I_T} - a_2 \frac{(\Delta T)^2}{I_T}$$

Η οποία είναι η γενική εξίσωση που χρησιμοποιείται στο μοντέλο 1. Η θερμική απόδοση προσδιορίζεται από 3 παραμέτρους:  $a_0$ ,  $a_1$  και  $a_2$ . Αυτές οι 3 παράμετροι είναι διαθέσιμες σε συλλέκτες που έχουν δοκιμαστεί σύμφωνα με τα πρότυπα της ASHRAE και βαθμολογηθεί από τη SRCC, καθώς και σε συλλέκτες που έχουν ελεγχθεί σύμφωνα με τα πρόσφατα ευρωπαϊκά πρότυπα (CEN, 2001). Πολλά παραδείγματα παραμέτρων των συλλεκτών μπορούν να βρεθούν στο διαδίκτυο (π.χ. SPF, 2004)

#### 5.4 Μοντέλο 24 - ΠΟΣΟΤΙΚΟΣ ΟΛΟΚΛΗΡΩΤΗΣ

Το μοντέλο αυτό είναι ανάλογο με κάποιο μηχανισμό σε ένα φυσικό σύστημα το οποίο ολοκληρώνει μία ποσότητα σε μία περίοδο. Για παράδειγμα ένας μετρητής kWh που συνεχώς αθροίζει την ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται. Το μοντέλο 24 μπορεί να ολοκληρώσει μέχρι και 250 μεταβλητές και δεν υπάρχει περιορισμός στον αριθμό των μοντέλων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μία προσομοίωση.

##### Συμβολισμός

- $X_i$  η ποσότητα της ν-οστής ποσότητας που πρόκειται να ολοκληρωθεί  
 $Y_i$  ο χρόνος ολοκλήρωσης του  $X_i$

##### Μαθηματική περιγραφή

$$Y_i = \int_{\text{time}} X_i dt$$

## 5.5 Μοντέλο 25 - ΕΚΤΥΠΩΤΗΣ

Το μοντέλο 25 χρησιμοποιείται για να εξάγει σε αρχεία ή να εκτυπώνει τις επιλεγμένες μεταβλητές του συστήματος σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές. Ο μέγιστος αριθμός μεταβλητών έχει ορισθεί στις 500 και δεν υπάρχει όριο στον αριθμό των μοντέλων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά τη διάρκεια μιας προσομοίωσης.

### Συμβολισμοί

$L_{unit}$	Ο αριθμός της λογικής μονάδας στον οποίο θα εκτελεστεί έξοδος στον εκτυπωτή
$\Delta t$	Το χρονικό βήμα της προσομοίωσης
$\Delta t_p$	Η χρονική στιγμή κατά την οποία θα εκτυπωθούν οι μεταβλητές
$T_{on}$	Η χρονική στιγμή κατά την οποία ο εκτυπωτής θα αρχίσει να εκτυπώνει
$T_{off}$	Η χρονική στιγμή κατά την οποία ο εκτυπωτής θα σταματήσει να εκτυπώνει
TIME	η τωρινή χρονική στιγμή στην προσομοίωση
$X_i$	Η τιμή της εισερχόμενης μεταβλητής $i$ που θα εκτυπωθεί

### Μαθηματικό μοντέλο

Για το μοντέλο του εκτυπωτή ισχύουν:

- Αν  $\Delta t=0$  ή αν δεν έχει ορισθεί, εκτύπωση πραγματοποιείται μόνο στο τέλος  $p$  της προσομοίωσης.
- Αν  $0 < \Delta t_p \leq \Delta t$ , πραγματοποιείται εκτύπωση σε κάθε πολλαπλάσιο του  $\Delta t_p$
- Αν  $\Delta t_p > \Delta t$ , εκτύπωση πραγματοποιείται ανά  $N$  χρονικά βήματα, όπου  $N$  πρέπει να είναι θετικός ακέραιος και  $N = \Delta t_p / \Delta t$
- Αν  $t \leq 0$ , η εκτύπωση εκκινεί στην αρχή της προσομοίωσης. Αλλιώς η  $on$  εκτύπωση εκκινεί όταν  $TIME \geq t_{on}$
- Αν  $t_{off} \geq t_{end}$ , η εκτύπωση σταματά στο τέλος της προσομοίωσης. Αλλιώς η εκτύπωση σταματά όταν  $TIME > t_{off}$

- Αν  $L_{unit} \leq 0$  ή αν δεν έχει ορισθεί χρησιμοποιείται η προκαθορισμένη λογική μονάδα. Αν  $L_{unit} > 0$ , ο αριθμός αυτός χρησιμοποιείται ως η λογική μονάδα για την έξοδο του εκτυπωτή. Αυτό επιτρέπει στην έξοδο του εκτυπωτή να γραφτεί σε ξεχωριστό αρχείο.
- Αν  $UNITS=1$ , εκτυπώνονται μεταβλητές που καθορίζει ο χρήστης. Αν  $UNITS=2$ , εκτυπώνονται μεταβλητές που επιλέγει το TRNSYS.

### Παρατηρήσεις

- Το μοντέλο 25 έχει μια παράμετρο η οποία ελέγχει αν οι χρονικές στιγμές στις οποίες πραγματοποιείται εκτύπωση είναι σχετικές ή απόλυτες. Για παράδειγμα αν η αρχή της προσομοίωσης γίνεται είναι 0,5, το χρονικό βήμα είναι 0,25 και το βήμα εκτύπωσης είναι 1 τότε: Αν η παράμετρος αυτή είναι ίση με 0, εκτύπωση θα πραγματοποιηθεί τις χρονικές στιγμές 0,5, 1,5, 2,5 κτλ. Αν η τιμή της παραμέτρου ορισθεί 1 εκτύπωση θα πραγματοποιηθεί τις χρονικές στιγμές 1,2,3 κτλ.
- Το μοντέλο 25 έχει επίσης τη δυνατότητα να απευθυνθεί στο αρχείο εξόδου αντί να το δημιουργήσει εκ νέου, γεγονός που χρήσιμο για παραμετρικές εκτελέσεις του προγράμματος (όλες οι έξοδοι των παραμετρικών εκτελέσεων μπορούν να γραφούν στο ίδιο αρχείο).
- Η δεύτερη καρτέλα δεδομένων που ακολουθεί την καρτέλα εισόδων πρέπει να έχει τις ονομασίες για κάθε είσοδο και οι εισοδοί εκτυπώνονται κάτω από την δοσμένη ονομασία. Οι ονομασίες πρέπει να χωρίζονται είτε με κόμμα είτε με κενό.
- Αν η παράμετρος 5 ορισθεί ίση με 1, ο χρήστης πρέπει να παράσχει το σύνολο των μεταβλητών με τρόπο παρόμοιο των ονομασιών, όπως περιγράφηκε παραπάνω.

## 5.6 Μοντέλο 33 - ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΑ

Το μοντέλο αυτό καλεί στο TRNSYS την υπορουτίνα 'Psychometrics'. Έχει ως εισόδους:

- 1) θερμοκρασία ξηρού βολβού και μια ακόμα ιδιότητα αναλόγως την ορισμένη λειτουργία του μοντέλου. Η ιδιότητα αυτή μπορεί να είναι: θερμοκρασία υγρού βολβού, σχετική υγρασία, θερμοκρασία σημείου δρόσου, λόγος υγρασίας, ενθαλπία.
- 2) λόγος υγρασίας και ενθαλπία. Η έξοδοι του μοντέλου είναι οι ακόλουθες ιδιότητες: λόγος υγρασίας, θερμοκρασία υγρού βολβού, ενθαλπία, πυκνότητα του μείγματος αέρα-νερού, πυκνότητα ξηρού αέρα, ποσοστό σχετικής υγρασίας, θερμοκρασία ξηρού βολβού και θερμοκρασία σημείου δρόσου.

Η πρώτη παράμετρος του μοντέλου καθορίζει ποιό ζευγάρι ιδιοτήτων θα αποτελέσουν είσοδο στο μοντέλο. Η δεύτερη παράμετρος καθορίζει το αν θα πρέπει να υπολογιστεί ή όχι η θερμοκρασία υγρού βολβού. Ο υπολογισμός της θερμοκρασίας υγρού βολβού απαιτεί επαναληπτική διαδικασία η οποία μπορεί να είναι χρονοβόρα. Αν δεν απαιτείται ο υπολογισμός της τότε η δεύτερη παράμετρος πρέπει να είναι 0. Η τρίτη παράμετρος είναι η λειτουργία σφάλματος (error mode). Αν η παράμετρος τεθεί ίση με 1, αναφέρεται μόνο μια ειδοποίηση ανά σφάλμα. Αν η παράμετρος λάβει την τιμή 2, εκτυπώνεται ειδοποίηση σε κάθε χρονικό βήμα που εμφανίζεται σφάλμα.

## 5.7 Μοντέλο 2 - ΔΙΑΦΟΡΙΚΟΣ ΕΛΕΓΚΤΗΣ

Ο ελεγκτής παράγει μια συνάρτηση ελέγχου  $\gamma_0$  η οποία μπορεί να έχει τιμές 0 ή 1. Η τιμή της  $\gamma_0$  καθορίζεται αναλόγως με τη διαφορά των άνω και κάτω θερμοκρασιών,  $T_H$  και  $T_L$ , συγκρινόμενη με δύο όρια,  $\Delta T_H$  και  $\Delta T_L$ . Η νέα τιμή της  $\gamma_0$  εξαρτάται από το αν  $\gamma_1=0$  ή 1. Ο ελεγκτής συνήθως χρησιμοποιείται έχοντας συνδεδεμένες τις τιμές  $\gamma_0$  και  $\gamma_1$  δίνοντας έτσι υστέρηση. Για λόγους ασφαλείας καθορίζεται ένα άνω όριο λειτουργίας στον ελεγκτή, το οποίο αν ξεπεραστεί η τιμή της συνάρτησης ελέγχου είναι μηδέν ανεξαρτήτως των ορίων  $\Delta T_H$  και  $\Delta T_L$ . Ο ελεγκτής αυτός είναι γενικού τύπου και μπορεί να αναφέρεται σε οποιοδήποτε μέγεθος εκτός των θερμοκρασιών.

### Συμβολισμός

$\Delta T_H [C]$	άνω όριο θερμοκρασιακής διαφοράς H
$\Delta T_L [C]$	κάτω όριο θερμοκρασιακής διαφοράς L
$T_H [C]$	άνω θερμοκρασία εισόδου HT IN
$T_{IN} [C]$	θερμοκρασία για τον έλεγχο του άνω ορίου
$T_L [C]$	κάτω θερμοκρασία εισόδου L
$T_{MAX} [C]$	μέγιστη θερμοκρασία εισόδου
$\gamma_1 [0..1]$	εισερχόμενη συνάρτηση ελέγχου
$\gamma_0 [0..1]$	εξερχόμενη συνάρτηση ελέγχου

**Μαθηματική περιγραφή**

Μαθηματικά το μοντέλο εκφράζεται ως εξής: Στην περίπτωση που ο ελεγκτής ήταν προηγουμένως σε λειτουργία, τότε:

$$\text{Αν } \gamma_1=1 \text{ και } \Delta T_L \leq (T_H - T_L), \gamma_0=0$$

$$\text{Αν } \gamma_1=1 \text{ και } \Delta T_L > (T_H - T_L), \gamma_0=0$$

Στην περίπτωση που ο ελεγκτής ήταν προηγουμένως εκτός λειτουργίας, τότε:

$$\text{Αν } \gamma_1=0 \text{ και } \Delta T_H \leq (T_H - T_L), \gamma_0=1$$

$$\text{Αν } \gamma_1=0 \text{ και } \Delta T_H > (T_H - T_L), \gamma_0=0$$

Τέλος, η συνάρτηση ελέγχου έχει τιμή μηδέν ανεξαρτήτως των ορίων θερμοκρασιακής διαφοράς αν  $T_{IN} > T_{MAX}$ . Η περίπτωση αυτή είναι πολύ συνηθισμένη στην θέρμανση νερού όπου θέλουμε το θερμό νερό να μην λειτουργεί η αντλία όταν η θερμοκρασία της δεξαμενής είναι υψηλότερη κάποιας δοσμένης τιμής. Η συνάρτηση ελέγχου φαίνεται γραφικά στο παρακάτω σχήμα:

**Αλληλεπίδραση του μοντέλου 2 με την μέθοδο επίλυσης του TRNSYS**

Με την προεπιλεγμένη μέθοδο επίλυσης του TRNSYS (solver 0, διαδοχικές αντικαταστάσεις), όταν  $(T - T_{HL})$  πλησιάζει το άνω ή το κάτω όριο, η συνάρτηση  $\gamma_0$  μπορεί να αρχίσει να ταλαντώνεται μεταξύ της τιμής 1 και 0 για διαδοχικές επαναλήψεις σε ένα δοσμένο χρονικό βήμα. Αυτό συμβαίνει γιατί οι  $T_H$  και  $T_L$  αλλάζουν ελαφρώς σε κάθε επανάληψη, πληρώνοντας ή όχι έτσι τις προϋποθέσεις για να αλλάξει η τιμή της  $\gamma_0$ . Η τιμή της παραμέτρου 1 (NSTK) είναι ο αριθμός των επιτρεπόμενων ταλαντώσεων μέσα σε ένα χρονικό βήμα πριν η τιμή εξόδου σταματήσει να μεταβάλλεται.

Μετά την έκδοση 14.1 του TRNSYS, προστέθηκε ένας νέος ελεγκτής ο οποίος να μπορεί να χρησιμοποιηθεί με την μέθοδο επίλυσης του Powell. Η μέθοδος ελέγχου του Powell είναι πιο σταθερή σε ορισμένες περιπτώσεις, επιλύοντας το σύστημα των εξισώσεων απαγορεύοντας την μεταβολή της ελεγχόμενης μεταβλητής κατά την διαδικασία των επαναλήψεων. Κατά την σύγκλιση, η κατάσταση του ελεγκτή συγκρίνεται με την επιθυμητή και οι υπολογισμοί επαναλαμβάνονται αν είναι απαραίτητο.



## 5.8 Μοντέλο 65 - ONLINE ΕΚΤΥΠΩΤΗΣ

Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιείται για να παρουσιάσει στην οθόνη επιλεγμένες μεταβλητές σε καθορισμένες χρονικές στιγμές ταυτόχρονα με την εκτέλεση της προσομοίωσης. Το μοντέλο αυτό είναι πολύ χρήσιμο καθώς επιτρέπει στον χρήστη τον άμεσο έλεγχο των υπό μελέτη μεταβλητών κατά την εξέλιξη της προσομοίωσης. Επίσης, τα διαγράμματα των διαφόρων μεταβλητών εμφανίζονται σε διαφορετικά παράθυρα στην οθόνη.

Με το μοντέλο αυτό υπάρχει επίσης η δυνατότητα δημιουργίας αρχείου με όλες τις τιμές των μεταβλητών που εκτυπώνονται. Αυτό είναι δυνατόν ορίζοντας την παράμετρο 10 του μοντέλου ίση με έναν θετικό αριθμό. Επίσης, ο εκτυπωτής μπορεί να τεθεί εκτός λειτουργίας χωρίς να διαγραφεί το μοντέλο από το πρόγραμμα της προσομοίωσης θέτοντας την παράμετρο 9 ίση με -1. Αν όλοι οι onlineplotters έχουν τεθεί εκτός λειτουργίας στην οθόνη εμφανίζεται η προκαθορισμένη μπάρα προόδου της προσομοίωσης αντί των διαγραμμάτων. Αν έχει επιλεγεί να παράγεται αρχείο εξόδου, αυτό δημιουργείται ακόμα και αν ο εκτυπωτής έχει τεθεί εκτός λειτουργίας.

### Παρατηρήσεις

- Σε μία προσομοίωση μπορούν να υπάρχουν έως 5 onlineplotters
- Κάθε εκτυπωτής μπορεί να έχει από 1 έως 20 εισόδους. (10 στον αριστερό άξονα και 10 στον δεξιό)
- Στην καρτέλα εισόδων πρέπει να ορισθούν οι ονομασίες των μεταβλητών. Οι ονομασίες μπορούν να έχουν 25 το πολύ χαρακτήρες και διαχωρίζονται η μία από την άλλη με κόμμα ή κενό.
- Απαιτείται κάρτα ταμπελών για να ορισθούν οι μονάδες των μεταβλητών και οι επικεφαλίδες των διαγραμμάτων. Συγκεκριμένα πρέπει να ορισθούν 3 ταμπέλες. Η πρώτη αναφέρεται στον τίτλο του αριστερού άξονα  $y$ , η δεύτερη στον τίτλο του άξονα  $x$  και η Τρίτη στον τίτλο του διαγράμματος
- Ο αριθμός εισόδων είναι ίσος με το άθροισμα των δύο πρώτων παραμέτρων.

## 5.9 Μοντέλο 69 - ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΟΥΡΑΝΟΥ

Το μοντέλο αυτό υπολογίζει μια αντιπροσωπευτική θερμοκρασία για τον ουρανό. Με βάση αυτήν την θερμοκρασία υπολογίζεται η συναλλαγή ακτινοβολίας μεγάλου μήκους από τις εξωτερικές επιφάνειες ενός κτηρίου με το περιβάλλον.

### Συμβολισμός

$C_{Cover}$	Βαθμός συννεφιάς του ουρανού
$E_{Dif}$	Διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου
$E_{Dir}$	Άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου
$E_{Glob, h}$	Ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου
$G$	Επιτάχυνση της βαρύτητας
$H$	υψόμετρο πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας
$P_{atm}$	ατμοσφαιρική πίεση
$p_0$	Ατμοσφαιρική πίεση στο ύψος $h_0$
$\rho_0$	πυκνότητα αέρα στο ύψος $h_0$
$\epsilon_0$	εκπομπή καθαρού ουρανού
$T_{amb}$	Θερμοκρασία περιβάλλοντος
$T_{sat}$	Θερμοκρασία σημείου δρόσου σε συνθήκες περιβάλλοντος
$T_{sky}$	Θερμοκρασία ουρανού

### Μαθηματικό μοντέλο

Η αντιπροσωπευτική θερμοκρασία ουρανού υπολογίζεται με σκοπό τον υπολογισμό της συναλασσόμενης ακτινοβολίας μεγάλου μήκους από τις εξωτερικές επιφάνειες ενός κτηρίου με το περιβάλλον. Για τον υπολογισμό αυτόν ο ουρανός θεωρείται ότι είναι μία ιδανική μαύρη επιφάνεια. Το ζητούμενο είναι ο υπολογισμός της πραγματικής εκπομπής του καθαρού και του συννεφιασμένου ουρανού. Έτσι, η αντιπροσωπευτική θερμοκρασία ουρανού είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, της υγρασίας του αέρα, του βαθμού συννεφιάς του ουρανού και της τοπικής ατμοσφαιρικής πίεσης.

Στην περίπτωση που τα εισαγόμενα δεδομένα από τον χρήστη δεν περιλαμβάνουν τον βαθμό συννεφιάς του ουρανού, μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη σχέση:

$$C_{\text{Cover}} = \left( 1.4286 \frac{E_{\text{Dif}}}{E_{\text{Glob,H}}} - 0.3 \right)^{0.5}$$

Για τον βαθμό συννεφιάς κατά την περίοδο της νύκτας χρησιμοποιείται ένας μέσος βαθμός με βάση τις τιμές που έχει τις απογευματινές ώρες. Η ατμοσφαιρική πίεση καθορίζεται με βάση το βαρομετρικό υψόμετρο της ζητούμενης τοποθεσίας:

$$p_{\text{atm}} = p_0 e^{-\frac{g p_0 h}{p_0}}$$

Η εκπομπή του καθαρού ουρανού μπορεί να βρεθεί από την  $T_{\text{sat}}$  στις συνθήκες περιβάλλοντος

$$\varepsilon_0 = 0.711 + 0.005 T_{\text{sat}} + 7.3 \times 10^{-5} T_{\text{sat}}^2 + 0.013 \cos \left[ 2\pi \frac{\text{time}}{24} \right] + 12 \times 10^{-5} (p_{\text{atm}} - p_0)$$

όπου η μεταβλητή time αναφέρεται στην ώρα της ημέρας.

Η αντιπροσωπευτική θερμοκρασία ουρανού μπορεί τότε να υπολογιστεί από την παρακάτω σχέση:

$$T_{\text{sky}} = T_{\text{amb}} (\varepsilon_0 + 0.8 (1 - \varepsilon_0) C_{\text{Cover}})^{0.25} \quad [\text{K}]$$

### 5.10 Μοντέλο 3 - ΚΥΚΛΟΦΟΡΗΤΗΣ - ΑΝΤΛΙΑ

Το μοντέλο αυτό υπολογίζει τη ροή μάζας χρησιμοποιώντας μία συνάρτηση ελέγχου, η οποία μεταβάλλεται από 0 έως 1, και τη μέγιστη χωρητικότητα μάζας, η οποία προσδιορίζεται από το χρήστη. Η ενέργεια που καταναλώνεται μπορεί επίσης να υπολογιστεί, είτε ως γραμμική συνάρτηση της ροής μάζας είτε ως σχέση, προσδιοριζόμενη από το χρήστη, μεταξύ της ροής και της ενεργειακής κατανάλωσης. Ύστερα από την έκδοση του TRNSYS 14, ο χρήστης μπορεί να εισάγει κλάσμα της καταναλισκόμενης ενέργειας που μεταφέρεται με μορφή θερμότητας στο ρευστό. Σε πολλά συστήματα, δεν υπάρχει συνεχής ροή και η συνάρτηση ελέγχου είναι 0 ή 1. Σε αυτή την περίπτωση, η ροή εξόδου και η ισχύς που χρησιμοποιούνται είναι είτε μηδέν είτε παίρνουν τη μέγιστη τιμή τους.

**Συμβολισμός**

$C_p$	Ειδική θερμοχωρητικότητα του ρευστού
$F_{par}$	Κλάσμα της καταναλισκόμενης ενέργειας που μεταφέρεται στο ρευστό
$M$	Ροή μάζας της ροής
$M_{max}$	Μέγιστη ροή μάζας (όταν $\gamma = 1$ )
$P$	Ενεργειακή κατανάλωση της αντλίας
$P_{max}$	Μέγιστη ενεργειακή κατανάλωση (όταν $\gamma = 1$ )
$T_i$	Θερμοκρασία εισόδου του ρευστού
$T_o$	Θερμοκρασία εξόδου του ρευστού
$\gamma$	συνάρτηση ελέγχου ( $0 \leq \gamma \leq 1$ )

**Μαθηματική περιγραφή**

Η θερμοκρασία εξόδου υπολογίζεται ως

$$T_o = T_i + \frac{P * f_{par}}{\dot{m} C_p}$$

Η ροή μάζας στην έξοδο είναι

$$\dot{m}_o = \gamma \dot{m}_{max}$$

Αν μόνο οι ζητούμενες παράμετροι παρέχονται, τότε υποθέτουμε μια γραμμική σχέση μεταξύ της ροής μάζας και της ενεργειακής κατανάλωσης

$$P = \gamma P_{max}$$

### 5.11 Μοντέλο 6 - ΒΟΗΘΗΤΙΚΗ ΠΗΓΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Στο μοντέλο 6 μοντελοποιείται μία βοηθητική πηγή θερμότητας για να ανεβάσει την θερμοκρασία σε ένα ρεύμα ροής ρευστού χρησιμοποιώντας είτε εσωτερικό έλεγχο είτε εξωτερικό έλεγχο είτε συνδυασμό και των δύο. Η βοηθητική πηγή θερμότητας είναι σχεδιασμένη ώστε να προσθέτει θερμότητα στο ρεύμα ροής σε ποσοστό μικρότερο ή ίσιο με το  $Q_{max}$ , (καθορίζεται από τον χρήστη), όποτε η λειτουργία ελέγχου  $\gamma$  είναι ίση με 1 και η θερμοκρασία εξόδου είναι μικρότερη από την επιθυμητή (setpoint)  $T_{set}$ .

Καθορίζοντας την τιμή του  $\gamma=1$  και μία αρκετά μεγάλη τιμή του  $Q_{max}$ , το μοντέλο 6 θα συμπεριφερθεί σαν μία οικιακή βοηθητική πηγή θερμότητας ζεστού νερού χρήσης με εσωτερικό έλεγχο που θα διατηρήσει την επιθυμητή θερμοκρασία εξόδου  $T_{set}$ .

Αν παρέχουμε την δυνατότητα ελέγχου της λειτουργίας της βοηθητικής πηγής θερμότητας (τιμή  $\gamma=0$  ή  $\gamma=1$ ), τοποθετήσουμε μία συγκριμένη επιθυμητή θερμοκρασία εξόδου  $T_{set}$  και μία λογικά χαμηλή τιμή του  $Q_{max}$ , το μοντέλο 6 θα συμπεριφερθεί σαν μία εξωτερικά ελεγχόμενη συσκευή θέρμανσης τύπου ON/OFF.

Οι χρήστες του παραπάνω μοντέλου πρέπει να προσέξουν ότι η μέγιστη θερμική ενέργεια που μεταφέρεται στο ρευστό δεξ είναι  $Q_{max}$  αλλά  $\eta_{htr} * Q_{max}$ .

#### Συμβολισμός

$C_{pf}$	(Kj/kg.K) ειδική θερμότητα ρευστού
$m_I$	(kg/hr) παροχή μάζας ρευστού στην είσοδο
$m_o$	(kg/hr) παροχή μάζας ρευστού στην έξοδο
$Q_{aux}$	(Kj/hr) απαιτούμενος ρυθμός θερμότητας (συμπεριλαμβάνει και τον βαθμό απόδοσης)
$Q_{fluid}$	(Kj/hr) τιμή πρόσθετης θερμότητας στο ρεύμα ροής
$Q_{loss}$	(Kj/hr) τιμή θερμικών απωλειών από την πηγή θερμότητας στο περιβάλλον
$T_{env}$	(C) θερμοκρασία περιβάλλοντος χώρου τοποθέτησης βοηθητικής πηγής θερμότητας για τον υπολογισμό θερμικών απωλειών
$T_i$	(C) θερμοκρασία εισόδου ρευστού
$T_o$	(C) θερμοκρασία εξόδου ρευστού

$T_{set}$  (C) επιθυμητή θερμοκρασία εσωτερικού θερμοστάτη βοηθητικής πηγής θερμότητας

$UA$  (Kj/hr) Συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας μεταξύ της βοηθητικής πηγής θερμότητας και του περιβάλλοντος

$\gamma$  (-) εξωτερικός έλεγχος λειτουργίας όπου παίρνει τις τιμές 0 ή 1

$\eta_{htr}$  (0..1) βαθμός απόδοσης βοηθητικής πηγής θερμότητας

### Μαθηματική περιγραφή

Αν  $T_i \geq T_{set}$  και  $m_i \leq 0$  τότε

$T_o = T_i$ ,  $m_o = m_i$ ,  $Q_{loss} = 0$ ,  $Q_{fluid} = 0$  και  $Q_{aux} = 0$

Διαφορετικά, το ενεργειακό ισοζύγιο της βοηθητικής πηγής θερμότητας σε σταθερή κατάσταση είναι:

$$T_o = \frac{\dot{Q}_{max} \eta_{htr} + \dot{m} C_{pf} T_i + UA T_{env} - \frac{UA T_i}{2}}{\dot{m} C_{pf} + \frac{UA}{2}}$$

$$\dot{m}_o = \dot{m}_i$$

$$\dot{Q}_{aux} = \dot{Q}_{max}$$

$$\dot{Q}_{fluid} = \dot{m}_o C_{pf} (T_o - T_i)$$

$$\bar{T} = \frac{(T_o + T_{in})}{2}$$

$$\dot{Q}_{loss} = UA (\bar{T} - T_{env}) + (1 - \eta_{htr}) \dot{Q}_{max}$$

Εκτός αν  $T_o > T_{set}$  τότε,

$$T_o = T_{set}$$

$$m_o = m_i$$

$$\dot{Q}_{\text{fluid}} = \dot{m}_o C_{\text{pf}} (T_{\text{set}} - T_i)$$

$$\bar{T} = \frac{(T_{\text{set}} + T_{\text{in}})}{2}$$

$$\dot{Q}_{\text{aux}} = \frac{\dot{m} C_{\text{pf}} (T_{\text{set}} - T_i) + UA (\bar{T} - T_{\text{env}})}{\eta_{\text{htr}}}$$

Όπου  $Q_{\text{aux}} = Q_{\text{loss}} + Q_{\text{fluid}}$

## 5.12 Μοντέλο 60 - ΔΟΧΕΙΟ ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΩΣΗΣ ΜΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ

Αυτό το μοντέλο μοντελοποιεί ένα δοχείο διαστρωμάτωσης με προαιρετικά τοποθετημένες ηλεκτρικές αντιστάσεις και εναλλάκτες θερμότητας. Το συγκεκριμένο μοντέλο είναι το πιο αναλυτικό από όσα διατίθεται στο τυπικό πρόγραμμα TRNSYS.

### Συμβολισμός

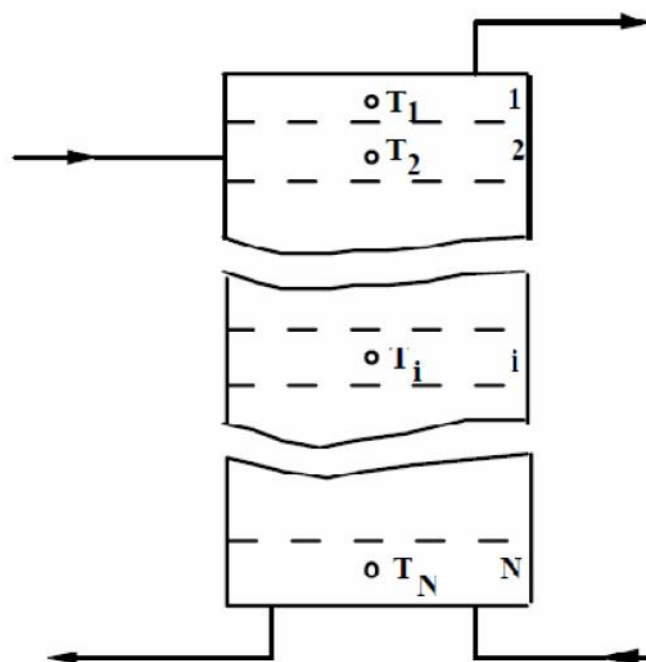
- $A_{c,i}$  περιοχή εγκάρσιας τομής του κόμβου  $i$
- $A_{s,i}$  επιφάνεια του κόμβου  $i$
- $C$  σταθερά (πολλαπλασιαστικής) στην συσχέτιση του αριθμού Nusselt
- $C_p$  ειδική θερμότητα του ρευστού του δοχείου
- $d_i, d_o$  εσωτερικές και εξωτερικές διαμέτροι των σωλήνων των εναλλακτών
- $h_o$  εξωτερικός συντελεστής συναγωγής για τον εσωτερικό εναλλάκτη
- $i$  ένδειξη κόμβου ( $i=1$  είναι η κορυφή του δοχείου,  $i=N$  είναι το χαμηλότερο σημείο του δοχείου)
- $k$  θερμική αγωγιμότητα δοχείου διαστρωμάτωσης
- $M_i$  μάζα του κόμβου  $i$

$m_{1in}, m_{1out}$	παροχή μάζας στην είσοδο 1, παροχή μάζας στην έξοδο 1
$m_{2in}, m_{2out}$	παροχή μάζας στην είσοδο 2, παροχή μάζας στην έξοδο 2
$m_{down}$	παροχή μάζας ρευστού κατάντι (downthetank)
$m_{down}$	παροχή μάζας ρευστού ανάντι (upthetank)
$n$	εκθέτης στην συσχέτιση του αριθμού Nusselt
$N$	αριθμός κόμβων
$N_{uD}$	αριθμός Nusselt για εξωτερική ροή γύρω από έναν σωλήνα διαμέτρου $D$
$Ra$	αριθμός Rayleigh
$t$	χρόνος
$T_{1in}, T_{1out}$	Θερμοκρασία στην είσοδο 1 – Θερμοκρασία στην έξοδο 1
$T_{2in}, T_{2out}$	Θερμοκρασία στην είσοδο 2 – Θερμοκρασία στην έξοδο 2
$T_{env}$	θερμοκρασία περιβάλλοντος
$T_i$	θερμοκρασία του κόμβου $i$
$T_{set}$	επιθυμητή θερμοκρασία (για τον θερμοστάτη)
$T_{stan}$	θερμοκρασία του κόμβου που περιέχει τον $N$ -οστό θερμοστάτη
$UA_{hx}$	Συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας εναλλάκτη
$U_i$	Συντελεστής ολικών απωλειών για τον κόμβο $i$
$U_{tank}$	Συντελεστής απωλειών του δοχείου ανά μονάδα επιφάνειας
$\Delta k$	αγωγιμότητα αποστρωματοποίησης
$\Delta T_{db}$	«νεκρή ζώνη» θερμοκρασίας στην λειτουργία του θερμοστάτη
$\Delta U_i$	πρόσθετος συντελεστής απωλειών για τον κόμβο $i$
$\Delta x_{i+1 \rightarrow i}$	απόσταση (κέντρο με κέντρο) μεταξύ του κόμβου $i$ και του κατώτερου κόμβου ( $i+1$ )
$\Delta x_{i-1 \rightarrow i}$	απόσταση (κέντρο με κέντρο) μεταξύ του κόμβου $i$ και του ανώτερου κόμβου ( $i+1$ )
$\gamma_{htr}$	σήμα ελέγχου αντίστασης



### Μαθηματική περιγραφή

Η θερμική απόδοση ενός δοχείου πληρωμένο με νερό, που υπόκειται σε διαστρωμάτωση, μπορεί να μοντελοποιηθεί υποθέτοντας ότι το δοχείο αποτελείται από  $N$  (όπου  $N \leq 100$ ) πλήρως αναμεμιγμένα ίσα τμήματα όγκου νερού. Ο βαθμός της διαστρωμάτωσης καθορίζεται από τον αριθμό των  $N$  τμημάτων. Αν ο αριθμός  $N=1$ , τότε το δοχείο μοντελοποιείται ως ένα δοχείο με πλήρως αναμεμιγμένο νερό και δεν υφίσταται διαστρωμάτωση του. Υπάρχει η δυνατότητα στο μοντέλο να υπάρχουν σταθερές ή πολλαπλές εισοδοί, ανισομεγέθεις κόμβοι, εσωτερικοί εναλλάκτες θερμότητας, μη κυλινδρικά δοχεία, οριζόντια δοχεία, ή και απώλειες θερμότητας στα καυσαέρια από πηγή θερμότητας που λειτουργεί με αέριο.



**Σχήμα 5.1.** Δοχείο διαστρωμάτωσης

Για να είναι εύκολο να αλλαχτεί ο αριθμός των κόμβων, οι θέσεις των διάφορων στοιχείων (π.χ. ηλεκτρική αντίσταση, εναλλάκτης θερμότητας, κλπ.), τοποθετούνται σαν ύψη μετρούμενα από το δάπεδο και όχι σαν αριθμός κόμβου.

Υπάρχουν 2 διαμορφώσεις εισόδων ρευστού στο δοχείο. Στην διαμόρφωση 1 η ροή του ρευστού εισέρχεται στο δοχείο στον κόμβο όπου το νερό έχει την πλησιέστερη τιμή σε αυτό. Με επάρκειες σε αριθμό κόμβους, αυτό εξασφαλίζει την μέγιστη διαστρωμάτωση του. Στην διαμόρφωση 2 η ροή του ρευστού εισέρχεται στο δοχείο σε σταθερή θέση όπως έχει καθοριστεί από τον χρήστη. Στο τέλος κάθε χρονικού διαστήματος, όποιες αναστροφές θερμοκρασίας παρουσιάζονται, καταργούνται με την μίξη των κατάλληλων συνορευόντων κόμβων.

Ο χρήστης μπορεί να καθορίσει το ύψος κάθε κόμβου χρησιμοποιώντας το τελευταίο σετ παραμέτρων. Προαιρετικά, μπορούν να καθοριστούν ισομεγέθεις κόμβοι θέτοντας την παράμετρο 31 την τιμή 0. Το μοντέλο θα χωρίσει αυτόματα το δοχείο σε ίσα τμήματα. Σε αυτή την περίπτωση δεν απαιτούνται άλλες προδιαγραφές για το μέγεθος του κόμβου.

Ο όγκος του δοχείου που χρησιμοποιείται από το μοντέλο υποθέεται ότι είναι ο ακριβής όγκος του δοχείου. Ένα δοχείο αποθήκευσης ζεστού νερού χρήσης χωρητικότητας 300lt δεν διαθέτει απαραίτητα 300lt νερού.

### **ΠΡΟΑΙΡΕΤΙΚΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ (ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ)**

Το μοντέλο διαθέτει προαιρετικά 2 ηλεκτρικές αντιστάσεις που υπόκεινται στη θερμοκρασία ή/και στον χρονικό έλεγχο. Η επιλογή ελέγχου επιτρέπει την προσθήκη ηλεκτρικής ενέργειας στο δοχείο κατά την διάρκεια επιλεγμένων περιόδων κατά την διάρκεια της ημέρας. Η ηλεκτρική αντίσταση μπορεί να δουλέψει σε δύο διαφορετικές διαμορφώσεις.

Η διαμόρφωση 1 είναι σχέση λειτουργίας αλληλοεξαρτώμενη. Επιτρέπει στο κατώτερο θερμαντικό στοιχείο να ενεργοποιηθεί μόνο αν έχουν ικανοποιηθεί οι συνθήκες του ανώτερου θερμαντικού στοιχείου. Σε αυτή τη διαμόρφωση είναι αδύνατον να λειτουργήσουν ταυτόχρονα και οι δύο ηλεκτρικές αντιστάσεις. Ωστόσο είναι πιθανόν και οι δύο αντιστάσεις να είναι ενεργοποιημένες σε κάποιο χρονικό βήμα του TRNSYS (το πάνω θερμαντικό στοιχείο μπορεί να είναι ενεργοποιημένο για το πρώτο μισό του χρονικού βήματος και το κάτω θερμαντικό στοιχείο να είναι ενεργοποιημένο για το υπόλοιπο μισό του χρονικού βήματος). Η διαμόρφωση 1 είναι συνηθισμένη στις περισσότερες εφαρμογές ζεστού νερού χρήσης για οικιακή χρήση.

Στη διαμόρφωση 2 μπορεί να είναι ενεργοποιημένες και οι δύο αντιστάσεις ταυτόχρονα. Αυτό επιτρέπει ταχύτερη θέρμανση του δοχείου αποθήκευσης αλλά και σημαντικά υψηλότερη ηλεκτρική ζήτηση. Αν δεν υφίστανται ηλεκτρικές αντιστάσεις στο δοχείο που μοντελοποιείται, ο χρήστης μπορεί να θέσει στον πίνακα ελέγχου (παραμέτρος 8 & 9), να έχουν σταθερή τιμή 0 ή να έχει μηδενική τιμή η ισχύς του θερμαντικού στοιχείου.

Τα θερμαντικά στοιχεία έχουν μία νεκρή ζώνη θερμοκρασίας (temperature deadband). Το θερμ. στοιχείο ενεργοποιείται αν η θερμοκρασία του κόμβου που διαθέτει τον θερμοστάτη είναι μικρότερη από  $(T_{set} - \Delta T_{db})$  ή αν ήταν ενεργοποιημένη στο προηγούμενο χρονικό βήμα και η θερμοκρασία του θερμοστάτη είναι μικρότερη από  $T_{set}$ . Αν το κατώτερο θερμαντικό στοιχείο καλύπτει τις προϋποθέσεις και είναι επιλεγμένη η διαμόρφωση 1, τότε θα γίνει ένας έλεγχος αν το ανώτερο θερμαντικό στοιχείο είναι ενεργό προτού ενεργοποιήσει το κατώτερο θερμαντικό στοιχείο.

Το παραπάνω μοντέλο επιτρέπει την χρήση βοηθητικής ενέργειας από καυστήρα καυσίμου αερίου. Το μοντέλο χρησιμοποιεί τον καυστήρα καυσίμου αερίου με τον ίδιο τρόπο που χρησιμοποιεί την ηλεκτρική ενέργεια. Όταν ο καυστήρας είναι ενεργός δεν χάνεται θερμότητα από την καπνοδόχο. Όταν ο καυστήρας είναι ανενεργός, χάνεται θερμότητα από την καμινάδα σε μία θερμοκρασία  $T_{flue}$  η οποία εισέρχεται σαν παράμετρος στους υπολογισμούς. Ο χρήστης καθορίζει την συνολική αγωγιμότητα των θερμικών απωλειών στην καμινάδα και την θερμοκρασία της καμινάδας.

Ο χρήστης θα πρέπει να διακρίνει μεταξύ ηλεκτρικής ενέργειας και βοηθητικής ενέργειας από το καύσιμο αέριο. Αν χρησιμοποιηθεί καύσιμο αέριο (μόνο το ένα θερμαντικό στοιχείο μπορεί να είναι καύσιμο αέριο), θα πρέπει να είναι το θερμαντικό στοιχείο No2, και η παράμετρος 29 να πάρει την τιμή 1. Αν και τα δύο θερμαντικά στοιχεία είναι ηλεκτρικά τότε η παράμετρος 29 παίρνει την τιμή 0.

### **ΜΟΝΩΣΗ ΔΟΧΕΙΟΥ**

Σε αρκετές περιπτώσεις μπορεί το δοχείο να μην είναι ομοιόμορφα μονωμένο ή οι χρήστες μπορεί να επιθυμούν να υπολογίσουν και τις εισόδους σωληνώσεων στο δοχείο. Είναι δυνατόν οι χρήστες να μονώσουν σταδιακά συγκεκριμένους κόμβους δοχείων διαστρωμάτωσης με τον καθορισμό πρόσθετων παραμέτρων. Για να χρησιμοποιήσει ο χρήστης τους στοιχειώδεις συντελεστές απωλειών, θα πρέπει να θέσει την τιμή 1 στην παράμετρο 32 και να καθορίσει τους στοιχειώδεις συντελεστές απωλειών. Ο συντελεστής απωλειών του ν-οστού κόμβου είναι τότε:

$$U_i = U_{\text{tank}} + \Delta U_i \text{ (το } \Delta U_i \text{ μπορεί να είναι είτε θετικό είτε αρνητικό, εφόσον το } U_i > 0 \text{)}$$

Στο δοχείο αποθήκευσης έχει τοποθετηθεί βαλβίδα ασφαλείας ώστε να αντιμετωπίζεται το φαινόμενο βρασμού του ρευστού. Ο χρήστης θα πρέπει να καθορίσει την θερμοκρασία βρασμού του ρευστού. Το άνοιγμα αυτής θα απελευθερώσει ικανοποιητική ενέργεια για να διατηρήσει την θερμοκρασία του δοχείου στην θερμοκρασία βρασμού. Η ποσότητα ρευστού που χάνεται λόγω του ανοίγματος της βαλβίδας ασφαλείας, παραλείπεται. Η ενέργεια που έχει χαθεί λόγω βρασμού θα υπολογιστεί στην ενέργεια που έχει χαθεί προς το περιβάλλον (Output 7). Η θερμοκρασία βρασμού μπορούμε να την πάρουμε από πίνακες κορεσμένου νερού/ ατμού.

### **ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΔΟΧΕΙΟΥ & ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ**

Το πρόγραμμα είναι ικανό να μοντελοποιήσει δεξαμενές κάθε σχήματος όσο η επιφάνεια τομής του δοχείου παραμένει ομοιόμορφη. Ο χρήστης πρέπει να καθορίσει το ύψος της δεξαμενής, τον όγκο και την περίμετρο. Αν το δοχείο είναι κυλινδρικό, ο χρήστης

πρέπει να θέσει την τιμή της περιμέτρου ίση με -1 και το μοντέλο θα υπολογίσει την περίμετρο αυτόματα.

Το μοντέλο 60 μπορεί να μοντελοποιήσει οριζόντιες κυλινδρικές δεξαμενές. Ο χρήστης πρέπει να θέσει την τιμή της περιμέτρου ίση με -2. Το μοντέλο χωρίζει αυτόματα το δοχείο σε N ίσα τμήματα όγκου. Αν ο χρήστης επιθυμεί κόμβου ισοδύναμου ύψους, θα πρέπει να τοποθετηθούν χειροκίνητα ( $H_{mode}=1$ ). Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι με αυτή την επιλογή ότι το ύψος του δοχείου είναι και η διάμετρός του. Όλα τα ύψη μετρώνται από ύψος του επιπέδου.

Το μοντέλο περιλαμβάνει την επιλογή για ως 3 εσωτερικούς εναλλάκτες θερμότητας. Ο χρήστης θα πρέπει να καθορίσει τις διαστάσεις των εναλλακτών θερμότητας, όπως επίσης την θερμοκρασία και την παροχή του ρευστού που ρέει εσωτερικά του εναλλάκτη. Το ρευστό εντός του εναλλάκτη μπορεί να είναι νερό, προπυλενογλυκόλη αναμεμιγμένη με νερό ή αιθυλενογλυκόλη αναμεμιγμένη με νερό.

Για την αγωγιμότητα των εναλλακτών θερμότητας χρησιμοποιούνται οι εξής 2 παράμετροι: η μία παράμετρος αφορά την αγωγιμότητα του ίδιου του υλικού του εναλλάκτη θερμότητας και μία παράμετρος για την αγωγιμότητα του τοιχώματος του εναλλάκτη θερμότητας η οποία επιτρέπει την αντίσταση επαφής. Η αντίσταση επαφής μπορεί είναι παρούσα σε έναν διπλό εναλλάκτη θερμότητας (tubewithinatubedesign).

### **ΑΠΟΣΤΡΩΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ**

Για να μοντελοποιηθεί η αποστρωματοποίηση λόγω μίξης στις διεπαφές των κόμβων και της αγωγιμότητας κατά μήκος του τοιχώματος του δοχείου, ο χρήστης μπορεί να καθορίσει μία πρόσθετη παράμετρο αγωγιμότητας  $\Delta k$ . Η πρόσθετη παράμετρο προστίθεται στην αγωγιμότητα του ρευστού του δοχείου σε όλα τους κόμβους. Για «χοντρικούς» υπολογισμούς, το  $\Delta k$  μπορεί να υπολογιστεί:

$$\Delta k = k_{\text{tank wall}} \frac{A_{c,\text{tank wall}}}{A_{c,\text{water}}}$$

όπου  $k_{\text{tank wall}}$  είναι η θερμική αγωγιμότητα του δοχείου και το  $A_c$  το σημείο τομής του δοχείου.

**ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΧΡΟΝΙΚΟ ΒΗΜΑ**

Για να ελαχιστοποιηθούν τα σφάλματα, το μοντέλο 60 χρησιμοποιεί το δικό του εσωτερικό χρονικό βήμα. Αυτό έχει το πλεονέκτημα τα αποτελέσματα να μην επηρεάζονται από το χρονικό βήμα του προγράμματος. Το μοντέλο υπολογίζει εσωτερικά το κρίσιμο χρονικό βήμα του Euler. Ο χρήστης επιλέγει το μέγεθος του εσωτερικού χρονικού βήματος βάζοντας το κλάσμα του κρίσιμου χρονικού βήματος του Euler. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση είτε της ταχύτητας είτε της ακρίβειας. Ο πίνακας παρακάτω δείχνει το σχετικό αποτέλεσμα από την μείωση του κρίσιμου χρονικού βήματος.

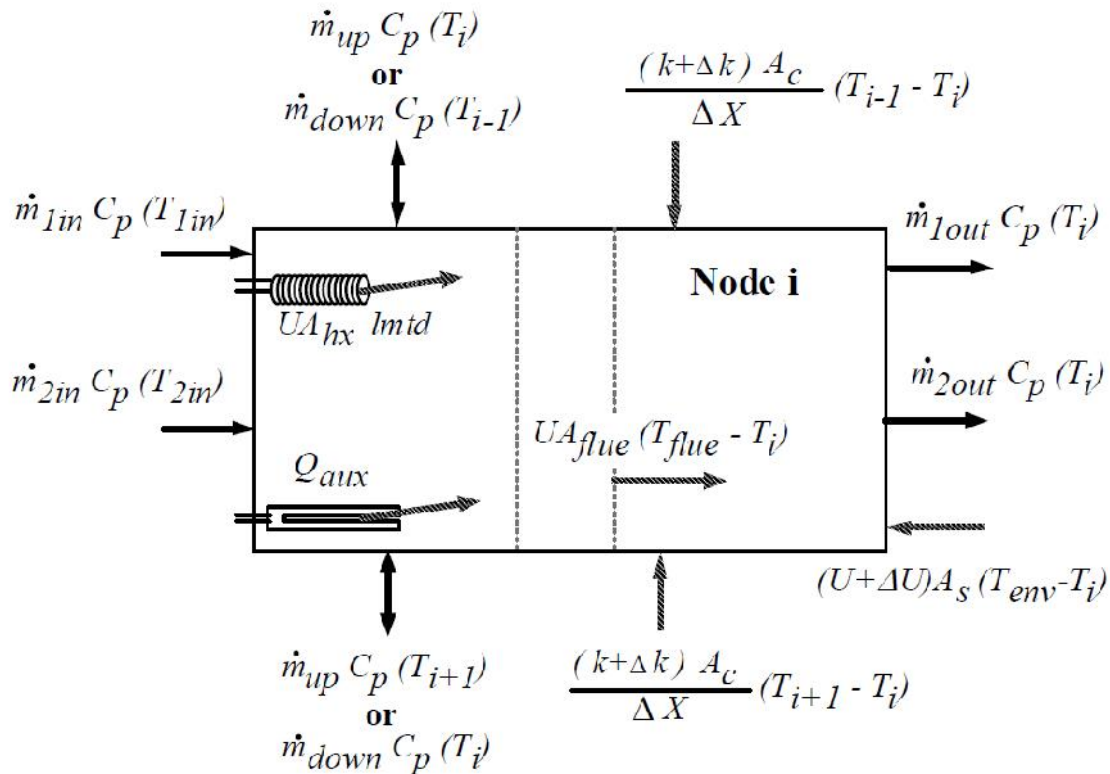
Fraction of critical time step	Iterations / time step	Total iterations required	%error
1/1*10 <sup>7</sup>	1.0	10,000,000	0.000
1/100	3.0	300	0.002
1/50	3.0	150	0.007
1/20	4.0	80	0.048
1/10	4.8	48	0.192
1/6	5.5	33	0.536
1/4	6.5	26	1.221
1/3	7.7	23	2.199
1/2	10.0	20	5.154
1	21.0	21	26.622

**Πίνακας 5.1.** Χρονικό βήμα του μοντέλου και η επίδρασή του στην ακρίβεια

Ο χρήστης καθορίζει την παράμετρο 28 (CritFraction) σαν τον παρανομαστή της πρώτης στήλης του παραπάνω πίνακα. Για παράδειγμα αν χρησιμοποιηθεί η τιμή 1/6 για κρίσιμο χρονικό βήμα του Euler τότε η παράμετρος 28 παίρνει την τιμή 6.

**ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ**

Το ενεργειακό ισοζύγιο στο ν-οστό τμήμα του δοχείου εκφράζεται από:



**Σχήμα 5.2.** Γραφική αναπαράσταση των ενεργειακών ροών μέσα σε ένα κόμβο

Συνδυάζοντας όλες τις ενεργειακές ροές σε μία εξίσωση, η διαφορική εξίσωση για την θερμοκρασία στον κόμβο  $i$  μπορεί να εκφραστεί:

$$\begin{aligned}
 (M_i C_p) \frac{dT_i}{dt} = & \frac{(k + \Delta k) A_{c,i}}{\Delta X_{i+1 \rightarrow i}} (T_{i+1} - T_i) \\
 & + \frac{(k + \Delta k) A_{c,i}}{\Delta X_{i-1 \rightarrow i}} (T_{i-1} - T_i) + (U_{\text{tank}} + \Delta U_i) A_{s,i} (T_{\text{env}} - T_i) \\
 & + UA_{\text{flue},i} (T_{\text{flue}} - T_i) + \dot{m}_{\text{down}} C_p (T_{i-1}) - \dot{m}_{\text{up}} C_p (T_i) \\
 & - \dot{m}_{\text{down}} C_p (T_i) - \dot{m}_{\text{up}} C_p (T_{i+1}) + \gamma_{\text{ht1}} \dot{Q}_{\text{aux1}} + \gamma_{\text{ht2}} \dot{Q}_{\text{aux2}} \\
 & + UA_{\text{hx1}} (\text{lmtd}_1) + UA_{\text{hx2}} (\text{lmtd}_2) + UA_{\text{hx3}} (\text{lmtd}_3) \\
 & + \dot{m}_{1\text{in}} C_p T_{1\text{in}} - \dot{m}_{1\text{out}} C_p T_i + \dot{m}_{2\text{in}} T_{2\text{in}} - \dot{m}_{2\text{out}} C_p T_i
 \end{aligned}$$

Όλα τα μέρη της παραπάνω εξίσωσης θα είναι μη μηδενικά. Μόνο 2 τμήματα από το  $m_{up}/m_{down}$  μπορούν να είναι μη μηδενικά με την μία. Τα υπόλοιπα μέρη όπως οι ροές εισόδου και εξόδου και η βοηθητική θέρμανση μπορεί να συμβαίνουν σε διαφορετικούς κόμβους, ως εκ τούτου θα μπορούσαν επίσης να είναι μηδέν για τον κόμβο  $i$ .

Η βοηθητική αντίσταση είναι κλειστή όταν  $T_{statN} \geq T_{set}$ , αν  $\gamma_{htr}=0$ , ή αν αντίσταση ήταν προηγουμένως κλειστή και  $T_{statN} \geq (T_{set} - \Delta T_{db})$ . Αν έχει καθοριστεί η διαμόρφωση 1 για την λειτουργία των 2 αντιστάσεων (master/slave relationship), τότε η χαμηλότερη αντίσταση μέσα στο δοχείο είναι επίσης κλειστή αν η πρώτη (ανώτερη) αντίσταση είναι ανοιχτή. Το μοντέλο υποθέτει ότι η ενέργεια που παρέχεται στο δοχείο από την αντίσταση τοποθετείται στο τμήμα του δοχείου που είναι τοποθετημένη η βοηθητική αντίσταση, και οι θερμοκρασιακές αναστροφές εξαλείφονται.

Οι θερμοκρασίες του καθενός από τα  $n$ -οστά τμήματα του δοχείου καθορίζονται από την ολοκλήρωση των χρονικών παραγώγων που εκφράζονται στην παραπάνω εξίσωση. Στο τέλος του χρόνου κάθε χρονικού βήματος οι θερμοκρασιακές αναστροφές εξαλείφονται αναμιγνύοντας τους κατάλληλους κόμβους που συνορεύουν.

Το  $UA_{hx}$  και η λογαριθμική μέση διαφορά θερμοκρασίας (LMTD-logarithmicmeantemperaturedifference) για κάθε εναλλάκτη θερμότητας καθορίζεται επαναληπτικά. Ο εξωτερικός φυσικός συντελεστής συναγωγής  $h_o$  καθορίζεται από:

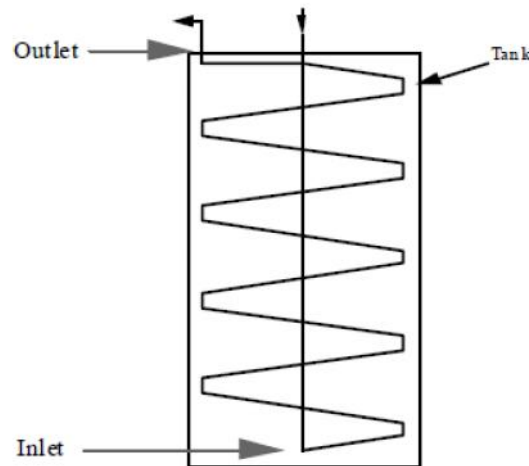
$$h_o = \frac{Nu_D(k)}{d_o}$$

όπου

$$Nu_D = C Ra^n$$

Μια τυπική τιμή του  $C$  είναι περίπου 0.5 και το  $n$  είναι συνήθως 0.25. Αυτές οι τιμές είναι γενικά σταθερές, αλλά μπορούν να διαφέρουν ελαφρά για διαφορετικές μέσες λογαριθμικές θερμοκρασιακές διαφορές. Επομένως, αυτές οι τιμές τοποθετούνται σαν είσοδοι (inputs) στο μοντέλο. Αν ο χρήστης γνωρίζει την καμπύλη του  $C$  και του  $n$ , μπορούν να ενσωματωθούν στο μοντέλο χρησιμοποιώντας μία εξίσωση.

Όταν μοντελοποιείται ένα δοχείο με έναν εναλλάκτη θερμότητας, το πρόγραμμα επαναλαμβάνει από τον κόμβο που περιέχει την είσοδο του εναλλάκτη στον κόμβο που περιέχει την έξοδο του εναλλάκτη. Η παρακάτω εικόνα δίνει ένα παράδειγμα.



**Σχήμα 5.3.** Κατάλληλη είσοδος εναλλάκτη θερμότητας δοχείου διαστρωμάτωσης

Αν και η ακριβής είσοδος στον εναλλάκτη θερμότητας είναι στην κορυφή του δοχείου (απεικονίζεται με ένα μικρό κάθετο βέλος), ο χρήστης πρέπει να καθορίσει το ύψος της εισόδου όπως απεικονίζεται από το μεγάλο γκρι βέλος. Αν η είσοδος και η έξοδος του εναλλάκτη καθοριστούν στην κορυφή του δοχείου, το μοντέλο τότε υποθέτει ότι ολόκληρος ο εναλλάκτης θερμότητας βρίσκεται στον ανώτερο κόμβο.

### 5.13 ΜΟΝΤΕΛΟ 11 - ΤΡΙΟΔΗ ΒΑΝΑ ΑΝΑΜΙΞΗΣ, ΤΡΙΟΔΗ ΒΑΝΑ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ, ΘΕΡΜΟΣΤΑΤΙΚΗ ΤΡΙΟΔΗ ΒΑΛΒΙΔΑ

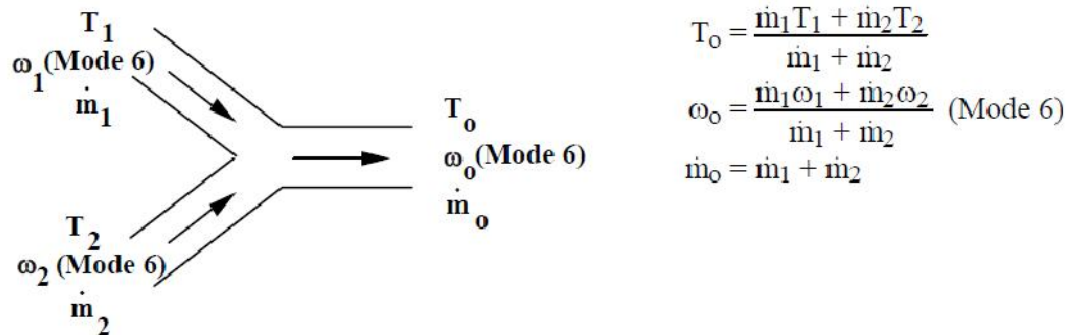
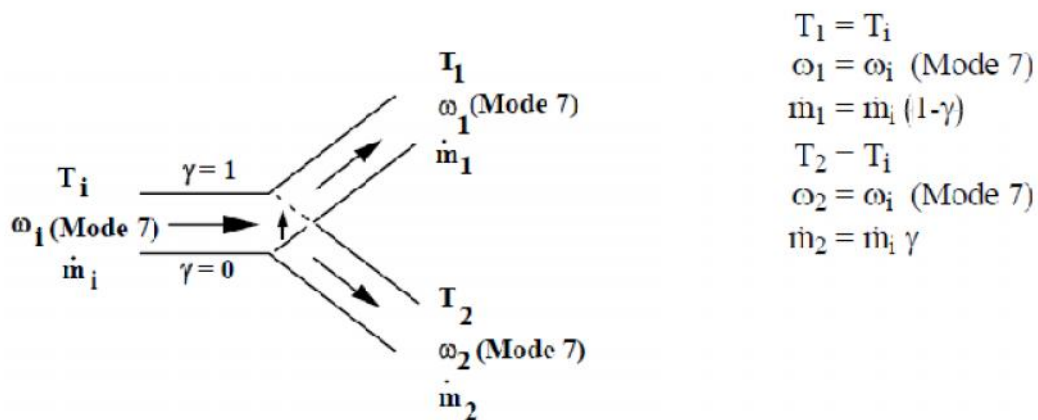
Η χρήση εξαρτημάτων σωλήνων τύπου T, οι βάνες ανάμιξης, και οι βάνες διαχωρισμού που υπόκεινται σε εξωτερικό έλεγχο είναι - συχνά - χρήσιμες σε θερμικά συστήματα. Αυτό το μοντέλο διαθέτει 10 διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας. Οι λειτουργίες από 1 ως 5, χρησιμοποιούνται συνήθως για ρευστά με μία σημαντική παράμετρο όπως η θερμοκρασία. Οι λειτουργίες από 6 ως 10, είναι για ρευστά, όπως ο υγρός αέρας, με δύο σημαντικές παραμέτρους όπως η θερμοκρασία και η υγρασία. Οι λειτουργίες 1 ως 6 προσομοιώνουν την λειτουργία ενός T (tee-piece), το οποίο αναμιγνύει πλήρως δύο ρεύματα εισόδου ίδιου ρευστού σε διαφορετικές θερμοκρασίες και/ή υγρασίες. Οι λειτουργίες 2 και 7 προσομοιώνουν την λειτουργία μιας τριοδης βάνας διαχωρισμού με μία είσοδο, η οποία χωρίζει το ρεύμα εισόδου αναλογικά μεταξύ δύο πιθανών εξόδων ανάλογα με την τιμή του  $\gamma$ . Οι λειτουργίες 3 και 8, προσομοιώνουν την λειτουργία μιας τριοδης βάνας ανάμιξης, της οποίας η παροχή εξόδου, η θερμοκρασία και/ή υγρασία καθορίζονται από την μίξη των δύο πιθανών εισόδων σε αναλογία που καθορίζεται από την τιμή του  $\gamma$ .

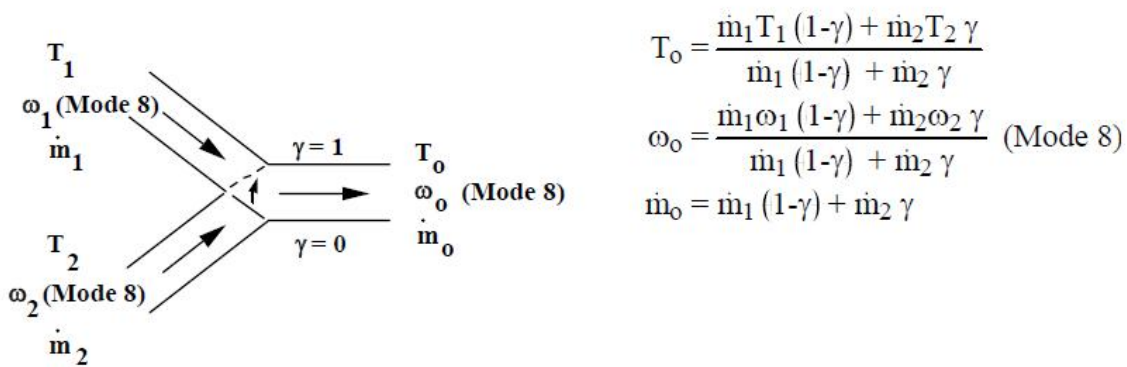


Στην λειτουργία 2, 3, 7 και 8, το  $\gamma$  πρέπει να έχει μία τιμή μεταξύ 0 & 1. Στην λειτουργία 4, 5, 9 και 10 είναι τρίοδες βάνες διαχωρισμού ελεγχόμενες από την θερμοκρασία και μπορούν χρησιμοποιηθούν για να μοντελοποιηθούν θερμοστατικές βάνες.

### Συμβολισμός

$m_i$	παροχή μάζας ρευστού στην είσοδο
$m_c$	παροχή μάζας ρευστού στην έξοδο
$m_1$	παροχή μάζας ρευστού στη θέση 1 (Βλέπε σχεδιαγράμματα)
$m_2$	παροχή μάζας ρευστού στη θέση 2 (Βλέπε σχεδιαγράμματα)
$T_h$	θερμοκρασία ρευστού από την πηγή θερμότητας
$T_i$	θερμοκρασία ρευστού στην είσοδο
$T_o$	θερμοκρασία ρευστού στην έξοδο
$T_{set}$	μέγιστη θερμοκρασία ρευστού που πηγαίνει στην κατανάλωση
$T_1$	θερμοκρασία ρευστού στη θέση 1
$T_2$	θερμοκρασία ρευστού στη θέση 2
$\gamma$	σήμα ελέγχου με μία τιμή μεταξύ 0 και 1
$\omega_1$	ποσοστό υγρασίας στη θέση 1
$\omega_2$	ποσοστό υγρασίας στη θέση 2
$\omega_i$	ποσοστό υγρασίας του ρευστού στην είσοδο
$\omega_o$	ποσοστό υγρασίας του ρευστού στην έξοδο

**Μαθηματική περιγραφή****Σχήμα 5.4.** Λειτουργία 1 και 6 (τύπου T – tee-piece)**Σχήμα 5.5.** Λειτουργία 2 και 7 (τρίοδη βάνα διαχωρισμού)

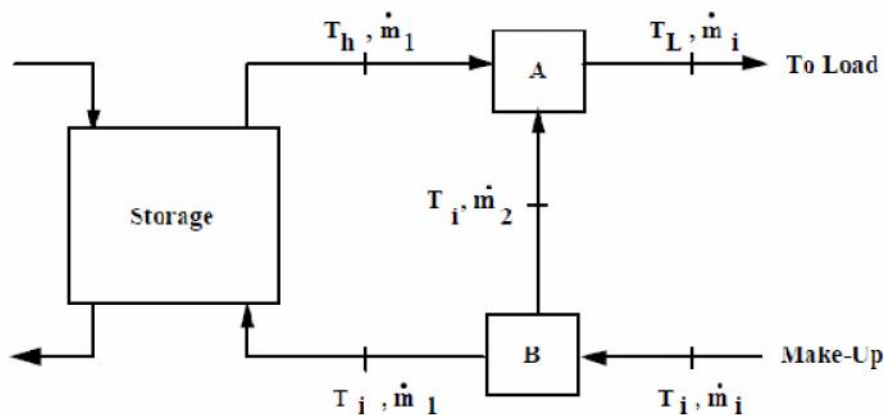


Σχήμα 5.6. Λειτουργία 3 και 8 (τρίοδη βάνα ανάμιξης)

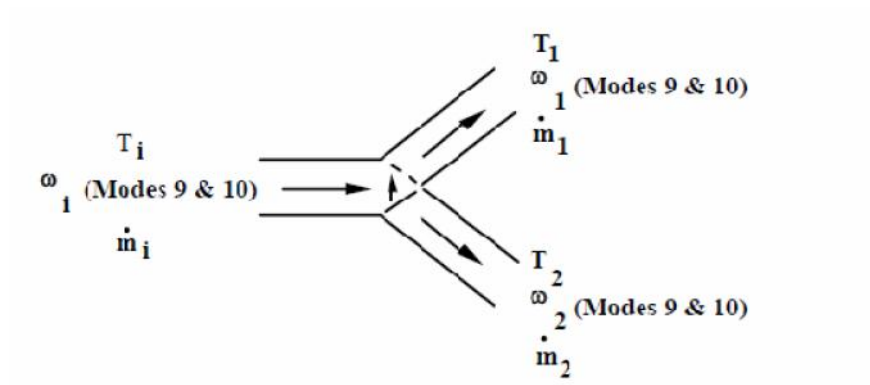
**ΠΡΟΣΟΧΗ:** Οι θερμοκρασίες εξόδου έχουν παραμείνει ίδιες από την προηγούμενη κλήση κάτω από συνθήκες ηρεμίας για να αποφευχθούν μη χρήσιμες κλήσεις στα μοντέλα κατάντι αυτού. Κατόπιν τούτου, οι θερμοκρασίες δεν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για όποιες επιλογές ελέγχου.

Οι λειτουργίες 4, 5, 9 και 10 είναι όμοιες με τις λειτουργίες 2 και 7 εκτός ότι το  $\gamma$  υπολογίζεται από τη ρουτίνα του μοντέλου. Σε θερμικές εφαρμογές συνηθίζεται ωστόσο να αναμιγνύουμε θερμό ρευστό με χαμηλότερης θερμοκρασίας ώστε το ρεύμα που καταλήγει στην κατανάλωση να μην είναι θερμότερο από την απαιτούμενη. Αυτό συνήθως επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση θερμοστατικής βαλβίδας στο ρεύμα εξόδου (θέση A στο παρακάτω σχέδιο).

Αν και θερμικά ισοδύναμο, είναι καλύτερο για λόγους προσομοίωσης να τοποθετηθεί μία θερμικά ελεγχόμενη βάνα διαχωρισμού στη θέση B από το να τοποθετηθεί μία θερμικά ελεγχόμενη βάνα ανάμιξης στη θέση A.



Σχήμα 5.7. Παράδειγμα χρήσης θερμοστατικής βαλβίδας



Σχήμα 5.8. Λειτουργία 4, 5, 9 και 10 (θερμοστατική βαλβίδα)

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6**  
**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ**  
**ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΣΕ ΕΝΔΟΔΑΠΕΔΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

---

## 6. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΣΕ ΕΝΔΟΔΑΠΕΔΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

### 6.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Η διπλωματική ασχολείται με την ενεργειακή συμπεριφορά ενός συστήματος ηλιακής θέρμανσης για να καλύψει τις ανάγκες μίας τυπικής κατοικίας στην περιοχή της Αθήνας. Το σύστημα αποτελείται από δύο κυκλώματα, το πρωτεύον και το δευτερεύον.

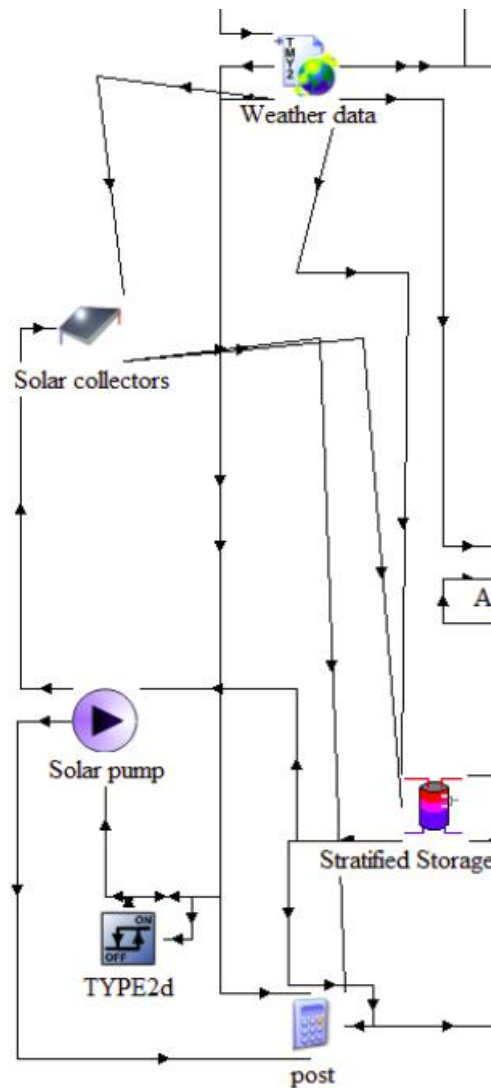
Το πρωτεύον κύκλωμα αποτελείται από τους ηλιακούς συλλέκτες, το δοχείο διαστρωμάτωσης, τον κυκλοφορητή του κλειστού κυκλώματος των ηλιακών και τον διαφορικό θερμοστάτη των ηλιακών. Το δευτερεύον κύκλωμα αποτελείται από τον κυκλοφορητή της θέρμανσης του ενδοδαπέδιου κυκλώματος, την (παραμετρική) κατοικία προς θέρμανση με το ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης την βάννα ανάμιξης του νερού χρήσης καθώς και μία βοηθητική πηγή θέρμανσης του νερού.

Η ανάλυση του συστήματος θα γίνει παραμετρικά μεταβάλλοντας παραμέτρους που αφορούν το δευτερεύον κύκλωμα (π.χ. το είδος της τελικής επιφάνειας δαπέδου, την απόσταση της διάστρωσης του κυκλώματος της ενδοδαπέδιας, το πάχος του μονωτικού κάτω από την επιφάνεια της ενδοδαπέδιας).

Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται το σύστημα όπως μοντελοποιήθηκε στο TRNSYS.

#### 6.1.1 Το πρωτεύον κύκλωμα

Το πρωτεύον κύκλωμα αποτελείται από τους ηλιακούς συλλέκτες, το δοχείο διαστρωμάτωσης και την αντλία σταθερών στροφών. Απαραίτητη, για την σωστή λειτουργία του κυκλώματος, είναι η ύπαρξη συσκευής ελέγχου (διαφορικός θερμοστάτης – Type 2b). Σκοπός του πρωτεύοντος κυκλώματος είναι η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας ώστε να επιτευχθεί η φόρτιση του δοχείου.



Σχήμα 6.1. Πρωτεύον κύκλωμα

### Ηλιακοί συλλέκτες

Τα μετεωρολογικά δεδομένα εισάγονται από το μοντέλο 109 (Weather Data), όπως είναι η ηλιακή ακτινοβολία ολική και άμεση και θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η κλίση των συλλεκτών επιλέγεται  $38^\circ$  στραμμένοι προς το νότο, ώστε να μεγιστοποιηθεί η ενεργειακή απολαβή. Μέσω της μοντελοποίησης του προγράμματος TRNSYS, υπάρχει η δυνατότητα να γίνει παραμετρική εξομοίωση, μεταβαλλοντας την επιφάνεια, την κλίση του συλλέκτη, και το είδος του συλλέκτη, κλπ.

### **Κυκλοφορητής κλειστού κυκλώματος ηλιακών**

Ο κυκλοφορητής του κλειστού κυκλώματος των ηλιακών είναι σταθερών στροφών. Η μέγιστη παροχή ρευστού είναι 1500 lt/h και η επιλεγόμενη παροχή ρευστού είναι 900lt/h για την εξομοίωσή μας. Ο υπολογισμός αυτών έχουν γίνει με την παραδοχή ότι ο συλλέκτης είναι υψηλής απόδοσης με εκτιμώμενη παροχή 50lt/hm<sup>2</sup>. Στην πράξη, σε κατοικίες, προτιμάται η λύση δεύτερου δικτύου ηλιακών αν η ενεργή επιφάνεια των ηλιακών ξεπεράσει τα 20m<sup>2</sup>. Η λειτουργία του κυκλοφορητή εξαρτάται άμεσα από τον διαφορικό θερμοστάτη. Όταν το σήμα εξόδου από τον διαφορικό θερμοστάτη είναι 0, τότε ο κυκλοφορητής δεν λειτουργεί, επομένως δεν υπάρχει κυκλοφορία του ρευστού. Όταν το σήμα από τον διαφορικό θερμοστάτη γίνει 1 τότε το ρευστό κυκλοφορεί στο κύκλωμα.

### **Διαφορικός θερμοστάτης ηλιακών (ή ελεγκτής θερμοκρασιών – Type 2b)**

Ο διαφορικός θερμοστάτης ηλιακών (ή ελεγκτής θερμοκρασιών – Type 2b) είναι η «καρδιά» του πρωτεύοντος κυκλώματος. Ελέγχοντας την θερμοκρασία στην κορυφή της συστοιχίας των ηλιακών συλλέκτων και συγκρίνοντας την με την μέση θερμοκρασία του δοχείου διαστρωμάτωσης ξεκινά ή σταματά ο κυκλοφορητής του κλειστού κυκλώματος των ηλιακών. Η συνήθης τιμή της θερμοκρασιακής διαφοράς είναι στους 10 °C. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα παρακολούθησης της θερμοκρασίας του δοχείου διαστρωμάτωσης ώστε να μην υπερβαίνει τους 100 °C.

Στο μοντέλο μας έχουμε επιλέξει συνεχή λειτουργία φόρτισης του δοχείου διαστρωμάτωσης. Αυτό επιτυγχάνεται με την επιλογή πολύ υψηλών τιμών στις παραμέτρους του μοντέλου. Ενδέχεται στην εξομοίωση να εμφανιστεί μήνυμα βρασμού του νερού στο δοχείο διαστρωμάτωσης κατά την θερινή περίοδο το οποίο δεν επηρεάζει τις μετρήσεις μας (διότι το δευτερεύον κύκλωμα είναι κλειστό).

### **Δοχείο διαστρωμάτωσης**

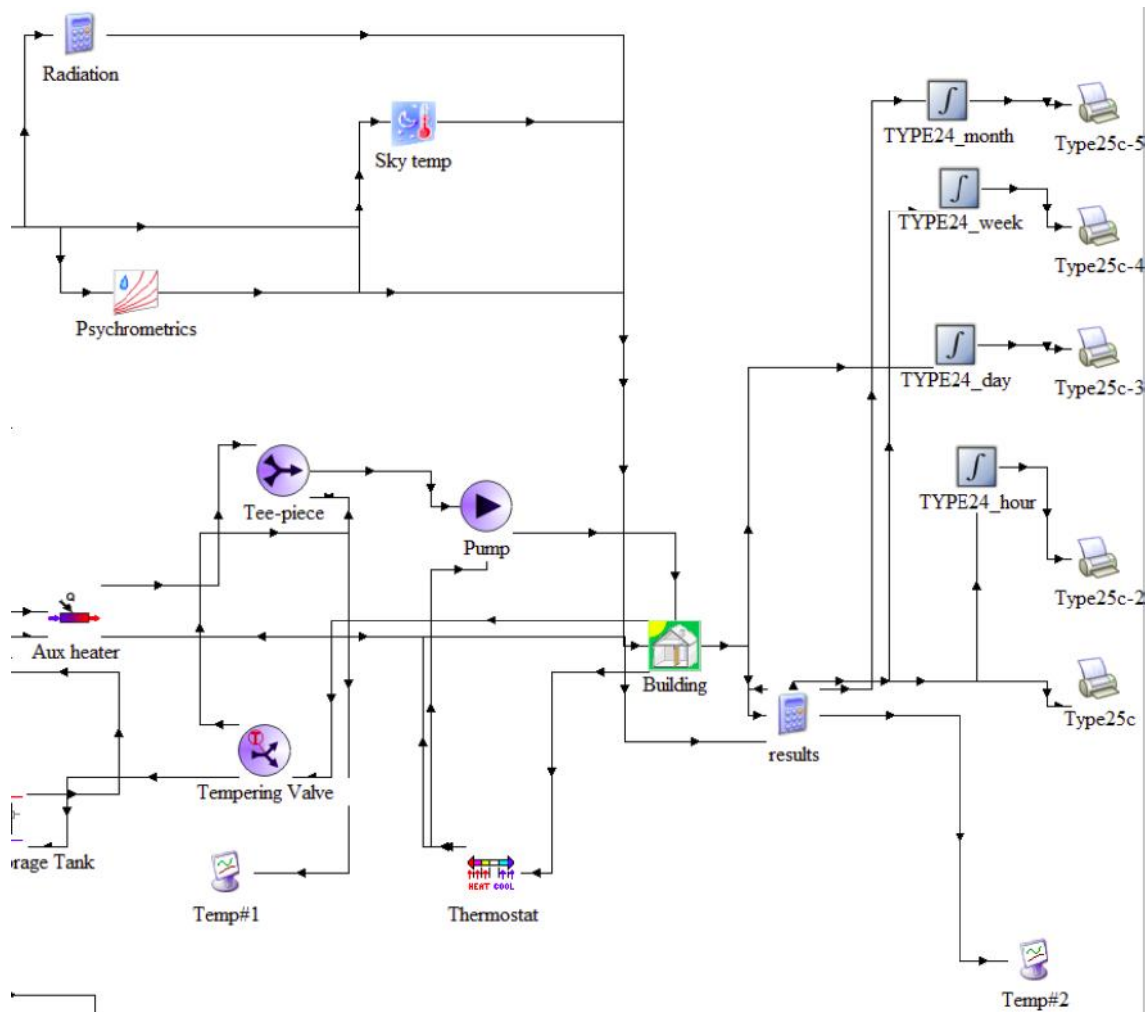
Το δοχείο διαστρωμάτωσης είναι μία κατακόρυφη κυλινδρική δεξαμενή αποθήκευσης θερμού νερού μεγάλης χωρητικότητας η οποία διαθέτει έναν εσωτερικό εναλλάκτη με μεγάλη επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας με το αποθηκευμένο νερό.



Μέσω της μοντελοποίησης του προγράμματος TRNSYS, υπάρχει η δυνατότητα να γίνει παραμετρική εξομοίωση, μεταβάλλοντας διάφορα στοιχεία ,όπως τις διαστάσεις και την χωρητικότητα της δεξαμενής, την επιφάνεια του εναλλάκτη κλπ.

### **6.1.2 Το δευτερεύον κύκλωμα**

Το δευτερεύον κύκλωμα αποτελείται από το δοχείο διαστρωμάτωσης, το κτήριο με το ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης τον κυκλοφορητή θέρμανσης την βοηθητική πηγή θέρμανσης και την τρίοδη βάννα ανάμιξης. Η έξοδος του ζεστού νερού από το δοχείο διαστρωμάτωσης γίνεται από το πάνω μέρος του. Στη συνέχεια το ρεύμα ζεστού νερού οδηγείται στην βοηθητική πηγή θέρμανσης ώστε να επιτύχουμε την βέλτιστη θερμοκρασία εισόδου του νερού στην εγκατάσταση της ενδοδαπέδιας θέρμανσης. Λόγω επαρκούς θερμικής αδράνειας της ενδοδαπέδιας θέρμανσης, μία τρίοδη βάννα ανάμιξης φροντίζει να αναμίξει το νερό επιστροφής από την ενδοδαπέδια με το θερμό νερό της εισαγωγής ώστε με μικρότερες θερμοκρασίες να γίνεται σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας της κατοικίας μέχρι το επιθυμητό επίπεδο. Ο έλεγχος της θερμοκρασίας της κατοικίας γίνεται με ένα θερμοστάτη χώρου με επιθυμητή θερμοκρασία τους 20 °C.



Σχήμα 3.2. Δευτερεύον κύκλωμα

### Βάνα ανάμιξης

Η βάνα ανάμιξης είναι υπεύθυνη για την ρύθμιση της θερμοκρασίας του ρευστού που εισέρχεται στο ενδοδαπέδιο κύκλωμα. Με την κατάλληλη ανάμιξη των ρευμάτων εισαγωγής στην τρίοδη βάνα, εξασφαλίζουμε στην έξοδο την επιθυμητή μέγιστη θερμοκρασία (στην περίπτωση μας τους 45 °C).

Στο μοντέλο προσωμοίωσης παρουσιάζεται μία τρόδη βάνα διαχωρισμού της ροής αντί για τρίοδη βάνα ανάμιξης. Αυτό οφείλεται στην επεξήγηση που δίνεται στην μαθηματική περιγραφή του μοντέλου δίνοντας καλύτερα αποτελέσματα.

Με την τρίοδη βάνα επιτυγχάνουμε την επιθυμητή θερμοκρασία που απαιτείται για την σωστή λειτουργία της ενδοδαπέδιας θέρμανσης. Αν λάβουμε υπόψη μας το γεγονός ότι η θερμοκρασία επιστροφής στα ενδοδαπέδια κυκλώματα είναι περίπου μέχρι  $7\text{ }^{\circ}\text{C}$  χαμηλότερα από την θερμοκρασία εισαγωγής ( $T_{in}-T_{out}\leq 7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), τότε γίνεται κατανοητό ότι έχουμε σημαντικό όφελος από την εξοικονόμηση ενέργειας που γίνεται.

### **Κυκλοφορητής κλειστού κυκλώματος θέρμανσης**

Ο κυκλοφορητής του κλειστού κυκλώματος της ενδοδαπέδιας θέρμανσης είναι σταθερών στροφών. Η μέγιστη παροχή ρευστού είναι  $1500\text{ lt/h}$  και η επιλεγόμενη παροχή ρευστού είναι  $1000\text{lt/h}$  για την εξομοίωσή μας. Ο υπολογισμός αυτών έχουν γίνει με την παραδοχή ότι η κατοικία έχει θερμικές απώλειες οι οποίες θα μπορούσαν να φτάσουν μέχρι και τα  $75\text{W/m}^2$ .

### **Κτήριο**

Το υπό μελέτη κτήριο αποτελείται από ένα επίπεδο, με εμβαδό  $100\text{ m}^2$ . Το κτήριο μελετάται στο σύνολο του ως μία θερμική ζώνη. Τα παράθυρα καλύπτουν το 16,6% της επιφάνειας των τοίχων που είναι στραμμένοι στην ανατολή και στη δύση, το 33% στο νότο, ενώ στο βορρά καλύπτουν μόλις το 10%.

Οι θερμικές απώλειες του κτηρίου είναι άμεσα συνδεδεμένες με τον συντελεστή θερμοπερατότητας ( $u$ -value) των δομικών στοιχείων. Οι μονώσεις και το είδος των κουφωμάτων που έχουν επιλεγεί είναι ευθέως ανάλογα με τις απαιτήσεις του Κ.ΕΝ.Α.Κ.

Στο μοντέλο του κτηρίου εισάγονται:

- Η ολική ακτινοβολία στο επίπεδο της επιφάνειας για καθένα από τους τέσσερις προσανατολισμούς (βορράς, νότος, ανατολή, δύση)
- Η άμεση ακτινοβολία στο επίπεδο της επιφάνειας για καθένα από τους τέσσερις προσανατολισμούς (βορράς, νότος, ανατολή, δύση)
- Οι γωνίες πρόσπτωσης για καθένα από τους τέσσερις προσανατολισμούς (βορράς, νότος, ανατολή, δύση)
- Η θερμοκρασία ουρανού από το μοντέλο 69 ( $T_{sky}$ )

- Η θερμοκρασία περιβάλλοντος
- Η σχετική υγρασία περιβάλλοντος
- Η θερμοκρασία και η παροχή του θερμού νερού για το κύκλωμα της ενδοδαπέδιας θέρμανσης.

### ***Χρόνος προσομοίωσης (Simulation time)***

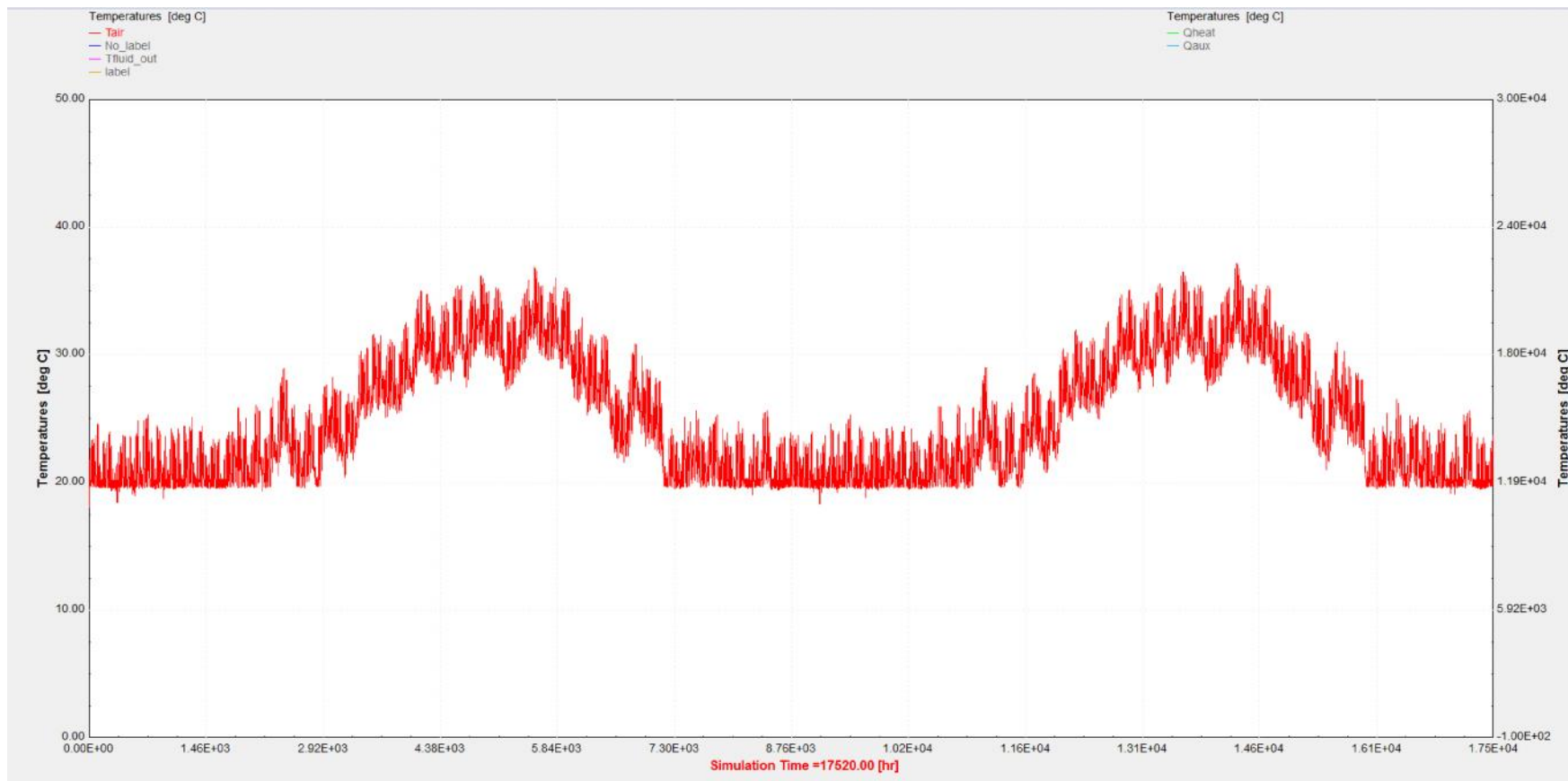
Ο χρόνος προσομοίωσης εξαρτάται άμεσα από την ισορροπία και την περιοδικότητα του μοντέλου προσομοίωσης. Επειδή, συνήθως, ο χρόνος προσομοίωσης ξεκινά τον Ιανουάριο (Start time: 0 hr), το μοντέλο δεν είναι δυνατόν να εκμεταλλευτεί την θερμική αδράνεια των δομικών στοιχείων και να εμφανίσει μία τυπική περιοδικότητα. Έτσι επιλέγεται χρόνος προσομοίωσης τουλάχιστον τα 2 χρόνια (17520 hr).

Επίσης μπορούμε να μεταβάλλουμε το χρονικό βήμα (timestep), ώστε να έχουμε πιο ακριβή αποτελέσματα (αντί ανά 1 ώρα να γίνει ανά 10 λεπτά), αλλά αυξάνει δραματικά τον χρόνο διεξαγωγής της προσομοίωσης. Συνήθως καθορίζεται από το είδος του αποτελέσματος που θέλουμε να εξάγουμε από την προσομοίωση.

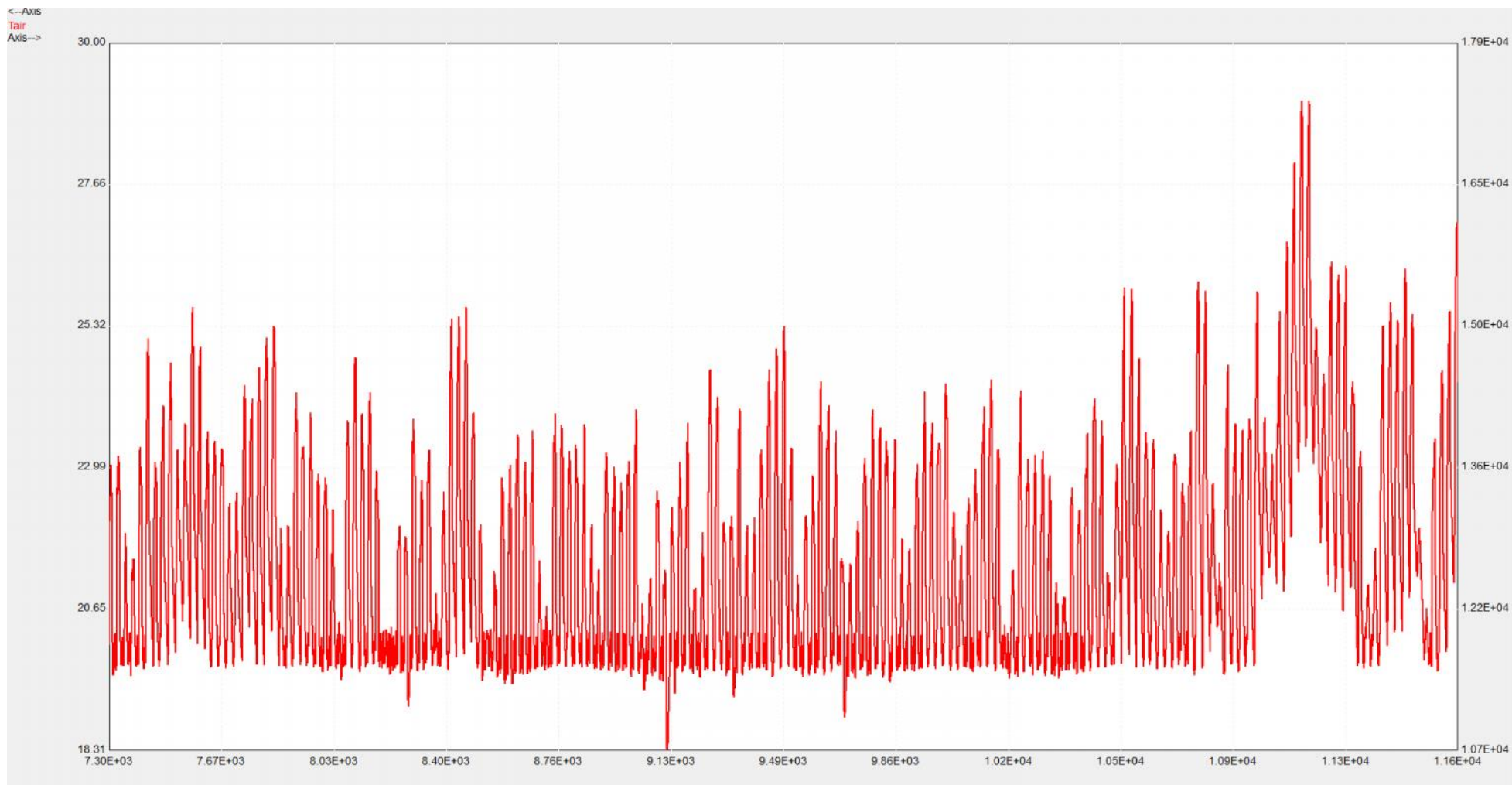
## 6.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

### 6.2.1 ΔΟΚΙΜΗ Νο 1

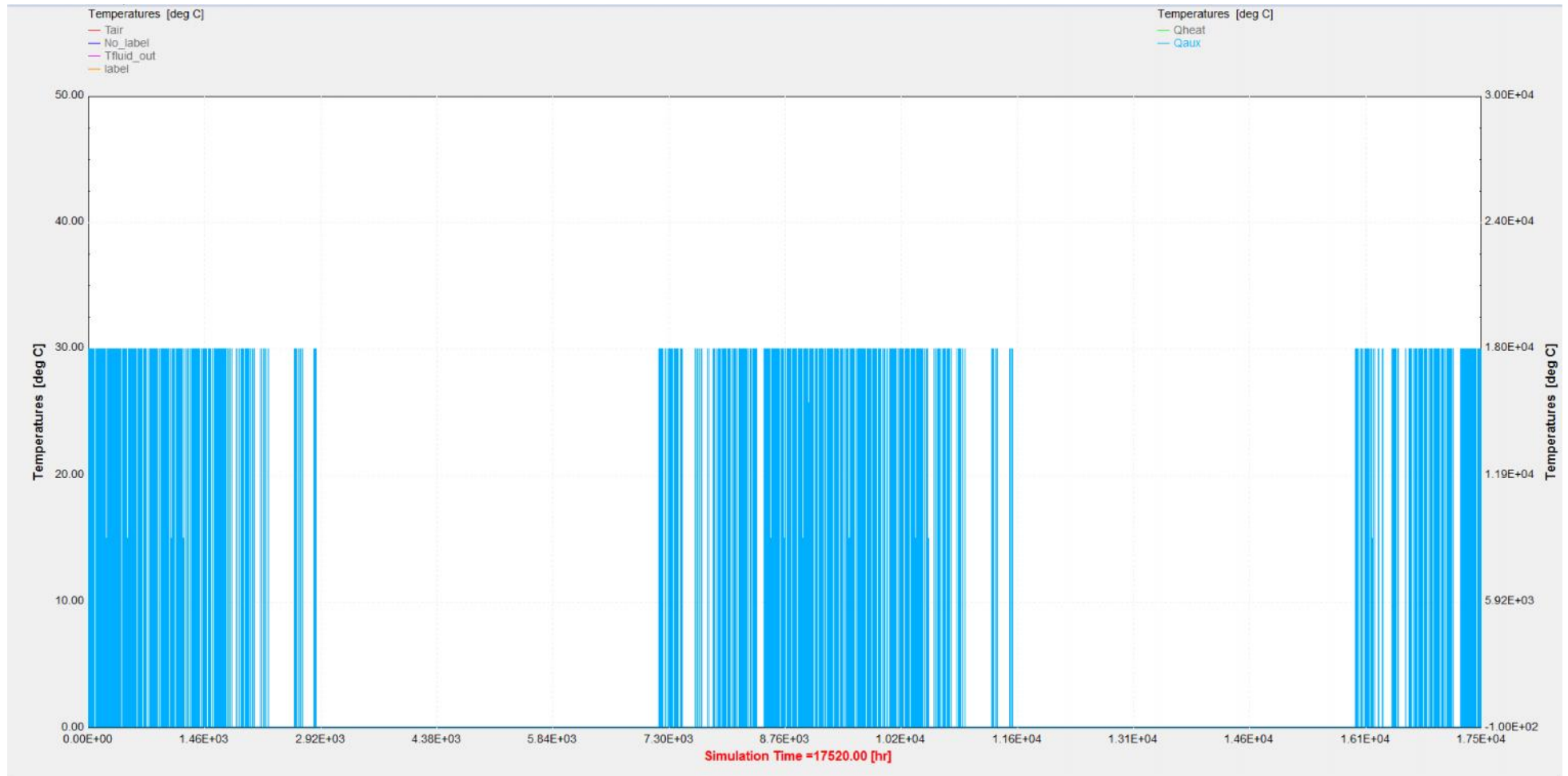
(ΔΑΠΕΔΟ ΜΑΡΜΑΡΟ / ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΣΩΛΗΝΩΝ 15CM / ΜΟΝΩΣΗ ΔΑΠΕΔΟΥ 5CM)



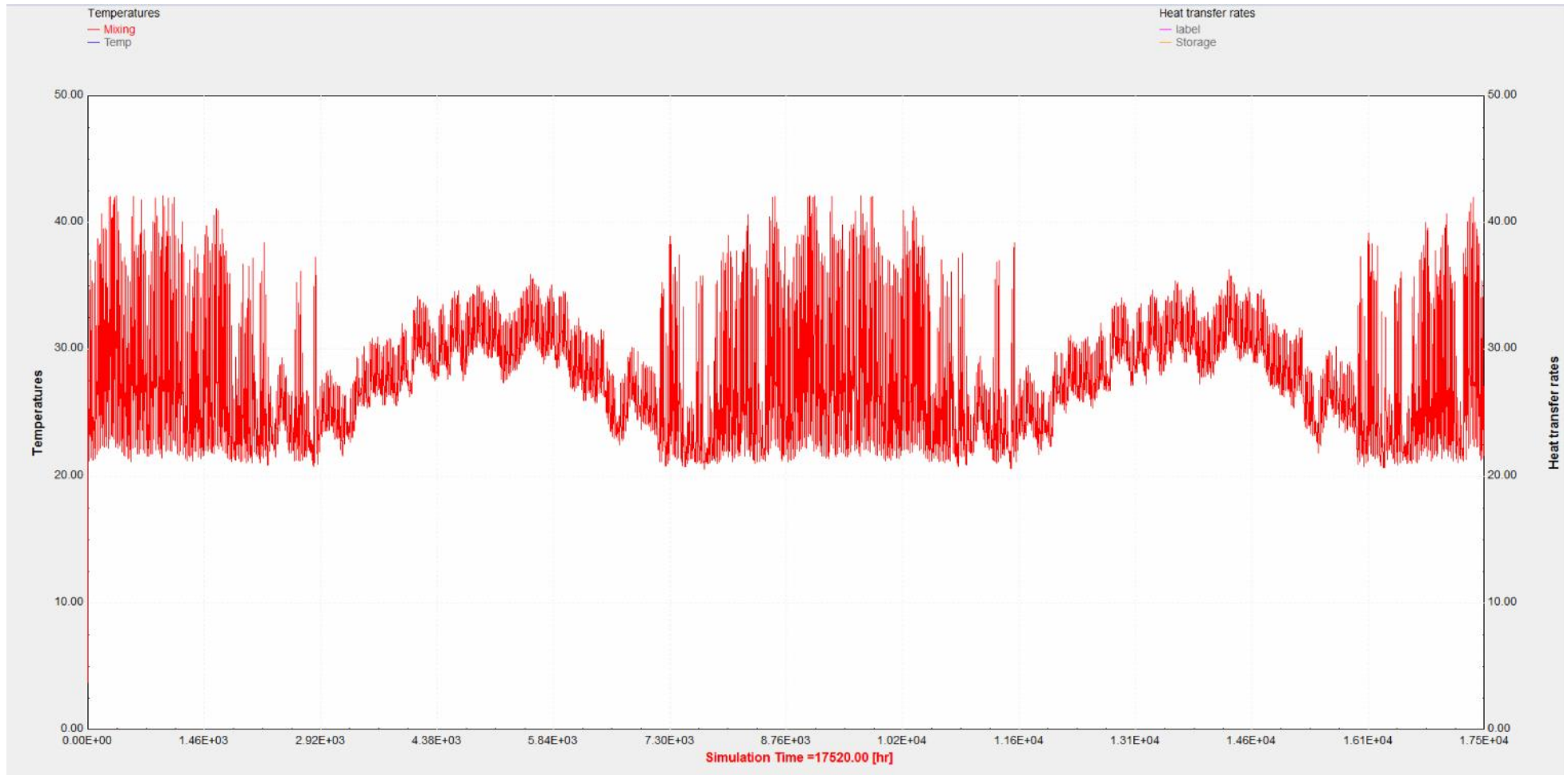
Εικόνα 1: Θερμοκρασία αέρα χώρου (δάπεδο μάρμαρο, απόσταση σωλήνων 15cm, μόνωση ενδοδαπέδιας 5cm)



**Εικόνα 2:** Θερμοκρασίες αέρα χώρου κατά την χειμερινή περίοδο (1η Νοεμβρίου - 31 Απριλίου)



Εικόνα 3: Απαιτούμενη ενέργεια από βοηθητική πηγή

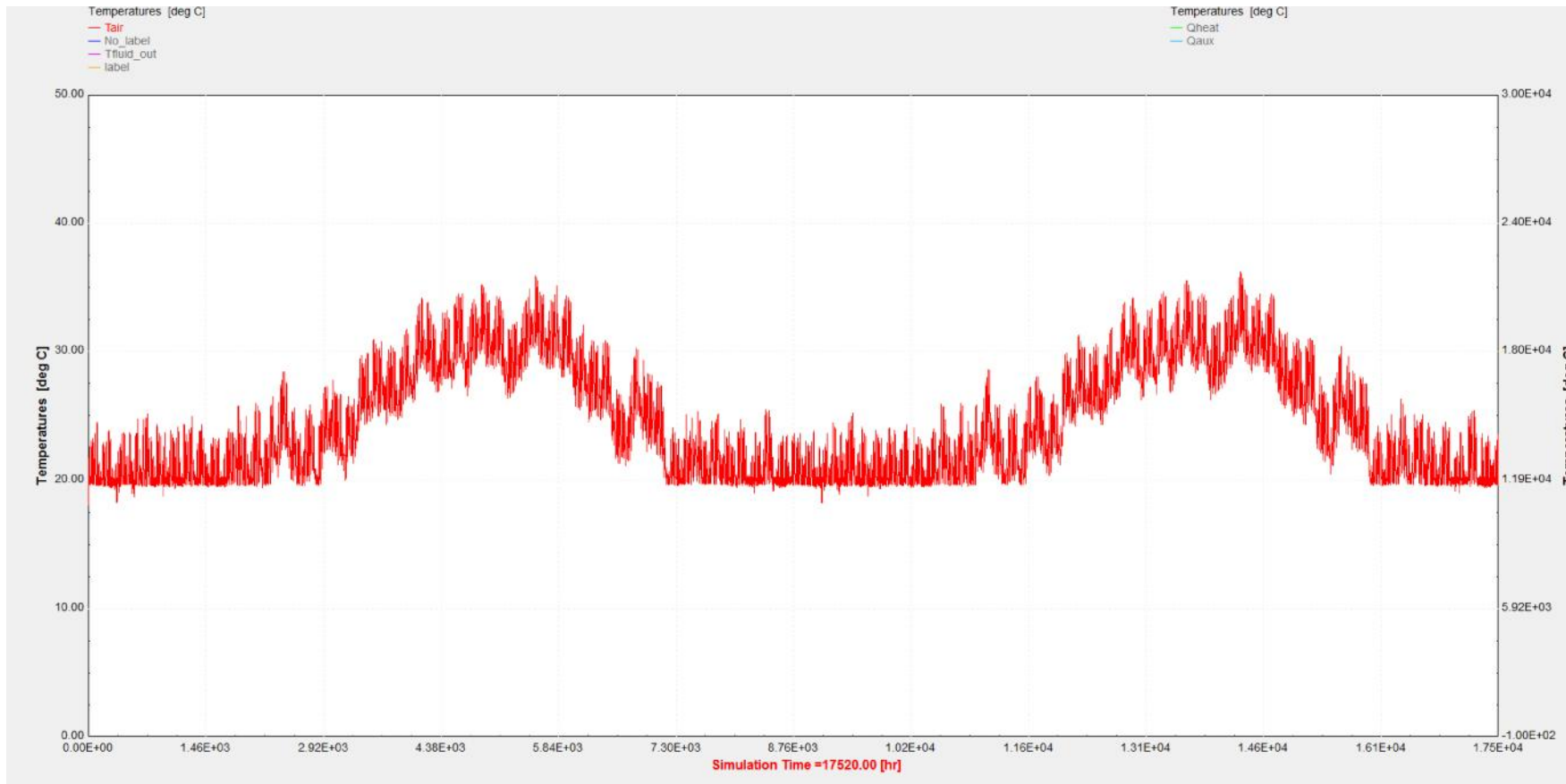


Εικόνα 4: Θερμοκρασία εισόδου νερού στην ενδοδαπέδια

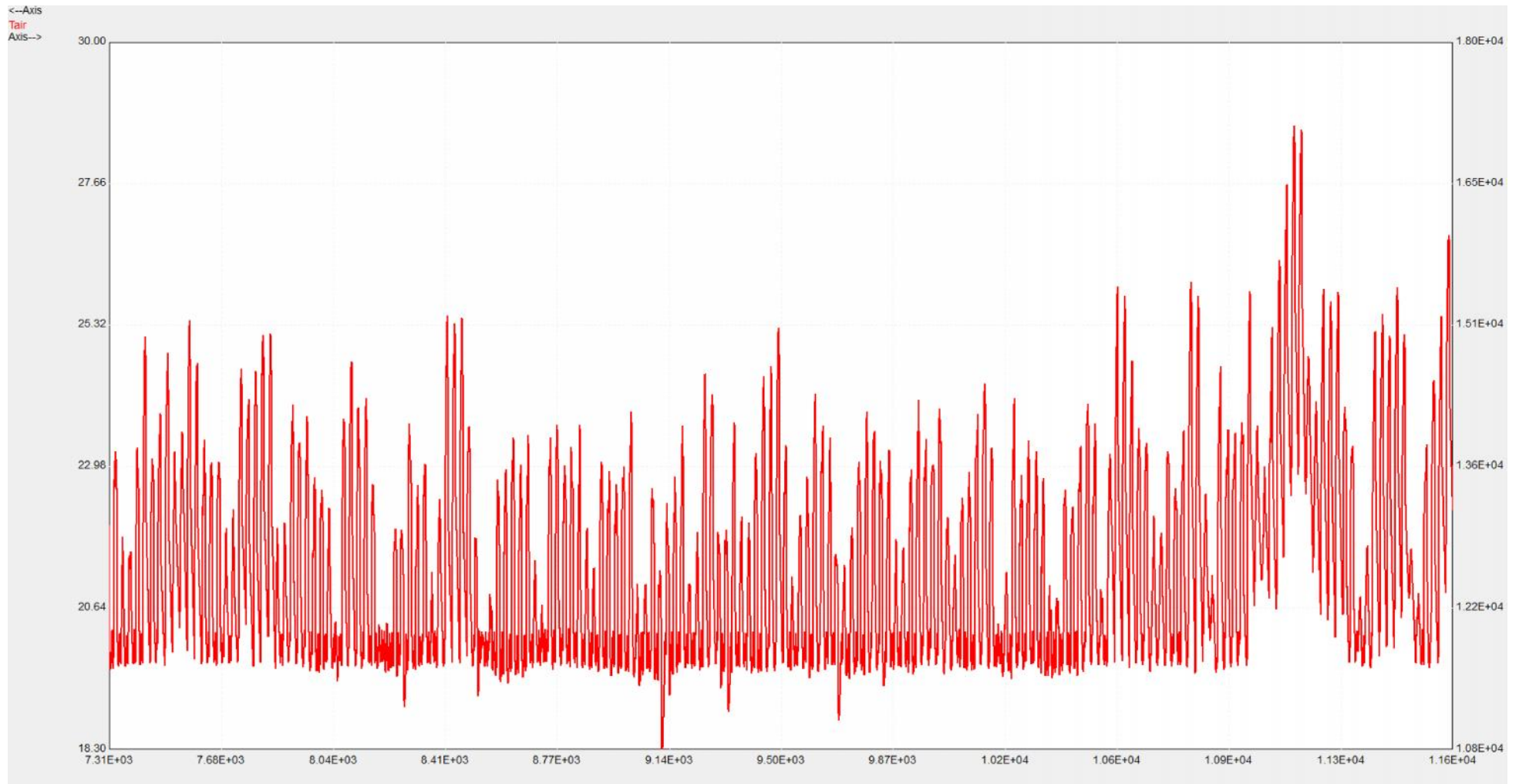


## 6.2.2 ΔΟΚΙΜΗ Νο 2

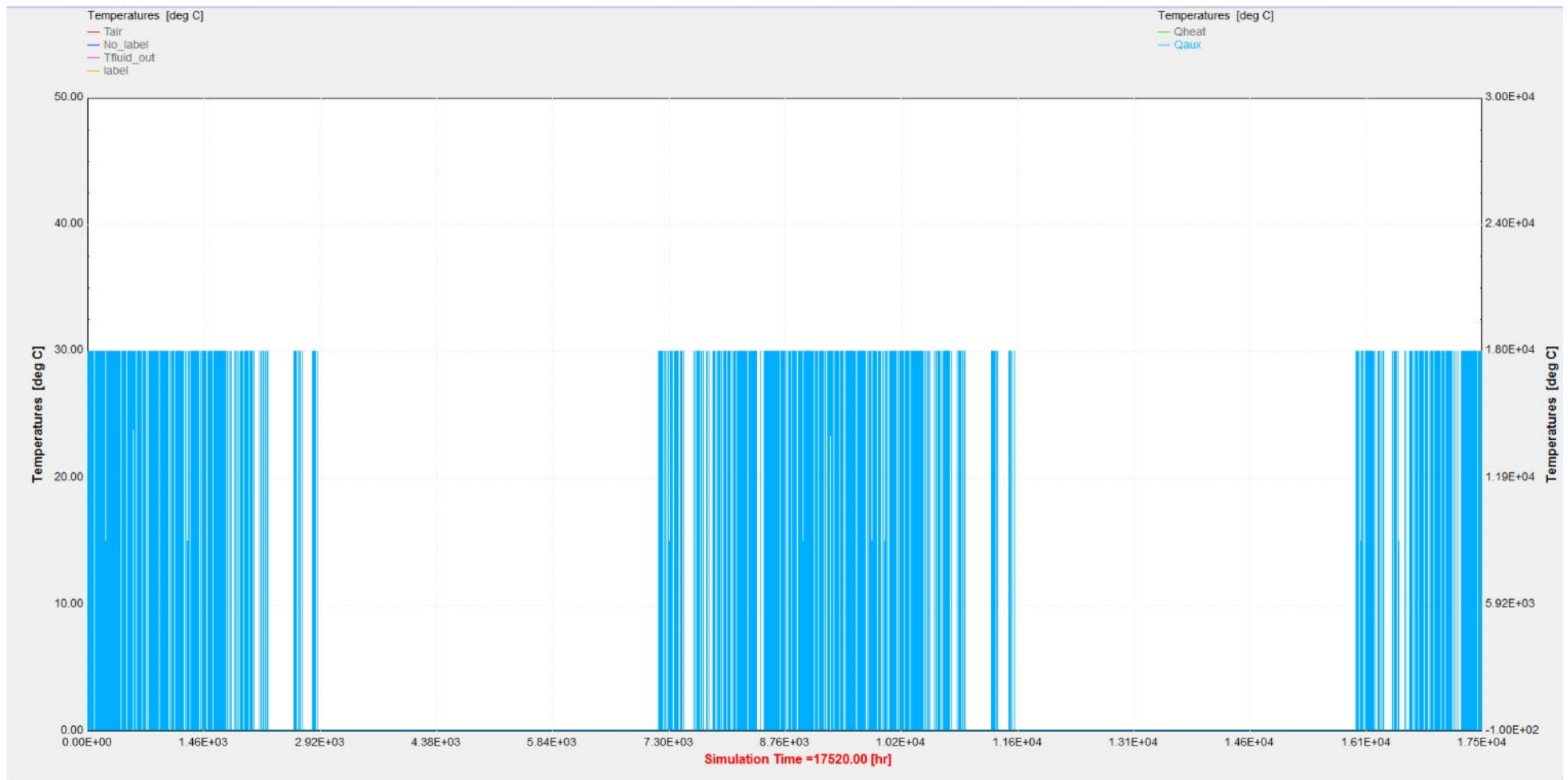
(ΔΑΠΕΔΟ ΜΑΡΜΑΡΟ / ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΣΩΛΗΝΩΝ 15CM / ΜΟΝΩΣΗ ΔΑΠΕΔΟΥ 3,5CM)



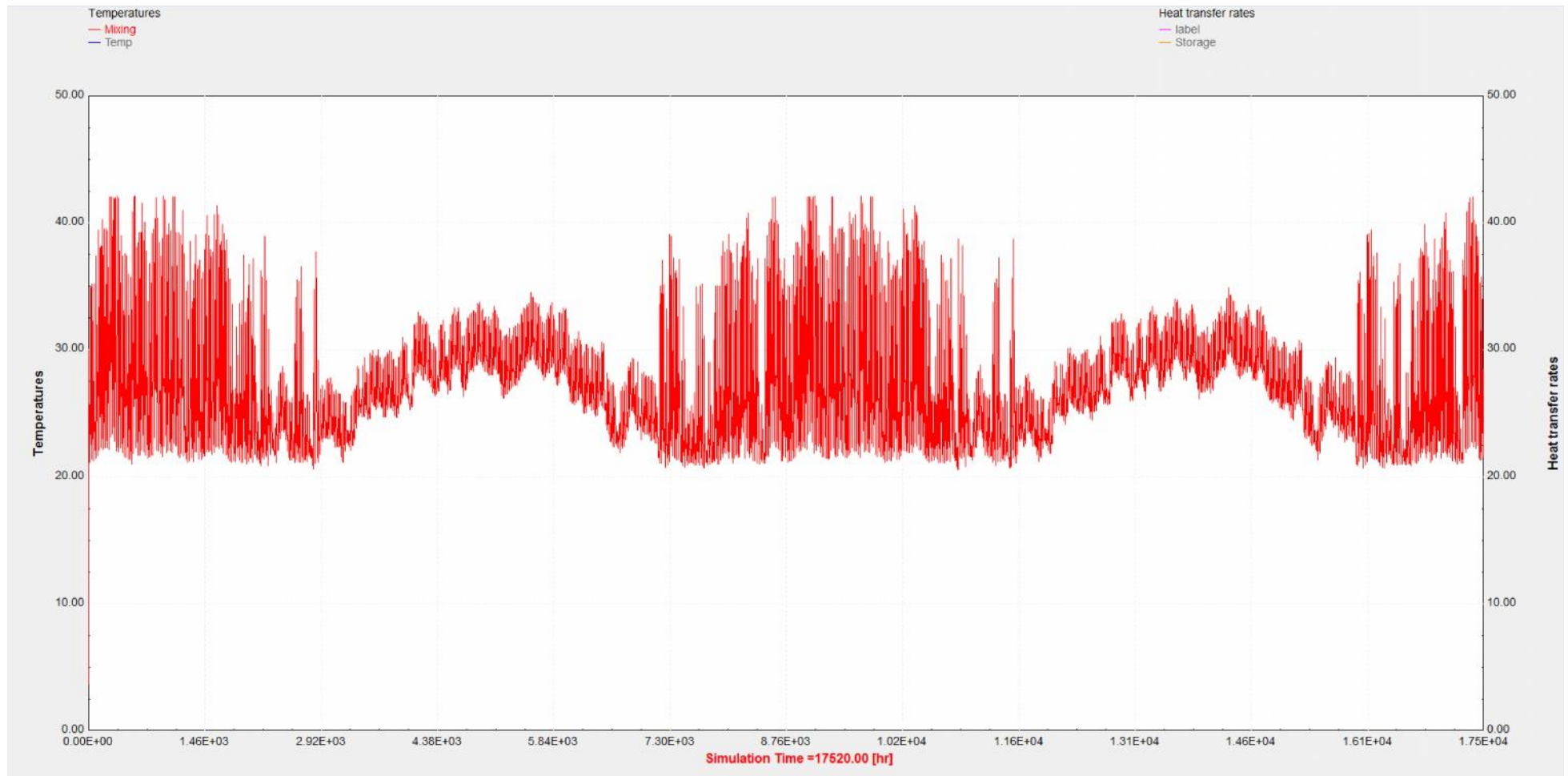
Εικόνα 1: Θερμοκρασία αέρα χώρου (μάρμαρο, απόσταση σωλήνων 15cm, μόνωση δαπέδου 3,5cm)



Εικόνα 2: Θερμοκρασίες αέρα χώρου κατά την χειμερινή περίοδο (1η Νοεμβρίου - 31 Απριλίου)



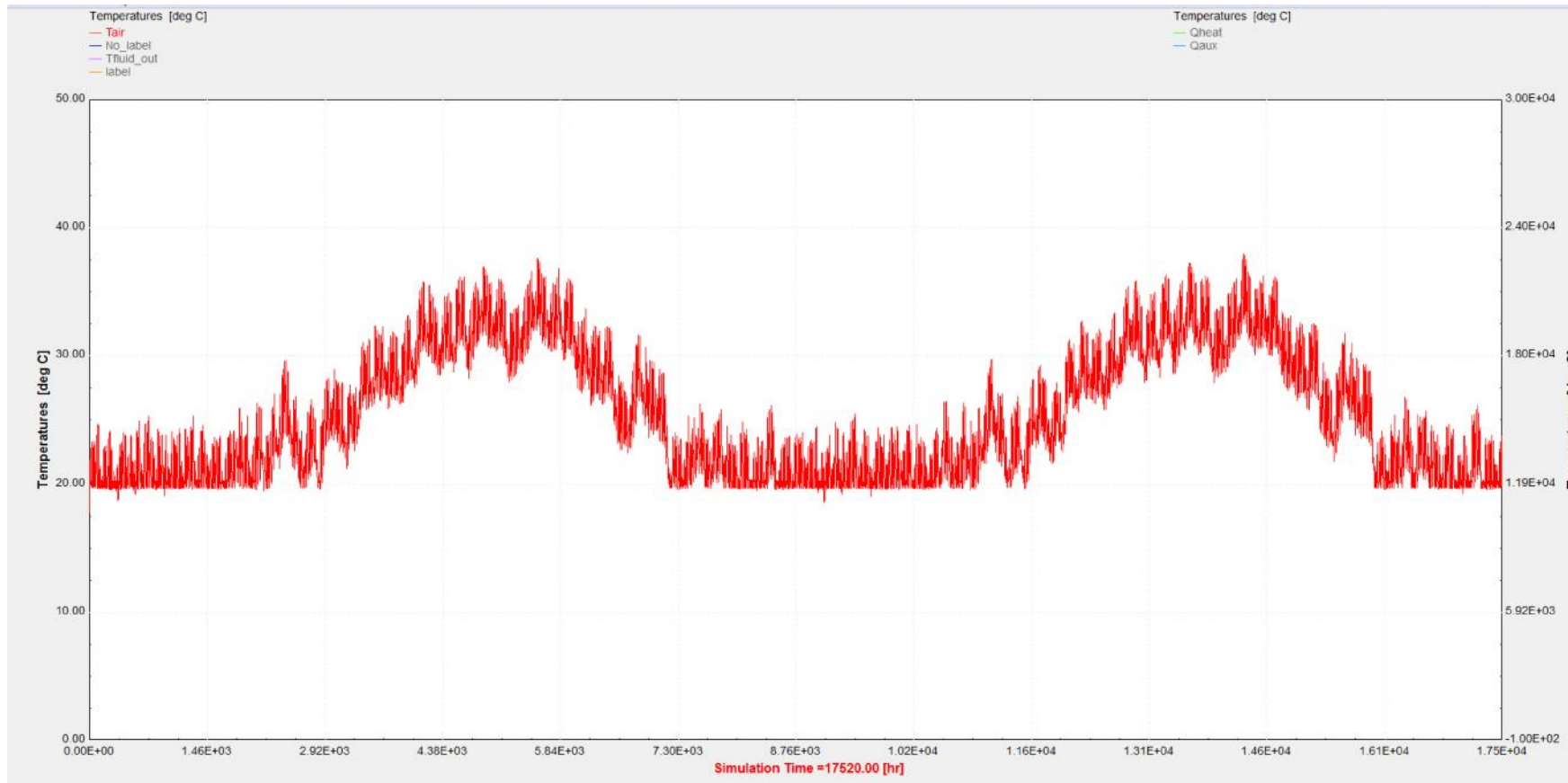
Εικόνα 3: Απαιτούμενη ενέργεια από την βοηθητική πηγή



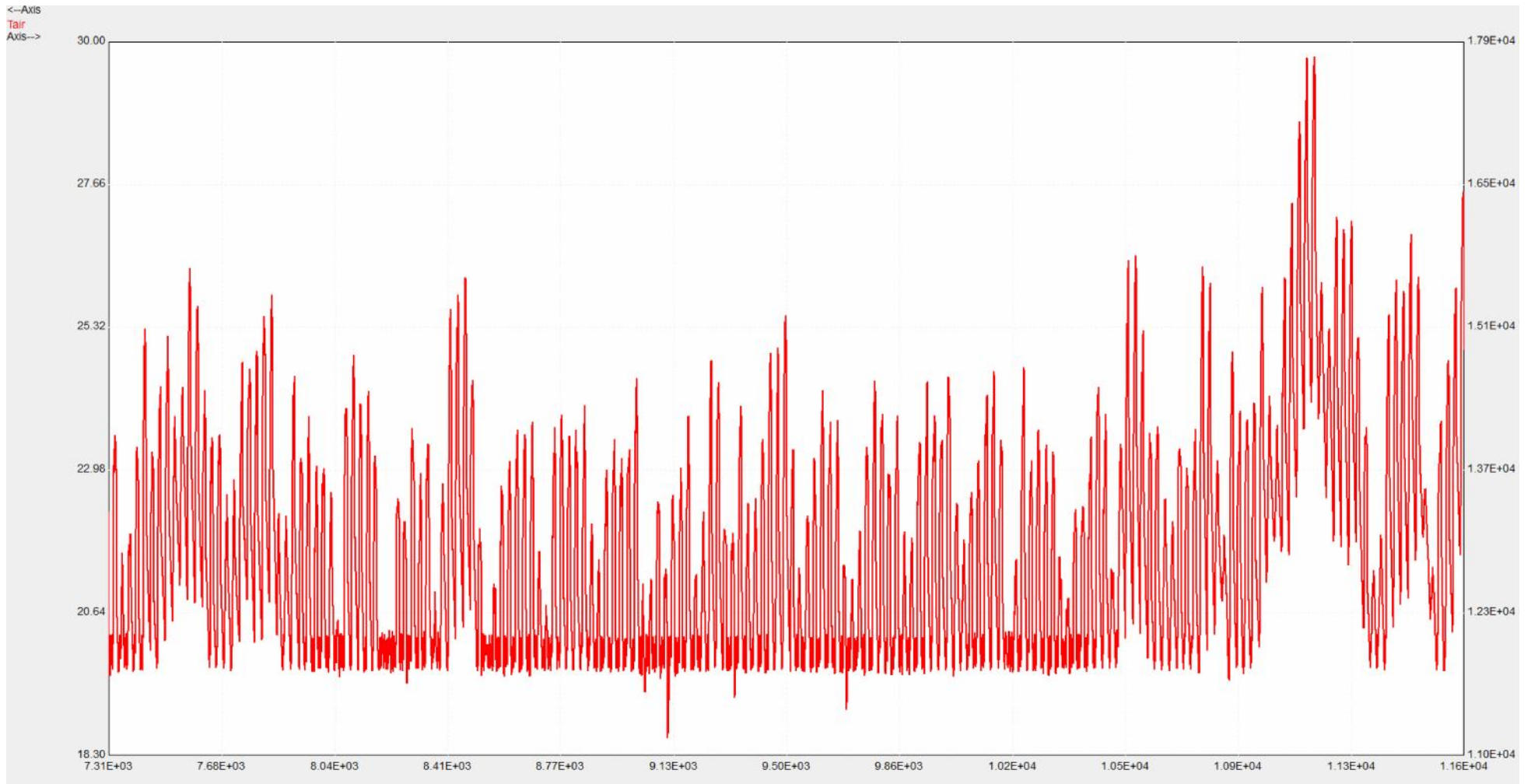
Εικόνα 4: Θερμοκρασία εισόδου νερού στην ενδοδαπέδια

## 6.2.3 ΔΟΚΙΜΗ Νο 3

(ΔΑΠΕΔΟ ΜΑΡΜΑΡΟ / ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΣΩΛΗΝΩΝ 10CM / ΜΟΝΩΣΗ ΔΑΠΕΔΟΥ 5CM)



Εικόνα 1: Θερμοκρασία αέρα χώρου (δάπεδο μάρμαρο, απόσταση σωλήνων 10cm, μόνωση δαπέδου 5cm)

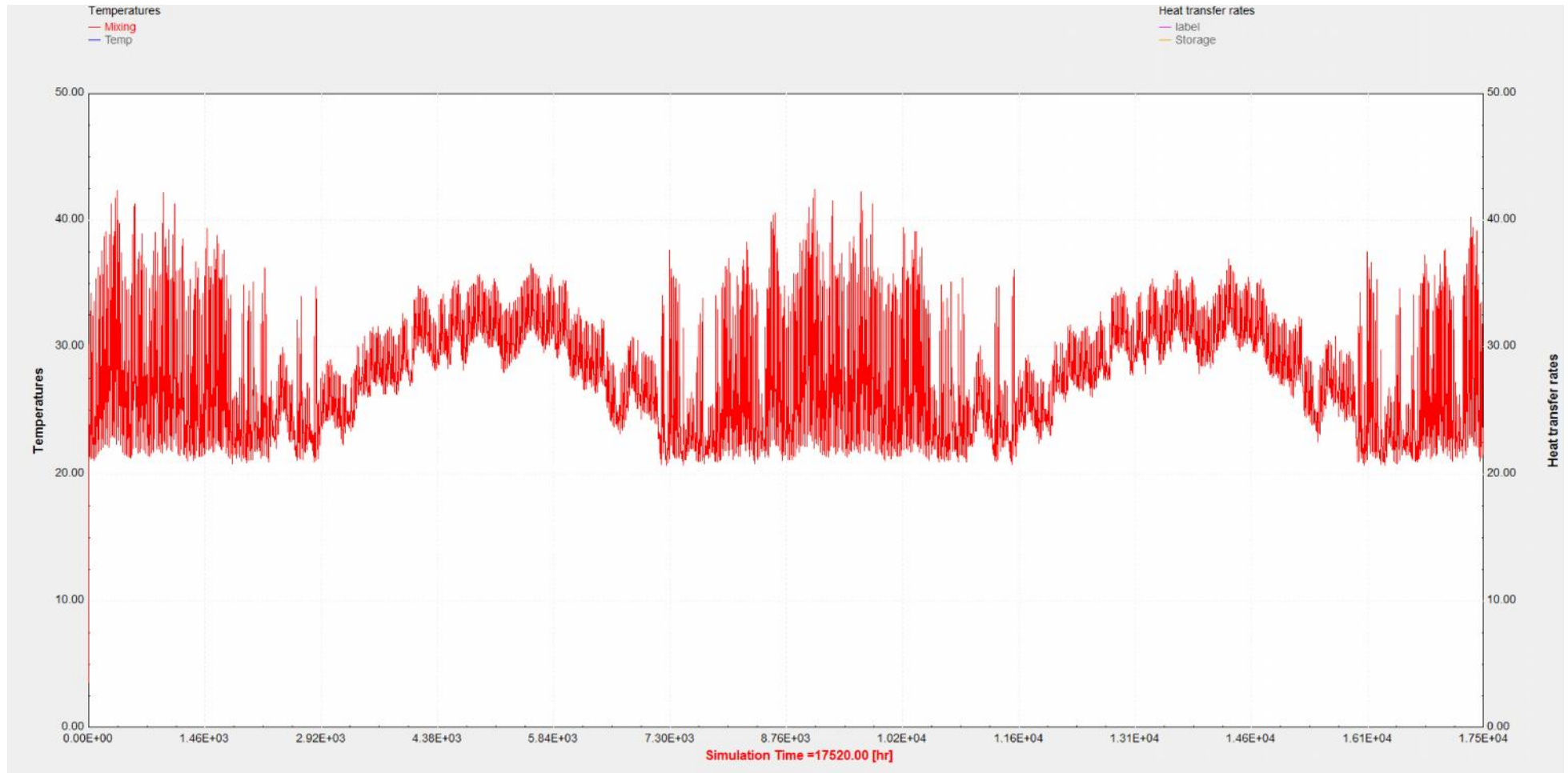


**Εικόνα 2:** Θερμοκρασίες αέρα χώρου κατά την χειμερινή περίοδο (1η Νοεμβρίου - 31 Απριλίου)



Εικόνα 3: Απαιτούμενη ενέργεια από βοηθητική πηγή



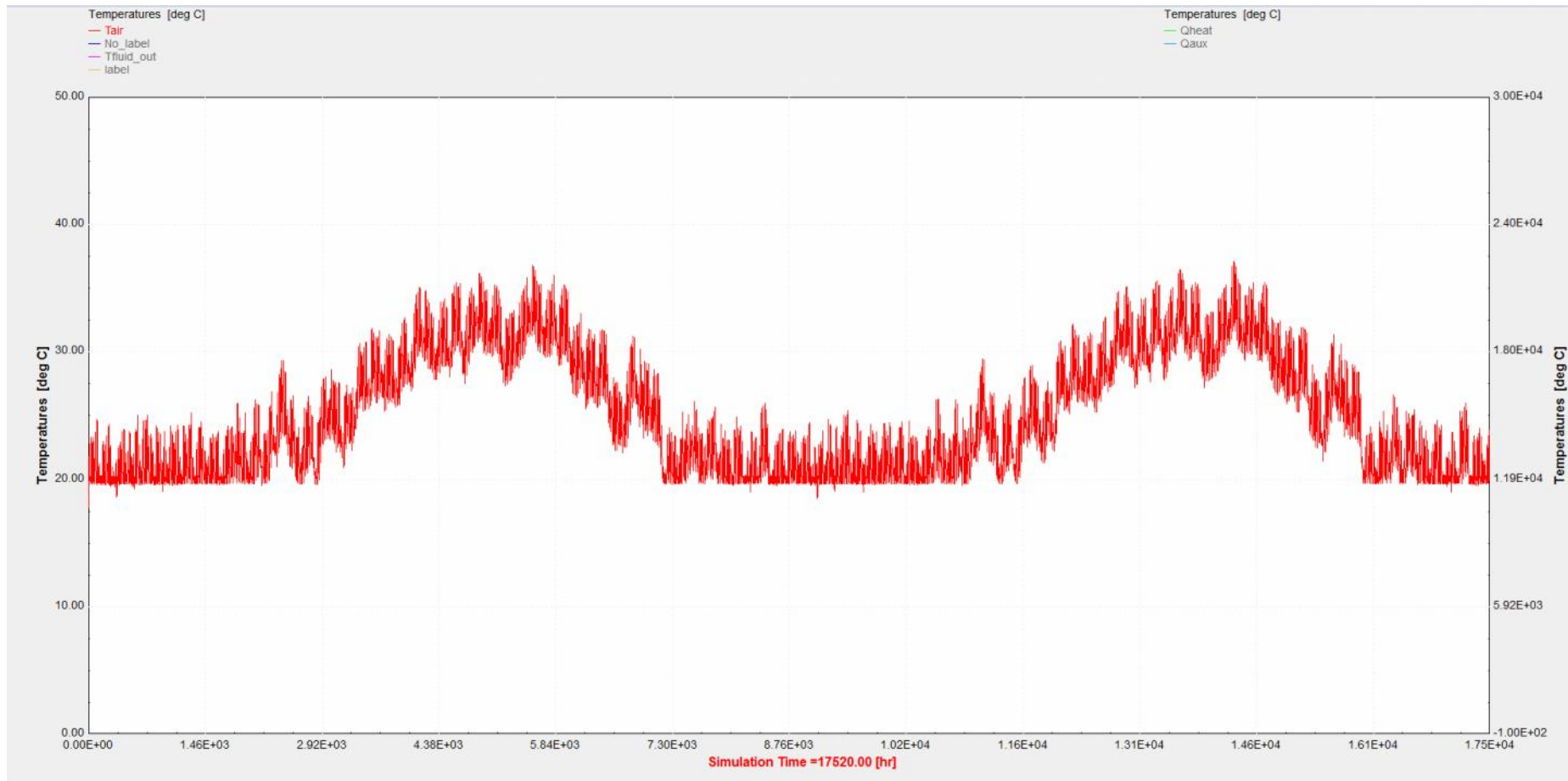


Εικόνα 4: Θερμοκρασία εισόδου νερού στην ενδοδαπέδια

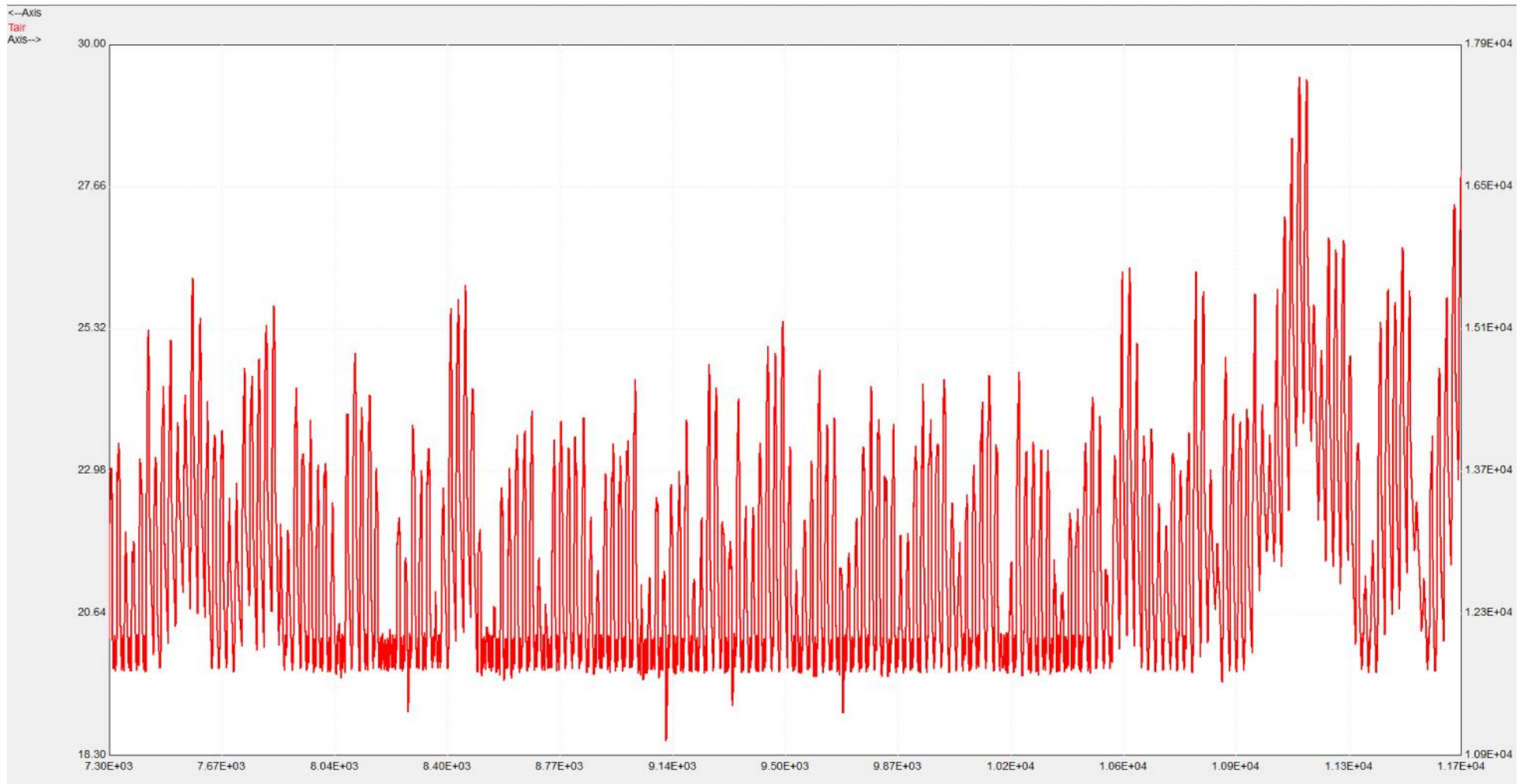


## 6.2.4 ΔΟΚΙΜΗ Νο 4

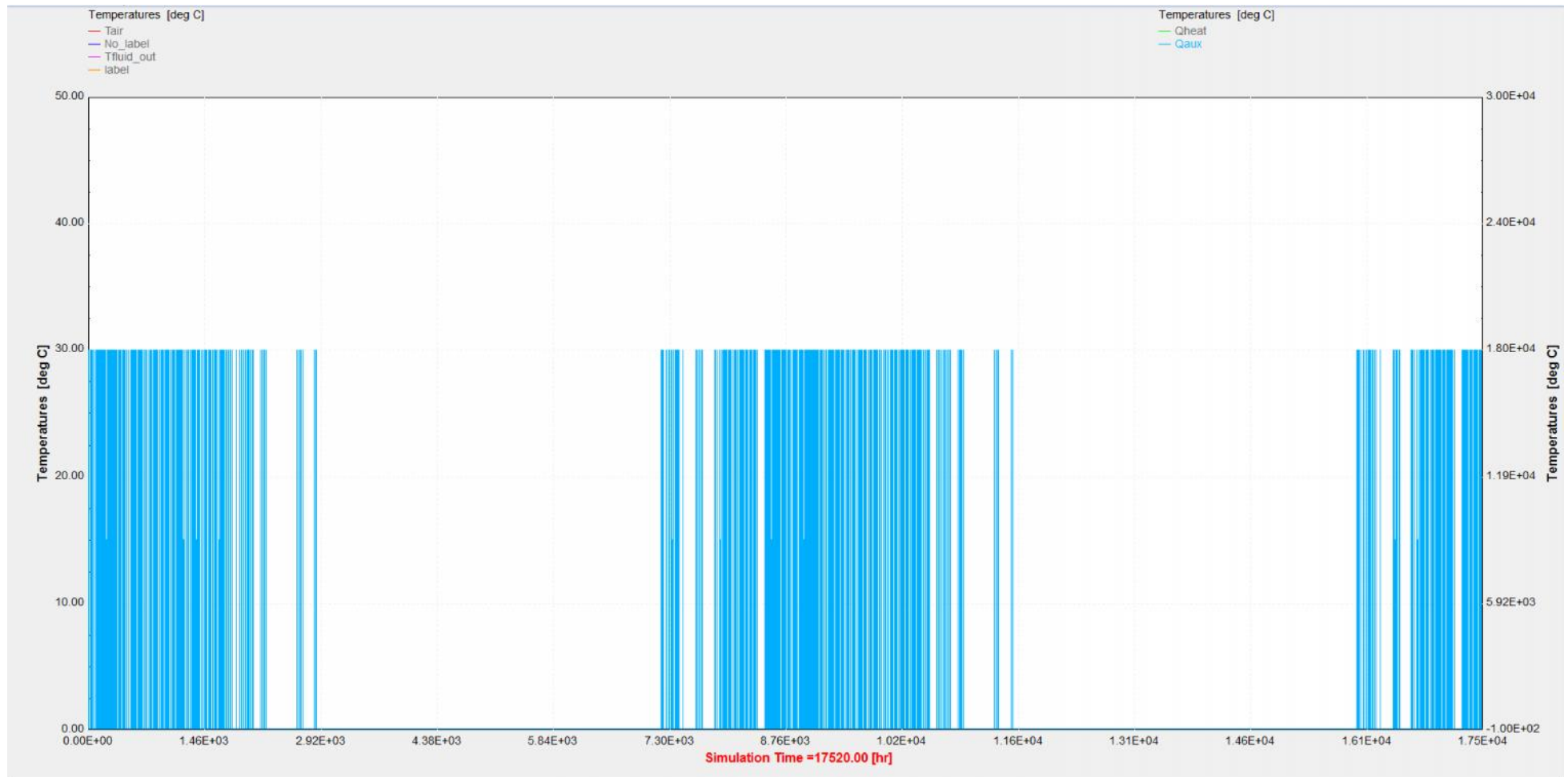
(ΔΑΠΕΔΟ ΜΑΡΜΑΡΟ / ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΣΩΛΗΝΩΝ 10CM / ΜΟΝΩΣΗ ΔΑΠΕΔΟΥ 3,5CM)



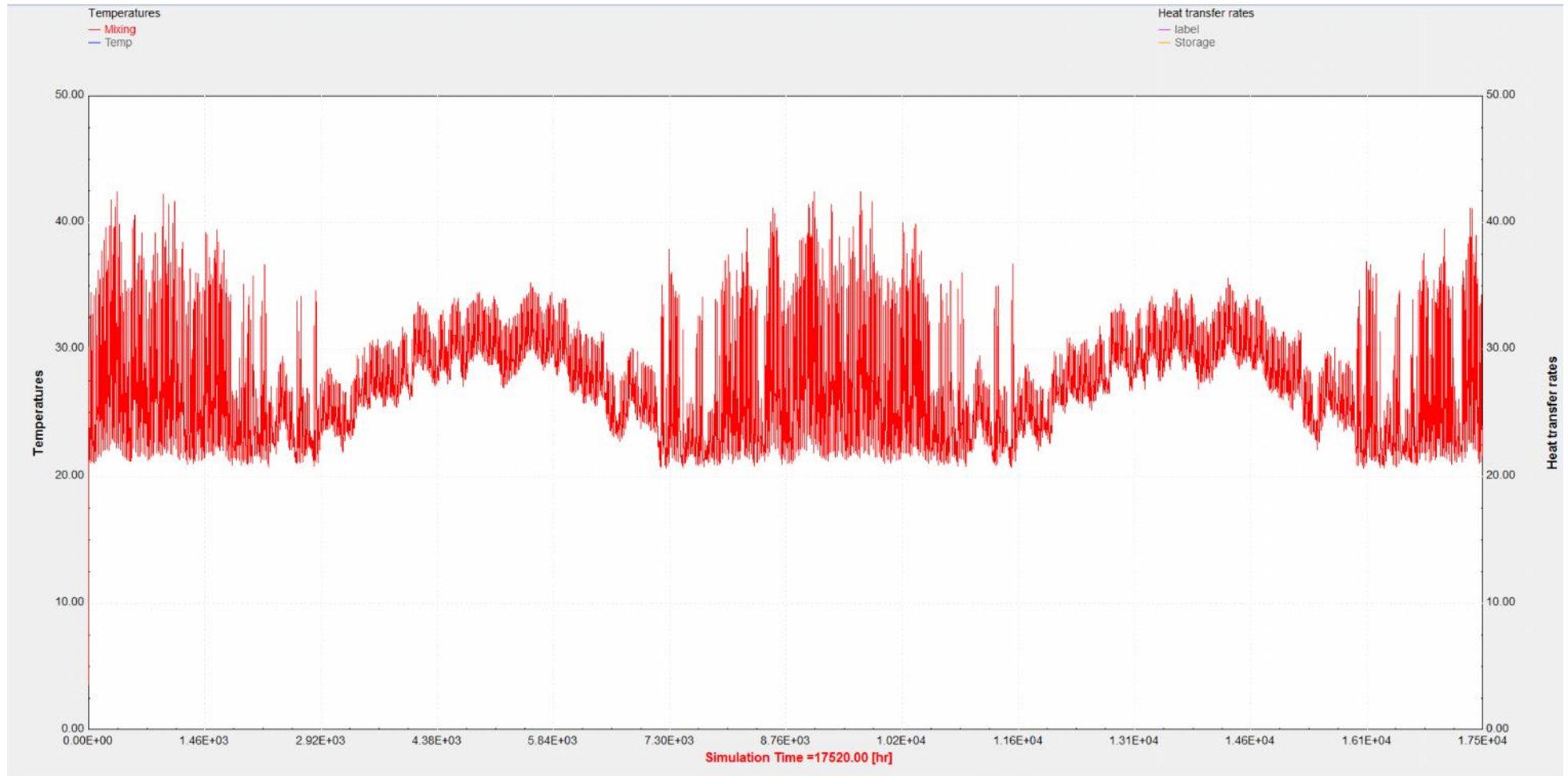
Εικόνα 1: Θερμοκρασία αέρα χώρου (δάπεδο μάρμαρο, απόσταση σωλήνων 10cm, μόνωση δαπέδου 3,5cm)



Εικόνα 2: Θερμοκρασίες αέρα χώρου κατά την χειμερινή περίοδο (1η Νοεμβρίου - 31 Απριλίου)



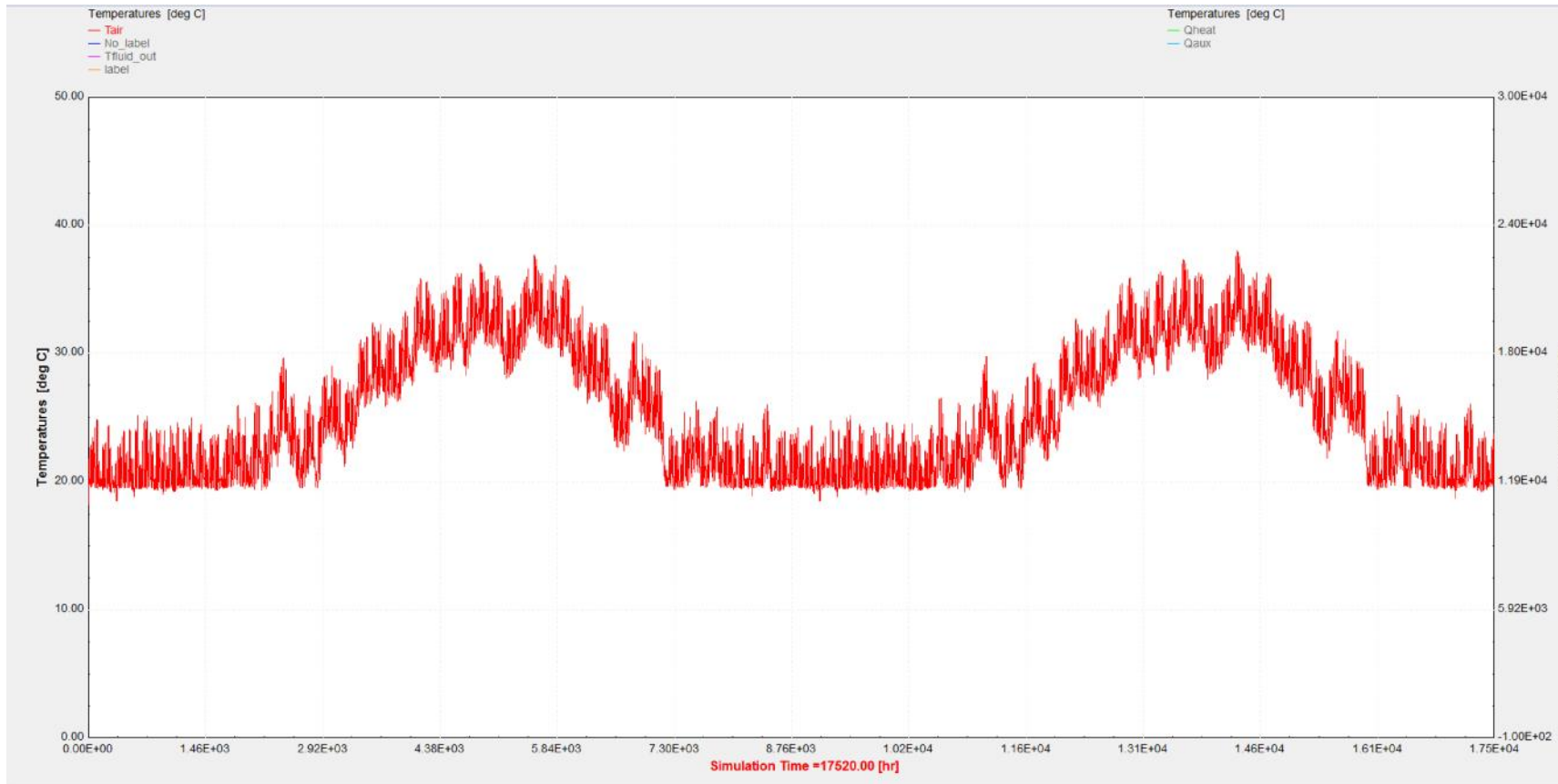
Εικόνα 3: Απαιτούμενη ενέργεια από βοηθητική πηγή



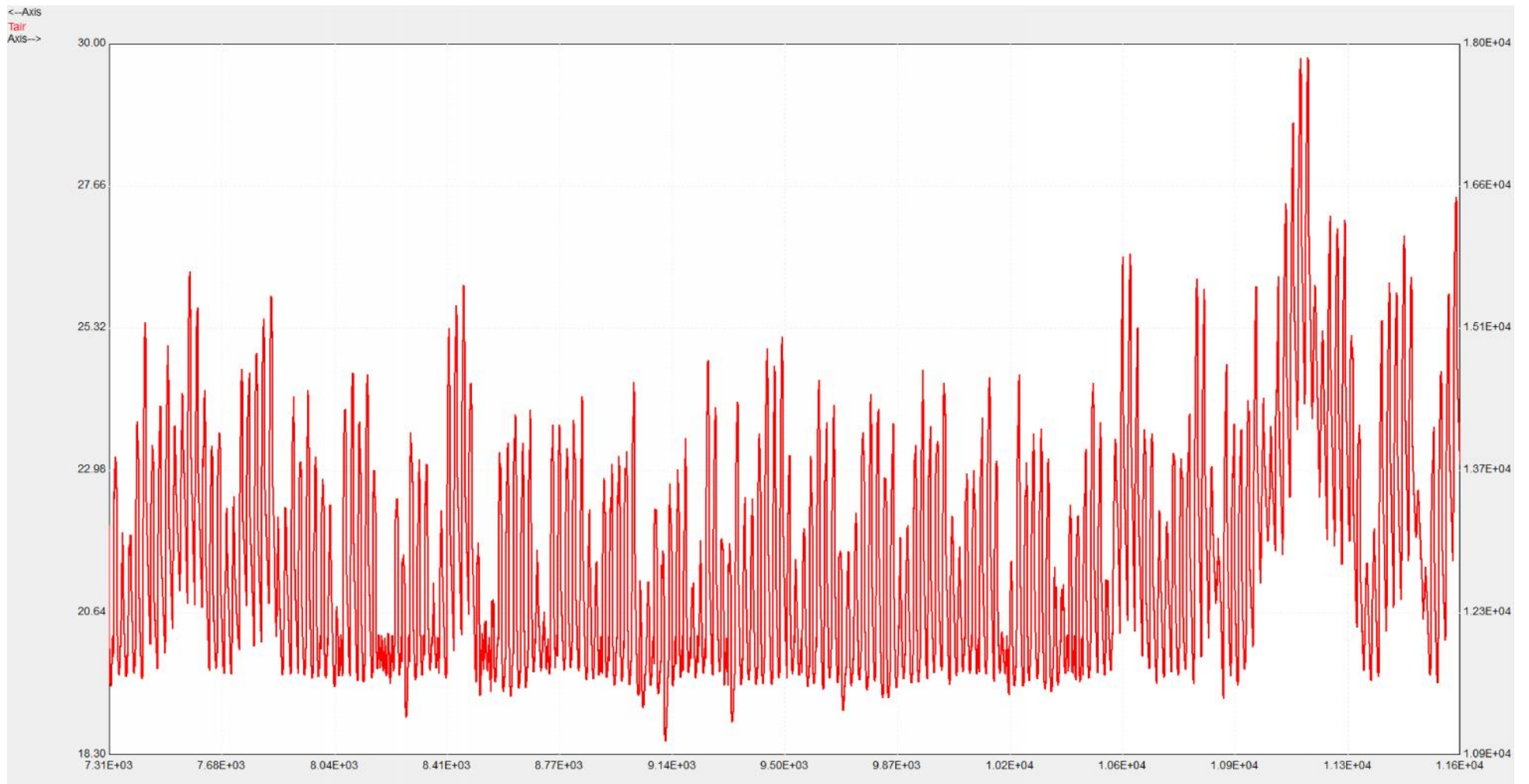
Εικόνα 4: Θερμοκρασία εισόδου νερού στην ενδοδαπέδια

## 6.2.5 ΔΟΚΙΜΗ Νο 5

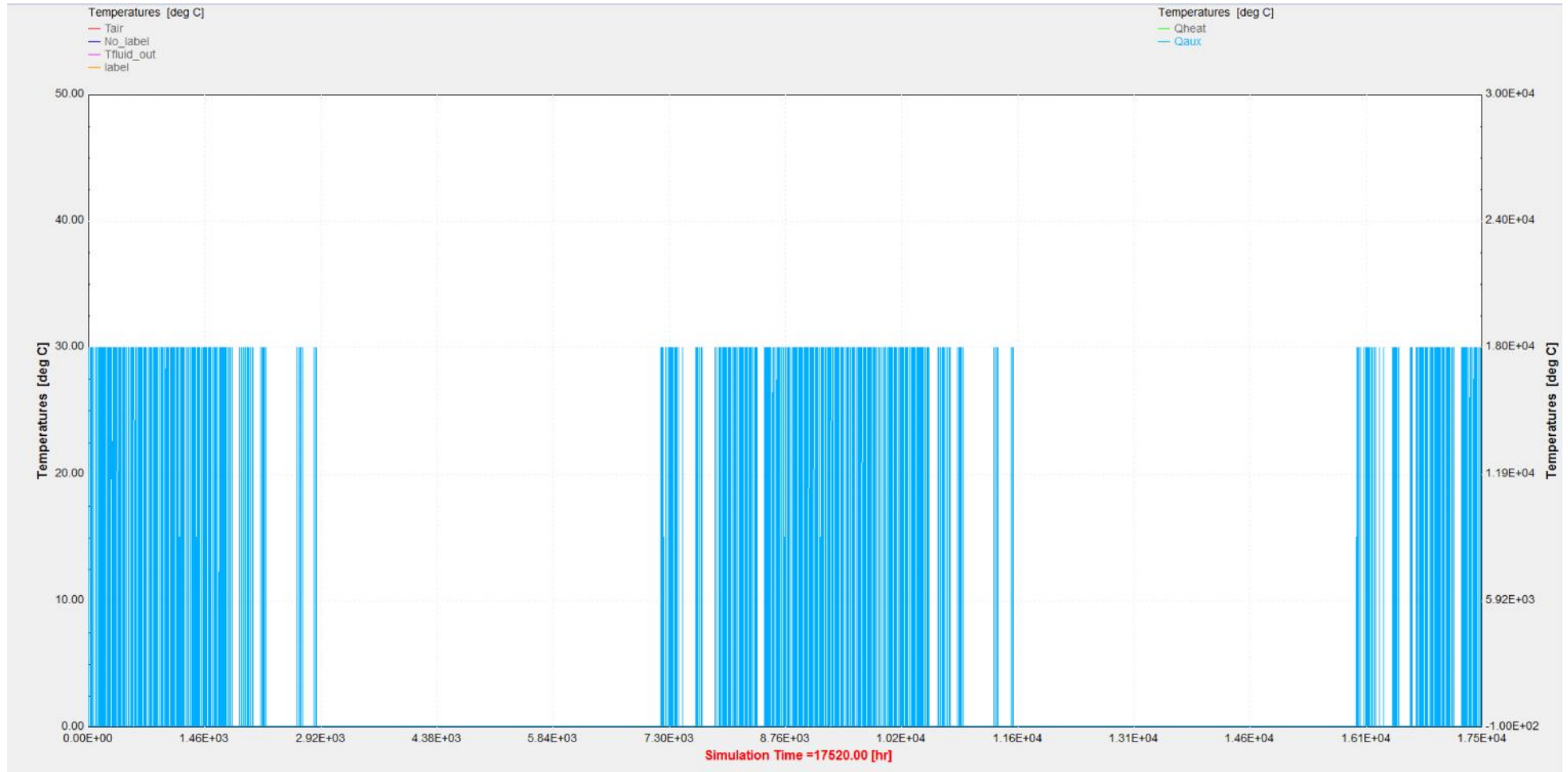
(ΔΑΠΕΔΟ ΜΑΡΜΑΡΟ / ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΣΩΛΗΝΩΝ 20CM / ΜΟΝΩΣΗ ΔΑΠΕΔΟΥ 5CM)



Εικόνα 1: Θερμοκρασία αέρα χώρου (δάπεδο μάρμαρο, απόσταση σωλήνων 20cm, μόνωση δαπέδου 5cm)

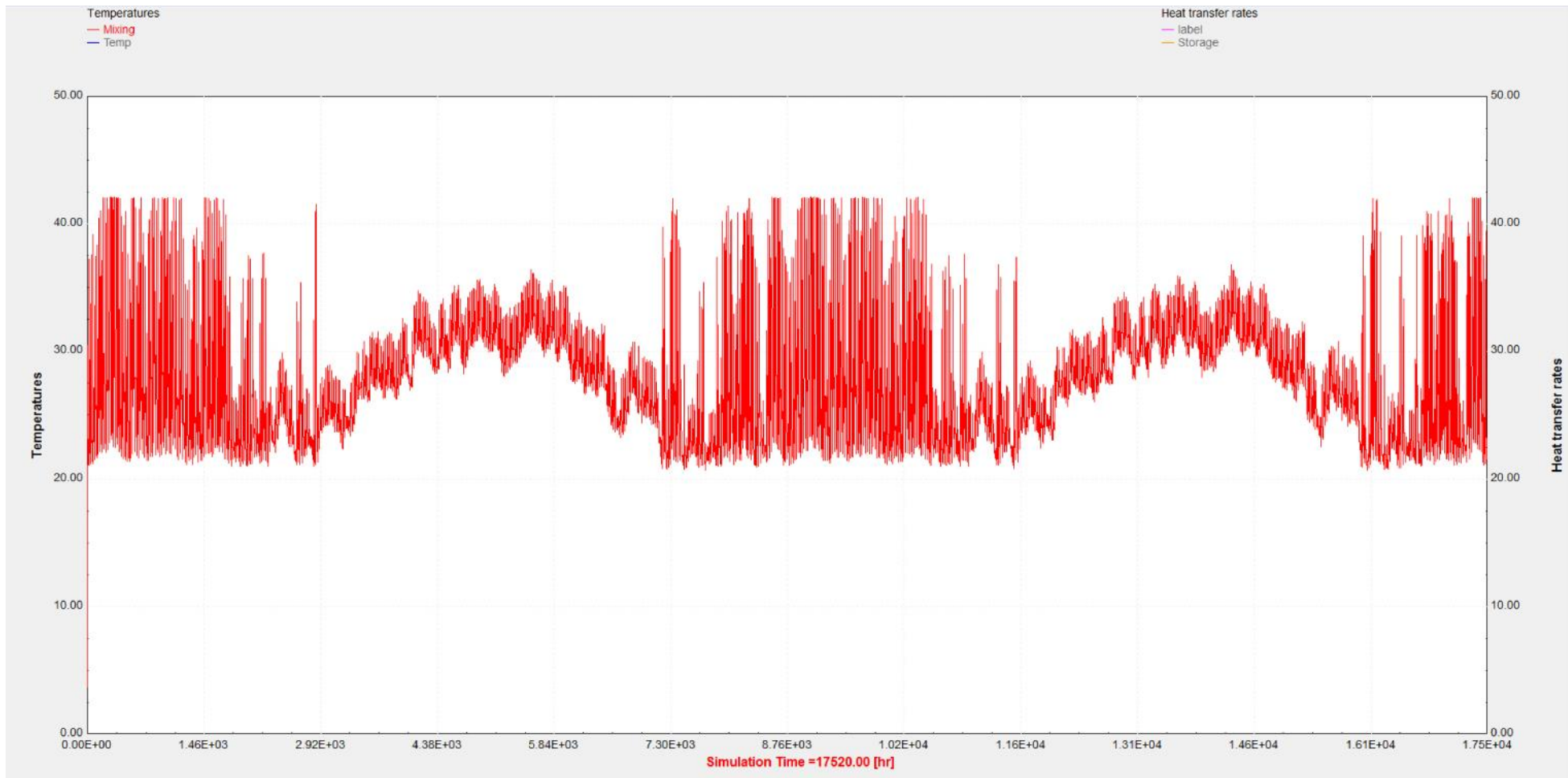


**Εικόνα 2:** Θερμοκρασίες αέρα χώρου κατά την χειμερινή περίοδο (1η Νοεμβρίου - 31 Απριλίου)



Εικόνα 3: Απαιτούμενη ενέργεια από βοηθητική πηγή



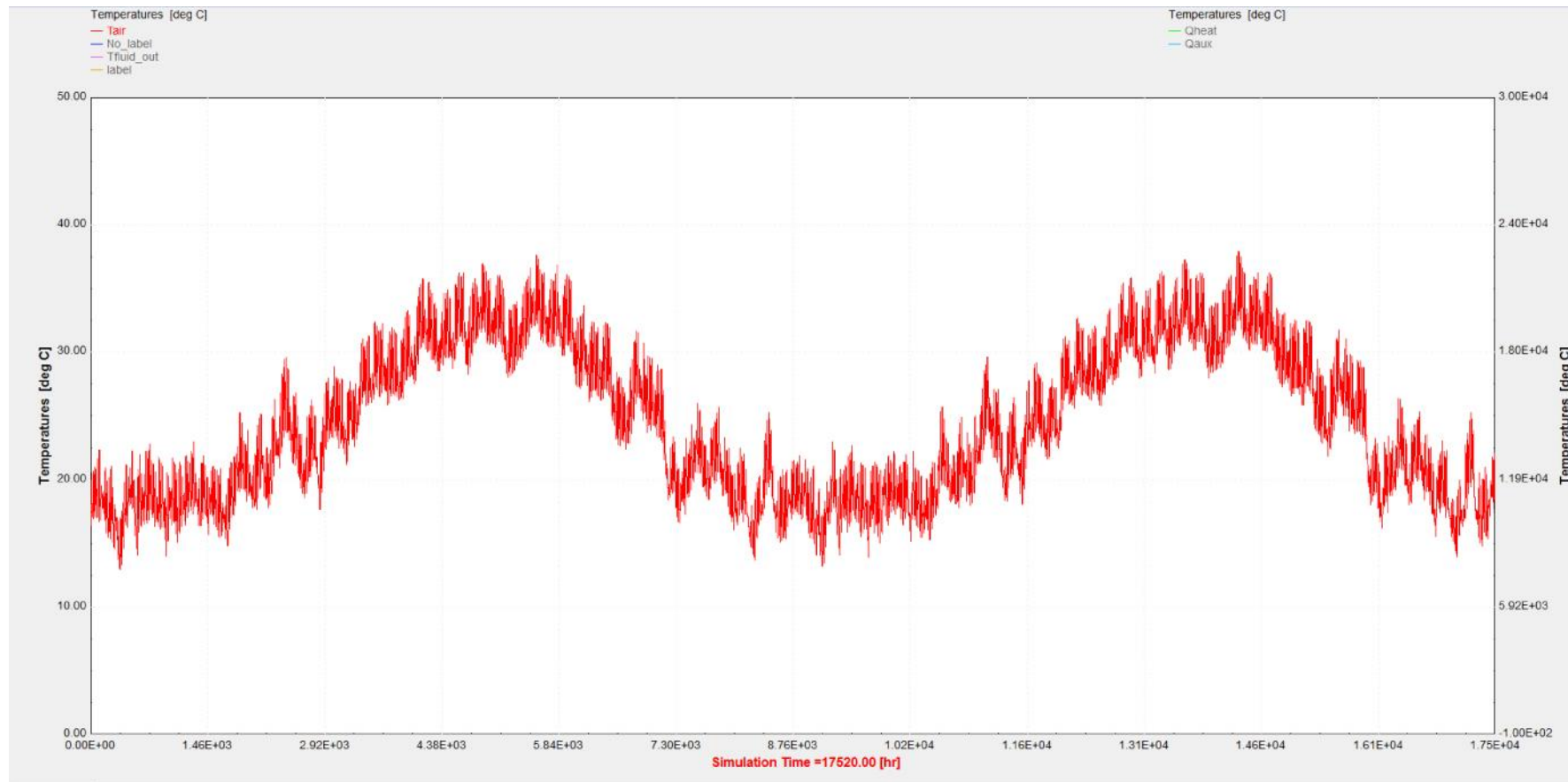


Εικόνα 4: Θερμοκρασία εισόδου νερού στην ενδοδαπέδια

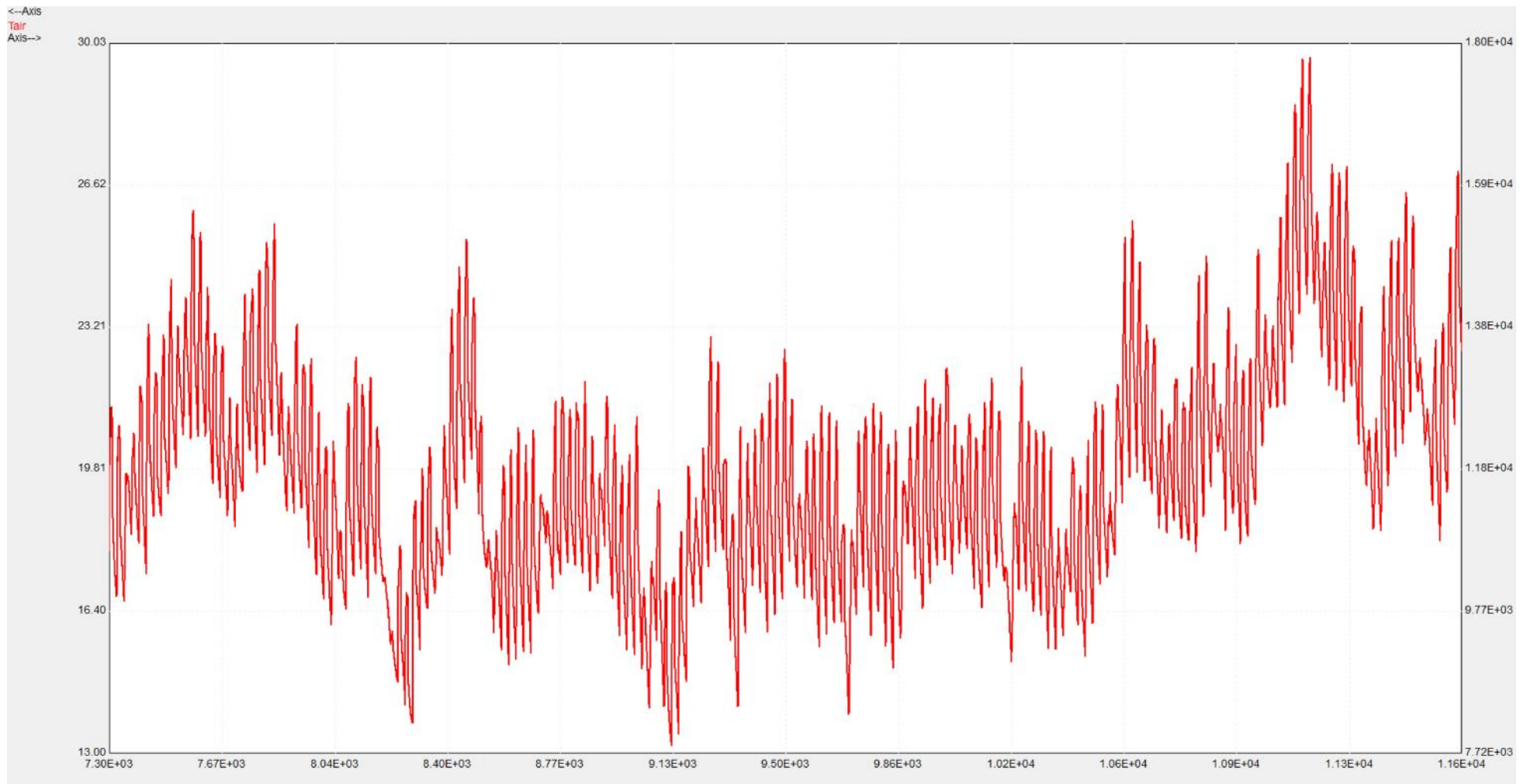


## 6.2.6 ΔΟΚΙΜΗ Νο 6

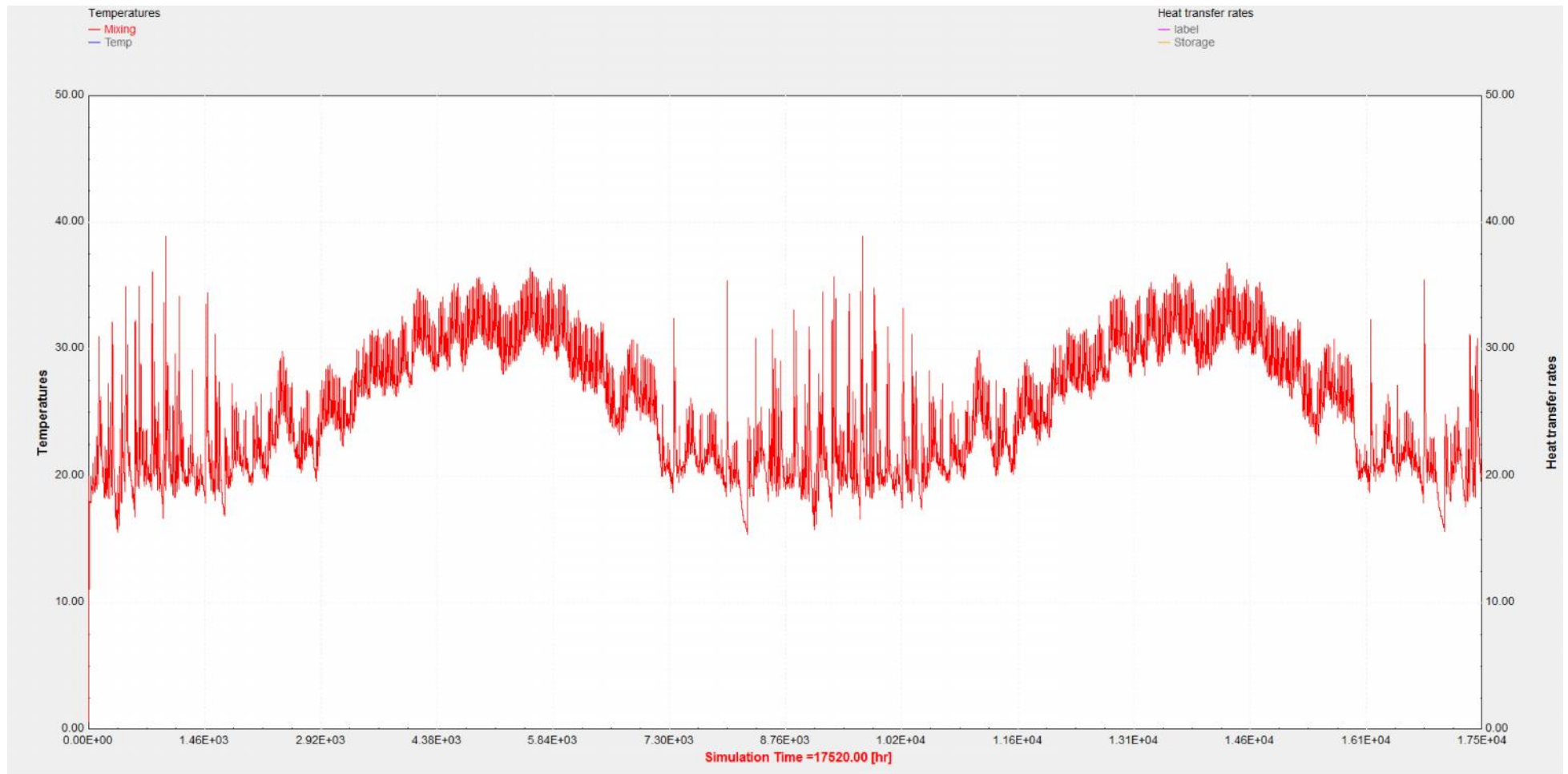
(**ΔΑΠΕΔΟ ΜΑΡΜΑΡΟ**/ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΣΩΛΗΝΩΝ 15CM / ΜΟΝΩΣΗ ΔΑΠΕΔΟΥ 5CM / **ΚΛΕΙΣΤΗ ΒΟΗΘΗΤΙΚΗ ΠΗΓΗ**)



**Εικόνα 1:** Θερμοκρασία αέρα χώρου (δάπεδο μάρμαρο, απόσταση σωλήνων 15cm, μόνωση 5cm, κλειστή βοηθητική πηγή)



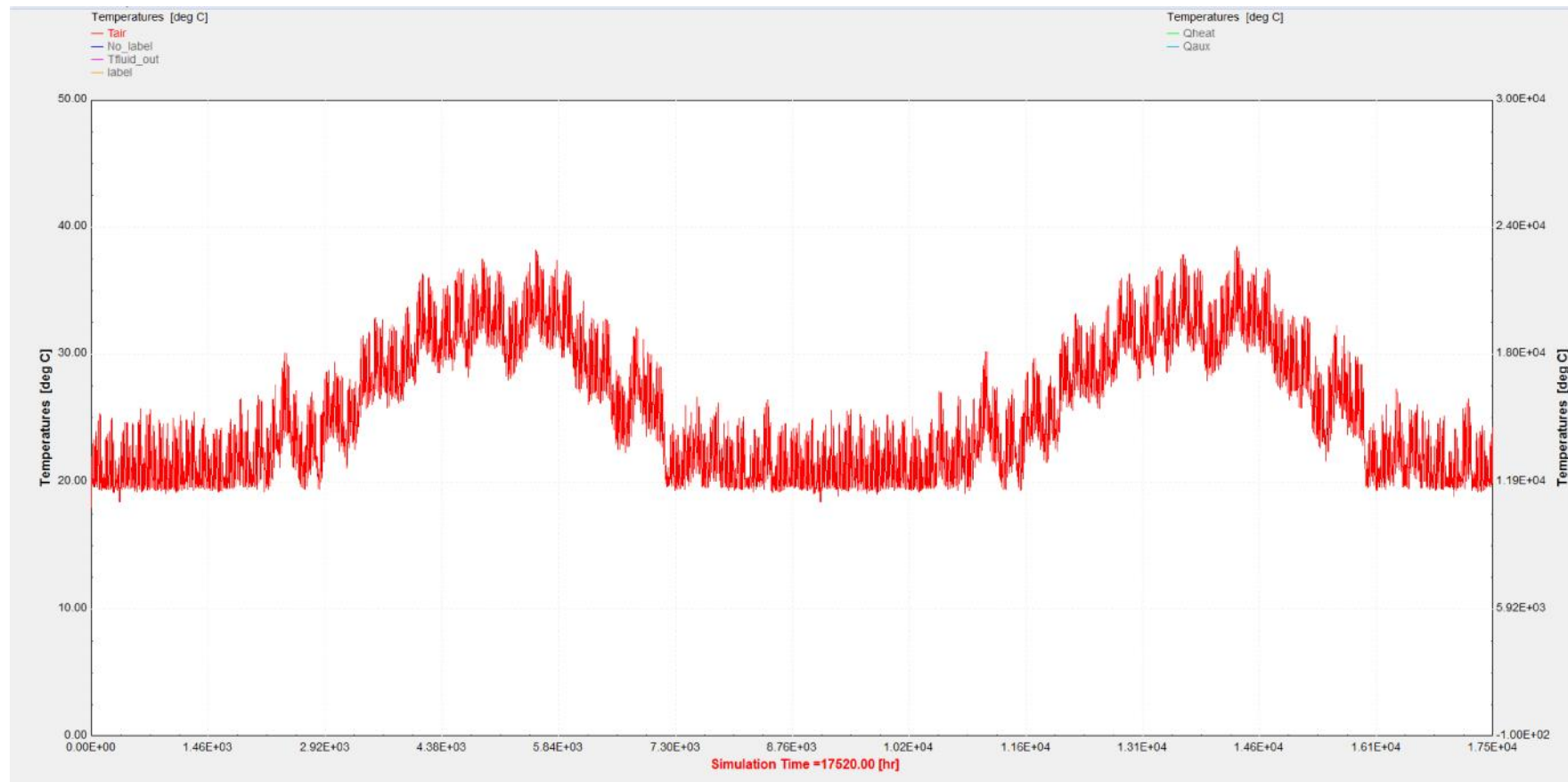
**Εικόνα 2:** Θερμοκρασίες αέρα χώρου κατά την χειμερινή περίοδο (1η Νοεμβρίου - 31 Απριλίου)



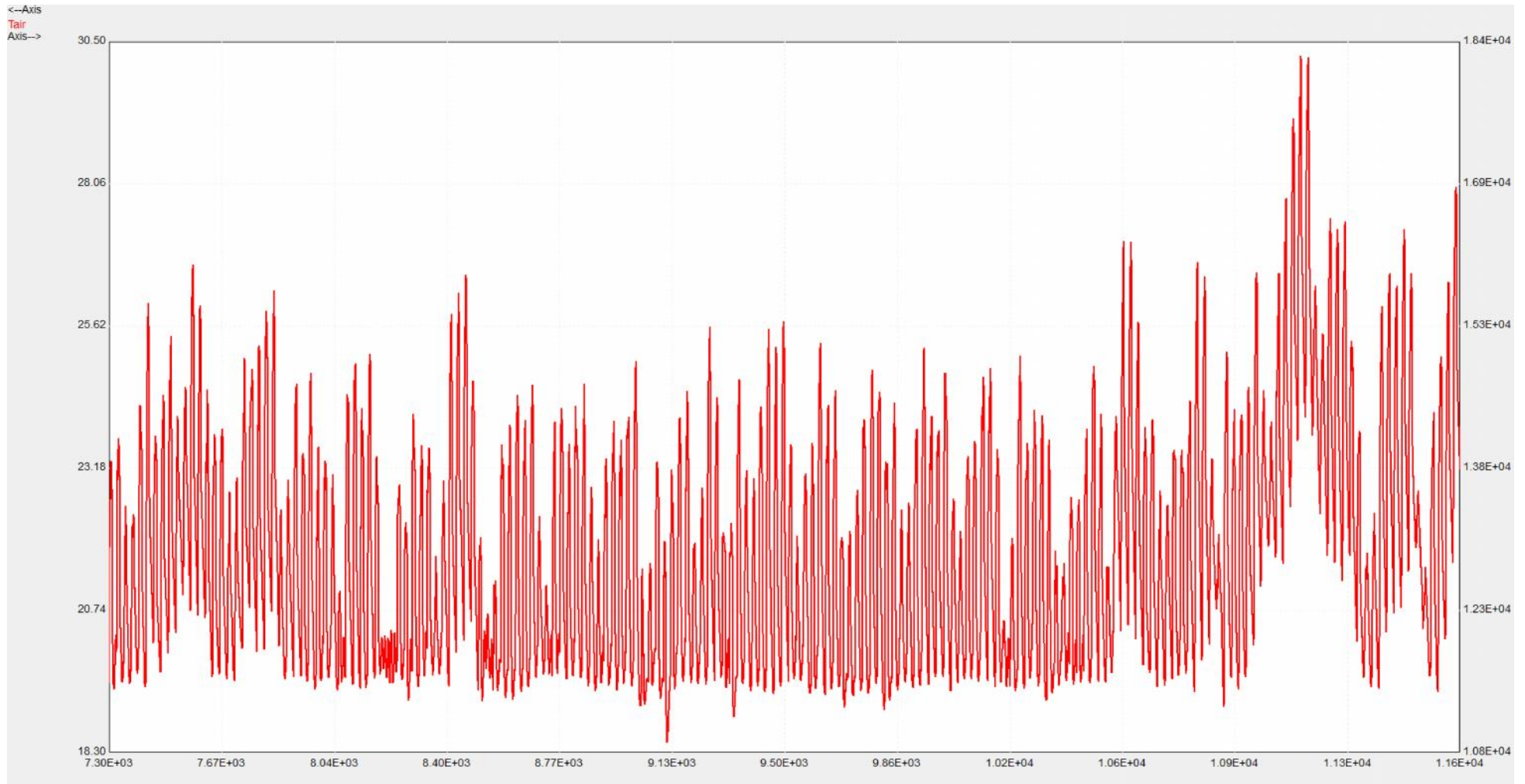
Εικόνα 3: Θερμοκρασία εισόδου νερού στην ενδοδαπέδια

## 6.2.7 ΔΟΚΙΜΗ Νο 7

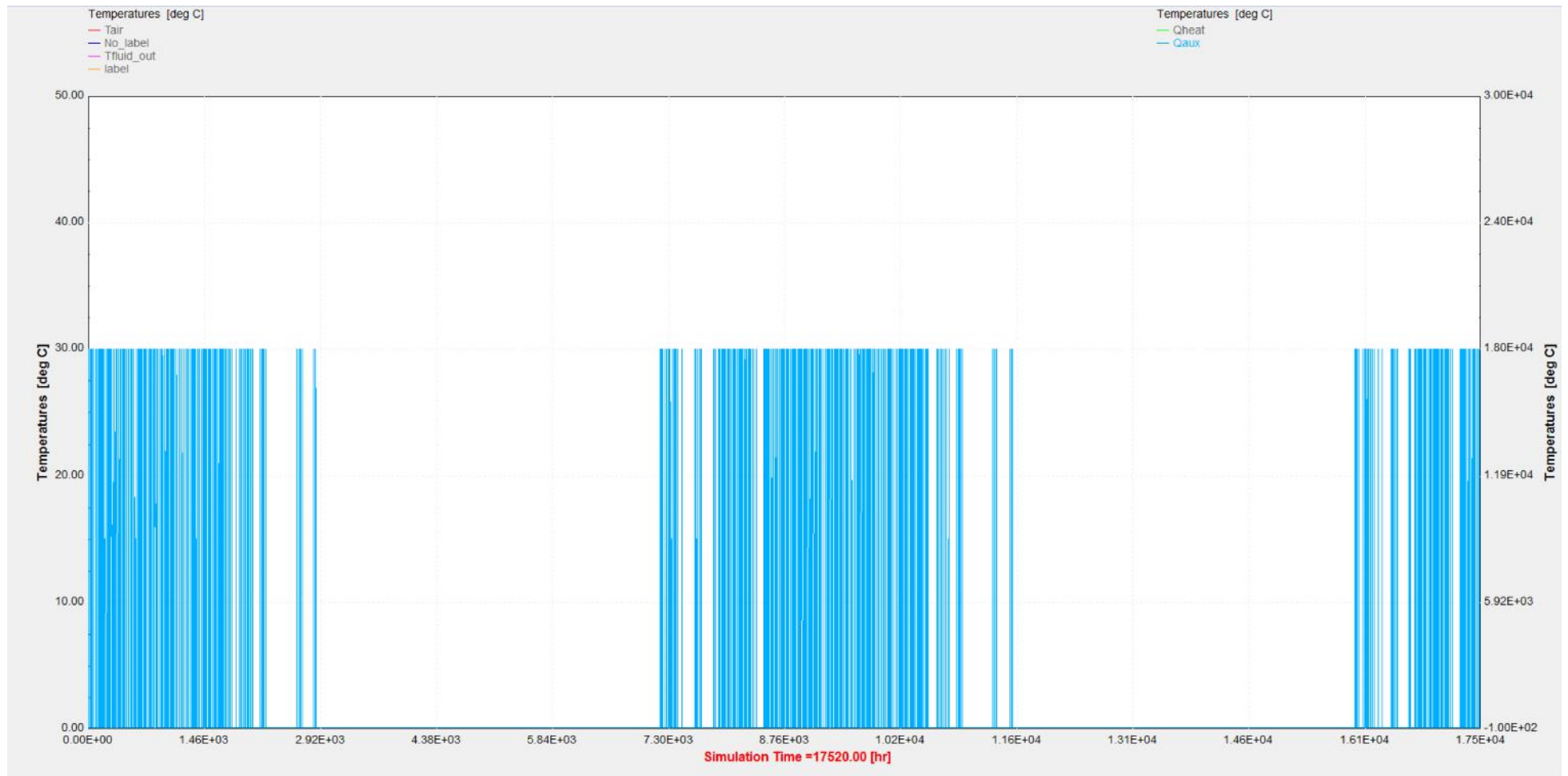
(ΔΑΠΕΔΟ ΞΥΛΟ/ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΣΩΛΗΝΩΝ 15CM/ ΜΟΝΩΣΗ ΔΑΠΕΔΟΥ 5CM)



**Εικόνα 1:** Θερμοκρασία αέρα χώρου (δάπεδο ξύλο, απόσταση σωλήνων 15cm, μόνωση δαπέδου 5cm)

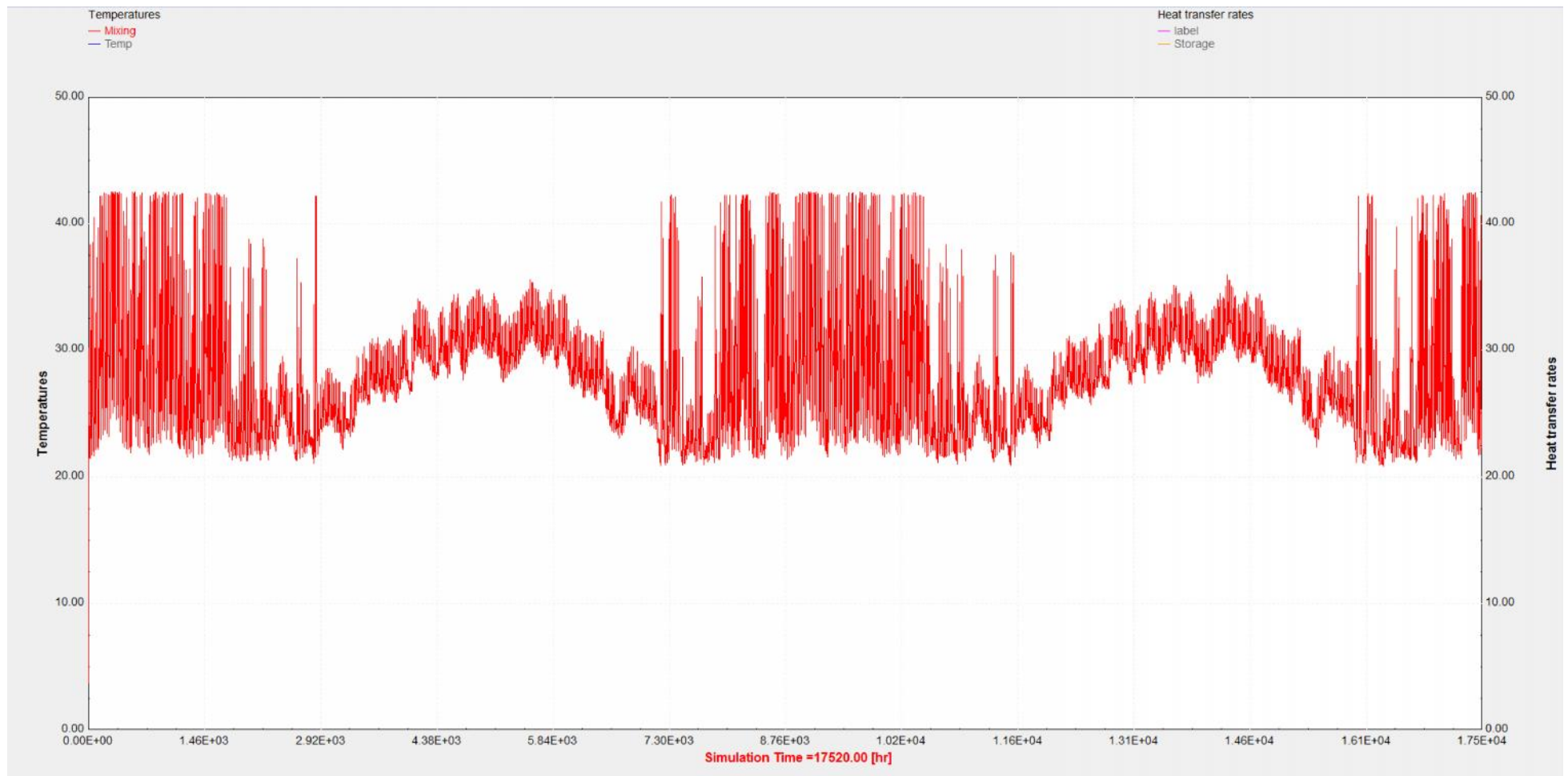


**Εικόνα 2:** Θερμοκρασίες αέρα χώρου κατά την χειμερινή περίοδο (1η Νοεμβρίου - 31 Απριλίου)



**Εικόνα 3:** Απαιτούμενη ενέργεια από βοηθητική πηγή





Εικόνα 4: Θερμοκρασία εισόδου νερού στην ενδοδαπέδια

### 6.3 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η ισχύς των κυκλωμάτων της ενδοδαπέδιας θέρμανσης εξαρτάται άμεσα από την απόσταση των σωλήνων του κυκλώματος (pipe spacing). Η απόσταση αυτών είναι συνήθως σε τυποποιημένα αποστάσεις παράγωγες των 5cm. Όσο αυξάνει η απόσταση των σωλήνων τόσο μικραίνει και η ισχύς του κυκλώματος ανά τετραγωνικό διάστρωσης ( $W/m^2$ ).
- Στην συγκεκριμένη κατοικία έχει επιλεγεί μόνωση ανάλογη με τον κανονισμό ενεργειακής αναβάθμισης των κτηρίων (Κ.ΕΝ.Α.Κ.). Αν μεταβάλλουμε τα μεγέθη της θερμομόνωσης, αντίστοιχα μεταβάλλεται αντίστροφα και η απόσταση διάστρωσης των σωλήνων του ενδοδαπέδιου κυκλώματος (π.χ. αν η κατοικία διαθέτει χειρότερη θερμομόνωση, τότε η διάστρωση του κυκλώματος γίνεται πυκνότερη για καλυφθούν οι αυξημένες θερμικές απώλειες).
- Επίσης, όσο αυξάνει η απόσταση διάστρωσης των σωλήνων το σύστημα χρειάζεται να προσάγει υψηλότερες θερμοκρασίες για να διατηρηθεί η θερμοκρασία του χώρου.
- Η ενδοδαπέδια θέρμανση λειτουργεί κατά 80% ακτινοβολία και κατά 20% με συναγωγή. Αυτός είναι και ο βασικός λόγος που θέρμανση ενός χώρου είναι ομοιόμορφη και δεν παρατηρούνται ρεύματα αέρα. Για να επιτευχθεί αυτό χρειάζεται να «φορτίσει» το δάπεδο με θερμική ενέργεια. Λόγω αδράνειας του συστήματος ενδέχεται να παρατηρηθεί ότι όσο αυξάνει η απόσταση των σωλήνων, παρατηρείται μία μεγαλύτερη «βύθιση» της θερμοκρασίας του χώρου λόγω της αδράνειας στην εκκίνηση της ενδοδαπέδιας.
- Η επιλογή της τελικής επιφάνειας του δαπέδου (μάρμαρο, ξύλο, πλακάκι, κλπ.), παίζει σημαντικό ρόλο στην θερμική συμπεριφορά του ενδοδαπέδιου κυκλώματος. Αν συγκρίνουμε για παράδειγμα την δοκιμή Νο 5 Με την δοκιμή Νο 7, θα διαπιστώσουμε λόγω της χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας του ξύλου το κύκλωμα με την πυκνότερη διάστρωση σωλήνων, συμπεριφέρεται χειρότερα ενεργειακά από την πιο αραιή διάστρωση σωλήνων με τελικό δάπεδο μάρμαρο. Παρατηρούμε, δηλαδή, "βύθιση" της θερμοκρασίας και υπερθερμάνσεις λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιών που έχουν "ζητηθεί" από το ενδοδαπέδιο κύκλωμα. Η



υπερθέρμανση του χώρου οφείλεται στην αργή μετάδοση της θερμότητας από την ενδοδαπέδια στον χώρο.

- Σημαντικό ρόλο στην θερμική συμπεριφορά του δαπέδου παίζει και το πάχος της μόνωσης που έχει επιλεγεί να τοποθετηθεί κάτω από τα κυκλώματα της ενδοδαπέδιας θέρμανσης (η πυκνότητα της μόνωσης είναι κατ' ελάχιστον 25-30kg/m<sup>3</sup> για να εξασφαλίζεται η αντοχή στη φόρτιση του τελικού δαπέδου από έπιπλα κλπ.). Η μετάδοση της θερμότητας γύρω από τον σωλήνα γίνεται ομοιόμορφα & ακτινικά. Αν το πάχος της μόνωσης που έχει επιλεγεί κάτω από την ενδοδαπέδια θέρμανση είναι μικρό, τότε ένα μέρος της θερμότητας οδηγείται στην κάτω δομική πλάκα του κτηρίου, καθυστερώντας την λειτουργία της θέρμανσης. Αν αυξηθεί το πάχος της μόνωσης, τότε επιταχύνεται η θέρμανση του χώρου.
- Σημαντικό!!! Όταν η μεταξύ απόσταση των σωλήνων είναι 10 ή 15cm (pipe spacing), το ύψος της τσιμεντοκονίας έχει ληφθεί ίσο με 0,055m (ή 5,5cm). Όταν η απόσταση των σωλήνων γίνει 20cm τότε απαιτείται η αλλαγή του ύψους της τσιμεντοκονίας ίσο με 0,060m (ή 6,0cm), διαφορετικά το μοντέλο "μπλοκάρει" και δεν γίνεται εξομοίωση των συνθηκών. Σε κάθε περίπτωση όμως το ύψος της τσιμεντοκονίας δεν πρέπει να ξεπεράσει το ύψος των 8cm, διότι - πρακτικά - δεν μεταφέρεται η θερμότητα στο δάπεδο.



**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. **Μιχάλης Βραχόπουλος**, *Αναλυτική προσέγγιση κεντρικών θερμάνσεων*, Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης
2. **Β.Η. Σελούντος**, *Θέρμανση – Κλιματισμός*, Εκδόσεις Τεκδοτική
3. **Κίμων Α. Αντωνόπουλος**, *Θερμικά-Ηλιακά Συστήματα, Μέρος Πρώτο*, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 2004
4. *TRNSYS 16 Manual*
5. *TRNSYS 16 Manual of TESS Library*
6. **Διπλωματική εργασία του φοιτητή Χρήστου Στεργίου**, *Προσομοίωση της Ενεργειακής Συμπεριφοράς Κτηρίου Γραφείων στην Αθήνα με Χρήση του Υπολογιστικού Πακέτου TRNSYS*, Επιβλέποντες: Κίμων Α. Αντωνόπουλος, Χρήστος Τζιβανίδης, Αθήνα 2007
7. **Διπλωματική εργασία του φοιτητή Παναγιώτη Τσεκούρα**, *Παραμετρική μελέτη θέρμανσης χώρων με εποχιακή αποθήκευση με χρήση του προγράμματος TRNSYS*, επιβλέποντες: Κίμων Αντωνόπουλος, Αθήνα 2008
8. *Link ιστοσελίδας [http://www.volker-quaschnig.de/articles/fundamentals4/index\\_e.php](http://www.volker-quaschnig.de/articles/fundamentals4/index_e.php)*
9. **REHAU Ε.Π.Ε ΤΜΗΜΑ ΚΤΙΡΙΑΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ: ΟΔΗΓΙΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΝΔΟΔΑΠΕΔΙΑΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ**