



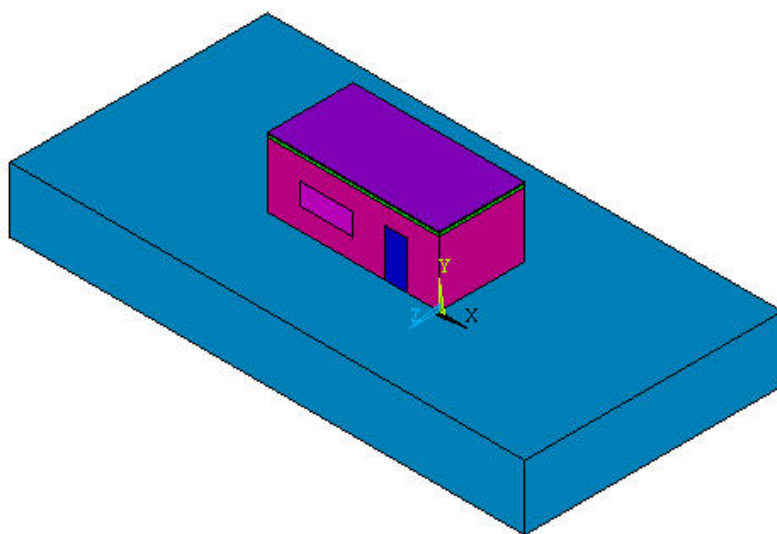
**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΜΕΛΕΤΗ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ**  
**ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**του**

**ΚΑΤΣΙΓΙΑΝΝΗ ΙΩΑΝΝΗ**



**ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:**  
**ΤΣΟΥΤΣΟΣ ΘΕΟΧΑΡΗΣ (Επιβλέπων)**  
**ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ ΑΦΡΟΔΙΤΗ**  
**ΧΡΗΣΤΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ**

**ΧΑΝΙΑ**  
**ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2005**

## **Ευχαριστίες**

Για την εκπόνηση της εργασίας αυτής, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά:

- Τον Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης και επιβλέπων της διπλωματικής κ. Θεοχάρη Τσούτσο
- Τον Καθηγητή του ΤΕΙ Ηρακλείου κ. Δημήτρη Χρηστάκη, ο οποίος είχε και την ιδέα για το θέμα της εργασίας
- Τη διδάσκουσα του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης κ. Αφροδίτη Παπαδοπούλου
- Τον Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης κ. Παύλο Γεωργιάκη
- Τον Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης κ. Νίκο Μπιλάλη
- Τον Καθηγητή του ΤΕΙ Ηρακλείου κ. Μιχάλη Κτενιαδάκη
- Τους φίλους μου όλους

Η εργασία είναι αφιερωμένη στους γονείς μου

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>1</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΤΙΡΙΩΝ</b>	<b>3</b>
2.1 Ιστορική Αναδρομή	3
2.2 Ηλιακή Γεωμετρία	4
2.3 Θερμική Μάζα	6
2.4 Χωροθέτηση και Μορφή Κτιρίου	7
2.5 Θερμική Άνεση	9
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ</b>	<b>13</b>
3.1 Εισαγωγή	13
3.2 Συστήματα Άμεσου Κέρδους	13
3.3 Συστήματα Έμμεσου Κέρδους	15
3.3.1 Τοίχος Μάζας	16
3.3.2 Τοίχος Μάζας με Αερισμό (Τοίχος Trombe)	17
3.3.3 Τοίχος Νερού	20
3.4 Συστήματα Απομονωμένου Κέρδους	20
3.4.1 Προσαρτημένος Ηλιακός Χώρος (Θερμοκήπιο)	21
3.5 Συστήματα Διπλού Κέρδους	23
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΔΡΟΣΙΣΜΟΥ</b>	<b>25</b>
4.1 Εισαγωγή	25
4.2 Θερμική Προστασία	27
4.2.1 Μικροκλίμα	27
4.2.2 Σκίαση	28
4.2.3 Μορφή Κτιρίου	28
4.3 Θερμική Απόσβεση	29
4.4 Θερμική Απόρριψη	29
4.4.1 Αερισμός	29
4.4.2 Δροσισμός από το Έδαφος	32
4.4.3 Ψύξη με Εξάτμιση	33
4.4.4 Δροσισμός με Ακτινοβολία	35

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5:</b>	<b>ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ</b>	<b>37</b>
5.1	Εισαγωγή	37
5.2	Οπτική Άνεση στο Εσωτερικό των Κτιρίων	37
5.2.1	Παράγοντας Φυσικού Φωτισμού (ΠΦΦ)	38
5.2.2	Θάμβωση	39
5.3	Συστήματα Φυσικού Φωτισμού	40
5.4	Αίθρια	42
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6:</b>	<b>ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣΗΣ</b>	<b>45</b>
6.1	Συστήματα Εξοικονόμησης Ενέργειας	45
6.1.1	Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα	45
6.1.1.1	Φωτοβολταϊκά (Φ/Β) Συστήματα	45
6.1.1.2	Ηλιακοί Συλλέκτες	47
6.1.2	Βιοδυναμικά Τζάκια και Σόμπες	48
6.1.3	Άλλα Συστήματα Εξοικονόμησης Ενέργειας	50
6.2	Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου	50
6.3	Επικίνδυνα και Οικολογικά Υλικά Δόμησης	51
6.3.1	Ραδόνιο	52
6.4	Γεωβιολογία	53
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7:</b>	<b>ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ</b>	<b>55</b>
7.1	Μέθοδος Πεπερασμένων Στοιχείων	55
7.2	Μετάδοση Θερμότητας	56
7.2.1	Αγωγή	57
7.2.2	Συναγωγή	58
7.2.3	Ακτινοβολία	58
7.3	Ρευστομηχανική	59
7.3.1	Εξίσωση Συνέχειας	60
7.3.2	Εξίσωση Ορμής	60
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8:</b>	<b>ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ANSYS</b>	<b>63</b>
8.1	Εισαγωγή	63
8.2	Σχεδίαση Κτιρίου	65
8.3	Ορισμός Φορτίων	68
8.4	Επίλυση	74



<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9:</b>	<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ</b>	<b>75</b>
9.1	Εισαγωγή	75
9.2	Χειμερινή Περίοδος	76
9.2.1	Πάχος Τοίχου 0.3 m	77
9.2.2	Πάχος Τοίχου 0.5 m	83
9.2.3	Πάχος Τοίχου 0.8 m	89
9.3	Θερινή Περίοδος με Δυνατό Άνεμο	95
9.3.1	Νότιος Άνεμος (10 m/sec)	96
9.3.2	Νότιος Άνεμος (10 m/sec) με Μεγαλύτερους Φεγγίτες	104
9.3.3	Βόρειος Άνεμος (10 m/sec)	112
9.4	Θερινή Περίοδος με Νηνεμία	120
9.4.1	Πάχος Τοίχου 0.5 m	121
9.4.2	Πάχος Τοίχου 0.8 m	127
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10:</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>	<b>133</b>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο κτιριακός τομέας είναι υπεύθυνος για το 40% περίπου της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης σε εθνικό επίπεδο. Η κατανάλωση αυτή, είτε σε μορφή θερμικής ενέργειας (πετρέλαιο, φυσικό αέριο), είτε σε μορφή ηλεκτρικής ενέργειας, έχει ως αποτέλεσμα τόσο τη σημαντική οικονομική επιβάρυνση λόγω του υψηλού κόστους ενέργειας, όσο και τη μεγάλη επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με ρύπους όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), που ευθύνεται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου [<http://www.cres.gr/kape>, 3/10/2005]. Η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης στα κτίρια επιτυγχάνεται με τον κατάλληλο σχεδιασμό των κτιρίων (βιοκλιματική αρχιτεκτονική), ξεπερνώντας σε πολλές περιπτώσεις το 50% [<http://www.spitia.gr>, 3/10/2005].

Η βιοκλιματική αρχιτεκτονική αφορά το σχεδιασμό κτιρίων και χώρων (εσωτερικών και εξωτερικών – υπαίθριων) με βάση το τοπικό κλίμα, με σκοπό την εξασφάλιση συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης, αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια και άλλες περιβαλλοντικές πηγές, αλλά και τα φυσικά φαινόμενα του κλίματος. Βασικά στοιχεία του βιοκλιματικού σχεδιασμού αποτελούν τα παθητικά συστήματα, τα οποία αποτελούν δομικά στοιχεία ενός κτιρίου. Τα παθητικά συστήματα λειτουργούν χωρίς μηχανολογικά εξαρτήματα ή πρόσθετη παροχή ενέργειας και με φυσικό τρόπο θερμαίνουν, αλλά και δροσίζουν τα κτίρια. Χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- Παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης
- Παθητικά συστήματα και τεχνικές φυσικού δροσισμού
- Συστήματα και τεχνικές φυσικού φωτισμού

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός ενός κτιρίου συνεπάγεται τη συνύπαρξη και συνδυασμένη λειτουργία όλων των παραπάνω συστημάτων, ώστε να συνδυάζουν θερμικά και οπτικά οφέλη καθ' όλη τη διάρκεια του έτους [<http://www.cres.gr/kape>, 3/10/2005].

Εκτός από τα παθητικά συστήματα, μια πολύ σημαντική μέθοδο εξοικονόμησης ενέργειας σε ένα βιοκλιματικό κτίριο αποτελούν και τα ενεργητικά συστήματα, που χρησιμοποιούν μηχανικά μέσα για τη θέρμανση ή το δροσισμό κτιρίων, αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια ή τις φυσικές δεξαμενές ψύξης. Στη κατηγορία αυτή ανήκουν οι ηλιακοί συλλέκτες θέρμανσης ή παροχής ζεστού νερού χρήσης, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, κτλ [ΦΕΚ 880 Β', 19.8.1998].

Η εγκατάσταση όλων των παραπάνω συστημάτων αυξάνει ελαφρά το συνολικό κόστος κατασκευής του κτιρίου, το οποίο όμως αποσβένεται από την περιορισμένη χρήση μονάδων συμβατικής θέρμανσης και κλιματιστικών μονάδων.

Η βιοκλιματική αρχιτεκτονική αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες της οικολογικής δόμησης, η οποία ασχολείται με την ενσωμάτωση των περιβαλλοντικών παραμέτρων στο επίπεδο των κτιριακών μονάδων μελετώντας τις ακόλουθες κατευθύνσεις [ΔΙΠΕ et al., 2000]:

- Τη μελέτη του δομημένου περιβάλλοντος και των προβλημάτων που αυτό δημιουργεί (αύξηση θερμοκρασίας, συγκέντρωση αέριων ρύπων, δυσκολία στην κυκλοφορία αέρα)
- Το σχεδιασμό των κτιρίων
- Την επιλογή των δομικών υλικών, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις θερμικές και οπτικές τους ιδιότητες, όσο και την τοξικολογική τους δράση.

Για τη μελέτη ενός βιοκλιματικού κτιρίου χρησιμοποιούνται κυρίως εμπειρικές τεχνικές ή υπολογιστικές μέθοδοι που βασίζονται σε απλοποιημένες παραδοχές. Τα τελευταία χρόνια έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται ακριβή υπολογιστικά μοντέλα που μπορούν να δώσουν αποτελέσματα για μια σειρά μεταβλητών όπως θερμοκρασία και ταχύτητα αέρα, η πίεση, η ενέργεια, η συγκέντρωση ρύπων, κλπ. Η λειτουργία των μοντέλων αυτών είναι αρκετά σύνθετη και για το λόγο αυτό δεν χρησιμοποιούνται συχνά.

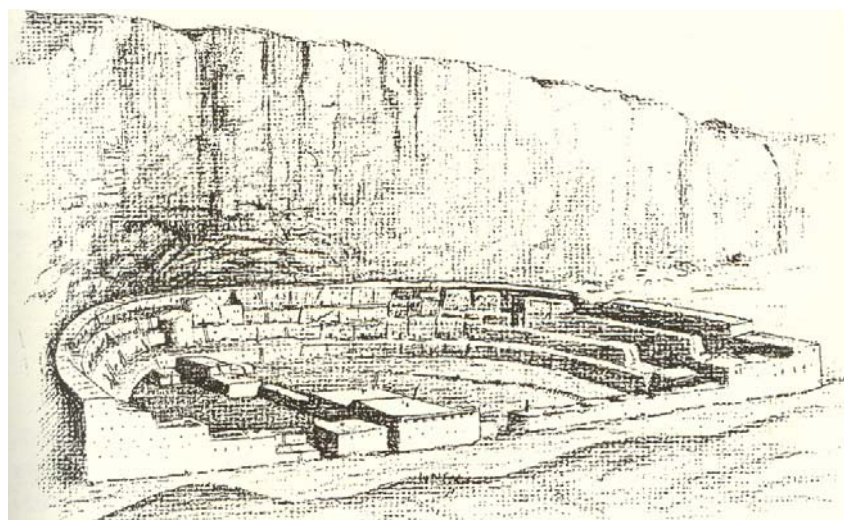
Σκοπός της παρούσης εργασίας είναι η εφαρμογή ενός τέτοιου μοντέλου, που χρησιμοποιεί τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, για τη δυναμική μελέτη (διάρκειας ενός 24ώρου) ενός βιοκλιματικού κτιρίου απλής σχεδίασης, παρέχοντας έτσι σημαντική βοήθεια στο μελετητή.

Η δομή της εργασίας έχει ως εξής: Στο Κεφάλαιο 2 αναφέρονται οι βασικές αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού κτιρίων. Στα Κεφάλαια 3, 4 και 5 παρουσιάζονται τα κυριότερα παθητικά συστήματα θέρμανσης, φυσικού δροσισμού και φυσικού φωτισμού, ενώ το Κεφάλαιο 6 ασχολείται με μερικά επιπλέον χαρακτηριστικά της οικολογικής δόμησης, όπως τα ενεργητικά συστήματα και τα οικολογικά υλικά δόμησης. Το Κεφάλαιο 7 περιγράφει την αρχή της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων και δίνει τις βασικές εξισώσεις που διέπουν την εφαρμογή μας. Το Κεφάλαιο 8 αφορά τη διαδικασία μοντελοποίησης του βιοκλιματικού κτιρίου με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, ενώ στο Κεφάλαιο 9 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων που έγιναν. Η εργασία ολοκληρώνεται με το Κεφάλαιο 10, όπου αναφέρονται τα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν.

## **ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΤΙΡΙΩΝ**

### **2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ**

Από τα αρχικά στάδια της ανθρώπινης ιστορίας οι σπηλιές χρησιμοποιήθηκαν ως ένας έτοιμος και φυσικά διαθέσιμος χώρος κατοικίας, που παρείχε προστασία από υψηλές και χαμηλές θερμοκρασίες, καθώς και από ανεπιθύμητες καιρικές συνθήκες. Αργότερα, με τη μετακίνηση των ανθρώπων σε κτίρια, η αρχιτεκτονική αναπτύχθηκε ως μία τέχνη, καθώς οι ανάγκες και απαιτήσεις των ανθρώπων άλλαζαν με τη πάροδο του χρόνου, τη τεχνογνωσία και τη διαθεσιμότητα των εργαλείων [Santamouris et al., 1996]. Στοιχεία βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής παρουσιάζονται στις μελέτες του Ιππόδαμου τον 5<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ.. Αργότερα, οι Ρωμαίοι ήταν οι πρώτοι που συνέλλαβαν την ιδέα της κεντρικής θέρμανσης, ενώ παράλληλα ήταν οι πρώτοι που χρησιμοποίησαν διαφανή υλικά στα παράθυρα. Οι Ινδιάνοι Ανασάζι στο Πουέμπλο Μπονίτο του Νέου Μεξικού κατασκεύασαν τον 7<sup>ο</sup> αιώνα μ.Χ. οικισμούς που ανταποκρινόνταν σε βιοκλιματικά κριτήρια (αμφιθεατρικοί και νότια προσανατολισμένοι – Σχήμα 2.1) [Τσιπήρας, 1996].

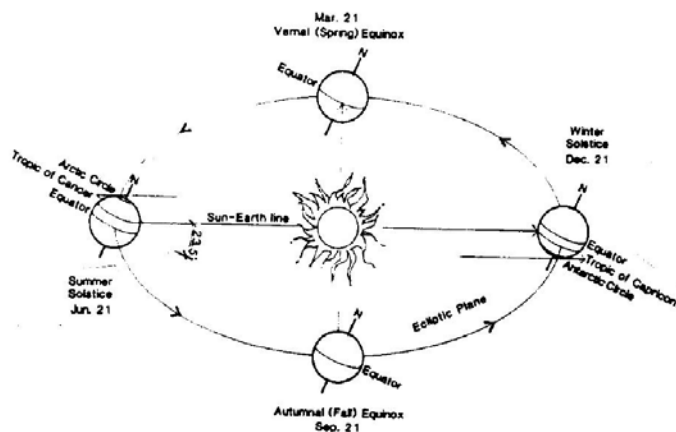


**Σχήμα 2.1:** Ο οικισμός του Πουέμπλο Μπονίτο στο Νέο Μεξικό των ΗΠΑ [Τσιπήρας, 1996]

Η εξέλιξη των βιοκλιματικών τεχνικών συνεχίστηκε από τους Βυζαντινούς, τους αρχιτέκτονες του Μεσαίωνα και της Αναγέννησης, τους κτίστες στα νησιά των Κυκλάδων, κτλ. Αποτέλεσμα των παραπάνω ήταν να έχει συσσωρευτεί ως τα μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα μια σημαντική εμπειρία για την κατασκευή κτιρίων με μειωμένες απαιτήσεις σε θέρμανση, ψύξη και τεχνητό φωτισμό. Όλα όμως ανατράπηκαν μετά το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, όταν εκατομμύρια άνθρωποι συγκεντρώθηκαν στα μεγάλα αστικά κέντρα, αναζητώντας στέγη σε πολυώροφα και συχνά κακοκτισμένα κτίρια. Η πετρελαϊκή κρίση του 1973 έβαλε για πρώτη φορά διλήμματα σχετικά με την εξοικονόμηση ενέργειας και την εξάντληση των πλουτοπαραγωγικών πόρων της Γης. Στο 1974 εμφανίζονται οι πρώτοι κανονισμοί θερμομόνωσης, ενώ από τα μέσα της δεκαετίας του 1980 η Ευρώπη ανακαλύπτει μαζικά τη συνιστώσα της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής, επιστρέφοντας έτσι στην εφαρμογή τεχνικών που χρησιμοποιούνταν ακόμα και στις αρχικές περιόδους του ανθρώπινου πολιτισμού [http://www.spitia.gr, 3/10/2005].

## 2.2 ΗΛΙΑΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ

Η ηλιακή γεωμετρία αναφέρεται στη μελέτη της θέσης του Ηλίου σε σχέση με δεδομένο σημείο πάνω στη Γη και κατά ορισμένο χρονικό διάστημα. Συνδέεται με τις δυο κύριες κινήσεις της Γης, την ημερήσια περιστροφή γύρω από τον άξονα Βορρά-Νότου (B-N) και την ετήσια περιστροφή γύρω από τον Ήλιο (ελλειπτικής τροχιάς). Βασικό στοιχείο της ηλιακής γεωμετρίας είναι ότι ο άξονας B-N της Γης αποκλίνει από την κάθετο στο επίπεδο της ελλειπτικής τροχιάς κατά γωνία  $23.5^\circ$ . Έτσι η γωνία μεταξύ του άξονα B-N και των ηλιακών ακτινών (που ονομάζεται απόκλιση) μεταβάλλεται στη διάρκεια του έτους από  $90^\circ + 23.5^\circ = 113.5^\circ$  έως  $90^\circ - 23.5^\circ = 66.5^\circ$ . Η τιμή της απόκλισης είναι μέγιστη στις 21/12 (χειμερινό ηλιοστάσιο), ελάχιστη στις 21/6 (θερινό ηλιοστάσιο) και  $90^\circ$  στις 21/3 και 21/9 (εαρινή και φθινοπωρινή ισημερία), όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.2 [Στασινόπουλος, 2001].

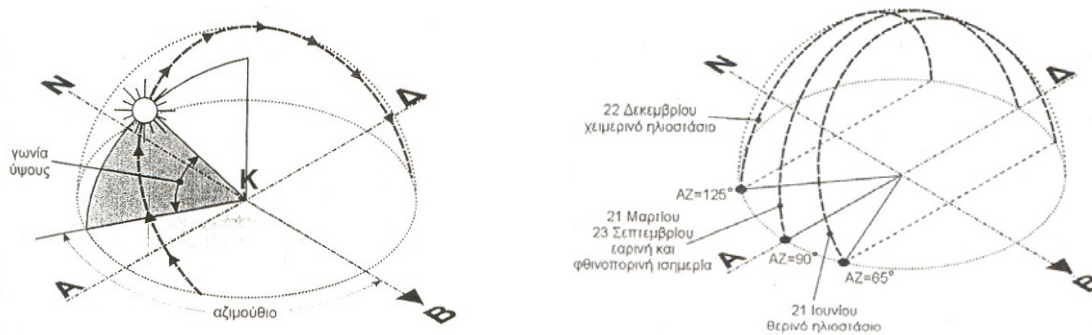


Σχήμα 2.2: Ετήσια περιστροφή της Γης γύρω από τον Ήλιο [Στασινόπουλος, 2001]

Η γνώση της διεύθυνσης των ηλιακών ακτινών σε διαφορετικές ώρες και ημέρες του έτους, ως προς ένα δεδομένο σημείο, είναι ένα πολύ βασικό στοιχείο που πρέπει να έχουμε υπόψη μας κατά τη μελέτη ενός βιοκλιματικού σπιτιού. Η διεύθυνση των ηλιακών ακτινών μπορεί να βρεθεί με τη βοήθεια των δύο παρακάτω γωνιών (Σχήμα 2.3 – αριστερά) [Τσιπήρας et al., 2005]:

- Της γωνίας ύψους, που είναι η γωνία μεταξύ μιας ακτίνας και της οριζόντιας προβολής της
- Του αζιμουθίου, που είναι η γωνία της οριζόντιας προβολής της ακτίνας με το Βορρά

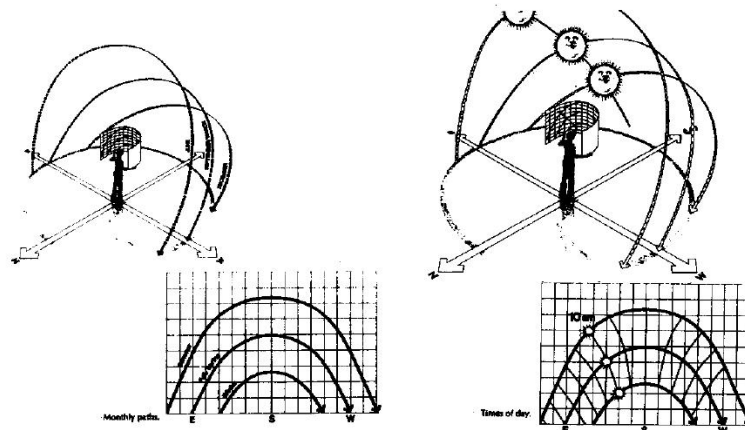
Στο δεξί μέρος του Σχήματος 2.3 δείχνεται η φαινόμενη διαδρομή του Ηλίου για μια χώρα του βορείου ημισφαιρίου (όπως η Ελλάδα) κατά το θερινό και χειμερινό ηλιοστάσιο και την εαρινή και φθινοπωρινή ισημερία.



**Σχήμα 2.3:** Αριστερά: Γωνία ύψους και αζιμούθιο

Δεξιά: Φαινόμενη διαδρομή του ηλίου για τα ηλιοστάσια και τις ισημερίες [Τσιπήρας et al., 2005]

Για να γίνει πρακτικά η μελέτη της κίνησης του ηλίου στον ουράνιο θόλο είναι απαραίτητος ο μετασχηματισμός της ηλιακής τροχιάς από τον τρισδιάστατο χώρο σε ένα δυσδιάστατο διάγραμμα. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια των ηλιακών διαγραμμάτων. Στο Σχήμα 2.4 δείχνεται η διαδικασία κατασκευής ενός ηλιακού διαγράμματος.



**Σχήμα 2.4:** Κατασκευή ηλιακού διαγράμματος [Στασινόπουλος, 2001]

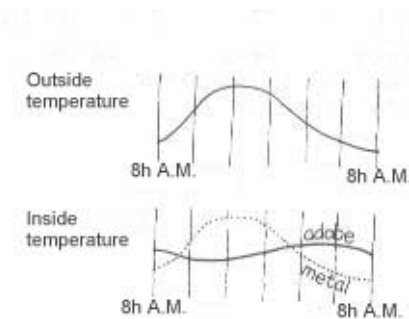
Η λήψη της ηλιακής ακτινοβολίας από μια επιφάνεια μπορεί να γίνει με τρεις διαφορετικούς τρόπους [Στασινόπουλος, 2001]:

- Με άμεση ακτινοβολία, που προέρχεται από τις ηλιακές ακτίνες
- Με διάχυτη ακτινοβολία, που προέρχεται από τον ουράνιο θόλο
- Με ανακλώμενη ακτινοβολία, που προέρχεται από το περιβάλλον

Η ολική ηλιακή ακτινοβολία είναι το άθροισμα των τριών παραπάνω τύπων. Η ποσοστιαία αναλογία τους εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως η γωνία ύψους, η καθαρότητα της ατμόσφαιρας και η ανακλαστικότητα του περιβάλλοντος.

## 2.3 ΘΕΡΜΙΚΗ ΜΑΖΑ

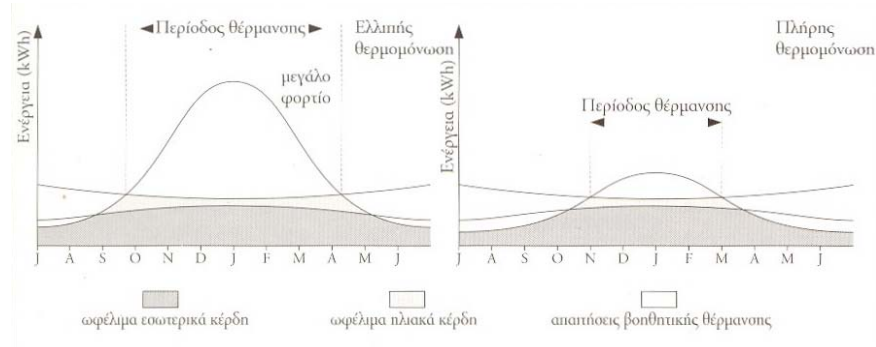
Το κέλυφος ενός κτιρίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αποθήκη θερμότητας. Το δομικό στοιχείο στο οποίο αποθηκεύεται η θερμότητα ονομάζεται θερμική μάζα. Η θερμική μάζα εντοπίζεται κυρίως στους τοίχους, στις οροφές και στα δάπεδα και το μέγεθός της εξαρτάται από τη γεωμετρία και τη θερμοχωρητικότητα των υλικών. Η μεγάλη θερμική μάζα ενός κτιρίου μπορεί να δράσει ευεργετικά τόσο στη διάρκεια του καλοκαιριού όσο και στη διάρκεια της ψυχρής περιόδου. Η διαθέσιμη ενέργεια από τα αυξημένα ηλιακά κέρδη στη διάρκεια της ημέρας αποθηκεύεται και αργότερα απελευθερώνεται σταδιακά στο εσωτερικό του κτιρίου (Σχήμα 2.5). Στη διάρκεια του χειμώνα, η αποθηκευμένη θερμότητα απελευθερώνεται στο εσωτερικό του κτιρίου αργά το απόγευμα ή το βράδυ, όταν χρειάζεται περισσότερο. Με τον τρόπο αυτόν καλύπτεται ένα μέρος των θερμικών αναγκών του κτιρίου. Με την ίδια διαδικασία, το καλοκαίρι, η θερμική μάζα καθυστερεί την απόδοση της θερμότητας στο εσωτερικό του κτιρίου κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η αποθηκευμένη θερμότητα απελευθερώνεται αργότερα και σταδιακά στο εσωτερικό του κτιρίου ή στο εξωτερικό περιβάλλον (όταν η θερμοκρασία του είναι χαμηλότερη) [ΔΙΠΕ et al., 2000].



**Σχήμα 2.5:** Επίδραση της θερμικής μάζας στην εσωτερική θερμοκρασία του κτιρίου  
[<http://www.geocities.com/ResearchTriangle/Facility/8776/>, 29/9/2005]

Οι θερμικές απώλειες ενός κτιρίου μπορούν να περιοριστούν ακόμη περισσότερο με την προσθήκη θερμομόνωσης στο κέλυφός του, δηλαδή υλικών με μεγάλη θερμική αντίσταση. Η θερμομόνωση μπορεί να είναι εσωτερική ή εξωτερική και παρόλο που αυξάνει

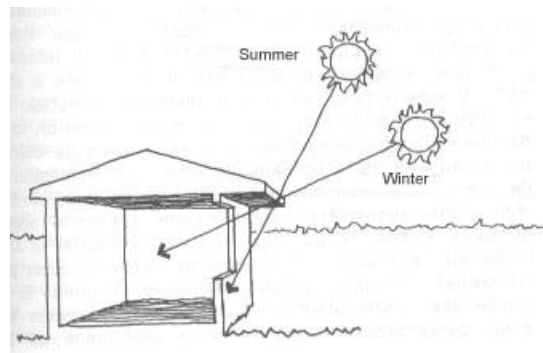
ελαφρά το κατασκευαστικό κόστος, μειώνει σημαντικά τα λειτουργικά έξοδα του κτιρίου χάρη στην αναμενόμενη εξοικονόμηση ενέργειας (Σχήμα 2.6) [<http://www.spitia.gr>, 3/10/2005].



**Σχήμα 2.6:** Εξοικονόμηση ενέργειας από θερμομόνωση κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996]

## 2.4 ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΚΑΙ ΜΟΡΦΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

Η πρώτη προτεραιότητα κατά το σχεδιασμό ενός βιοκλιματικού κτιρίου είναι η κατασκευή νότιων ανοιγμάτων, καθώς με αυτό τον τρόπο γίνεται καλύτερη κατανομή των ηλιακών κερδών στο κτίριο, επιτυγχάνεται σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση, ενώ κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού μπορεί να εφαρμοστεί αποτελεσματικά ηλιοπροστασία με χρήση απλών οριζοντίων σκιάστρων (Σχήμα 2.7). Τα βόρεια ανοίγματα χρησιμοποιούνται κυρίως για την παροχή φυσικού φωτισμού καλής ποιότητας στο εσωτερικό του κτιρίου, καθώς επιτρέπουν την είσοδο μόνο της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας και όχι της άμεσης. Τα ανατολικά και δυτικά ανοίγματα δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερα πλεονεκτήματα και η ύπαρξη τους πρέπει να συνοδεύεται από χρήση εξωτερικών κατακόρυφων σκιάστρων [ΔΙΠΕ et al., 2000].

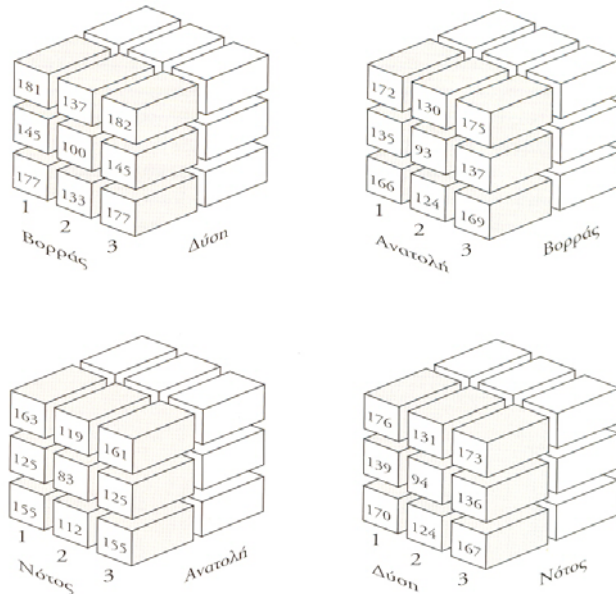


**Σχήμα 2.7:** Ηλιακά κέρδη από νότια ανοίγματα με οριζόντιο σκίαστρο [<http://www.geocities.com/ResearchTriangle/Facility/8776/>, 29/9/2005]

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας είναι η μείωση της επιφάνειας επαφής του κελύφους του κτιρίου με τον εξωτερικό χώρο, που βοηθά στη μείωση των απωλειών

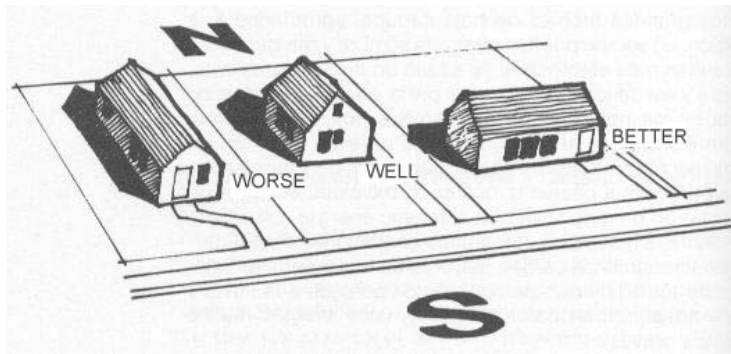


θερμότητας. Για σπίτι δεδομένου όγκου, ένα συμπαγές σχήμα (π.χ. κύβος) χωρίς εσοχές ή εξοχές προσφέρει τη μικρότερη δυνατή επιφάνεια επαφής. Επιπλέον, τα κτίρια που είναι πανταχόθεν ελεύθερα καθώς και αυτά που βρίσκονται στο τέλος μιας σειράς κτιρίων έχουν μεγαλύτερες απώλειες σε σχέση με αυτά που έχουν μικρότερη επιφάνεια σε επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον (Σχήμα 2.8).



**Σχήμα 2.8:** Απώλειες θερμότητας από χώρους με διαφορετικές θέσεις και προσανατολισμούς [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996]

Από όσα αναφέρθηκαν παραπάνω προκύπτει ότι για την περίπτωση κτιρίων που βρίσκονται στο βόρειο ημισφαίριο και σε ήπιο κλίμα (όπως στην Ελλάδα), το ιδανικό σχήμα είναι ένα συμπαγές ορθογώνιο σπίτι με πολλά νότια ανοίγματα, του οποίου η μακριά του πλευρά θα βρίσκεται στη διεύθυνση Ανατολής-Δύσης και η κοντή του πλευρά στη διεύθυνση Βορρά-Νότου (Σχήμα 2.9) [<http://www.geocities.com/ResearchTriangle/Facility/8776/>, 29/9/2005].



**Σχήμα 2.9:** Σύγκριση κτιρίων με βιοκλιματικά κριτήρια για τον Ελληνικό χώρο [<http://www.geocities.com/ResearchTriangle/Facility/8776/>, 29/9/2005]

## 2.5 ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ

Ως θερμική άνεση ορίζονται οι συνθήκες στις οποίες ευρισκόμενο ένα άτομο δεν επιθυμεί καμιά θερμική αλλαγή. Αναγκαία αλλά όχι απαραίτητη συνθήκη για τη θερμική άνεση αποτελεί η θερμική ουδετερότητα, κατά την οποία κανένας δεν επιθυμεί θερμότερο ή ψυχρότερο περιβάλλον. Αυτό συμβαίνει γιατί είναι δυνατή η τοπική έλλειψη άνεσης σε συνθήκες θερμικής ουδετερότητας, π.χ. στην περίπτωση που ένα άτομο είναι εκτεθειμένο σε ασύμμετρο ακτινοβόλο πεδίο [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996].

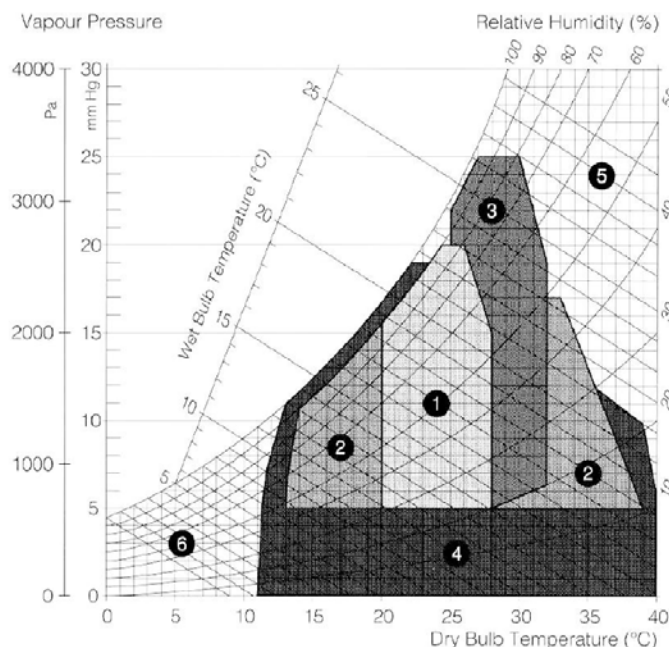
Η θερμική άνεση αποτελεί υποκειμενικό αίσθημα και επηρεάζεται από έναν μεγάλο αριθμό παραμέτρων (Σχήμα 2.10). Οι παράμετροι αυτές μπορούν να ομαδοποιηθούν στις ακόλουθες κατηγορίες [ΔΙΠΕ et al., 2000]:

- Φυσικές παράμετροι
- Εξωτερικές παράμετροι
- Βιολογικές παράμετροι



**Σχήμα 2.10:** Παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική άνεση [ΔΙΠΕ et al., 2000]

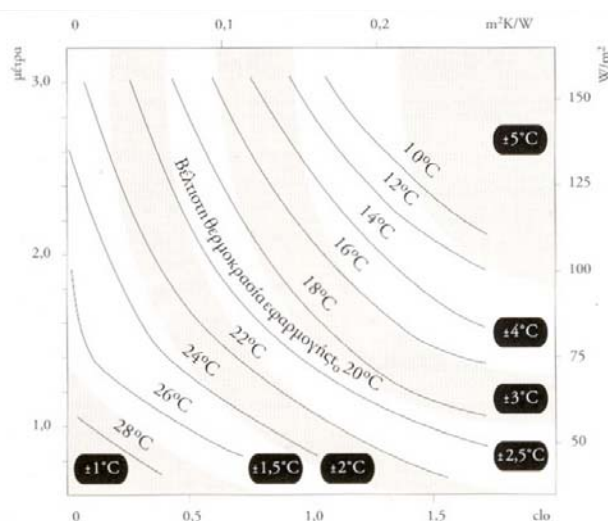
Οι σημαντικότερες φυσικές παράμετροι είναι η θερμοκρασία του αέρα, η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, η ταχύτητα και υγρασία του αέρα, η ατμοσφαιρική πίεση, το χρώμα των επιφανειών, οι οσμές, τα επίπεδα φωτισμού και θορύβου. Ο πιο συνηθισμένος τρόπος ελέγχου της θερμικής άνεσης ενός κτιρίου από φυσικές παραμέτρους είναι το βιοκλιματικό διάγραμμα κτιρίου (Σχήμα 2.11) που αναπτύχθηκε από τους Milne & Givoni το 1979. Το διάγραμμα αυτό συσχετίζει τη θερμοκρασία και την υγρασία του αέρα και καθορίζει την προτιμητέα μέθοδο θέρμανσης ή ψύξης του κτιρίου [<http://www.l-e-s-s.co.uk/Guides/Modelling/Ecotect/WeaTool.htm>, 25/9/2005].



**Σχήμα 2.11:** Βιοκλιματικό διάγραμμα κτιρίου (διάγραμμα Givoni).

(1): Ζώνη άνεσης, (2): Ζώνη επίδρασης θερμικής μάζας, (3): Ζώνη επίδρασης αερισμού, (4): Ζώνη επίδρασης δραστηριότητας, (5): Ζώνη κλιματισμού, (6): Ζώνη τεχνητής θέρμανσης [Στασινόπουλος, 2001]

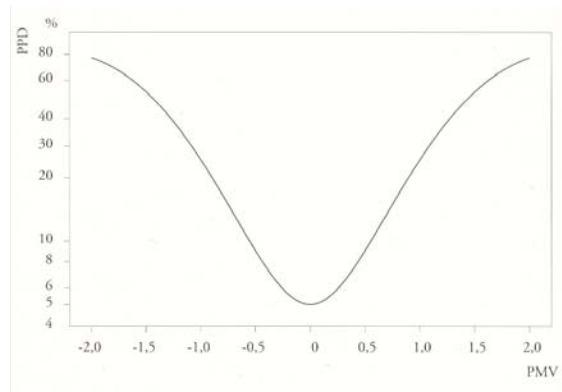
Στις εξωτερικές παραμέτρους ανήκουν το είδος δραστηριοτήτων και ο τύπος ρουχισμού. Στο Σχήμα 2.12 παρουσιάζεται η βέλτιστη θερμοκρασία εφαρμογής ως συνάρτηση των δύο αυτών παραμέτρων. Στο διάγραμμα αυτό η μονάδα clo (1 clo = 0.155 m<sup>2</sup>K/W) αντιστοιχεί στον τύπο ρουχισμού (0.5 clo: καλοκαιρινή ενδυμασία, 1 clo: χειμερινή ενδυμασία εσωτερικού χώρου).



**Σχήμα 2.12:** Η βέλτιστη θερμοκρασία εφαρμογής ως συνάρτηση της δραστηριότητας και της ένδυσης [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996]

Οι βιολογικές παράμετροι περιλαμβάνουν την ηλικία, το φύλο και τις συνήθειες των χρηστών των κτιρίων.

Η θερμική άνεση, ως υποκειμενικό συναίσθημα, εκδηλώνεται διαφορετικά από άτομο σε άτομο. Παρόλα αυτά έχουν γίνει διάφορες προσπάθειες για να αναπτυχθούν ακριβείς μέθοδοι υπολογισμού της. Η επικρατέστερη μέθοδος βασίζεται στον υπολογισμό της Μέσης Ψήφου (Predicted Mean Vote – PMV), ενός ακεραίου δείκτη που μπορεί να πάρει επτά τιμές και προβλέπει τη μέση τιμή των ψήφων μιας μεγάλης ομάδας ανθρώπων στο διάστημα  $[-3 +3]$ , όπου το  $-3$  αντιπροσωπεύει το πολύ ψυχρό, το  $0$  το ουδέτερο και το  $+3$  το πολύ θερμό. Λόγω του μεγάλου πλήθους του δείγματος ανθρώπων, παρουσιάζονται σημαντικές διαφορές στους ψήφους τους. Γι' αυτό είναι χρήσιμο να γνωρίζουμε το ποσοστό των ατόμων σε μια ομάδα που πιθανώς θα αισθάνονται ψύχος ή θα θερμαίνονται σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον, κάτι που μπορεί να βρεθεί με τη χρήση του Δείκτη Δυσανεξίας των ανθρώπων (Predicted Percent of Dissatisfied people – PPD) [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996]. Η σχέση μεταξύ του PMV και του PPD δείχνεται στο Σχήμα 2.13.



**Σχήμα 2.13:** Ο δείκτης PMV συναρτήσει του δείκτη PPD [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996]



## **ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ**

### **3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης επιτρέπουν σημαντική μείωση του ενεργειακού κόστους για τη θέρμανση των κτιρίων και βελτιώνουν τη θερμική άνεση των ενοίκων τους. Η λειτουργία τους βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996]:

- Στα συστήματα άμεσου κέρδους
- Στα συστήματα έμμεσου κέρδους
- Στα συστήματα απομονωμένου κέρδους
- Στα συστήματα διπλού κέρδους

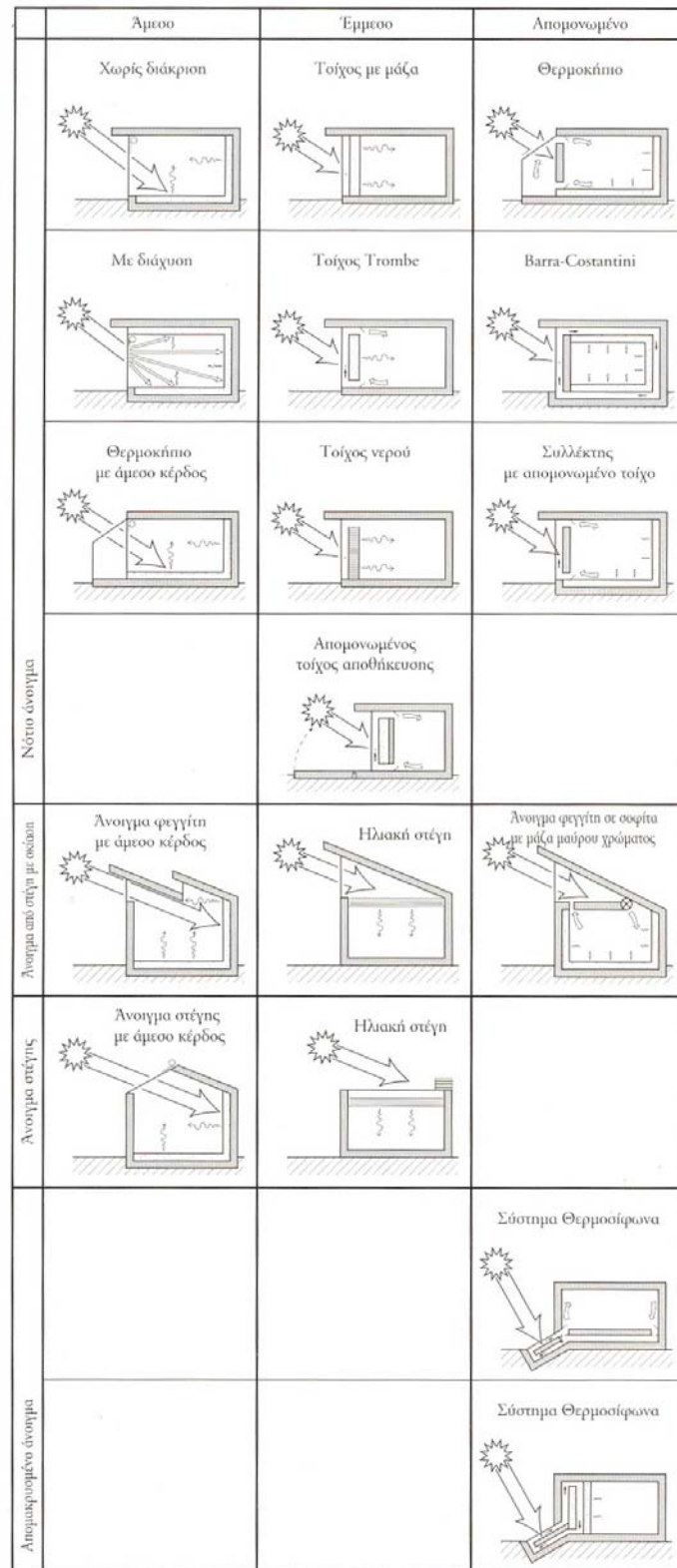
Οι γενικοί τύποι των παθητικών ηλιακών συστημάτων δείχνονται στο Σχήμα 3.1. Η θέρμανση των κτιρίων με παθητικά ηλιακά συστήματα βασίζεται [ΔΠΕ et al., 2000]:

- Στη συλλογή της ηλιακής ενέργειας και στη μετατροπή της σε χρήσιμη
- Στην αποθήκευση της θερμικής ενέργειας
- Στη διανομή της θερμότητας

Στην πράξη, σε ένα παθητικό ηλιακό σύστημα οι τρεις παραπάνω διαδικασίες συμβαίνουν ταυτόχρονα.

### **3.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΜΕΣΟΥ ΚΕΡΔΟΥΣ**

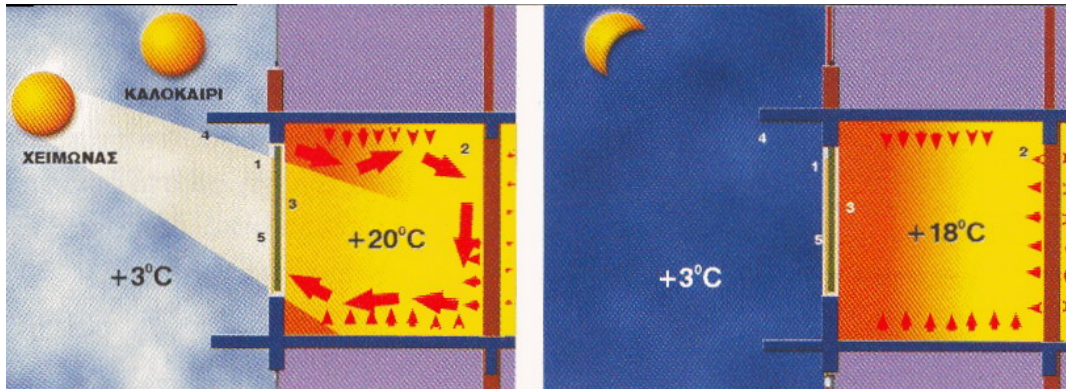
Αποτελούν τον πιο απλό τύπο συστημάτων και αποτελούνται κυρίως από ένα καλά μονωμένο κτίριο με μια σχετικά μεγάλη νότια προσανατολισμένη επιφάνεια με τζάμι, που δέχεται τις ακτίνες του χειμερινού ήλιου υπό μικρή γωνία. Κατά το θέρος, το μεγάλο ύψος του ηλίου περιορίζει την ακτινοβολία που μεταδίδεται από τα τζάμια και ένα προστέγασμα μπορεί να αποκλείσει τελείως τον ήλιο. Τα συστήματα άμεσου κέρδους χρησιμοποιούν τους χώρους που καταλαμβάνει το κτίριο για τη συλλογή, τη αποθήκευση και τη διανομή της ηλιακής θερμότητας [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996].



Σχήμα 3.1: Γενικοί τύποι παθητικών ηλιακών συστημάτων [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996]



Η θερμική μάζα του κτιρίου, η οποία είναι συνήθως υπό τη μορφή εξωτερικά μονωμένων τοίχων και ενός συμπαγούς μονωμένου πατώματος, αποθηκεύει θερμότητα κατά τη διάρκεια της ημέρας και την επανεκπέμπει κατά τη νύχτα (Σχήμα 3.2). Η θερμική μάζα είτε είναι άμεσα εκτεθειμένη στην ακτινοβολία, είτε θερμαίνεται με μεταφορά θερμότητας λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ του εσωτερικού αέρα και των δομικών στοιχείων.



**Σχήμα 3.2:** Άμεση αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας στα δομικά στοιχεία του κτιρίου.

Λειτουργία κατά τη ημέρα και κατά τη νύχτα.

- (1): Υαλοπίνακας, (2): Θερμική μάζα, (3):Κινητά στοιχεία για νυχτερινή μόνωση, (4): Ηλιοπροστασία, (5): Μονωμένα παραθυρόφυλλα [ΔΙΠΕ et al., 2000]

Τα πλεονεκτήματα των συστημάτων άμεσου κέρδους είναι τα ακόλουθα [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996]:

- Αποτελούν το πιο απλό ηλιακό σύστημα θέρμανσης και κατασκευάζονται πολύ εύκολα
- Αποτελούν μια από τις πιο φθηνές μεθόδους ηλιακής θέρμανσης χώρου
- Οι μεγάλες επιφάνειες υαλοστασίων όχι μόνο δέχονται την ηλιακή ακτινοβολία για θέρμανση, αλλά επίσης επιτρέπουν υψηλές στάθμες ουδέτερου φυσικού φωτισμού και καλές οπτικές συνδέσεις με το εξωτερικό περιβάλλον.

Τα βασικά μειονεκτήματα που παρουσιάζουν τα συστήματα αυτά είναι:

- Οι μεγάλες επιφάνειες με τζάμι μπορεί να προκαλέσουν θάμβωση κατά την ημέρα και απώλεια της ιδιωτικότητας κατά τη νύχτα
- Επιπλέον, οι μεγάλες επιφάνειες με τζάμι μπορεί να απαιτήσουν μεγάλη ποσότητα θερμικής μάζας για να προσαρμόζει ικανοποιητικά τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, κάτι που μπορεί να αποβεί ιδιαίτερα δαπανηρό

### 3.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΜΜΕΣΟΥ ΚΕΡΔΟΥΣ

Σε αυτή την κατηγορία συστημάτων, μεταξύ του εσωτερικού χώρου που επιθυμούμε να θερμάνουμε και της γυάλινης εξωτερικής επιφάνειας παρεμβάλλεται ένα άλλο στοιχείο,



π.χ. ένας τοίχος. Η ηλιακή ακτινοβολία που διαπερνά το τζάμι εγκλωβίζεται στο χώρο πίσω από αυτό, όπου απορροφάται και αποθηκεύεται [ΚΑΠΕ, 1998]. Επομένως, τα συστήματα εμμέσου κέρδους συνδυάζουν τις διαδικασίες της συλλογής, της συσσώρευσης και της διανομής της ηλιακής θερμότητας σε ένα μέρος του περιβλήματος του κτιρίου που περικλείει τους χώρους διαβίωσης [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996].

Τα πιο διαδεδομένα συστήματα έμμεσης αποθήκευσης είναι τα ακόλουθα:

- Ο τοίχος μάζας
- Ο τοίχος μάζας με αερισμό (τοίχος Trombe)
- Ο τοίχος νερού

### 3.3.1 ΤΟΙΧΟΣ ΜΑΖΑΣ

Τα συστήματα με τοίχο μάζας κατασκευάζονται από υλικά με μεγάλη θερμοχωρητικότητα (πέτρα, σκυρόδεμα) και τοποθετούνται κυρίως στη νότια πλευρά του κτιρίου. Σε απόσταση 10-15 εκατοστών από τον τοίχο προς την εξωτερική του πλευρά τοποθετείται τζάμι, που χρησιμεύει για τη δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας [ΔΙΠΕ et al., 2000]. Η ηλιακή ακτινοβολία πέφτει στον τοίχο μάζας και απορροφάται από αυτόν θερμαίνοντας την επιφάνειά του. Η θερμότητα αυτή, με τη μορφή προοδευτικής αύξησης της θερμοκρασίας, μεταφέρεται μέσα από τον τοίχο στην εσωτερική επιφάνεια με συναγωγή, από όπου ακτινοβολείται και διαχέεται στο χώρο διαβίωσης. Ο θερμός αέρας μπορεί να μεταφερθεί προς το εσωτερικό του κτιρίου είτε παθητικά (με φυσική κυκλοφορία), είτε μηχανικά (με αερισμό) [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996].

Για την αποφυγή υπερθέρμανσης κατά τη διάρκεια των θερμών ημερών και την ελάττωση των θερμικών απωλειών κατά τη διάρκεια της νύχτας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα κινούμενο σκίαστρο στην εμπρός επιφάνεια του τοίχου μάζας. Η προσθήκη αυτή αυξάνει το ολικό κόστος, είναι όμως απαραίτητη για την επίτευξη συνθηκών θερμικής άνεσης. Στο Σχήμα 3.3 δείχνεται η λειτουργία του τοίχου μάζας κατά την ημέρα και κατά τη νύχτα [ΔΙΠΕ et al., 2000].



**Σχήμα 3.3:** Έμμεση αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας σε τοίχο μάζας.

Λειτουργία κατά τη ημέρα και κατά τη νύχτα.

- (1): Διπλός υαλοπίνακας, (2): 10-15 cm κενό αέρα, (3): Τοίχος μάζας, (4): Θερμική ακτινοβολία, (5): Νυχτερινή μόνωση ή πρωινή ηλιοπροστασία κατά το θέρος [ΔΙΠΕ et al., 2000]

Ο τοίχος μάζας παρουσιάζει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996; ΔΙΠΕ et al., 2000]:

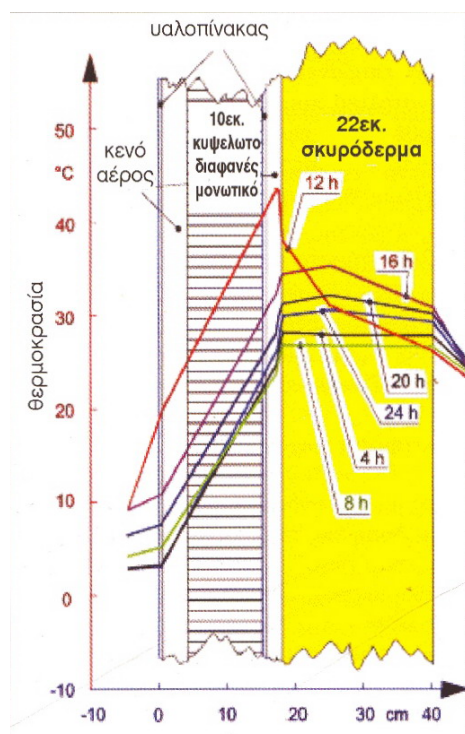
- Είναι ένας απλός ηλιακός συλλέκτης και δεν προκαλεί προβλήματα θάμβωσης στο κτίριο
- Οι διακυμάνσεις θερμοκρασίας στο χώρο διαβίωσης είναι χαμηλότερες από αυτές που εμφανίζονται στα συστήματα άμεσου κέρδους
- Η θερμότητα που αποθηκεύεται είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί με χρονική καθυστέρηση, καθιστώντας σε πολλές περιπτώσεις μη αναγκαία τη θέρμανση του κτιρίου κατά τη διάρκεια της νύχτας
- Το γυαλί προστατεύει το τοίχο από τα καιρικά φαινόμενα

Τα μειονεκτήματα του τοίχου μάζας είναι τα ακόλουθα:

- Η εξωτερική επιφάνεια του τοίχου μάζας είναι σχετικά θερμή καθώς η συναγωγή της ενέργειας μέσα από τον τοίχο είναι βραδεία, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική απώλεια ενέργειας στο εξωτερικό περιβάλλον, μειώνοντας έτσι την απόδοση
- Ο φυσικός φωτισμός και η θεά από το χώρο διαβίωσης μπορεί να περιορισθούν
- Η μεγάλη γυάλινη επιφάνεια του τοίχου μάζας παρουσιάζει τον κίνδυνο δημιουργίας υγρασίας και επιπλέον απαιτεί συχνό καθαρισμό
- Το κόστος κατασκευής είναι αυξημένο

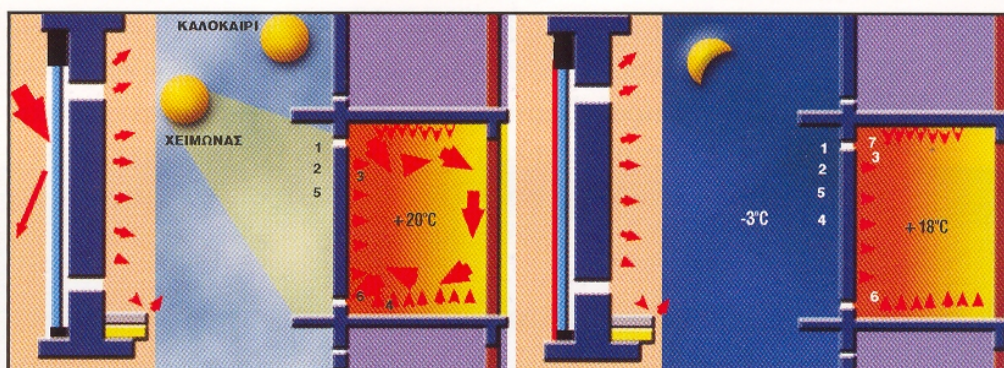
### 3.3.2 ΤΟΙΧΟΣ ΜΑΖΑΣ ΜΕ ΑΕΡΙΣΜΟ (ΤΟΙΧΟΣ TROMBE)

Αποτελεί παραλλαγή του τοίχου μάζας και πήρε το όνομά του από την πρωτοποριακή εργασία του καθηγητή Felix Trombe και του αρχιτέκτονα Jacques Michel στο Odeillo της Γαλλίας το 1967. Η διαφορά μεταξύ ενός τοίχου μάζας και ενός τοίχου Trombe είναι ότι ο τελευταίος έχει οπές αερισμού (ανοίγματα) στο επάνω και κάτω μέρος που επιτρέπουν στον αέρα να κυκλοφορεί διαμέσου αυτών στο χώρο που θερμαίνεται. Επιπλέον, διαφανής ή ημιδιαφανής μόνωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί εξωτερικά του συμπαγούς τοίχου [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996]. Στο Σχήμα 3.4 παρουσιάζεται η αρχή λειτουργίας του τοίχου Trombe για τη θέρμανση χώρων καθώς και κατανομή της θερμοκρασίας στον τοίχο και στο διαφανές μονωτικό υλικό, ενώ το Σχήμα 3.5 δείχνει τη διαδικασία της αποθήκευσης ηλιακής ενέργειας στον τοίχο Trombe.



**Σχήμα 3.4:** Αρχή λειτουργίας του τοίχου Trombe.

Δίνεται η χωρική εξέλιξη της θερμοκρασίας σε διάφορες ώρες της ημέρας και στα διάφορα υλικά που αποτελούν το δομικό στοιχείο [ΔΙΠΕ et al., 2000].



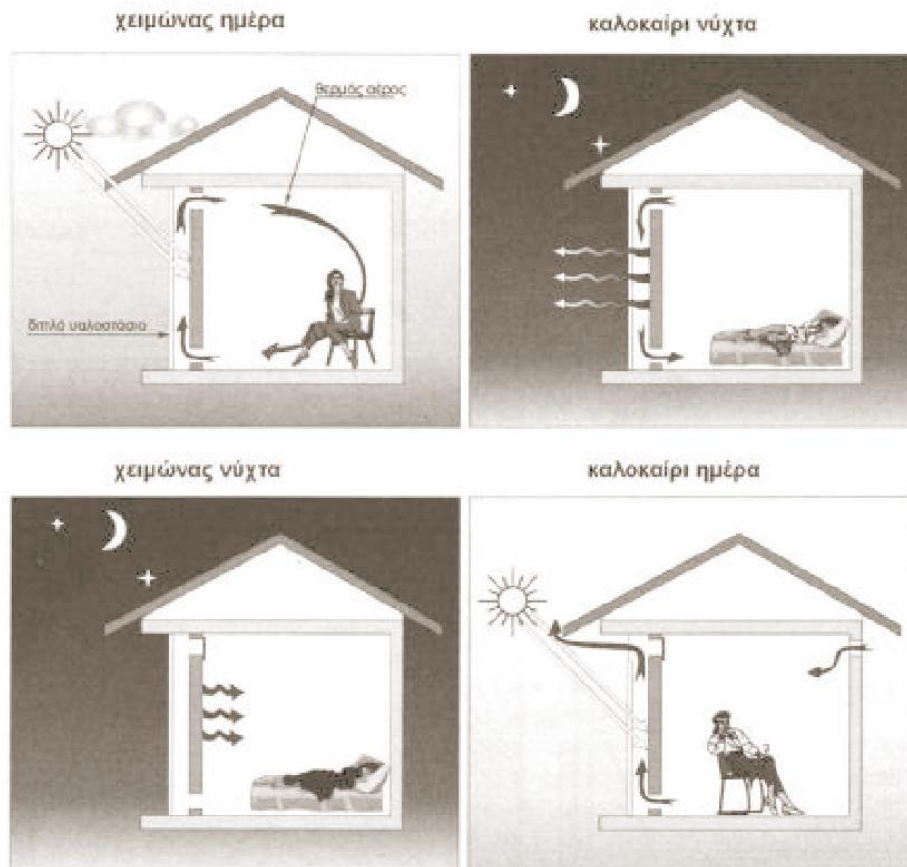
**Σχήμα 3.5:** Έμμεση αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας σε τοίχο Trombe.

Λειτουργία κατά τη ημέρα και κατά τη νύχτα.

- (1): Διπλός υαλοπίνακας, (2): 10-15 cm κενό αέρα, (3): Τοίχος μάζας,  
 (4): Θερμική ακτινοβολία, (5): Νυχτερινή μόνωση ή πρωινή ηλιοπροστασία κατά το θέρος  
 (6): Κάτω άνοιγμα, (7): Άνω άνοιγμα [ΔΙΠΕ et al., 2000]

Ο τρόπος λειτουργίας των ανοιγμάτων είναι ο εξής: Κατά τη χειμερινή περίοδο, όταν τα ανοίγματα είναι ανοιχτά, μέρος της θερμικής ενέργειας που συσσωρεύεται στο διάκενο μεταφέρεται άμεσα στο χώρο με φυσική κυκλοφορία του αέρα, ο οποίος κατά τη κυκλοφορία του παρασύρει τον αέρα του εσωτερικού χώρου στο διάκενο και τον θερμαίνει.

Συγκεκριμένα, ο ψυχρός αέρας του χώρου μεταφέρεται στο διάκενο μεταξύ τζαμιού και τοίχου από ανοίγματα στο κάτω μέρος του τοίχου, θερμαίνεται και ανυψώνεται με φυσική μεταφορά και επαναποδίδεται στο χώρο μέσω ανοιγμάτων στο πάνω μέρος του τοίχου. Κατά τη διάρκεια της νύχτας ή κατά τις συννεφιασμένες μέρες οι θυρίδες στο πάνω μέρος του τοίχου παραμένουν κλειστές, έτσι ώστε να εμποδίζεται η αντίστροφη κίνηση του θερμού αέρα από τον εσωτερικό χώρο προς την εξωτερική ψυχρή επιφάνεια του υαλοπίνακα. Κατά τη θερινή περίοδο και κατά τη διάρκεια της ημέρας, η άνω θυρίδα πρέπει να είναι μόνιμα κλειστή για να αποφευχθεί η υπερθέρμανση του κτιρίου, ενώ με κατάλληλο άνοιγμα στο πάνω μέρος της γυάλινης επιφάνειας μπορεί να διοχετευθεί ο θερμός αέρας του δωματίου στο εξωτερικό περιβάλλον. Αντίστοιχα κατά τις νυχτερινές ώρες, όπου η εξωτερική γυάλινη επιφάνεια του τοίχου Trombe είναι ψυχρότερη από τη θερμοκρασία του δωματίου, μπορεί να επιτευχθεί δροσισμός του δωματίου με άνοιγμα των θυρίδων. Σε αυτή την περίπτωση ο θερμός αέρας του δωματίου διοχετεύεται στο πάνω άνοιγμα του τοίχου, ψύχεται στο διάκενο και κινείται με φυσικό τρόπο προς το κάτω άνοιγμα, από όπου εισέρχεται στο δωμάτιο και το δροσίζει [Οικονόμου, 2003]. Όλα όσα περιγράφηκαν παραπάνω απεικονίζονται στο Σχήμα 3.6.

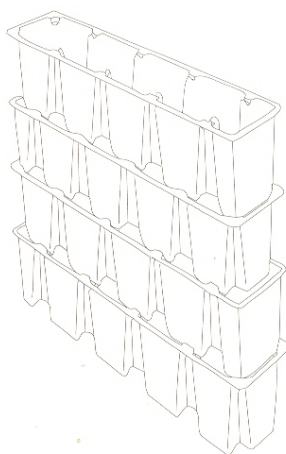


**Σχήμα 3.6:** Λειτουργία των ανοιγμάτων στον τοίχο Trombe [Τσιπήρας, 2000]



### 3.3.3 ΤΟΙΧΟΣ ΝΕΡΟΥ

Ο τοίχος νερού μοιάζει με τα συστήματα τοίχου μάζας και τοίχου Trombe, με τη διαφορά ότι το περιεχόμενο νερό αντικαθιστά τον τοίχο μάζας (Σχήμα 3.7). Οι τοίχοι νερού μπορεί να αποτελέσουν ένα ελκυστικό σύστημα όταν απαιτείται κατασκευή μικρής μάζας. Το σύστημα μπορεί να λειτουργήσει πιο αποτελεσματικά από ότι ο τοίχος μάζας ή ο τοίχος Trombe επειδή το νερό έχει μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα ανά μονάδα όγκου από το τούβλο ή το σκυρόδεμα και επειδή τα ρεύματα μεταφοράς μέσα στο νερό το αναγκάζουν να λειτουργήσει ως μια σχεδόν ισόθερμη αποθήκη θερμότητας [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996].



Σχήμα 3.7: Στοιχεία τοίχων νερού [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996]

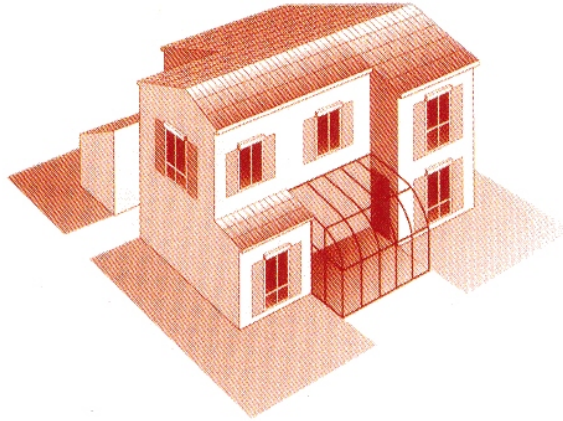
Τα πλεονεκτήματα του τοίχου νερού είναι τα ακόλουθα [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996]:

- Η ισοθερμική φύση της αποθήκης θερμότητας οδηγεί σε ελαττωμένη θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας και έτσι χάνεται λιγότερη ενέργεια στην ατμόσφαιρα κατά τη νύχτα
- Δεν δημιουργείται πρόβλημα θάμβωσης, ενώ εξασφαλίζεται και η ιδιωτικότητα των ενοίκων
- Οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας στο χώρο διαβίωσης είναι μικρότερες από αυτές που εμφανίζουν τα συστήματα άμεσου κέρδους, καθώς και τα συστήματα τοίχων μάζας και τοίχων Trombe

## 3.4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΜΟΝΩΜΕΝΟΥ ΚΕΡΔΟΥΣ

Στα συστήματα απομονωμένου κέρδους η ηλιακή συλλογή είναι θερμικά απομακρυσμένη από τους χώρους διαβίωσης του κτιρίου. Η μεταφορά ενέργειας από το συλλέκτη στο σύστημα συσσώρευσης (που είναι προαιρετικό) και από εκεί χώρο διαβίωσης μπορεί να γίνει είτε με υβριδικά συστήματα (π.χ. ανεμιστήρες), είτε με παθητικό τρόπο. Στη

δεύτερη περίπτωση, η πιο κοινή από τις διαδικασίες μεταφοράς ενέργειας είναι ο *θερμοσιφωνικός βρόχος*: Ο αέρας θερμαίνεται στο συλλέκτη, γίνεται ελαφρύς και ανέρχεται, φέρνοντας πιο ψυχρό αέρα από το κάτω μέρος. Ο πιο θερμός αέρας μεταφέρει την ενέργειά του στο απομακρυσμένο σύστημα συσσώρευσης, ψύχεται και κατέρχεται στο κάτω μέρος του συλλέκτη, από όπου ο κύκλος συνεχίζεται για όσο διάστημα ο συλλέκτης είναι αρκετά θερμός [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996]. Το πιο διαδεδομένο σύστημα απομονωμένου κέρδους είναι ο προσαρτημένος ηλιακός χώρος ή θερμοκήπιο (Σχήμα 3.8).



**Σχήμα 3.8:** Προσαρτημένος ηλιακός χώρος (θερμοκήπιο) ενσωματωμένος σε κτίριο [ΔΙΠΕ et al., 2000]

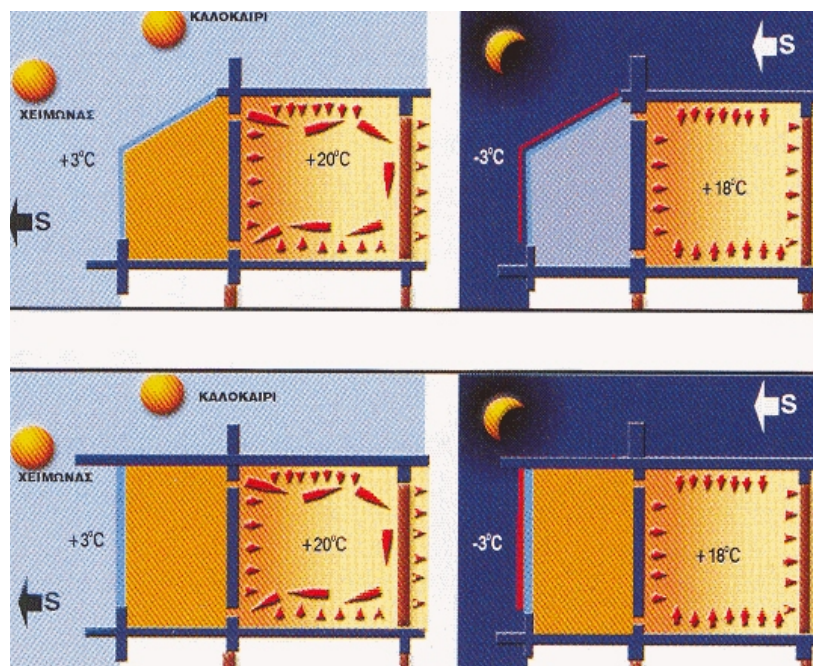
### 3.4.1 ΠΡΟΣΑΡΤΗΜΕΝΟΣ ΗΛΙΑΚΟΣ ΧΩΡΟΣ (ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ)

Το θερμοκήπιο τοποθετείται κυρίως στη νότια πλευρά ενός κτιρίου, με τη μια ή και τις τρεις πλευρές του καλυμμένες με γυαλί. Οι υπόλοιπες πλευρές του είναι απλοί τοίχοι με θερμική μάζα που συνδέονται με το κυρίως κτίριο. Συχνά τα θερμοκήπια είναι χώροι που προστίθενται εκ των υστέρων σε υπάρχοντα κτίρια και είναι κατασκευές με μικρό κόστος που μπορούν να εξυπηρετούν πολλές λειτουργίες.

Η λειτουργία του συστήματος βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και είναι αποτέλεσμα μιας διαδικασίας που ολοκληρώνεται σε τρία στάδια [ΔΙΠΕ et al., 2000]:

- Η μικρού κύματος ακτινοβολία διαπερνά τους διαφανείς υαλοπίνακες που καλύπτουν το θερμοκήπιο
- Η ακτινοβολία αυτή απορροφάται από τα αδιαφανή στοιχεία του κτιρίου
- Στη συνέχεια επανεκπέμπεται ως μεγάλου μήκους (θερμική) ακτινοβολία, η οποία όμως εμποδίζεται από το γυάλινο κάλυμμα να διαφύγει από το θερμοκήπιο γιατί το γυαλί είναι αδιαφανές στη θερμική ακτινοβολία

Η απόδοση του συστήματος επηρεάζεται από τον προσανατολισμό του θερμοκηπίου, το μέγεθός του, την κλίση του υαλοστασίου και το υλικό κάλυψης. Στο Σχήμα 3.9 φαίνεται η λειτουργία του θερμοκηπίου κατά την ημέρα και τη νύχτα.



**Σχήμα 3.9:** Άνω τμήμα: Λειτουργία του θερμοκηπίου κατά την ημέρα και κατά τη νύχτα  
 Κάτω τμήμα: Λειτουργία θερμοκηπίου με αδιαφανή οροφή κατά την ημέρα και κατά τη νύχτα  
 [ΔΙΠΕ et al., 2000]

Τα θερμοκήπια παρουσιάζουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996]:

- Η προσθήκη τους μπορεί να βελτιώσει σημαντικά το εσωτερικό κλίμα μιας κατοικίας, ενώ παράλληλα οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις του χώρου διαβίωσης είναι μικρότερες των συστημάτων άμεσου κέρδους
- Μπορούν να εξυπηρετήσουν και μη ενεργειακούς σκοπούς, π.χ. ως επέκταση του χώρου διαβίωσης ή ως θερμοκήπια φυτών
- Μπορούν να προσαρμοστούν εύκολα σε υφιστάμενα κτίρια
- Μπορούν να συνδυαστούν εύκολα με άλλα παθητικά συστήματα

Από την άλλη πλευρά, τα μειονεκτήματά τους είναι:

- Σε θερμά κλίματα υπάρχει δυνατότητα εμφάνισης προβλημάτων υπερθέρμανσης κατά το θέρος
- Εντός αυτών μπορεί να παρατηρηθούν μεγάλες διακυμάνσεις θερμοκρασίας
- Η γυάλινη στέγη τους μπορεί να είναι αρκετά ψυχρή τη νύχτα ώστε να προκαλεί συμπύκνωση των υδρατμών στην εσωτερική της επιφάνεια
- Η αυξημένη υγρασία που προκαλείται από την καλλιέργεια φυτών μπορεί να προκαλέσει συμπύκνωση υδρατμών και έλλειψη άνεσης στο κτίριο

### 3.5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΠΛΟΥ ΚΕΡΔΟΥΣ

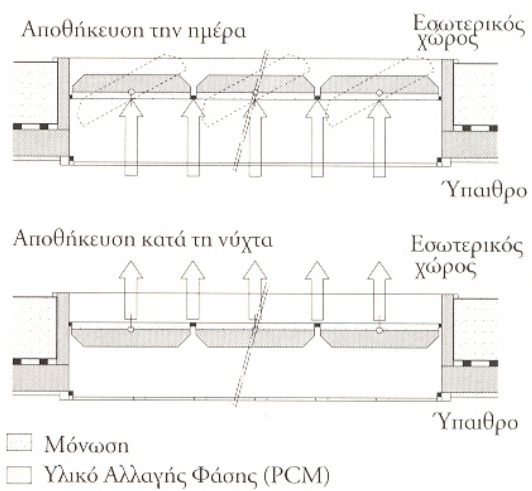
Πρόκειται για συστήματα που βρίσκονται ακόμα σε πειραματικό στάδιο, τα οποία σχεδιάστηκαν για να επωφελούνται από τα βασικά πλεονεκτήματα κάθε κατηγορίας που χρησιμοποιούν. Για παράδειγμα, ένα σύστημα που θα συνδυάζε έμμεσο και άμεσο κέρδος θα επέτρεπε τόσο τη μετάδοση της ακτινοβολίας όσο και την έμμεση ανάκτηση θερμότητας από την αποθήκευση στο ίδιο σύστημα. Ένας τέτοιος συνδυασμός είναι το σύστημα Transwall και μπορεί να παρασταθεί από ένα τοίχο νερού φτιαγμένο από διαφανή δοχεία (Σχήμα 3.10). Στο σύστημα αυτό η αναλογία άμεσου και έμμεσου κέρδους είναι μόνιμα καθορισμένη από τη γεωμετρία και τα υλικά του συστήματος. Το απορροφητικό υλικό είναι γυαλί βαμμένο γκρι [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996].



**Σχήμα 3.10:** Πρότυπη διάταξη Transwall [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996]

Ένα άλλο παράδειγμα του ίδιου συνδυασμού αντιπροσωπεύεται από ένα σύνολο περσίδων αλουμινίου που περιέχουν στο εσωτερικό τους υλικό αλλαγής φάσης (PCM) και μπορούν να περιστραφούν (Σχήμα 3.11). Τα PCM είναι υλικά με σημείο αλλαγής φάσης κοντά στη επιθυμητή θερμοκρασία χώρου, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε για να περιορίσουν τις θερμοκρασιακές διακυμάνσεις σε ένα χώρο, είτε για να αποθηκεύσουν ενέργεια κατά τη διαδικασία αλλαγής φάσης (συνήθως τήξη) και να τη απελευθερώσουν στο σύστημα όταν η θερμοκρασία πέσει κάτω από το σημείο αλλαγής. Τα υλικά αυτά βρίσκονται ακόμη στο στάδιο ανάπτυξης και είναι ικανά να αποθηκεύσουν μεγάλες ποσότητες θερμότητας σε σύγκριση με τα συμβατικά οικοδομικά υλικά (έξι φορές περισσότερο από τα τούβλα ή το σκυρόδεμα) [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996].





**Σχήμα 3.11:** Σχηματική αναπαράσταση των περιόδων με υλικό αλλαγής φάσης (PCM) [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996]

## **ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΔΡΟΣΙΣΜΟΥ**

### **4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

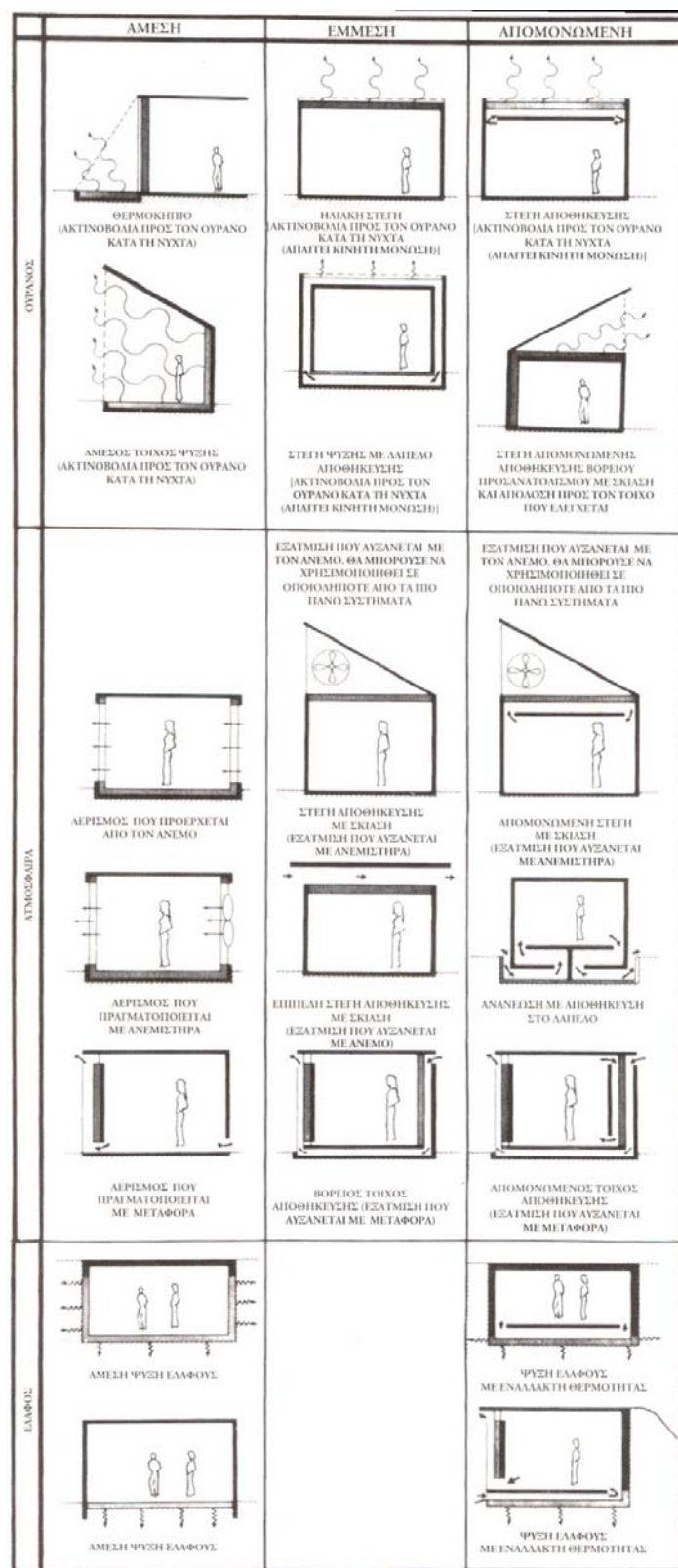
Εκτός από την κάλυψη των θερμικών αναγκών ενός κτιρίου το χειμώνα είναι απαραίτητη και η ικανοποίηση των αναγκών δροσισμού το καλοκαίρι, έτσι ώστε να αποφευχθούν φαινόμενα υπερθέρμανσης. Η θεώρηση των συστημάτων φυσικής ψύξης που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό γίνεται κατά μια ευρύτερη έννοια, έτσι ώστε να περιλαμβάνουν τόσο τα πλήρως παθητικά συστήματα, όσο και υβριδικά συστήματα τα οποία έχουν ανάγκη σχετικά μικρής ενίσχυσης από μηχανικές διατάξεις όπως οι ανεμιστήρες και οι αντλίες [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996]. Η χρήση των παραπάνω συστημάτων παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα [ΔΙΠΕ et al., 2000]:

- Αποφυγή των χλωροφθορανθράκων (CFCs) που εκλύουν οι συμβατικές κλιματιστικές συσκευές
- Μειωμένη κατανάλωση ενέργειας, καθώς στις χώρες της νότιας Ευρώπης οι ενεργειακές ανάγκες για ψύξη μπορεί να είναι σε ετήσια βάση τριπλάσιες αυτών που απαιτούνται για θέρμανση
- Μείωση έως και εξάλειψη των προβλημάτων φορτίου αιχμής
- Βελτιωμένη ποιότητα εσωτερικού αέρα και υγιεινή διαβίωση
- Οικονομικά οφέλη σε σχέση με το αρχικό κεφάλαιο, το κεφάλαιο συντήρησης και το κόστος λειτουργίας των συστημάτων δροσισμού
- Απλότητα και ευκολία στη χρήση

Οι βασικοί σχεδιαστικοί άξονες των συστημάτων παθητικού δροσισμού είναι οι παρακάτω [ΔΙΠΕ et al., 2000]:

- Προστασία του κτιρίου από τα θερμικά κέρδη
- Απόσβεση και απορρόφηση της μεταφοράς θερμότητας προς το κτίριο
- Απαγωγή της πλεονάζουσας θερμότητας σε περιβαλλοντικές «δεξαμενές» χαμηλότερης θερμοκρασίας από αυτήν του κτιρίου

Στο Σχήμα 4.1 παρουσιάζονται μερικά παραδείγματα συστημάτων παθητικού δροσισμού.



Σχήμα 4.1: Παραδείγματα συστημάτων παθητικού δροσισμού [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996]

## 4.2 ΘΕΡΜΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

Οι τεχνικές θερμικής προστασίας εμπεριέχουν παρεμβάσεις όπως [ΔΙΠΕ et al., 2000]:

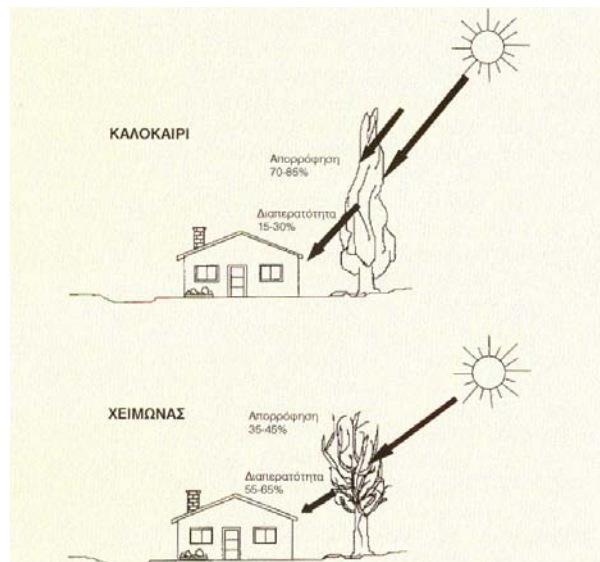
- Παρέμβαση στο μικροκλίμα και κατάλληλη διαμόρφωση των εξωτερικών χώρων
- Ηλιοπροστασία και σκιασμός των διαφανών και αδιαφανών στοιχείων του κελύφους
- Βελτιστοποίηση της μορφής του κτιρίου

### 4.2.1 ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ

Η τροποποίηση του μικροκλίματος γύρω από το κτίριο μπορεί να βοηθήσει στη βελτίωση των συνθηκών άνεσης μέσα και γύρω από το κτίριο, ενώ περιορίζει τα φορτία ψύξης. Ο κυριότερος παράγοντας που επιδρά στο μικροκλίμα είναι η βλάστηση, η οποία συμβάλλει στη μείωση των θερμοκρασιών του αέρα και των επιφανειών με δύο τρόπους [ΔΙΠΕ et al., 2000]:

- Μέσω της εξατμισοδιαπνοής, οπότε απορροφάται θερμότητα από τον αέρα (η διαδικασία περιγράφεται στην παράγραφο 4.4.3)
- Λόγω του ότι τα φύλλα απορροφούν μεγαλύτερα ποσά θερμότητας από αυτά που εκπέμπουν

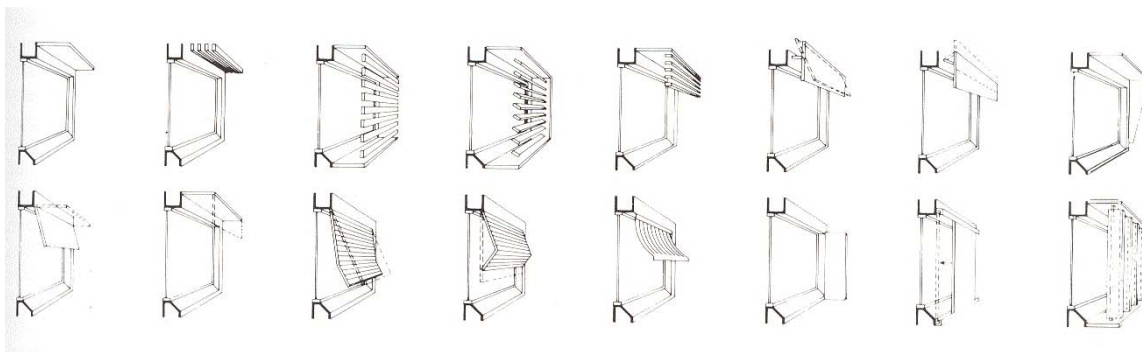
Μια συνήθης πρακτική που ακολουθείται σε περιοχές με ήπια κλίματα όπως η Ελλάδα είναι η φύτευση φυλλοβόλων δέντρων στη νότια, νοτιοανατολική και νοτιοδυτική πλευρά του κτιρίου. Με αυτό τον τρόπο προστατεύονται μεγάλες επιφάνειες της όψης του κτιρίου το καλοκαίρι, ενώ παράλληλα επιτρέπεται στις ακτίνες του ηλίου να περνούν μέσα στο κτίριο κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Σχήμα 4.2) [Τσιπήρας et al., 2005].



**Σχήμα 4.2:** Θερινή και χειμερινή λειτουργία ενός φυλλοβόλου δένδρου [ΔΙΠΕ et al., 2000]

### 4.2.2 ΣΚΙΑΣΗ

Τα συστήματα σκίασης χρειάζεται να παρέχουν καλή ηλιακή προστασία κατά το καλοκαίρι, ενώ παράλληλα δεν πρέπει να περιορίζουν τα ηλιακά κέρδη το χειμώνα, να εμποδίζουν το φυσικό φωτισμό ή να παρακωλύουν το φυσικό αερισμό. Τα συστήματα αυτά μπορούν να εμποδίσουν το στοιχείο της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας αλλά συνήθως δεν είναι αποτελεσματικά στο περιορισμό του διάχυτου ή του ανακλώμενου συστατικού της ακτινοβολίας. Διακρίνονται σε σταθερά ή κινητά συστήματα σκίασης και μπορεί να εφαρμοστούν εξωτερικά (Σχήμα 4.3), εσωτερικά ή μεταξύ των 2 τζαμιών στα συστήματα με διπλά τζάμια. Η βλάστηση μπορεί να παράσχει επίσης σημαντική σκίαση [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996].



**Σχήμα 4.3:** Τυπικές εξωτερικές διατάξεις σκίασης [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996]

Τα σταθερά συστήματα σκίασης περιλαμβάνουν δομικά στοιχεία όπως είναι τα μπαλκόνια και οι πτέρυγες που εκτείνονται ή τα γεισώματα, καθώς και μη δομικές κατασκευές όπως είναι οι τέντες, τα πατζούρια, τα ρολά και τα παραπετάσματα. Κρίσιμα στοιχεία αποτελούν ο προσανατολισμός και το σχήμα του ανοίγματος που πρόκειται να σκιαστεί. Γενικά, χρησιμοποιείται οριζόντια σκίαση στις νότιες επιφάνειες και κατακόρυφα ή διαγώνια περσύνια στις ανατολικές και δυτικές όψεις. Τα σταθερά συστήματα σκίασης χρησιμοποιούνται κυρίως στις εξωτερικές όψεις όπου εμποδίζουν την άμεση ακτινοβολία να φτάσει στα υαλοστάσια ή τα άλλα ανοίγματα. Έτσι η θερμότητα που απορροφάται από το σύστημα σκίασης μπορεί να διαχυθεί στον εξωτερικό αέρα. Αν εγκατασταθούν εσωτερικά, η θερμότητα θα μείνει μεταξύ του συστήματος σκίασης και του υαλοστασίου με αποτέλεσμα να περιοριστεί η αποδοτικότητα του συστήματος [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996].

Τα κινητά συστήματα σκίασης μπορούν να χρησιμοποιηθούν εξωτερικά και εσωτερικά και ο έλεγχός τους μπορεί να είναι χειροκίνητος ή αυτόματος. Τυπικά συστήματα αυτού του είδους είναι οι τέντες, τα ενετικά στόρια και οι κουρτίνες.

### 4.2.3 ΜΟΡΦΗ ΚΤΙΡΙΟΥ

Ένα συμπαγές κτίριο έχει σχετικά μικρή επιφάνεια έκθεσης καθώς ο λόγος επιφάνειας προς όγκο έχει μικρή τιμή. Το γεγονός αυτό μπορεί να παράσχει πλεονεκτήματα για τον έλεγχο των απωλειών και των ηλιακών κερδών, χωρίς να έρχεται σε αντίθεση με τις

προτεραιότητες σχεδιασμού για τις συνθήκες θέρους και χειμώνα [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996]. Άλλοι παράγοντες στους οποίους επιδρά σημαντικά η μορφή του κτιρίου είναι η διαμόρφωση των ρευμάτων αέρα, καθώς και οι ευκαιρίες για επαύξηση της χρήσης του φυσικού φωτισμού.

### 4.3 ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΠΟΣΒΕΣΗ

Οι τεχνικές που επιτρέπουν την απόσβεση και την απορρόφηση της θερμότητας που εισέρχεται σε ένα κτίριο σχετίζονται με τη θερμοχωρητικότητα του κτιρίου και με την ικανότητα να αποθηκεύει τη θερμότητα αυτή. Η ύπαρξη σημαντικής θερμικής μάζας επιτρέπει την απόσβεση των μέγιστων εσωτερικών θερμοκρασιών και τη μείωση του ψυκτικού φορτίου του κτιρίου. Η αποθηκευμένη θερμότητα κατά τη διάρκεια της ημέρας αποδίδεται τη νύχτα [ΔΙΠΕ et al., 2000].

### 4.4 ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΠΟΡΡΙΨΗ

Η απαγωγή της πλεονάζουσας θερμότητας του κτιρίου προϋποθέτει την ύπαρξη μιας θερμικής δεξαμενής με θερμοκρασία χαμηλότερη από αυτήν του κτιρίου. Οι χρησιμοποιούμενες θερμικές δεξαμενές καθώς και οι τρόποι απαγωγής της θερμότητας δίνονται στον Πίνακα 4.1.

Τεχνική	Δεξαμενή	Τρόπος απαγωγής της θερμότητας
Αερισμός	Αέρας	Μεταφορά
Δροσισμός από το έδαφος	Έδαφος	Αγωγή
Ψύξη με εξάτμιση	Αέρας – Νερό	Μεταφορά
Δροσισμός με ακτινοβολία	Ουράνιος θόλος	Ακτινοβολία

**Πίνακας 4.1:** Χρησιμοποιούμενες πηγές δροσισμού και τρόποι απαγωγής θερμότητας [ΔΙΠΕ et al., 2000]

#### 4.4.1 ΑΕΡΙΣΜΟΣ

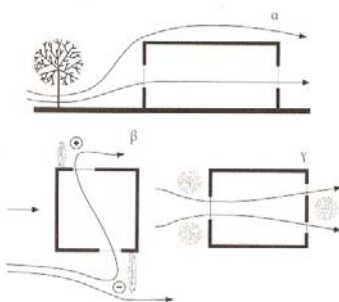
Ο αερισμός των εσωτερικών χώρων ενός κτιρίου είναι απαραίτητος όχι μόνο για την απομάκρυνση της θερμότητας από το κτίριο και το ανθρώπινο σώμα, αλλά και για τη διατήρηση σε ικανοποιητικά επίπεδα του οξυγόνου και της ποιότητας του αέρα. Ο αερισμός μπορεί να είναι φυσικός ή τεχνητός. Η κίνηση του αέρα με φυσικό τρόπο μπορεί να γίνει λόγω [Στασινόπουλος, 2001]:

- Διαφοράς θερμοκρασίας (από τη θερμή στη ψυχρή περιοχή)
- Διαφοράς πίεσης λόγω ανέμου (από τη μεγάλη (+) στη μικρή (-) πίεση)

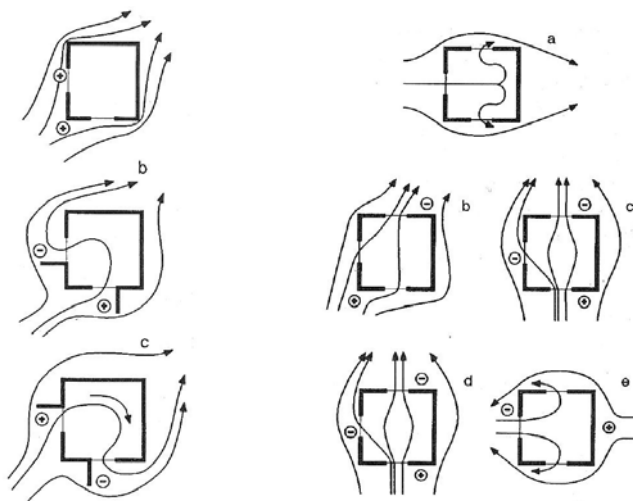
- Θερμοκρασιακής διαστρωμάτωσης (βάσει των ανωστικών τάσεων που προκαλεί η διαφορετική πυκνότητα του αέρα λόγω θερμοκρασίας)

Στον τεχνητό αερισμό οι φυσικές δυνάμεις υποκαθίστανται από αξονικούς ή φυγοκεντρικούς ανεμιστήρες.

Υπό την προϋπόθεση ότι οι εξωτερικές κλιματολογικές συνθήκες είναι ευνοϊκές (χαμηλότερη εξωτερική θερμοκρασία π.χ. κατά τη νύχτα) η χρήση του φυσικού αερισμού είναι δυνατό να ελαττώσει το ψυκτικό φορτίο, να αυξήσει τη θερμική άνεση και να διατηρήσει τη ποιότητα του εσωτερικού αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου. Η αποτελεσματικότητα των τεχνικών φυσικού αερισμού καθορίζεται από τις επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες, από το μικροκλίμα (Σχήμα 4.4), από τα χαρακτηριστικά του κτιρίου (προσανατολισμός, μέγεθος, θέση και αριθμός ανοιγμάτων, πτερύγια κλπ. – βλ. Σχήμα 4.5) και τη χωροταξία της περιοχής στην οποία βρίσκεται το κτίριο (Σχήμα 4.6) [ΔΠΠΕ et al., 2000]. Σημαντική προϋπόθεση που πρέπει να ικανοποιείται είναι οι αντίστοιχου μεγέθους επιφάνειες για τα ανοίγματα εισόδου και εξόδου του αέρα.

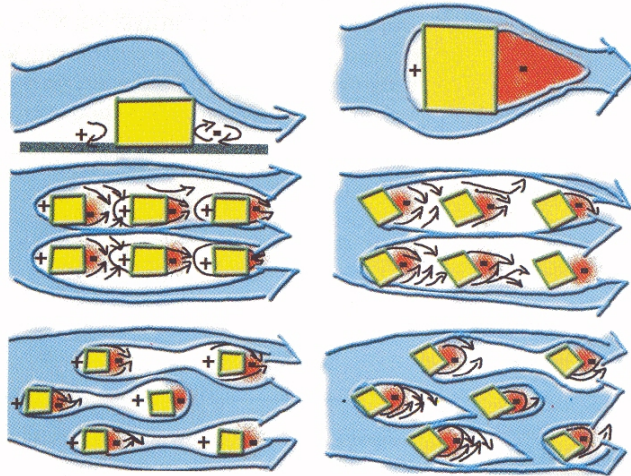


**Σχήμα 4.4:** Επίδραση της βλάστησης στα ρεύματα αέρα [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996]



**Σχήμα 4.5:** Επίδραση ανοιγμάτων και πτερυγίων στο διαμπερή αερισμό [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996]





**Σχήμα 4.6:** Ροή του αέρα γύρω από κτίρια [ΔΗΠΕ et al., 2000]

Καθοριστικοί παράγοντες για την επιτυχή εφαρμογή των τεχνικών φυσικού αερισμού είναι η εξωτερική θερμοκρασία, η υγρασία και η ταχύτητα του ανέμου. Ειδικότερα η υγρασία του αέρα αποτελεί το σημαντικότερο περιοριστικό παράγοντα για την εφαρμογή των τεχνικών φυσικού αερισμού, καθώς υψηλά επίπεδα υγρασίας (σχετική υγρασία  $>85\%$ ) έχουν αρνητική επίδραση στη θερμική άνεση. Στις περιπτώσεις αυτές η χρήση συμβατικών συστημάτων κλιματισμού κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού είναι απαραίτητη για την απόρριψη της υγρασίας από το εσωτερικό περιβάλλον του κτιρίου [ΔΗΠΕ et al., 2000].

Όσον αφορά τη ταχύτητα του ανέμου πρέπει να είναι σχετικά μικρή ( $<0.5$  m/sec) για να μην προκαλείται αίσθηση δυσφορίας ή άλλα προβλήματα (π.χ. ανέμισμα χαρτιών) [Στασινόπουλος, 2001]. Από την άλλη πλευρά δεν είναι επιθυμητό να έχει μηδενική τιμή, καθώς αύξηση της ταχύτητας του αέρα κατά  $0.15$  m/sec αντιστοιχεί σε αύξηση της αισθητής από τους ενοίκους θερμοκρασίας κατά  $1$  K, για μέτρια επίπεδα υγρασίας (σχετική υγρασία  $<70\%$ ) [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996].

Η ροή του ανέμου που διακινείται μέσα στα κτίρια θα πρέπει να θεωρείται τρισδιάστατη και μετράται είτε σε απόλυτο όγκο ( $\text{m}^3/\text{sec}$ , min ή h), είτε σε σχετικό όγκο ως αναλογία του όγκου του χώρου (αλλαγές ανά ώρα, ach). Σε ωριαίες αλλαγές οι τιμές ποικίλουν από  $0.75$ - $1$  ach (κατοικίες, γραφεία) έως  $30$ - $50$  ach (χώροι συγκέντρωσης πλήθους) [Στασινόπουλος, 2001].

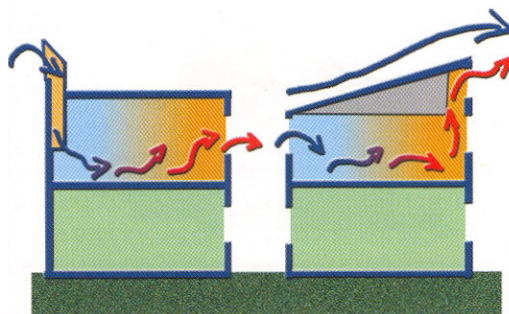
Εκτός από τα συνήθη ανοίγματα (παράθυρα και στόμια), ο αερισμός επιτυγχάνεται και μέσω κατακόρυφων αγωγών, οι οποίοι διακινούν τον αέρα αξιοποιώντας διαφορετικές δυνάμεις κατά περίπτωση [Στασινόπουλος, 2001]:

- Τους ανεμόπυργους
- Τις θερμικές καμινάδες
- Τις ηλιακές καμινάδες



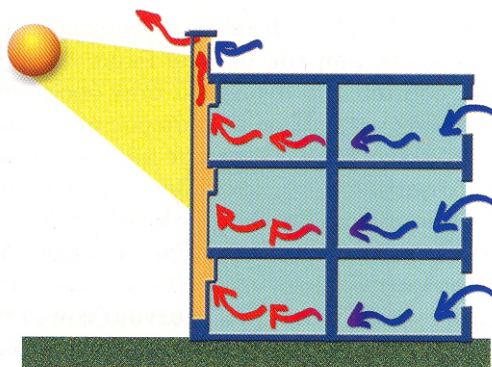
Οι ανεμόπυργοι (Σχήμα 4.7 – αριστερά) αξιοποιούν την ορμή του ανέμου για τη διοχέτευση εξωτερικού αέρα στο εσωτερικό.

Στις θερμικές καμινάδες (Σχήμα 4.7 – δεξιά) η υποπίεση λόγω της κίνησης του ανέμου στο άνω άκρο προκαλεί αναρρόφηση του εσωτερικού αέρα. Οι ανεμόπυργοι και οι θερμικές καμινάδες μπορούν να συνδυαστούν μεταξύ τους παρέχοντας είσοδο και έξοδο στον αέρα, δημιουργώντας έτσι ένα αυτοτελές σύστημα.



**Σχήμα 4.7:** Σύστημα ανεμόπυργου (αριστερά) – θερμικής καμινάδας (δεξιά) [ΔΙΠΕ et al., 2000]

Στις ηλιακές καμινάδες (Σχήμα 4.8) η θέρμανση του άνω άκρου από την ηλιακή ακτινοβολία προκαλεί ανωστική ροή του εσωτερικού αέρα, ακόμα και σε συνθήκες άπνοιας.



**Σχήμα 4.8:** Ηλιακή καμινάδα [ΔΙΠΕ et al., 2000]

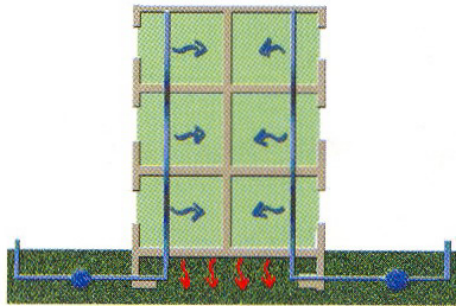
#### 4.4.2 ΔΡΟΣΙΣΜΟΣ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

Κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου η θερμοκρασία του εδάφους σε κάποια βάθη (>2-3 m) είναι αισθητά μικρότερη από εκείνη του ατμοσφαιρικού αέρα, παρέχοντας έτσι μια σημαντική δεξαμενή απορρόφησης της περίσσειας θερμότητας του κτιρίου. Η αντίστροφη διαδικασία είναι δυνατόν να συμβεί κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Η απαγωγή της θερμότητας προς το έδαφος γίνεται με δύο τρόπους [ΔΙΠΕ et al., 2000]:

- Με άμεση επαφή ενός σημαντικού μέρους του κτιριακού κελύφους με το έδαφος
- Με τη χρήση υπόγειων σωλήνων που θα προψύχουν τον αέρα

Στην πρώτη περίπτωση έχουμε ροή θερμότητας μέσω της διαδικασίας της αγωγής από το κτίριο προς το έδαφος κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου και από το έδαφος στο κτίριο κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου. Εκτός από το παραπάνω, πλεονεκτήματα αυτής της τεχνικής είναι η προστασία από το θόρυβο, τη σκόνη, την ακτινοβολία και την κακοκαιρία, ο περιορισμός των διαφυγών αέρα και η αυξημένη πυροπροστασία. Από την άλλη πλευρά, το υψηλό κόστος και οι ανεπαρκείς συνθήκες φωτισμού μπορεί να αποτελέσουν σημαντικά προβλήματα.

Οι υπόγειοι σωλήνες (Σχήμα 4.9) είναι τοποθετημένοι οριζόντια, σε ορισμένο βάθος κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Μέσα στους σωλήνες αυτούς κυκλοφορεί αέρας με τη βοήθεια ηλεκτρικών ανεμιστήρων. Η τεχνική αυτή μπορεί να εφαρμοστεί τόσο σε ένα ανοικτό σύστημα κυκλοφορίας όσο και σε κλειστά συστήματα ανακύκλωσης, ενώ ως προς το υλικό κατασκευής τους οι σωλήνες μπορεί να είναι μεταλλικοί ή πλαστικοί [ΔΙΠΕ et al., 2000].



Σχήμα 4.9: Ανοικτό σύστημα κυκλοφορίας υπόγειων σωλήνων [ΔΙΠΕ et al., 2000]

#### 4.4.3 ΨΥΞΗ ΜΕ ΕΞΑΤΜΙΣΗ

Εξάτμιση συμβαίνει όταν η πίεση του ατμού του νερού (που βρίσκεται με τη μορφή σταγονιδίων ή πάνω σε μια βρεγμένη επιφάνεια) είναι υψηλότερη από τη μερική πίεση των ατμών του νερού στην παρακείμενη ατμόσφαιρα. Η αλλαγή φάσης του νερού από υγρό σε ατμό επιβάλλει την απόδοση μεγάλης ποσότητας *αισθητής θερμότητας* από τον αέρα, κάτι που μειώνει τη θερμοκρασία του αέρα, ενώ αυξάνει την υγρασία του [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996].

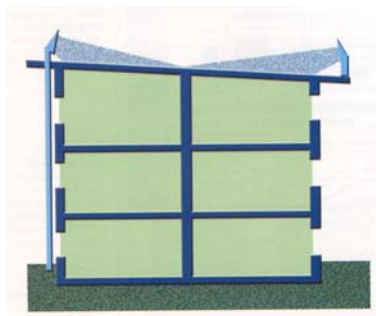
Η ψύξη με εξάτμιση χωρίζεται σε άμεση ή έμμεση και σε παθητική ή υβριδική [ΔΙΠΕ et al., 2000]. Στα συστήματα ψύξης με άμεση εξάτμιση η υγρασία του ψυχθέντος αέρα αυξάνεται, ανεβάζοντας έτσι τη σχετική υγρασία του αέρα του εσωτερικού χώρου. Έτσι η άμεση εξάτμιση πρέπει να εφαρμόζεται μόνο σε περιοχές όπου η σχετική υγρασία είναι χαμηλή (<70%) και να συνδυάζεται με επαρκή αριθμό εναλλαγών αέρα ανά ώρα. Παραδείγματα συστημάτων άμεσης εξάτμισης είναι οι δεξαμενές νερού και τα σιντριβάνια, που για να λειτουργήσουν σωστά πρέπει να βρίσκονται προς την πλευρά του ρεύματος αέρα.

Η έμμεση εξάτμιση πραγματοποιείται στο εσωτερικό ενός εναλλάκτη θερμότητας και η περιεκτικότητα του ψυχόμενου αέρα σε υδρατμούς παραμένει αμετάβλητη. Επιπλέον

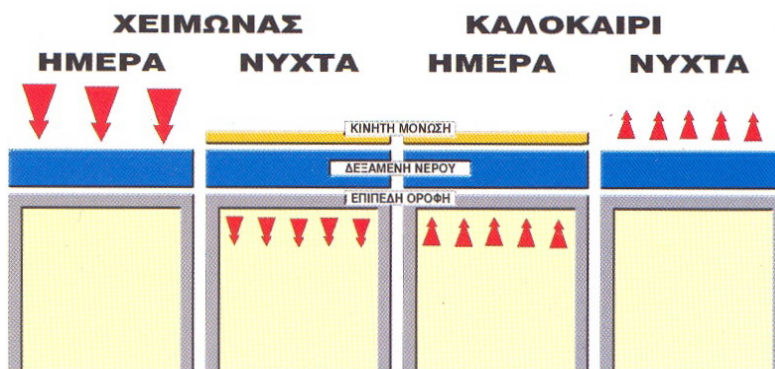
απαιτείται λιγότερο έντονος αερισμός από τα συστήματα άμεσης εξάτμισης. Από την άλλη πλευρά τα έμμεσα συστήματα είναι πιο πολύπλοκα, πιο ακριβά και προσαρμόζονται πιο δύσκολα στο κτίριο.

Τα παθητικά συστήματα εξάτμισης βασίζονται στα στοιχεία του περιβλήματος του κτιρίου και/ή στο παρακείμενο τοπίο, ενώ τα υβριδικά συστήματα αποδίδουν ψύξη βασισμένα σε εξοπλισμό που είναι εγκατεστημένος στο κτίριο, εξοικονομώντας παράλληλα σημαντική ποσότητα ενέργειας (της τάξεως του 50%) σε σχέση με ένα ισοδύναμο σύστημα κλιματισμού [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996].

Παραδείγματα έμμεσων παθητικών συστημάτων αποτελούν ο ψεκασμός οροφής και οι δεξαμενές οροφής. Στον ψεκασμό οροφής (Σχήμα 4.10) η οροφή βρέχεται με νερό το οποίο εξατμίζεται και απάγει τη θερμότητα από το κέλυφος. Οι δεξαμενές οροφής αποτελούνται από μια δεξαμενή νερού με κινητή σκίαση, που βρίσκεται πάνω από μια οροφή από σκυρόδεμα. Στο Σχήμα 4.11 παρουσιάζεται η λειτουργία της δεξαμενής οροφής κατά την ημέρα και τη νύχτα, το χειμώνα και το καλοκαίρι. Πρόσθετο πλεονέκτημα της δεξαμενής οροφής είναι ότι το νερό παίζει ρόλο θερμικής μάζας για την αποθήκευση θερμότητας. Και στα δυο συστήματα που αναφέρθηκαν απαιτείται καλή υγρομόνωση της οροφής ώστε να μην εμφανίζονται προβλήματα υγρασίας στις εσωτερικές επιφάνειες του κτιρίου [ΔΙΠΕ et al., 2000].



Σχήμα 4.10: Ψεκασμός οροφής [ΔΙΠΕ et al., 2000]



Σχήμα 4.11: Λειτουργία της δεξαμενής οροφής κατά την ημέρα και τη νύχτα, το χειμώνα και το καλοκαίρι [ΔΙΠΕ et al., 2000]

Τα έμμεσα υβριδικά συστήματα ψύξης βασίζονται στη χρήση ενός εναλλάκτη θερμότητας. Ο εσωτερικός αέρας προωθείται με ανεμιστήρα και περνά από το πρωτεύον κύκλωμα στο οποίο πραγματοποιείται η εξάτμιση, ενώ ο εξωτερικός αέρας περνά από το δευτερεύον κύκλωμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της θερμοκρασίας του αέρα χωρίς να αυξηθεί η θερμοκρασία του.

#### 4.4.4 ΔΡΟΣΙΣΜΟΣ ΜΕ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

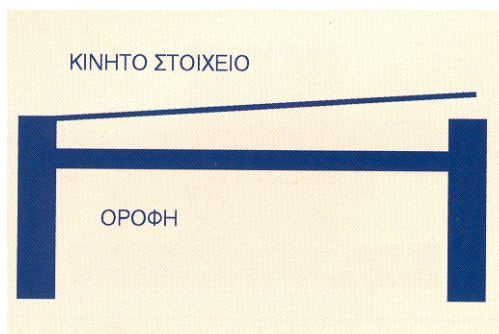
Η αρχή λειτουργίας των συστημάτων δροσισμού με ακτινοβολία βασίζεται στις απώλειες θερμότητας λόγω εκπομπών μεγάλου κύματος ακτινοβολίας από ένα σώμα προς ένα άλλο γειτονικό του που έχει μικρότερη θερμοκρασία και παίζει ρόλο δεξαμενής θερμότητας. Στην περίπτωση των κτιρίων το ψυχόμενο σώμα είναι το κτίριο ενώ η δεξαμενή θερμότητας είναι ο ουράνιος θόλος (ιδιαίτερα κατά τη νύχτα σε συνθήκες έλλειψης νεφών), αφού τότε η θερμοκρασία του είναι μικρότερη από τις θερμοκρασίες των περισσοτέρων σωμάτων πάνω στη Γη. Η ψύξη με ακτινοβολία είναι ένα φαινόμενο που συμβαίνει συνεχώς στην επιφάνεια της Γης και είναι ο μοναδικός μηχανισμός που επιτρέπει στον πλανήτη να αποβάλλει το πλεόνασμα της θερμότητας που δέχεται από τον ήλιο έτσι ώστε να διατηρεί τη θερμική του ισορροπία [ΔΙΠΕ et al., 2000].

Το ακτινοβολούμενο ποσό θερμότητας εξαρτάται από τη διαφορά θερμοκρασίας, τη γεωμετρία του κτιρίου και το συντελεστή εκπομπής των υλικών κατασκευής της οροφής. Τα κυριότερα συστήματα δροσισμού με ακτινοβολία είναι τα εξής [ΔΙΠΕ et al., 2000]:

- Η λευκή οροφή
- Η κινητή μόνωση
- Η κινητή θερμική μάζα
- Ο επίπεδος μεταλλικός νυκτερινός ψύκτης ακτινοβολίας

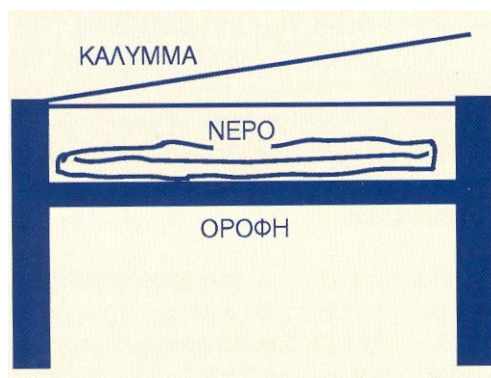
Η λευκή οροφή αποτελεί την απλούστερη τεχνική δροσισμού με ακτινοβολία και έχει εκτεταμένη εφαρμογή στην παραδοσιακή ελληνική αρχιτεκτονική (π.χ. στις Κυκλάδες). Η λευκή επιφάνεια δεν επηρεάζει σημαντικά το ρυθμό της ακτινοβολίας στη διάρκεια της νύχτας (το λευκό και το μαύρο χρώμα έχουν περίπου τον ίδιο συντελεστή εκπομπής στην μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία), ενώ ταυτόχρονα απορροφά μικρότερα ποσά ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας, διατηρώντας με αυτό τον τρόπο χαμηλή τη θερμοκρασία της και κάνοντας ευκολότερη τη ψύξη της κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Τα συστήματα κινητής μόνωσης (Σχήμα 4.12) εφαρμόζονται στις οροφές των κτιρίων και αποτελούνται από ένα μονωτικό υλικό, το οποίο μετακινείται έτσι ώστε να καλύπτει την οροφή του κτιρίου κατά τη διάρκεια της ημέρας, ενώ τη νύχτα αφαιρείται επιτρέποντας την έκθεση της θερμικής μάζας της οροφής. Με αυτόν τον τρόπο ελαχιστοποιούνται τα θερμικά κέρδη λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας. Η λειτουργία του συστήματος μπορεί να αναστρέφεται κατά το χειμώνα, ώστε να επωφελείται από τα ημερήσια ηλιακά κέρδη και να περιορίζει τις απώλειες από ακτινοβολία και αγωγιμότητα κατά τη νύχτα.



**Σχήμα 4.12:** Ψύκτης ακτινοβολίας με κινητή μόνωση [ΔΙΠΕ et al., 2000]

Το σύστημα της κινητής θερμικής μάζας (Σχήμα 4.13) αποτελεί μια παραλλαγή του συστήματος κινητής μόνωσης. Κατά τη διάρκεια της νύχτας η δεξαμενή οροφής που είναι τοποθετημένη πάνω από ένα μονωτικό στρώμα γεμίζεται με νερό το οποίο ψύχεται λόγω ακτινοβολίας. Το πρωί το ψυχρό νερό χύνεται κάτω από τη μονωτική στρώση, όπου μπορεί να απορροφήσει μεγάλες ποσότητες θερμότητας και να συμβάλει στη μείωση της μέσης θερμοκρασίας του τελευταίου ορόφου.



**Σχήμα 4.13:** Σύστημα κινητής θερμικής μάζας [ΔΙΠΕ et al., 2000]

Ο επίπεδος μεταλλικός νυκτερινός ψύκτης ακτινοβολίας είναι μια υβριδική συσκευή που μοιάζει με έναν επίπεδο ηλιακό συλλέκτη χωρίς γυαλί. Κατά τη διάρκεια της νύχτας το μέσο που χρησιμοποιείται (αέρας ή νερό) ψύχεται με ακτινοβολία και στη συνέχεια μεταφέρεται είτε άμεσα στο εσωτερικό του σπιτιού, είτε έμμεσα με αποθήκευση στη θερμική μάζα του κτιρίου.

## **ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ**

### **5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Κατά το σχεδιασμό των συστημάτων φυσικού φωτισμού ιδιαίτερη σημασία έχει η κατά το δυνατό μεγαλύτερη κάλυψη των απαιτήσεων σε φωτισμό από το φυσικό φως. Φυσικό φως ονομάζεται το ορατό τμήμα του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας την οποία εκπέμπει ο ήλιος και η οποία προσπίπτει στην επιφάνεια της Γης. Η χρήση φυσικού φωτισμού μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά πλεονεκτήματα εξοικονόμησης ενέργειας (ο τεχνητός φωτισμός είναι υπεύθυνος για το 15% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων), συνεισφέροντας έτσι σημαντικά στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Επιπλέον, η έλλειψη φυσικού φωτισμού έχει σημαντική αρνητική επίδραση σε ψυχολογικές παραμέτρους στον άνθρωπο (αντίληψη της ώρας της ημέρας, εξωτερική θέα, αίσθημα της ευχαρίστησης στον εσωτερικό χώρο) [ΔΠΠΕ et al., 2000].

Στη συνέχεια αναφέρονται κάποια βασικά στοιχεία για την οπτική άνεση στο εσωτερικό των κτιρίων και παρουσιάζονται τα κυριότερα συστήματα φυσικού φωτισμού. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται για τις διατάξεις των αιθρίων.

### **5.2 ΟΠΤΙΚΗ ΑΝΕΣΗ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ**

Η οπτική άνεση σε ένα χώρο απαιτεί την εξασφάλιση τεσσάρων επιμέρους προϋποθέσεων [ΔΠΠΕ et al., 2000]:

- Την επίτευξη των απαραίτητων φωτιστικών επιπέδων για το είδος των εργασιών που επιτελούνται στο χώρο
- Την αποφυγή της οπτικής θάμβωσης
- Την εξασφάλιση οπτικής επαφής με το εξωτερικό περιβάλλον
- Την οπτική επαφή με εξωτερικά στοιχεία ευχάριστα στο άτομο

Στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζονται προτεινόμενες τιμές της φωτεινότητας για την επίτευξη συνθηκών οπτικής άνεσης.

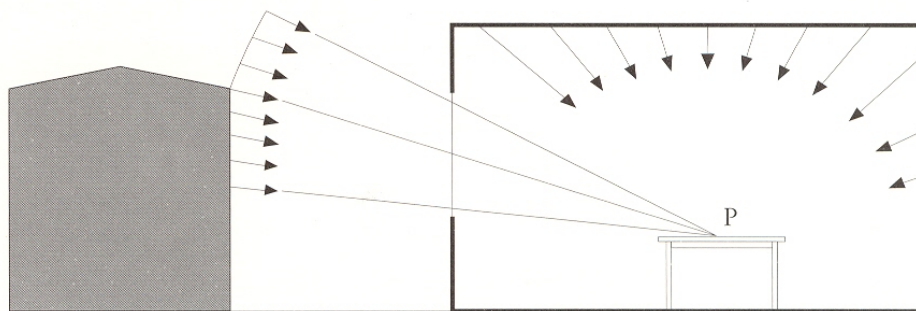


Είδος Εσωτερικού Χώρου	Φωτεινότητα (lux)
Αποθήκες	150
Μηχανουργεία	300
Γραφεία	500
Σχεδιαστήρια	750
Χώροι συναρμολόγησης	1000
Χώροι λεπτών εργασιών	1500
Είσοδος κατοικίας	50-100
Τραπεζαρία	100
Καθιστικό – Κουζίνα	200
Χώρος μελέτης	300-500

**Πίνακας 5.1:** Προτεινόμενες τιμές φωτεινότητας για επίτευξη οπτικής άνεσης  
[Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1994]

### 5.2.1 ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ (ΠΦΦ)

Ως Παράγοντας Φυσικού Φωτισμού (ΠΦΦ) ορίζεται το πηλίκο της λαμπρότητας στο εσωτερικό του κτιρίου όπως μετράται σε ένα καθορισμένο ύψος εργασίας (συνήθως 1 μέτρο πάνω από το έδαφος), προς τη λαμπρότητα όπως μετράται στο εξωτερικό του κτιρίου υπό συνθήκες νεφосκεπούς ουρανού [ΔΙΠΕ et al., 2000]. Ο ΠΦΦ επηρεάζεται από το φωτισμό του ουράνιου θόλου, την εξωτερική ανάκλαση και την εσωτερική ανάκλαση (Σχήμα 5.1) [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996].



**Σχήμα 5.1:** Τρόποι με τους οποίους το φως φτάνει στο σημείο P [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996]

Οι τιμές του ΠΦΦ κυμαίνονται στο διάστημα μεταξύ 0 και 5% για πάνω από το 80% του εμβαδού του δαπέδου των περισσότερων κτιρίων. Κοντά στα παράθυρα η τιμή μπορεί να φτάσει στο 10-15% [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996]. Μια κατάταξη της λαμπρότητας των ζωνών του κτιρίου με βάση τον ΠΦΦ δίνεται στον Πίνακα 5.2.

Ζώνη	ΠΦΦ	Συμβολή του φωτός ημέρας
Έντονου φωτός	>6%	Πολύ μεγάλη
Μέση	3-6%	Καλή
Σκοτεινή	1-3%	Μέτρια
Πολύ σκοτεινή	0-1%	Φτωχή

**Πίνακας 5.2:** Αντιστοιχία ΠΦΦ και λαμπρότητας στη ζώνη του κτιρίου [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996]

Η ποιότητα του εσωτερικού οπτικού περιβάλλοντος και η οπτική άνεση των χρηστών ενός κτιρίου είναι άμεση συνάρτηση της ποσότητας του φυσικού φωτός που εισέρχεται στο εσωτερικό του κτιρίου. Σύμφωνα με τους Freymuth & Seidel μία απλή σχέση για την έκφραση της οπτικής άνεσης είναι η εξής [ΔΙΠΕ et al., 2000]:

$$U = 3.2 \cdot \log(\text{ΠΦΦ}) + 6.6 \quad [5.1]$$

όπου  $U$  είναι η οπτική άνεση. Η τιμή της  $U$  κυμαίνεται συνήθως από -2 (όταν οι συνθήκες φυσικού φωτισμού είναι πολύ κακές) μέχρι 2 (όταν οι συνθήκες φυσικού φωτισμού είναι πολύ καλές), με το 0 να αντιστοιχεί σε ουδέτερες συνθήκες.

### 5.2.2 ΘΑΜΒΩΣΗ

Όταν το ανθρώπινο μάτι δέχεται φως από μια άμεση ή έμμεση πηγή με φωτεινότητα πολύ μεγαλύτερη από τη μέση τότε του είναι δύσκολο να προσαρμοστεί και η προσαρμογή αυτή απαιτεί επιπλέον χρόνο. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται θάμβωση και επηρεάζει αρνητικά την οπτική άνεση σε έναν χώρο.

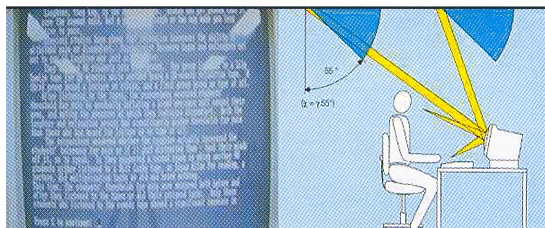
Θάμβωση σε ένα κτίριο μπορεί να προκληθεί από έντονη πηγή φωτός ή από ανομοιομορφία της φωτεινότητας (Σχήμα 5.2). Στην πρώτη περίπτωση, που ονομάζεται εκτυφλωτική θάμβωση, τα αντικείμενα με μικρότερη λαμπρότητα γίνονται δυσδιάκριτα και η εικόνα του χώρου γίνεται προσωρινά θολή. Κατά τη δεύτερη περίπτωση παρουσιάζονται ισχυρές διαφορές στη φωτεινότητα των αντικειμένων που βρίσκονται στο οπτικό πεδίο του οφθαλμού, προκαλώντας έτσι οπτική δυσφορία. Για τη ποσοτική μέτρηση του φαινομένου αυτού χρησιμοποιείται ο λόγος λαμπροτήτων  $C$  που ορίζεται ως το πηλίκο μεταξύ της φωτεινότητας μιας επιφάνειας εργασίας και αυτής του γειτονικού της περιβάλλοντος. Όταν το  $C$  λαμβάνει τιμές από 3 έως 10 είναι δυνατή η άμεση παρατήρηση ενός αντικειμένου [ΔΙΠΕ et al., 2000].





**Σχήμα 5.2:** Θάμβωση προκαλούμενη από έντονη πηγή φωτός (αριστερά) και ανομοιομορφία της φωτεινότητας (δεξιά) [ΔΠΠΕ et al., 2000]

Τέλος, θάμβωση προκαλεί η ανάκλαση του φωτός από φωτεινές επιφάνειες. Το πρόβλημα αυτό εμφανίζεται όταν πολύ έντονο φως προσπίπτει σε οθόνες υπολογιστών, οπότε η ανάκλαση κάνει σχεδόν αδύνατη την εργασία (Σχήμα 5.3).



**Σχήμα 5.3:** Θάμβωση από αντανάκλαση στην οθόνη του υπολογιστή [ΔΠΠΕ et al., 2000]

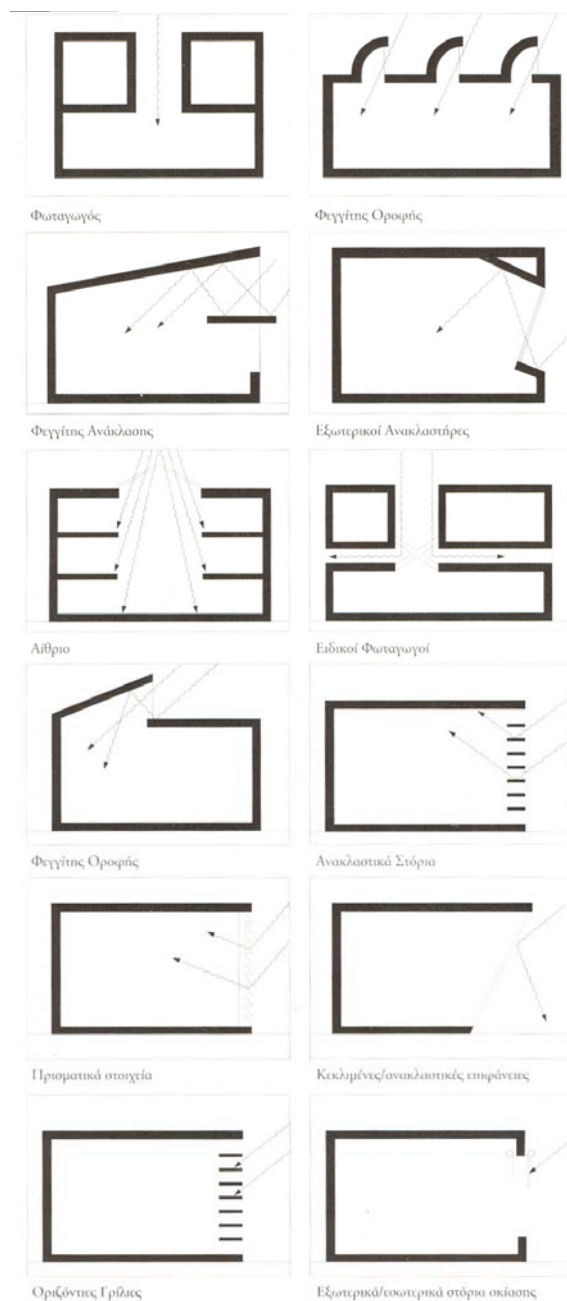
### 5.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

Σε τμήματα του κτιρίου όπου υπάρχουν μικρές ανάγκες φωτισμού, όπως είναι οι διάδρομοι ή οι χώροι εισόδου, το άμεσο ηλιακό φως μπορεί να συμβάλλει στην ποιότητα του χώρου. Σε γραφεία και παρόμοιους χώρους η είσοδος των ακτινών του άμεσου ηλιακού φωτός μπορεί να είναι πηγή έλλειψης άνεσης και θάμβωσης. Αν όμως το ηλιακό φως διαχέεται ή κατευθύνεται στην οροφή ή τους τοίχους μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στις απαιτήσεις φωτισμού [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996].

Ο έλεγχος του ηλιακού φωτός μπορεί να γίνει με τη χρήση μόνιμων ή κινητών αρχιτεκτονικών στοιχείων. Αυτά είτε διαχέουν το άμεσο ηλιακό φως είτε το οδηγούν με τη χρήση στοιχείων κατεύθυνσης όπως οι ανακλαστήρες. Στο Σχήμα 5.4 παρουσιάζονται μερικά παραδείγματα συστημάτων που επιτρέπουν στο ηλιακό φως να συμβάλει στις απαιτήσεις φωτισμού του κτιρίου χωρίς τον κίνδυνο θάμβωσης. Τα συστήματα αυτά είναι [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996]:

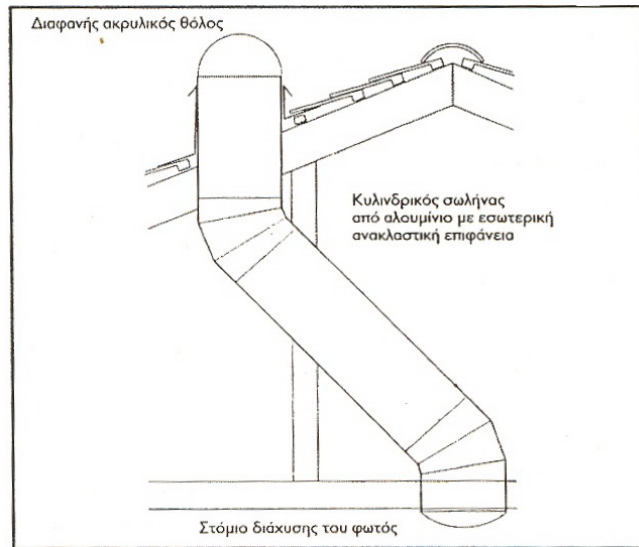
- Ο φωταγωγός
- Ο φεγγίτης οροφής
- Ο φεγγίτης ανάκλασης
- Οι εξωτερικοί ανακλαστήρες
- Το αίθριο (εξετάζεται αναλυτικά στην επόμενη ενότητα)

- Οι ειδικοί φωταγωγοί
- Ο φεγγίτης οροφής
- Τα ανακλαστικά στόρια
- Τα πρισματικά στοιχεία
- Οι κεκλιμένες/ανακλαστικές επιφάνειες
- Οι οριζόντιες γρίλιες
- Τα εξωτερικά/εσωτερικά στόρια σκίασης



Σχήμα 5.4: Συστήματα ελέγχου του ηλιακού φωτός [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996]

Μια επιπλέον ενδιαφέρουσα διάταξη είναι ο φωτοσωλήνας (Σχήμα 5.5). Τοποθετείται στην οροφή του κτιρίου και μεταφέρει το φυσικό φως μέχρι και δύο ορόφους χαμηλότερα. Αποτελείται από ένα σωλήνα με τοιχώματα μεγάλης ανακλαστικότητας και έναν ανακλαστήρα τοποθετημένο στην κορυφή του, ο οποίος αναγκάζει το ηλιακό φως να εισέλθει στο σωλήνα. Εκεί το ηλιακό φως μέσω πολλαπλών ανακλάσεων οδηγείται στο χώρο που θέλουμε να φωτίσουμε. Η ολική απόδοση του συστήματος είναι περίπου 50% [Τσιπήρας et al., 2005].



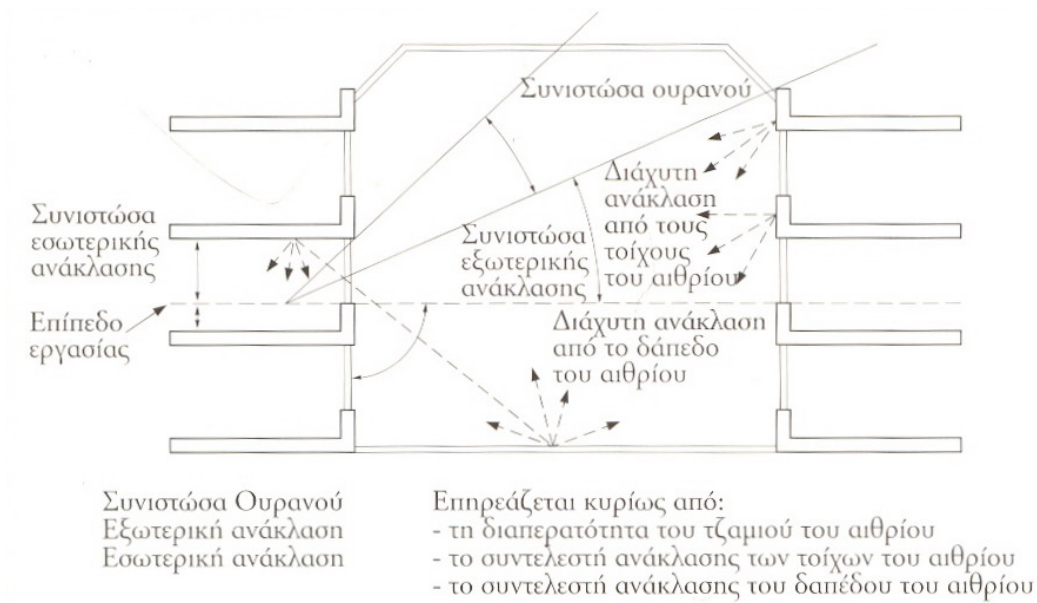
**Σχήμα 5.5:** Φωτοσωλήνας [Τσιπήρας et al., 2005]

Κατά τη φάση του σχεδιασμού ενός κτιρίου, η αποτίμηση της απόδοσης των συστημάτων φυσικού φωτισμού μπορεί να γίνει με τις εξής μεθόδους [ΔΙΠΕ et al., 2000]:

- Με χρήση μακετών
- Μέσω υπολογιστικών εργαλείων
- Με απλοποιημένες γραφικές μεθόδους

## 5.4 ΑΙΘΡΙΑ

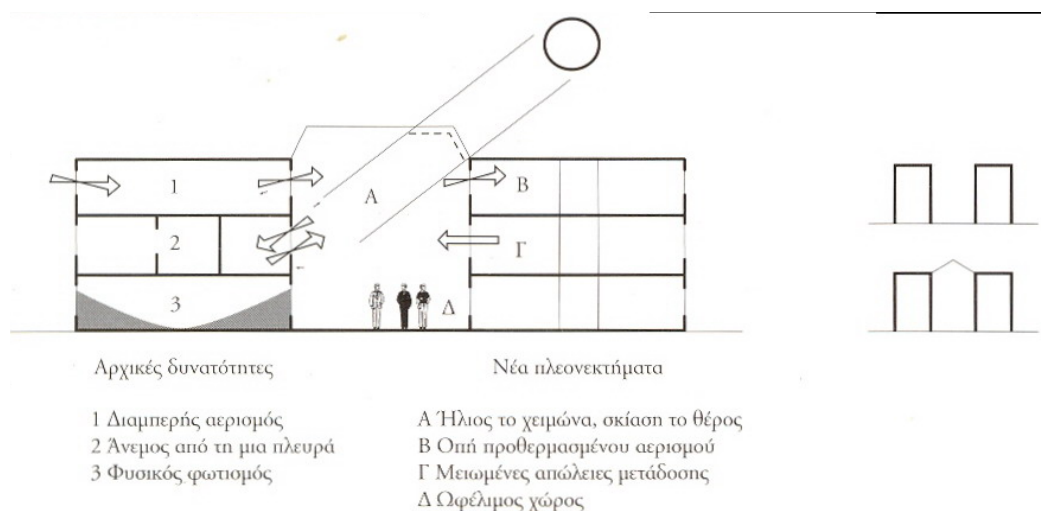
Τα αίθρια χρησιμοποιούνται για την κάλυψη του χώρου μεταξύ γειτονικών κτιρίων με γυάλινες οροφές. Αν και αποτελούν μια παλιά ιδέα, έγιναν δημοφιλή μόλις κατά τα τελευταία χρόνια. Χρησιμοποιούνται κυρίως στα βόρεια γεωγραφικά πλάτη σε κτίρια γραφείων, σε νοσοκομεία, σε ξενοδοχεία και σε εμπορικά κέντρα. Τα αίθρια, αν σχεδιαστούν σωστά, είναι δυνατόν να αποτελέσουν πρόσθετη πηγή φωτισμού στα κτίρια (Σχήμα 5.6). Ο στόχος της κατασκευής ενός αιθρίου είναι η αύξηση των γυάλινων επιφανειών του κτιρίου, χωρίς να αυξηθούν σημαντικά οι θερμικές του απώλειες [ΔΙΠΕ et al., 2000].



**Σχήμα 5.6:** Το αίθριο ως πηγή φυσικού φωτισμού [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996]

Τα αίθρια προσφέρουν ποικίλα πλεονεκτήματα (Σχήμα 5.7), τα σημαντικότερα από τα οποία είναι [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996]:

- Η δημιουργία ενός ημιυπαίθριου χώρου με προστασία από το ψύχος και τον υγρό καιρό
- Η μετατροπή των ανοιχτών αυλών σε χώρους με φυσικό φωτισμό και προστασία, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κυκλοφορία των πεζών, για εστιατόρια, ως χώροι αναψυχής σε νοσοκομεία, κτλ.
- Η δυνατότητα χρήσης του αιθρίου ως χώρου που διαθέτει θερμό αέρα, καθώς και για την προθέρμανση του αέρα αερισμού
- Ο περιορισμός των απωλειών θερμότητας από τις επιφάνειες του κτιρίου που διαφορετικά θα ήταν εκτεθειμένες στο χειμερινό καιρό
- Η μείωση των δαπανών συντήρησης των όψεων που αλλιώς θα ήταν εκτεθειμένες στις καιρικές συνθήκες
- Η αυξημένη χρήση του φωτισμού, έτσι ώστε κατά το μεγαλύτερο τμήμα του χρόνου να μην απαιτείται ηλεκτρικός φωτισμός στη διάρκεια της ημέρας
- Η δημιουργία τεράστιων και ευχάριστων εσωτερικών κήπων
- Η δυνατότητα διασυνδέσεων μεταξύ κτιρίων και μεταξύ οδών



**Σχήμα 5.7:** Οι περιβαλλοντικές λειτουργίες που προέρχονται από τον ανοικτό χώρο του αιθρίου  
[Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996]

Τα σημαντικότερα προβλήματα που υπεισέρχονται κατά το σχεδιασμό των αιθρίων είναι:

- Πρόσθετοι κίνδυνοι πυρκαγιάς και καπνού
- Η παροχή αερισμού σε χώρους που διαφορετικά θα ήταν εκτεθειμένοι στον εξωτερικό αέρα
- Ο κίνδυνος της υπερθέρμανσης κατά το καλοκαίρι, ειδικά σε περιοχές με θερμό κλίμα
- Η απώλεια φυσικού φωτισμού σε χώρους που γειτνιάζουν στην κατασκευή της στέγης
- Ο κίνδυνος διασποράς των μολυσματικών ουσιών στα αίθρια των νοσοκομείων
- Το κόστος των υαλοστασίων

## **ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣΗΣ**

### **6.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

#### **6.1.1 ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα χρησιμοποιούν μηχανικά μέσα για την παροχή ενέργειας στο κτίριο (ηλεκτρικό ρεύμα, θερμότητα), αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια. Αποτελούν μια πολύ ελκυστική περίπτωση για τη χώρα μας λόγω της μεγάλης ηλιοφάνειας που παρατηρείται σε όλες σχεδόν τις εποχές του έτους. Η χρήση τους σε αστικά κτίρια μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα που προκύπτουν τόσο από τη χωροθέτηση του κτιρίου στον αστικό χώρο, όσο και από τις επικαθήσεις στα καλύμματα τους που προκαλούνται εξαιτίας της ρύπανσης του αέρα [ΔΙΠΕ et al., 2000]. Οι κυριότεροι τύποι ενεργητικών ηλιακών συστημάτων είναι:

- Τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) συστήματα
- Οι ηλιακοί συλλέκτες

##### **6.1.1.1 Φωτοβολταϊκά (Φ/Β) Συστήματα**

Τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) στοιχεία αποτελούν μια σημαντική τεχνολογία για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας μετατρέποντάς την σε ηλεκτρική με τη βοήθεια του *φωτοηλεκτρικού φαινομένου*. Κάθε Φ/Β στοιχείο αποτελείται από δύο στρώματα ημιαγωγού υλικού, συνήθως πυριτίου. Όταν η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στην ένωση αυτών των δύο στρωμάτων παράγεται συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα. Ομάδες Φ/Β στοιχείων συνδεδεμένες σε σειρά ή παράλληλα διαμορφώνουν ένα Φ/Β πλαίσιο. Το πιο σημαντικό από τα τεχνικά χαρακτηριστικά ενός Φ/Β πλαισίου είναι η ισχύς αιχμής  $P_a$  που εκφράζει την παραγόμενη ηλεκτρική ισχύ όταν το Φ/Β πλαίσιο εκτεθεί σε ηλιακή ακτινοβολία  $1 \text{ kW/m}^2$ . Για την κάλυψη φορτίων μεγαλύτερης ισχύος είναι δυνατή η δημιουργία Φ/Β συστοιχιών, συνδέοντας πολλά Φ/Β πλαίσια [ΔΙΠΕ et al., 2000]. Στο Σχήμα 6.1 δείχνεται μια κατοικία με ενσωματωμένα Φ/Β πλαίσια στην οροφή της.





**Σχήμα 6.1:** Κατοικία με ενσωματωμένα Φ/Β πλαίσια [Τσιπήρας et al., 2005]

Ένα τυπικό Φ/Β σύστημα αποτελείται από τη Φ/Β συστοιχία, τους συσσωρευτές για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας και το σύστημα μετατροπής ισχύος, που μετατρέπει τη συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη. Οι βασικοί τύποι Φ/Β συστημάτων είναι οι εξής [ΔΙΠΕ et al., 2000]:

- Αυτόνομα συστήματα
- Συστήματα διασυνδεδεμένα με το δίκτυο
- Υβριδικά συστήματα, που λειτουργούν σε συνδυασμό με άλλες πηγές ενέργειας (π.χ. γεννήτρια πετρελαίου ή ανεμογεννήτρια)
- Συστήματα μικρής ισχύος, που συνήθως εγκαθίστανται σε κτίρια που διαθέτουν ενεργητικά ή παθητικά ηλιακά συστήματα

Τα βασικά πλεονεκτήματα των Φ/Β συστημάτων είναι τα παρακάτω:

- Το κόστος της παραγόμενης ενέργειας εξαρτάται μόνο από το κόστος της αρχικής επένδυσης, καθώς το κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι σχεδόν μηδαμινό
- Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται στον τόπο που χρησιμοποιείται
- Η ρύπανση της ατμόσφαιρας κατά τη λειτουργία του συστήματος είναι μηδενική
- Η μεγάλη διάρκεια ζωής τους (15-20 έτη)
- Η αθόρυβη λειτουργία τους
- Το χαμηλό μεταφορικό τους κόστος
- Η ενσωμάτωσή τους σε οροφές και προσόψεις κτιρίων



- Η δυνατότητα επέκτασης του συστήματος ανάλογα με τις ενεργειακές απαιτήσεις
- Αποτελούν την οικονομικότερη λύση για την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών απομακρυσμένων κατοικιών μη συνδεδεμένων με το ηλεκτρικό δίκτυο

Τα σημαντικότερα μειονεκτήματά τους είναι:

- Απαιτούν πολύ μεγάλα ποσά ενέργειας κατά τη διαδικασία κατασκευής τους
- Έχουν υψηλό κόστος
- Απαιτούν την ύπαρξη συσσωρευτών για την αποθήκευση της ενέργειας στα αυτόνομα συστήματα
- Απαιτούν σχετικά μεγάλες επιφάνειες για την εγκατάστασή τους

Τα Φ/Β πλαίσια μπορούν να λειτουργήσουν και ως δομικά στοιχεία ενός κτιρίου. Για το σκοπό αυτό έχουν αναπτυχθεί ημιδιαφανή Φ/Β πλαίσια, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη θέση των υαλοπινάκων, παρέχοντας ταυτόχρονα ηλιακή ενέργεια και ηλιοπροστασία κατά τους θερινούς μήνες (Σχήμα 6.2).



**Σχήμα 6.2:** Ημιδιαφανή Φ/Β πλαίσια ενσωματωμένα στην πρόσοψη κτιρίου [ΔΙΠΕ et al., 2000]

#### 6.1.1.2 Ηλιακοί Συλλέκτες

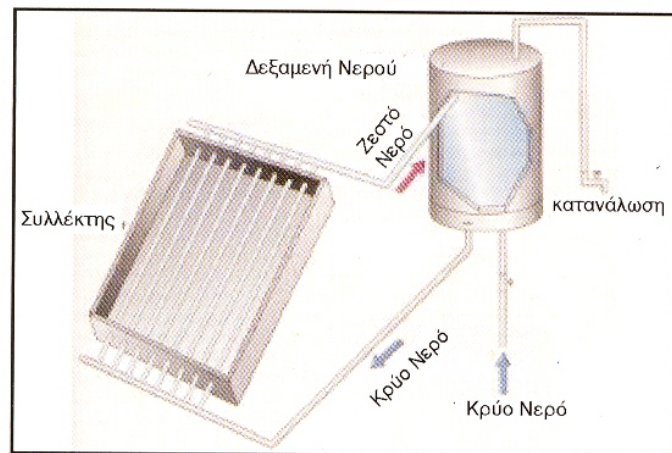
Οι ηλιακοί συλλέκτες αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια για τη θέρμανση των χώρων και την παραγωγή ζεστού νερού στα κτίρια. Ανάλογα με το μέσο το οποίο χρησιμοποιείται για τη συλλογή και αποθήκευση της ενέργειας, τα συστήματα των ηλιακών συλλεκτών ταξινομούνται στις παρακάτω κατηγορίες [ΔΙΠΕ et al., 2000]:

- Συστήματα αέρος
- Συστήματα υγρού

Ο βασικός τρόπος λειτουργίας και των δύο συστημάτων είναι ο ίδιος, με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η χρήση των ίδιων στοιχείων και υλικών για την κατασκευή τους. Τα συστήματα αέρος χρησιμοποιούνται κυρίως για τη θέρμανση χώρων και την ξήρανση αγροτικών προϊόντων, καθώς και σε βιομηχανικές εφαρμογές. Τα συστήματα υγρού χρησιμοποιούνται πολύ συχνότερα σε επαγγελματικούς χώρους και κατοικίες καθώς είναι κατάλληλα για μια πιο ευρεία κλίμακα εφαρμογών όπως η θέρμανση χώρων, η παραγωγή

ζεστού νερού για οικιακή χρήση, η θέρμανση του νερού σε πισίνες, ως συστήματα κλιματισμού και ως πηγή ενέργειας σε αντλίες θερμότητας.

Ο πιο διαδεδομένος τύπος συλλέκτη για κατοικίες και επαγγελματικούς χώρους είναι ο επίπεδος ηλιακός συλλέκτης. Είναι τύπου υγρού και αποτελείται από μια απορροφητική επιφάνεια με επικάλυψη ειδικού επιλεκτικού υλικού μαύρου χρώματος (έτσι ώστε να απορροφά το μέγιστο της θερμικής ακτινοβολίας) και ένα μονωμένο κλειστό πλαίσιο με διαφανές κάλυμμα (γυαλί ή πλαστικό) που εμποδίζει την επανεκπομπή της απορροφώμενης ακτινοβολίας. Η απορροφητική επιφάνεια βρίσκεται σε επαφή με τους αγωγούς του υγρού που μεταφέρουν τη συλλεγόμενη θερμότητα από το συλλέκτη στην δεξαμενή αποθήκευσης θερμότητας (Σχήμα 6.3). Πλεονεκτήματα του επίπεδου συλλέκτη είναι η απλή κατασκευή, το σχετικά μικρό κόστος, η εύκολη συντήρηση, η ανθεκτικότητά του και η ικανότητά του να απορροφά τη διάχυτη ακτινοβολία [ΔΙΠΕ et al., 2000].



**Σχήμα 6.3:** Σύστημα επίπεδου ηλιακού συλλέκτη [ΔΙΠΕ et al., 2000]

### 6.1.2 ΒΙΟΔΥΝΑΜΙΚΑ ΤΖΑΚΙΑ ΚΑΙ ΣΟΜΠΕΣ

Το ξύλο ήταν ένα από τα πρώτα υλικά που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος για θέρμανση. Αρχικά η εστία της φωτιάς βρισκόταν στο κέντρο της κατοικίας και ο καπνός έφευγε μέσα από ένα άνοιγμα της σκεπής. Όταν κατά τη διάρκεια του μεσαίωνα άρχισαν να κατασκευάζονται πολυώροφοι πύργοι, αυτή η λύση δεν μπορούσε πια να εφαρμοστεί και η εστία μεταφέρθηκε στον εξωτερικό τοίχο, οδηγώντας τον καπνό προς τα έξω μέσω ενός πλαγίου ανοίγματος του τοίχου, που αργότερα εξελίχτηκε σε καμινάδα. Σε ένα τέτοιου τύπου τζάκι το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας χάνεται με τα καυσαέρια μέσα από την καμινάδα και μόνο ένα μικρό μέρος της ενέργειας των ξύλων (της τάξης του 10%) θερμαίνει το γύρω χώρο με άμεση ακτινοβολία της φλόγας.

Οι βασικές βελτιώσεις που αναπτύχθηκαν στα τζάκια και τις σόμπες μπορούν να συνοψιστούν στις εξής [Τσιπήρας et al., 2005]:

- Κατάλληλη γεωμετρία και υλικά του εστιακού χώρου για αύξηση της ακτινοβολούμενης θερμότητας προς το δωμάτιο
- Στένεμα και τοποθέτηση καπνοφράχτη στη βάση της καπνοδόχου για ρύθμιση της έλξης και της καύσης
- Διαμόρφωση αγωγού καθοδικής έλξης καυσαερίων για ανάκτηση θερμότητας
- Παροχή αέρα καύσης από το εξωτερικό περιβάλλον της κατοικίας για μείωση των ρευμάτων αέρα από τα παράθυρα προς την εστία
- Παραγωγή θερμού αέρα μέσω κυκλοφορίας αέρα εσωτερικού ή εξωτερικού χώρου με τη βοήθεια ενός εναλλάκτη θερμότητας στην περιφέρεια του θαλάμου καύσης
- Τοποθέτηση θυρίδων στο εμπρός μέρος του θαλάμου καύσης για αύξηση της θερμοκρασίας καύσης, και αργότερα τοποθέτηση πυρίμαχου γυαλιού για παρακολούθηση της φλόγας
- Προθέρμανση του αέρα καύσης μέσω ειδικής καπνοδόχου (ισορροπημένης έλξης)
- Χρησιμοποίηση καταλυτικού καυστήρα (κυψελοειδές κεραμικό φίλτρο με επικάλυψη καταλύτη από ευγενή μέταλλα) για τη μετάκαυση των καυσαερίων

Οι αποδόσεις των βασικών τύπων τζακιών και σομπών που προκύπτουν δίνονται στον Πίνακα 6.1.

Τζάκια	Απόδοση	Σόμπες	Απόδοση
Ανοικτής εστίας	0.1	Μη αεροστεγής	0.3
Ανοικτής εστίας με φυσική κυκλοφορία αέρα	0.2	Αεροστεγής	0.5
Κλειστής εστίας με φυσική ή τεχνητή κυκλοφορία αέρα ή νερού	0.7	Αντίστροφης έλξης καυσαερίων, με θυρίδες	0.6
Κλειστής εστίας με προθέρμανση αέρα	0.8	Αεροστεγής με καταλυτικό φίλτρο	0.9

**Πίνακας 6.1:** Αποδόσεις σε τζάκια και σόμπες [Τσιπήρας et al., 2005]

Ο θερμός αέρας που εξέρχεται από ένα τζάκι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση όλων των χώρων της κατοικίας, είτε μέσω αεραγωγών, είτε από ειδικές θυρίδες στο κορμό της καμινάδας. Με αυτόν τον τρόπο λύνεται και ένα σημαντικό πρόβλημα των παραδοσιακών τζακιών, καθώς αν καθίσει κάποιος κοντά σε αυτά ζεσταίνει τη μπροστινή πλευρά του σώματός του, ενώ παράλληλα κρύνει η πλάτη του [Τσιπήρας et al., 2005].

### 6.1.3 ΑΛΛΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ακόμα και σε κτίρια με βέλτιστο βιοκλιματικό σχεδιασμό είναι πολύ δύσκολο να αποφευχθεί πλήρως η χρήση συμβατικών συστημάτων. Ωστόσο, υπάρχει η δυνατότητα για περαιτέρω εξοικονόμηση ενέργειας με χρήση των παρακάτω τεχνικών [ΔΙΠΕ et al., 2000]:

- Χρήση λεβήτων νέου τύπου με υψηλή απόδοση (π.χ. λέβητες συμπύκνωσης)
- Τακτική συντήρηση και σωστή ρύθμιση καυστήρα
- Εγκατάσταση κλιματιστικών υψηλού συντελεστή απόδοσης (συντελεστή COP) στην περίπτωση που η χρήση τους είναι αναπόφευκτη (π.χ. θερμά κλίματα με υψηλά ποσοστά υγρασίας)
- Χρήση συστημάτων ανάκτησης θερμότητας (π.χ. αντλίες θερμότητας)
- Χρήση οικιακών συσκευών χαμηλής κατανάλωσης (π.χ. ψυγεία)
- Χρήση λαμπτήρων χαμηλής κατανάλωσης
- Συμπαγωγή θερμότητας και κλιματισμού (χρησιμοποιείται κυρίως σε κτίρια όπως ξενοδοχεία, νοσοκομεία και φυλακές)
- Συστήματα τηλεθέρμανσης, στην οποία η χρησιμοποιούμενη θερμότητα προέρχεται από την απορριπτόμενη θερμότητα των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής ή από γεωθερμία.

### 6.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

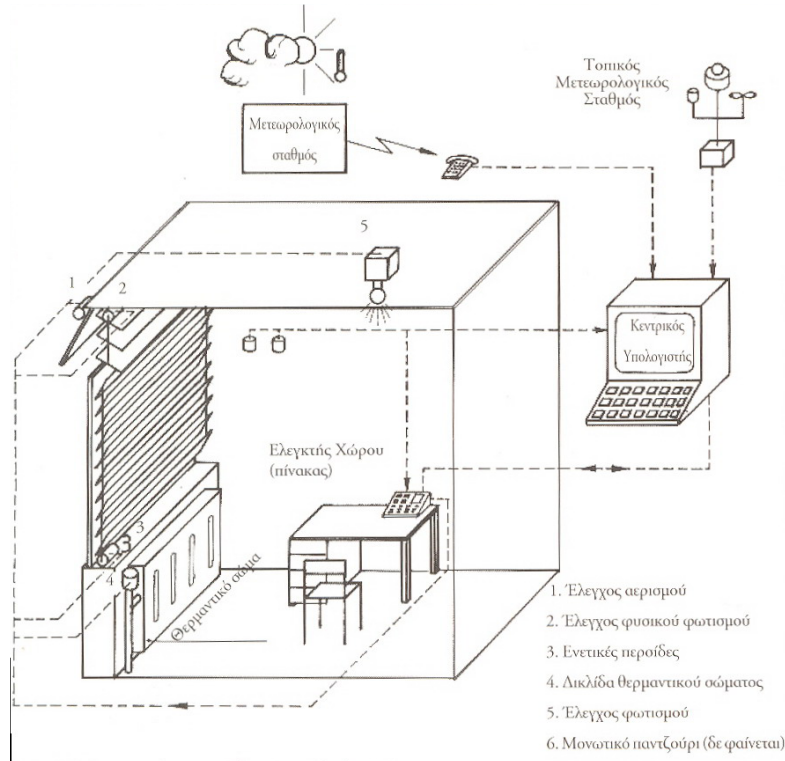
Η επίτευξη θερμικής και οπτικής άνεσης σε ένα σπίτι, ελαχιστοποιώντας παράλληλα την κατανάλωση ενέργειας, είναι δυνατόν να επιτευχθεί με χρήση συστημάτων αυτομάτου ελέγχου. Τα συστήματα αυτά θα πρέπει να διαχειρίζονται τα παθητικά ηλιακά κέρδη, τον αερισμό, την ψύξη, τη βοηθητική θέρμανση-ψύξη και το φυσικό φωτισμό καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, ρυθμίζοντας ένα σύνολο παραμέτρων όπως η εσωτερική θερμοκρασία, η υγρασία, η ποιότητα και η ταχύτητα του αέρα, τα επίπεδα φωτισμού και η θάμβωση. Η αναγκαιότητα ενός τέτοιου συστήματος αποδεικνύεται από το γεγονός ότι σε πολλές περιπτώσεις η ταυτόχρονη ρύθμιση των παραπάνω παραμέτρων είναι αντιφατική (π.χ. ανάγκη φυσικού αερισμού και θέρμανσης).

Ένα τυπικό σύστημα ελέγχου αποτελείται από τα εξής στοιχεία [ΔΙΠΕ et al., 2000]:

- Τους αισθητήρες, οι οποίοι μετρούν την τιμή των παραμέτρων ελέγχου
- Τους ενεργοποιητές, που εκτελούν την αλλαγή στον τρόπο λειτουργίας των ενεργειακών συστημάτων με τα οποία είναι συνδεδεμένο το σύστημα ελέγχου
- Τους ελεγκτές, που καθορίζουν τον τρόπο λειτουργίας και συντονισμού των διαφόρων ενεργειακών συστημάτων, ανάλογα με τις τιμές των παραμέτρων ελέγχου

Η εφαρμογή των παραπάνω συστημάτων σε κτίρια γίνεται με τη βοήθεια των συστημάτων ενεργειακής διαχείρισης κτιρίων (BEMS), τα οποία έχουν σημαντική ανάπτυξη

τα τελευταία χρόνια και συνεχίζουν να εξελίσσονται ραγδαία χρησιμοποιώντας πλέον τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης. Η εξοικονόμηση ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί με αυτά τα συστήματα είναι δυνατόν να φτάσει το 85% [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996]. Στο Σχήμα 6.4 παρουσιάζεται ένα σύστημα BEMS.



**Σχήμα 6.4:** Σύστημα ελέγχου κτιρίου με ηλεκτρονικό υπολογιστή [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996]

### 6.3 ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ ΚΑΙ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΔΟΜΗΣΗΣ

Πολλά από τα υλικά και προϊόντα που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή, τη συντήρηση και τον εξοπλισμό ενός κτιρίου αποτελούνται ή περιέχουν τοξικές ουσίες, οι οποίες απελευθερωμένες μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα του εσωτερικού αέρα των κτιρίων. Στις περισσότερες περιπτώσεις έχουμε εκπομπή οργανικών πτητικών ενώσεων, σημαντικότερος εκπρόσωπος των οποίων είναι η φορμαλδεΐδη.

Η φορμαλδεΐδη είναι ένα άχρωμο αέριο με οξεία χαρακτηριστική οσμή. Είναι διαλυτή στο νερό και συνήθως διατίθεται στο εμπόριο υπό τη μορφή υδατικών διαλυμάτων. Στους εσωτερικούς χώρους του κτιρίου εκπέμπεται από συμπιεσμένα προϊόντα ξύλου (π.χ. μοριοσανίδες), συγκολλητικές ουσίες, συνθετικά υφάσματα επίπλων, πλαστικά υλικά, βερνίκια και ταπετσαρίες. Επίσης είναι προϊόν της ατελούς καύσης, με αποτέλεσμα να παράγεται από μη εξαεριζόμενες συσκευές καύσης φυσικού αερίου για το μαγείρεμα και τη θέρμανση, καθώς και από τον καπνό του τσιγάρου. Η φορμαλδεΐδη θεωρείται μια πολύ επικίνδυνη χημική ουσία και έχει καταταγεί από την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας στις ενώσεις που μπορεί να προκαλέσουν καρκίνο στον άνθρωπο [Τσιπήρας, 1996].

Για να είναι αποδεκτά τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή ενός κτιρίου, χρειάζεται να ικανοποιούν ορισμένες προδιαγραφές, οι σημαντικότερες από τις οποίες είναι [Τσιπήρας, 1996]:

- Να μην απελευθερώνουν τοξικά αέρια, καθώς και επικίνδυνη σκόνη ινών (π.χ. αμίαντος)
- Να παρέχουν θερμική και ακουστική μόνωση και να επιτρέπουν τη διατήρηση ενός ανεκτού επιπέδου υγρασίας από τον ανθρώπινο οργανισμό
- Να μην αυξάνουν τα ποσοστά της φυσικής ραδιενέργειας και του στατικού ηλεκτρισμού
- Να έχουν καταναλώσει στη φάση παραγωγής τους όσο το δυνατόν λιγότερη ενέργεια
- Να μην έχουν επιβαρύνει το περιβάλλον με τοξικά απόβλητα και απορρίμματα κατά τη φάση παραγωγής και μεταφοράς τους
- Να μπορούν να ανακυκλωθούν ή να επαναχρησιμοποιηθούν

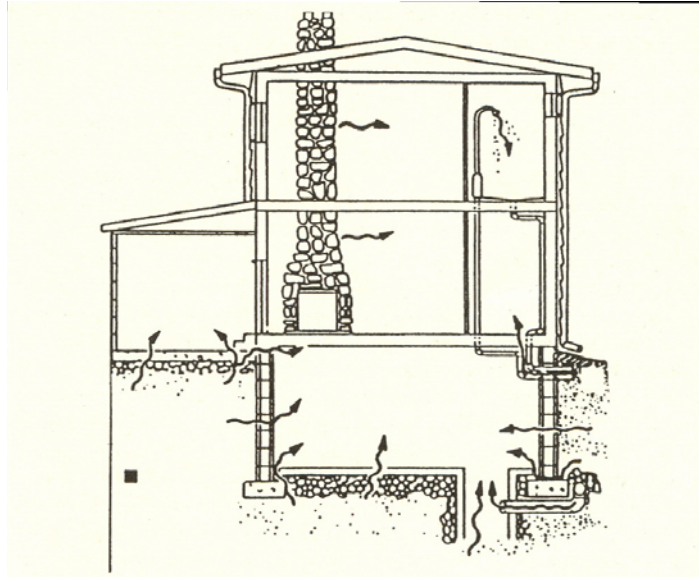
Στον Πίνακα 6.2 παρουσιάζεται μια λίστα ορισμένων οικολογικών υλικών δόμησης.

Υλικό	Υλικό
Ωστενικός χάλυβας	Ξύλο
Ωμή άργιλος	Ξύλο εμποτισμένο με μαγνήσιο
Ασβέστης	Κερί από μέλισσες (για φινίρισμα ξύλου)
Κόλλα από καουτσούκ	Πλέγμα γιούτας (εσωτερική μόνωση)
Κετσές από καρύδα (ηχομονωτικό)	Φελλός (μονωτικό)

**Πίνακας 6.2:** Οικολογικά υλικά δόμησης [Τσιπήρας et al., 2005]

### 6.3.1 ΡΑΔΟΝΙΟ

Το ραδόνιο ( $^{222}\text{Rn}$ ) είναι ένα άχρωμο, άοσμο και άγευστο ραδιενεργό ευγενές αέριο. Η διαφορά του από τους επικίνδυνους ρύπους που περιγράφηκαν παραπάνω είναι ότι αποτελεί φυσικό ρύπο και η ύπαρξή του είναι ανεξάρτητη της ανθρώπινης δραστηριότητας. Η παρουσία του στο εσωτερικό των κτιρίων οφείλεται στην γεωλογική σύσταση του εδάφους και των πετρωμάτων πάνω στα οποία έχει θεμελιωθεί το κτίριο, καθώς και στη γεωλογική προέλευση των υλικών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή του κτιρίου (Σχήμα 6.5). Τα υλικά στα οποία βρίσκεται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις είναι τα μεταμορφωμένα πυριγενή πετρώματα (π.χ. γρανίτης).



**Σχήμα 6.5:** Διείσδυση ραδονίου σε ένα κτίριο [Τσιπήρας, 1996]

Λόγω του ότι είναι ευγενές αέριο, το ραδόνιο είναι χημικά αδρανές και δεν δεσμεύεται, απαντάται μόνο σε ατομική μορφή και έχει μεγάλη κινητικότητα και διεισδυτικότητα. Επιπλέον, λόγω του ότι είναι το πιο πυκνό γνωστό αέριο, τείνει να συγκεντρώνεται στις βάσεις των κτιρίων [<http://www.spitia.gr>, 3/10/2005]. Οι κύριες στρατηγικές για τη μείωση των συγκεντρώσεων του ραδονίου στους εσωτερικούς χώρους ενός κτιρίου είναι [ΔΙΠΕ et al., 2000]:

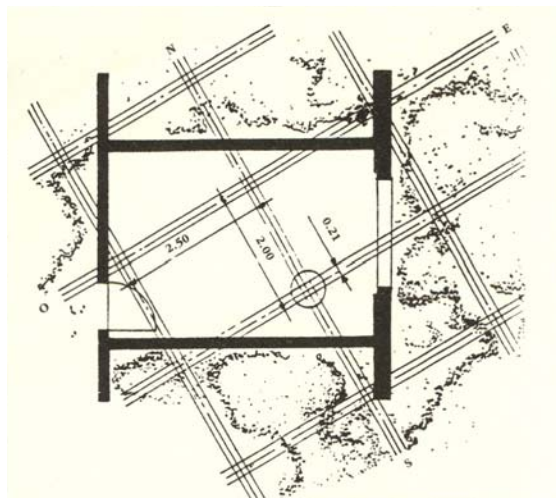
- Ο καλός αερισμός των υπογείων και των κατοικήσιμων χώρων, έτσι ώστε να μειώνονται οι συγκεντρώσεις ραδονίου στον εσωτερικό αέρα
- Η στεγανοποίηση του κτιρίου, έτσι ώστε να αποκλειστεί η διείσδυση ραδονίου από το έδαφος

## 6.4 ΓΕΩΒΙΟΛΟΓΙΑ

Η Γεωβιολογία αποτελεί μια σχετικά νέα επιστήμη και μελετά την επίδραση των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στον ανθρώπινο οργανισμό. Τα ηλεκτρομαγνητικά αυτά πεδία μπορεί να προέρχονται από πυλώνες υψηλής τάσης, από κεραίες κινητής τηλεφωνίας, καθώς και από ηλεκτρικές εγκαταστάσεις και καλώδια στο σπίτι. Όμως την μεγαλύτερη επίδραση έχει η ακτινοβολία της Γης, η οποία μελετήθηκε για πρώτη φορά από την ομάδα του Γερμανού καθηγητή E. Hartmann. Από τις μελέτες τους αποδείχτηκε ότι όλη η επιφάνεια της Γης σαρώνεται από ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες οι οποίες, εάν δεν υπάρχουν τοπικές ανωμαλίες, σχηματίζουν ένα τετράπλευρο δικτύωμα που έχει πλευρά 2 m στον άξονα Βορρά-Νότου, πλευρά 2.3-2.5 m στον άξονα Ανατολής-Δύσης και πάχος 0.21 m και στις δύο περιπτώσεις (Σχήμα 6.6). Στα σημεία όπου διασταυρώνονται οι γραμμές αυτές (γραμμές Hartmann) δημιουργούνται κόμβοι (που ονομάζονται γεωπαθολογικοί ή κόμβοι H) στους οποίους η ακτινοβολία μεγιστοποιείται. Διαπιστώθηκε ότι η παρουσία άλλων

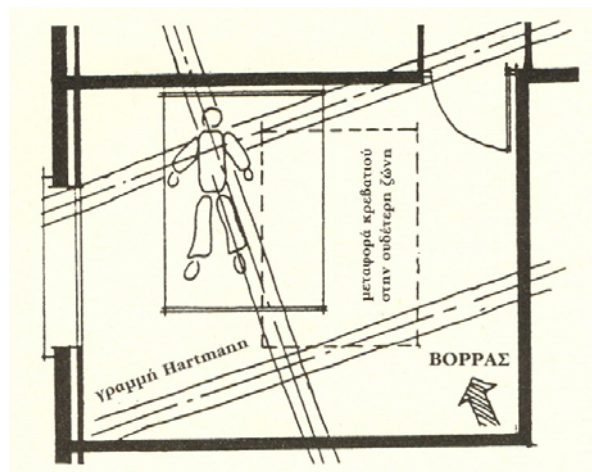


συνθηκών, όπως η ύπαρξη υπογείων ρευμάτων νερού ή υπογείων ρηγμάτων, είναι δυνατό να αυξήσει επιπλέον αυτή την ακτινοβολία [<http://www.spitia.gr>, 3/10/2005].



**Σχήμα 6.6:** Γραμμές Hartmann και κόμβοι H [Τσιπήρας, 1996]

Για τους κόμβους H υπάρχουν βάσιμες ενδείξεις, που έχουν προκύψει από στατιστικές μελέτες σε ανθρώπους και από πειράματα σε ζώα, ότι προκαλούν διαταραχές υγείας (πονοκέφαλους, εξάντληση, ακόμα και καρκίνο). Η επίδρασή τους είναι ακόμα μεγαλύτερη στους χώρους του σπιτιού στους οποίους ένας άνθρωπος μένει πολλές ώρες και σχεδόν ακίνητος (π.χ. κρεβάτι). Η μετακίνηση του κρεβατιού σε ουδέτερη ζώνη (Σχήμα 6.7) λύνει σε πολλές περιπτώσεις το πρόβλημα [Τσιπήρας, 1996].



**Σχήμα 6.7:** Μετακίνηση κρεβατιού από τον κόμβο H σε ουδέτερη ζώνη [Τσιπήρας, 1996]

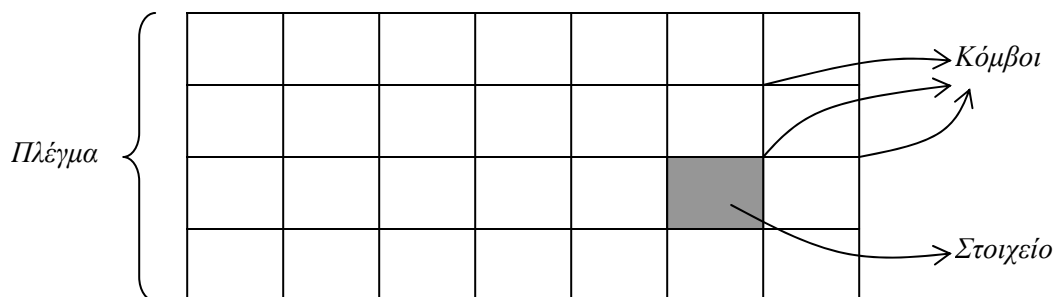
Η ανίχνευση των γεωμαγνητικών πεδίων μπορεί να γίνει είτε με ηλεκτρονικό όργανο (γεωμαγνητόμετρο), είτε με εμπειρικά όργανα όπως οι παράλληλες ράβδοι, η lobe antenne και το κλασσικό ραβδί ραβδοσκοπίας.

## ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

### 7.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων είναι μια πολύ ισχυρή αριθμητική μέθοδος, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίλυση ενός μεγάλου εύρους προβλημάτων στη μηχανική και μηχανολογία, στην αεροναυπηγική, κτλ. Μπορεί να εφαρμοστεί για ανάλυση γραμμικών ή μη γραμμικών προβλημάτων σταθερών ή δυναμικών συνθηκών στους τομείς της ανάλυσης τάσεων και παραμορφώσεων κατασκευών, της μετάδοσης θερμότητας, της ρευστομηχανικής και του ηλεκτρομαγνητισμού. Προσφέρει αποτελεσματική λύση σε περιπτώσεις όπου δεν είναι εφικτή η επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων με αναλυτικές μεθόδους. Η προσέγγιση που χρησιμοποιείται σε αυτήν είναι κατάλληλη για την επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων με τη βοήθεια υπολογιστών, καθώς οδηγεί σε ένα πλήθος εξισώσεων που μπορούν εύκολα να επιλυθούν σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή. Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτιστοποίηση σχεδίων, τη μείωση του κόστους και του κύκλου ζωής ανάπτυξης του προϊόντος. Μειώνει επίσης και την ανάγκη για δοκιμές σε φυσικά πρωτότυπα [Σηφαλάκη, 2003].

Στη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων ο υπό μελέτη χώρος διαιρείται σε επιμέρους τμήματα (πεπερασμένα στοιχεία). Το κάθε στοιχείο αποτελείται από κόμβους και σε αυτούς ζητείται ο υπολογισμός των αγνώστων μεγεθών (Σχήμα 7.1).



**Σχήμα 7.1:** Βασικές έννοιες μεθόδου πεπερασμένων στοιχείων [Σηφαλάκη, 2003]

Ο αριθμός των διαστάσεων των στοιχείων είναι συνήθως αντίστοιχος με τον αριθμό των διαστάσεων του υπό μελέτη χώρου. Για παράδειγμα η μελέτη μιας επιφάνειας γίνεται με

δυσδιάστατα στοιχεία, ενώ η μελέτη του χώρου γίνεται συνήθως με τρισδιάστατα στοιχεία. Η συμπεριφορά κάθε στοιχείου περιγράφεται μέσα από διαφορικές εξισώσεις. Εξασφαλίζοντας τις απαιτήσεις συνέχειας και ισορροπίας μεταξύ των στοιχείων αυτών, μπορεί να ληφθεί μια μοναδική λύση από το σύστημα των αλγεβρικών εξισώσεων.

Τα βασικά βήματα που ακολουθούνται σε μια ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων είναι τα εξής [Moaveni, 1999]:

- Υποδιαίρεση του προβλήματος σε κόμβους και στοιχεία
- Παραδοχή μιας συνάρτησης που αντιπροσωπεύει τη φυσική συμπεριφορά ενός στοιχείου
- Ανάπτυξη εξισώσεων για ένα στοιχείο
- Συναρμολόγηση των στοιχείων για να παρουσιαστεί το συνολικό πρόβλημα με την κατασκευή του ολικού πίνακα ακαμψίας
- Εφαρμογή αρχικών και οριακών συνθηκών, καθώς και φορτίσεων
- Ταυτόχρονη επίλυση ενός συνόλου γραμμικών ή μη γραμμικών αλγεβρικών εξισώσεων έτσι ώστε να ληφθούν κομβικά αποτελέσματα (π.χ. τιμές θερμοκρασίας σε διαφορετικούς κόμβους)
- Λήψη άλλων σημαντικών πληροφοριών (π.χ. πυκνότητα ροής θερμότητας, κλπ)

Η εφαρμογή που αναπτύσσεται στην παρούσα εργασία συνδυάζει τα πεδία της μετάδοσης θερμότητας και της ρευστομηχανικής. Για το σκοπό αυτό, στη συνέχεια του κεφαλαίου περιγράφονται οι βασικές έννοιες και εξισώσεις των κλάδων αυτών.

## 7.2 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Μετάδοση Θερμότητας είναι η μεταφορά ενέργειας λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς, με φορά από το θερμότερο προς το ψυχρότερο σύστημα.

Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί μηχανισμοί μέσω των οποίων γίνεται αυτή η μεταφορά ενέργειας. Ο πρώτος μηχανισμός αναφέρεται σε ακίνητο μέσο (στερεό, υγρό ή αέριο) και ονομάζεται *αγωγή*. Ο δεύτερος μηχανισμός αναφέρεται σε μετάδοση θερμότητας μεταξύ μιας στερεής επιφάνειας και ενός κινούμενου ρευστού και ονομάζεται *συναγωγή*. Ο τρίτος μηχανισμός στηρίζεται στο γεγονός ότι κάθε σώμα πεπερασμένης θερμοκρασίας εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Έτσι μεταξύ δύο σωμάτων διαφορετικής θερμοκρασίας θα υπάρχει μετάδοση θερμότητας χωρίς την ανάγκη παρουσίας κάποιου ενδιάμεσου σώματος, με την εφαρμογή του μηχανισμού της *θερμικής ακτινοβολίας* [Νικολός, 2001].

Βασικό εργαλείο για την επίλυση προβλημάτων μετάδοσης θερμότητας αποτελεί ο Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος, ο οποίος εκφράζει την αρχή διατήρησης της ενέργειας. Για ένα κλειστό σύστημα ο Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος γράφεται:

$$\Delta E = Q - W \quad [7.1]$$

όπου,

$\Delta E$ : μεταβολή της ενέργειας του συστήματος

$Q$ : προσφερόμενη θερμότητα στο σύστημα

$W$ : ενέργεια που μεταφέρεται μέσω έργου από το σύστημα στο περιβάλλον

Ο Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος δεν μπορεί να δώσει καμιά πληροφορία για την απόλυτη τιμή της ενέργειας (εσωτερικής, δυναμικής και κινητικής) που περιέχει ένα σύστημα, αλλά μόνο για τη μεταβολή της.

### 7.2.1 ΑΓΩΓΗ

Στον μηχανισμό της αγωγής η μετάδοση της ενέργειας γίνεται μέσω των τυχαίων συγκρούσεων των μορίων (διάχυση). Η μετάδοση θερμότητας με αγωγή περιγράφεται από το Νόμο του Fourier, ο οποίος έχει την παρακάτω μορφή για τη διεύθυνση  $x$ :

$$\dot{q}_x'' = -k \frac{dT}{dx} \quad [7.2]$$

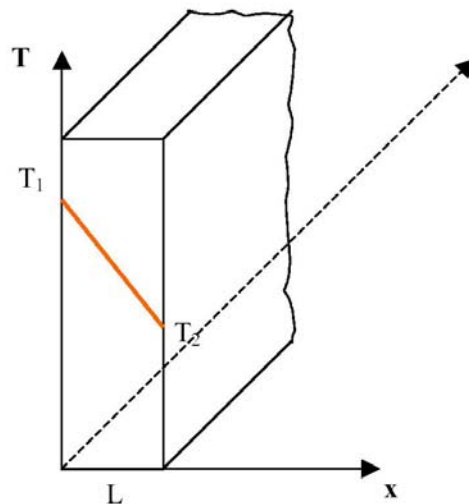
όπου,

$\dot{q}_x''$ : πυκνότητα ροής θερμότητας ή πυκνότητα θερμοροής ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

$k$ : συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας ( $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ )

$\frac{dT}{dx}$ : θερμοκρασιακή κλίση κατά τη διεύθυνση  $x$

Η πυκνότητα ροής θερμότητας εκφράζει τη θερμική ενέργεια που περνά από μοναδιαία επιφάνεια στη μονάδα του χρόνου, λόγω θερμοκρασιακής κλίσης σε διεύθυνση κάθετη στην εν λόγω επιφάνεια. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας εξαρτάται από το υλικό στο οποίο εφαρμόζεται η θερμοκρασιακή κλίση. Το αρνητικό πρόσημο στην παραπάνω σχέση οφείλεται στο γεγονός ότι η μετάδοση θερμότητας πραγματοποιείται από μεγαλύτερες προς μικρότερες θερμοκρασίες. Στο Σχήμα 7.1 παριστάνεται η μονοδιάστατη μετάδοση θερμότητας με αγωγή σε στρώμα πάχους  $L$  και απείρων διαστάσεων [Νικολός, 2001].



Σχήμα 7.2: Μονοδιάστατη μετάδοση θερμότητας με αγωγή [Νικολός, 2001]

Στην πραγματικότητα η πυκνότητα ροής θερμότητας είναι ένα διανυσματικό μέγεθος, το οποίο στις τρεις διαστάσεις υπολογίζεται από τη γενική μορφή του Νόμου του Fourier:

$$\dot{q}'' = -k\nabla T = -k\left(\hat{i}\frac{\partial T}{\partial x} + \hat{j}\frac{\partial T}{\partial y} + \hat{k}\frac{\partial T}{\partial z}\right) \quad [7.3]$$

### 7.2.2 ΣΥΝΑΓΩΓΗ

Στη συναγωγή συνυπάρχουν δύο μηχανισμοί μετάδοσης ενέργειας. Ο πρώτος είναι η διάχυση ενέργειας μέσω των σωματιδιακών αλληλεπιδράσεων (όπως στην περίπτωση της αγωγής), ενώ ο δεύτερος μηχανισμός συνδέεται με τη μακροσκοπική κίνηση του ρευστού κατά την οποία τα στοιχειώδη σωματίδια που απαρτίζουν τα στοιχεία του ρευστού μεταφέρουν μαζί με τη μάζα τους και τη θερμική ενέργεια που σχετίζεται με την τυχαία μεταφορική τους κίνηση, την εσωτερική τους περιστροφή και την ταλάντωσή τους.

Το φαινόμενο της συναγωγής εξαρτάται από τη ροή του ρευστού και από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του ρευστού και της στερεής επιφάνειας. Μια γενική σχέση που περιγράφει τη μετάδοση θερμότητας με συναγωγή είναι ο νόμος του Newton:

$$\dot{q}_x'' = h(T_s - T_0) \quad [7.4]$$

όπου,

$\dot{q}_x''$ : πυκνότητα ροής θερμότητας (W/m<sup>2</sup>)

$h$ : συντελεστής μετάδοσης θερμότητας με συναγωγή (W/(m<sup>2</sup>·K))

$T_s$ : θερμοκρασία στερεής επιφάνειας (K)

$T_0$ : θερμοκρασία ρευστού (K)

Η τιμή του συντελεστή μετάδοσης θερμότητας με συναγωγή εξαρτάται από το είδος της ροής, τη μορφή της επιφάνειας και τα θερμοδυναμικά και ρευστομηχανικά χαρακτηριστικά του ρευστού [Νικολός, 2001].

### 7.2.3 ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Η ακτινοβολία που εξέρχεται από την επιφάνεια ενός σώματος παράγεται στο εσωτερικό του. Ο ρυθμός με τον οποίο η ενέργεια εξέρχεται από μοναδιαίο εμβαδό της επιφάνειας δίνεται από το νόμο Stefan-Boltzman:

$$E = \varepsilon\sigma T_s^4 \quad [7.5]$$

όπου,

$E$ : πυκνότητα εκπεμπόμενης ακτινοβολίας (W/m<sup>2</sup>)

$\varepsilon$ : ικανότητα εκπομπής της επιφάνειας

$\sigma$ : σταθερά των Stefan-Boltzman (5.67·10<sup>-8</sup> W/(m<sup>2</sup>·K<sup>4</sup>))

$T_s$ : απόλυτη θερμοκρασία της επιφάνειας (K)

Η ικανότητα εκπομπής της επιφάνειας  $\varepsilon$  παίρνει τιμές μεταξύ 0 και 1 και η τιμή της εξαρτάται από το υλικό και τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας [Νικολός, 2001].

### 7.3 ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ

Η ρευστομηχανική είναι ο κλάδος που ασχολείται με τη μελέτη των ρευστών που βρίσκονται σε κίνηση ή σε ηρεμία [Munson et al., 1998]. Ως ρευστά ορίζονται οι ουσίες εκείνες που παραμορφώνονται συνεχώς υπό την επίδραση διατμητικής τάσης, όσο μικρή και αν είναι αυτή. Στα ρευστά ανήκουν τα υγρά και τα αέρια.

Τα ρευστά δεν έχουν συγκεκριμένο σχήμα και παίρνουν το σχήμα του δοχείου στο οποίο τοποθετούνται. Τα υγρά ειδικότερα δεν παρουσιάζουν αισθητή αντίσταση στην αλλαγή του σχήματός τους, αλλά παρουσιάζουν πολύ μεγάλη αντίσταση στην αλλαγή του όγκου τους, είναι δηλαδή πρακτικά ασυμπίεστα. Επιπλέον εμφανίζουν ελεύθερη επιφάνεια (είτε επίπεδη επιφάνεια εντός δοχείου, είτε σχεδόν σφαιρική σε μορφή σταγόνας). Η αέρια κατάσταση διαφέρει από την υγρή στο ότι τα αέρια είναι συμπιεστά και έχουν την εκτατική ιδιότητα, δηλαδή τείνουν να καταλάβουν όλο το διατιθέμενο χώρο, με αποτέλεσμα να μην εμφανίζουν ελεύθερη επιφάνεια.

Μια από τις σημαντικότερες ιδιότητες των ρευστών είναι το *δυναμικό ιξώδες* ή *συνεκτικότητα*, που εκφράζει την αντίσταση του ρευστού στην παραμόρφωσή του από τη δράση διατμητικών τάσεων. Η αύξηση του ιξώδους κάνει το ρευστό πιο παχύρευστο, ενώ η μείωσή του πιο λεπτόρευστο.

Η ροή ενός ρευστού μπορεί να χαρακτηριστεί ως στρωτή, μεταβατική ή τυρβώδης. Στη στρωτή ροή, μόνο η αξονική συνιστώσα της ταχύτητας είναι διαφορετική του μηδενός. Η ταχύτητα αυτή εμφανίζει συγκεκριμένη διανομή, ενώ τα στοιχεία του ρευστού κινούνται παράλληλα κατά στρώματα, χωρίς να αναμειγνύονται μεταξύ τους. Στα στοιχεία του ρευστού ενεργούν οι εξωτερικές δυνάμεις (βαρυτικές, ορθές και διατμητικές) καθώς και οι αδρανειακές δυνάμεις, λόγω επιταχύνσεων. Όταν η ταχύτητα του ρευστού είναι αρκετά μικρή, οι αδρανειακές δυνάμεις είναι μικρές σε σχέση με τις δυνάμεις συνεκτικότητας, οπότε κάθε διαταραχή που τείνει να εμφανιστεί εντός του ρευστού, αποσβένεται γρήγορα από τις δυνάμεις συνεκτικότητας, οι οποίες δρουν ως σταθεροποιητές της ροής. Όταν η ταχύτητα αρχίζει να αυξάνεται οι δυνάμεις συνεκτικότητας δεν είναι αρκετές για να δράσουν εξισορροπητικά, οπότε στην μεταβατική περιοχή της ροής εμφανίζονται τυχαίες αναταράξεις, οι οποίες αυξάνονται και επικρατούν εντός της ροής όταν η ταχύτητα αυξάνεται ακόμα περισσότερο, οπότε έχουμε την εμφάνιση τυρβώδους ροής. Η διάκριση μεταξύ στρωτής και τυρβώδους ροής εισήχθη για πρώτη φορά από τον Osborne Reynolds το 1883 [Νικολός, 2004].

Το μέγεθος το οποίο μπορεί να χαρακτηρίσει ποσοτικά το είδος της ροής είναι ο Αριθμός Reynolds ( $Re$ ), ο οποίος ορίζεται ως εξής [Munson et al., 1998]:

$$Re = \frac{\rho V l}{\mu}$$

όπου,

$\rho$ : πυκνότητα του ρευστού ( $\text{kg/m}^3$ )

$V$ : μέση ταχύτητα της ροής (m/sec)

$l$ : χαρακτηριστικό μήκος (π.χ. διάμετρος για κυκλική διατομή) (m)

$\mu$ : δυναμικό ιξώδες (kg/(m·s))

Ο  $Re$  είναι αδιάστατος και εκφράζει ως φυσική έννοια το λόγο των δυνάμεων αδράνειας ασυμπίεστου συνεκτικού ρευστού προς τις δυνάμεις συνεκτικότητας [Αθανασιάδης, 1989].

### 7.3.1 ΕΞΙΣΩΣΗ ΣΥΝΕΧΕΙΑΣ

Η εξίσωση της συνέχειας εκφράζει την αρχή διατήρησης της μάζας στη ρευστομηχανική. Στην περίπτωση ενός όγκου ελέγχου που παραμένει ακίνητος και χωρίς παραμόρφωση (Σχήμα 7.2) ισχύει:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad [7.6]$$

όπου,

$\rho$ : πυκνότητα (kg/m<sup>3</sup>)

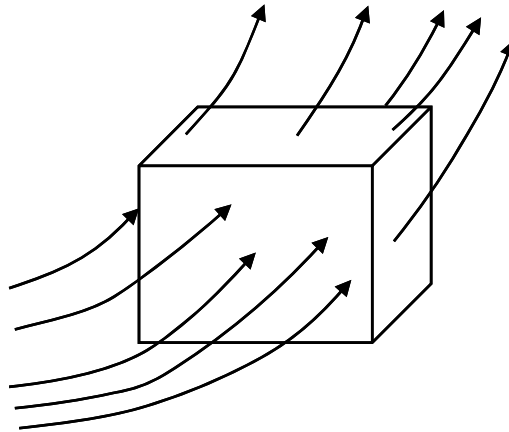
$t$ : χρόνος (sec)

$u$ : συνιστώσα του διανύσματος της ταχύτητας στη διεύθυνση  $x$  (m/sec)

$v$ : συνιστώσα του διανύσματος της ταχύτητας στη διεύθυνση  $y$  (m/sec)

$w$ : συνιστώσα του διανύσματος της ταχύτητας στη διεύθυνση  $z$  (m/sec)

Στην παραπάνω εξίσωση, ο πρώτος όρος αναφέρεται σε μεταβολή της μάζας λόγω μεταβολής της πυκνότητας εντός του όγκου ελέγχου, ενώ οι επόμενοι όροι αναφέρονται στην καθαρή παροχή μάζας που εξέρχεται από τον όγκο ελέγχου [Νικολός, 2004].



Σχήμα 7.3: Αρχή διατήρησης μάζας σε ακίνητο όγκο ελέγχου [Dyson, 2004]

### 7.3.2 ΕΞΙΣΩΣΗ ΟΡΜΗΣ

Η εξίσωση της ορμής αποτελεί την έκφραση του Δεύτερου Νόμου του Νεύτωνα για τη ρευστομηχανική. Σύμφωνα με αυτήν, η μεταβολή της ορμής του ρευστού εντός του όγκου αναφοράς στη μονάδα του χρόνου ισούται με την ορμή που εισέρχεται στον όγκο



αναφοράς στη μονάδα του χρόνου συν τη δράση των δυνάμεων τριβής και πίεσης στα όρια της επιφάνειας, των δυνάμεων που εξασκούνται από στερεά σώματα και των πεδιακών δυνάμεων (βαρύτητα) που ασκούνται σε όλο τον όγκο αναφοράς [Νικολός, 2004]:

$$\frac{d}{dt} \oint_V \rho \vec{c} dV = - \oint_A \rho \vec{c}_n dA + \vec{G} + \vec{F}_S - \vec{K} \quad [7.7]$$

όπου,

$t$ : χρόνος

$\rho$ : πυκνότητα

$V$ : όγκος ελέγχου του ρευστού

$A$ : επιφάνεια ελέγχου του ρευστού

$\vec{c}$ : διάνυσμα της ταχύτητας του ρευστού

$c_n$ : κάθετη συνιστώσα της ταχύτητας σε κάθε σημείο της επιφάνειας ελέγχου  $A$

$\vec{G}$ : δυνάμεις πεδίου (συνήθως βαρυτικές) που ασκούνται στη μάζα που περιέχεται στον όγκο αναφοράς

$\vec{F}_S$ : επιφανειακές δυνάμεις που ασκούνται στην επιφάνεια ελέγχου  $A$  από το εξωτερικό περιβάλλον

$\vec{K}$ : δυνάμεις που ασκεί το ρευστό σε στερεά σώματα που τυχόν υπάρχουν εντός του όγκου αναφοράς  $V$

Η διαφορική μορφή της εξίσωσης [7.7] έχει την παρακάτω μορφή:

$$\rho g_x + \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} = \rho \left( \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad [7.8]$$

$$\rho g_y + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} = \rho \left( \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad [7.9]$$

$$\rho g_z + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} = \rho \left( \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) \quad [7.10]$$

όπου,

$u$ : συνιστώσα του διανύσματος της ταχύτητας στη διεύθυνση  $x$

$v$ : συνιστώσα του διανύσματος της ταχύτητας στη διεύθυνση  $y$

$w$ : συνιστώσα του διανύσματος της ταχύτητας στη διεύθυνση  $z$

$g_i$ : συνιστώσα της επιτάχυνσης της βαρύτητας  $\vec{g}$  στη διεύθυνση  $i$

$\sigma_{ii}$ : ορθή τάση στη διεύθυνση  $i$

$\tau_{ij}$ : διατμητική τάση που εφάπτεται στο επίπεδο  $i$  και έχει τη διεύθυνση του άξονα  $j$

Οι παραπάνω εξισώσεις διέπουν την κίνηση κάθε ρευστού (συμπιεστού ή ασυμπιεστού για μόνιμο ή μη μόνιμο πεδίο ροής). Για να μπορέσουν όμως να επιλυθούν, έτσι ώστε να υπολογιστεί η κίνηση του ρευστού, χρειάζεται να εισαχθούν κάποιες επιπλέον εξισώσεις για τον προσδιορισμό των τάσεων. Οι επιπλέον αυτές εξισώσεις προτάθηκαν από τον Stokes, ο οποίος υπέθεσε ότι οι σχέσεις τάσεων-παραμορφώσεων σε ισότροπο ελαστικό

στοιχείο είναι μαθηματικά ταυτόσημες με τις σχέσεις τάσεων-ρυθμού παραμορφώσεων ενός στοιχείου ρευστού που βρίσκεται σε κίνηση [Νικολός, 2004]. Η τελική μορφή των εξισώσεων αυτών είναι η παρακάτω:

$$\rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \Delta u + \frac{\mu}{3} \frac{\partial}{\partial x} (\text{div} \vec{c}) = \rho \left( \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad [7.11]$$

$$\rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \Delta v + \frac{\mu}{3} \frac{\partial}{\partial y} (\text{div} \vec{c}) = \rho \left( \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad [7.12]$$

$$\rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \Delta w + \frac{\mu}{3} \frac{\partial}{\partial z} (\text{div} \vec{c}) = \rho \left( \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) \quad [7.13]$$

όπου

$$\Delta u = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad [7.14]$$

$$\Delta v = \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \quad [7.15]$$

$$\Delta w = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \quad [7.16]$$

$$\text{div} \vec{c} \equiv \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \quad [7.17]$$

Στις παραπάνω εξισώσεις έχουμε ότι:

$p$ : Πίεση του ρευστού

$\mu$ : Δυναμικό ιξώδες

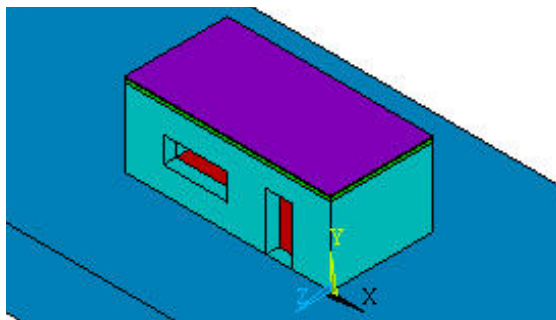
Οι εξισώσεις [7.11]-[7.17] ονομάζονται εξισώσεις Navier-Stokes. Καθώς βασίζονται στην αυθαίρετη παραδοχή του Stokes, δεν αποτελούν άμεσο αποτέλεσμα του Δεύτερου Νόμου του Νεύτωνα. Παρόλα αυτά εμφανίζουν πολύ καλή συμφωνία με το πείραμα, με αποτέλεσμα η ισχύς τους να γίνεται καθολικά αποδεκτή.

## ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ANSYS

### 8.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

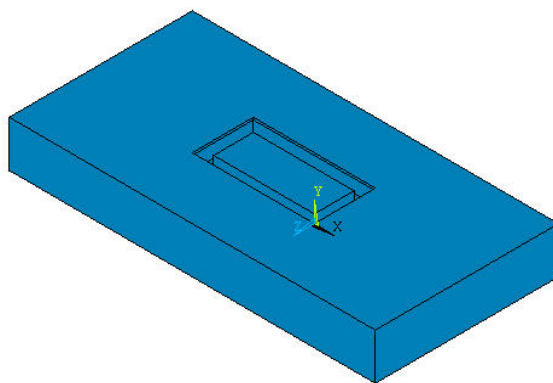
Για τη μελέτη του βιοκλιματικού κτιρίου χρησιμοποιείται το λογισμικό ANSYS. Πρόκειται για ένα πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων γενικού σκοπού που περιέχει περισσότερες από 100,000 γραμμές κώδικα και μπορεί να πραγματοποιήσει στατικές, δυναμικές και ηλεκτρομαγνητικές αναλύσεις, καθώς και αναλύσεις ρευστών και μετάδοσης θερμότητας [Moaveni, 1999]. Το ANSYS είναι ένα από τα κορυφαία προγράμματα πεπερασμένων στοιχείων για περισσότερα από 25 χρόνια, ενώ παράλληλα είναι ιδιαίτερα φιλικό στο χρήστη. Η χρήση του σε μελέτη βιοκλιματικών κτιρίων έχει δώσει ιδιαίτερα ενθαρρυντικά αποτελέσματα [Τζανάκης et al., 2005].

Το κτίριο μελέτης έχει ορθογώνιο σχήμα του οποίου η μακριά του πλευρά βρίσκεται στη διεύθυνση Ανατολής-Δύσης. Στη νότια πλευρά του έχει μια πόρτα και ένα μεγάλο παράθυρο, ενώ στη βόρεια πλευρά του υπάρχουν δύο κυκλικοί φεγγίτες. Στην ανατολική και δυτική πλευρά του δεν υπάρχουν ανοίγματα. Οι εξωτερικές του διαστάσεις είναι (ΜxΠxΥ) 8m x 4m x 3.2m. Οι τοίχοι του είναι κατασκευασμένοι από πέτρα μεγάλου πάχους (της τάξεως των 0.5m) και επομένως μεγάλης θερμικής μάζας. Στο άνω τμήμα της οροφής του υπάρχει μόνωση από φελλό πάχους 0.05m. Στο Σχήμα 8.1 παριστάνεται το κέλυφος του κτιρίου. Το σύστημα συντεταγμένων βρίσκεται στη νοτιοανατολική πλευρά του κτιρίου. Η θετική φορά του άξονα  $z$  έχει κατεύθυνση προς το νότο και η θετική φορά του άξονα  $x$  έχει κατεύθυνση προς την ανατολή.



Σχήμα 8.1: Κέλυφος κτιρίου μελέτης

Εκτός από το κέλυφος του κτιρίου, έχει μοντελοποιηθεί το έδαφος και ο αέρας. Το έδαφος μπορεί να θεωρηθεί ως μία δεξαμενή άπειρης χωρητικότητας, καθώς η θερμοκρασία του διατηρείται πρακτικά σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και ίση με 14°C (με εξαίρεση το άνω τμήμα του, που είναι σε επαφή με τον αέρα). Γι' αυτό το λόγο έχει σχεδιαστεί στο μοντέλο μας σε πολύ μεγάλες διαστάσεις ( $M \times \Pi \times B = 24\text{m} \times 12\text{m} \times 3\text{m}$  – Σχήμα 8.2), έτσι ώστε να ικανοποιείται η συνθήκη διατήρησης θερμοκρασίας στις οριακές του επιφάνειες (εκτός της άνω επιφάνειάς του).



Σχήμα 8.2: Μοντελοποίηση εδάφους

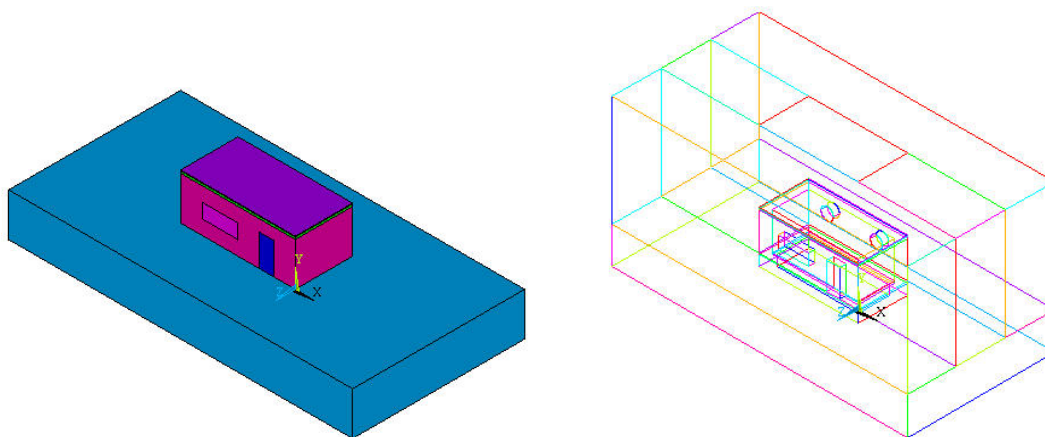
Για τη μοντελοποίηση της εφαρμογής στο ANSYS χρησιμοποιείται το στοιχείο *FLUID142*. Πρόκειται για ένα τρισδιάστατο στοιχείο που χρησιμοποιείται για στατικά ή δυναμικά προβλήματα ρευστών και μετάδοσης θερμότητας που περιλαμβάνουν περιοχές ρευστών και/ή περιοχές μη ρευστών (π.χ. τοιχώματα). Οι θεωρήσεις που έχουν γίνει για την ανάλυση του βιοκλιματικού κτιρίου παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα:

Παραδοχή	Τιμή
Ρευστό	Αέρας
Σύστημα μονάδων (εκτός θερμοκρασίας)	SI
Μονάδες θερμοκρασίας	Celsius
Πίεση αναφοράς	101350 Pa
Είδος ροής	Τυρβώδης και ασυμπίεστη
Επιτάχυνση βαρύτητας $g$	9.81 m/sec <sup>2</sup>

Πίνακας 8.1: Θεωρήσεις ανάλυσης βιοκλιματικού κτιρίου

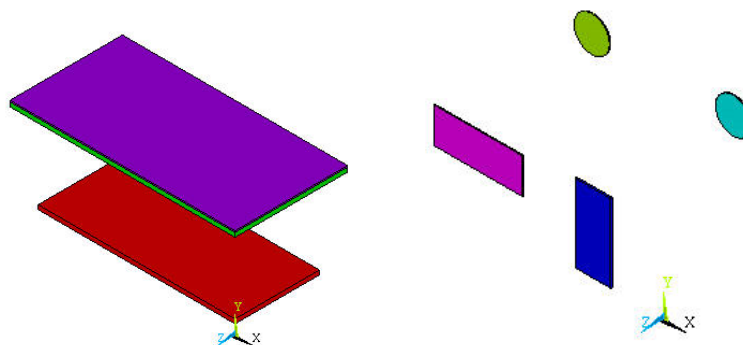
## 8.2 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ

Για τη μοντελοποίηση του βιοκλιματικού κτιρίου δημιουργήθηκαν δύο διαφορετικά μοντέλα: ένα για τη χειμερινή περίοδο και ένα για την θερινή περίοδο. Κατά τη χειμερινή περίοδο όλα τα ανοίγματα του κτιρίου (πόρτα, παράθυρο, φεγγίτες) θεωρούνται ότι είναι κλειστά, οπότε μελετάται ο όγκος του αέρα εσωτερικά του κτιρίου. Κατά τη θερινή περίοδο τα ανοίγματα του κτιρίου είναι ανοιχτά, οπότε μελετάται η ροή του αέρα εντός και εκτός κτιρίου σε έναν όγκο με διαστάσεις (ΜxΠxΥ) 24m x 12m x 9m. Στο Σχήμα 8.2 παριστάνονται τα μοντέλα για το χειμώνα και το καλοκαίρι.

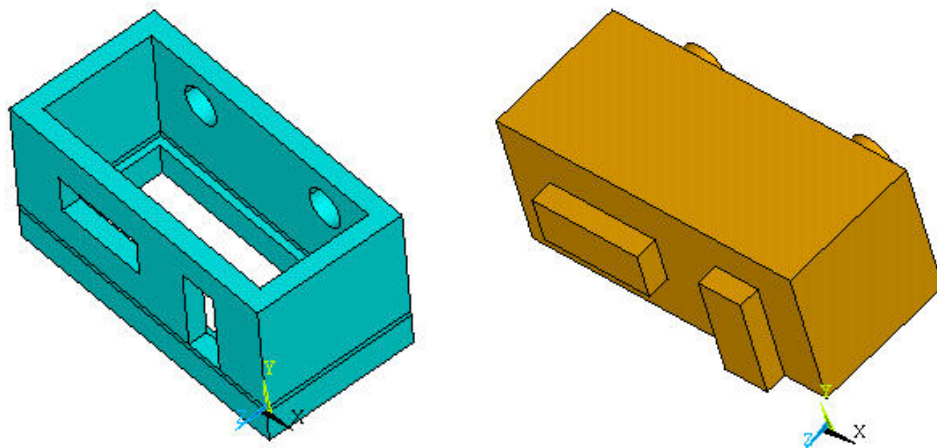


**Σχήμα 8.3:** Μοντέλο κτιρίου για το χειμώνα (αριστερά) και το καλοκαίρι (δεξιά)

Στο μοντέλο της χειμερινής περιόδου η πόρτα θεωρείται ξύλινη (από οξιά) πάχους 0.05m. Στο παράθυρο και στους φεγγίτες θεωρούμε ότι έχουμε σύστημα διπλών τζαμιών με κενό ενδιάμεσα, συνολικού πάχους 0.03m. Το πάτωμα και η εσωτερική οροφή θεωρούνται ότι είναι από πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος πάχους 0.15m. Στα Σχήματα 8.4 και 8.5 παρουσιάζονται όλα τα τμήματα του μοντέλου της χειμερινής περιόδου. Το μοντέλο της θερινής περιόδου έχει το ίδιο πάτωμα, οροφή, μόνωση και πέτρινους τοίχους.



**Σχήμα 8.4:** Μοντελοποίηση πατώματος, οροφής και μόνωσης (αριστερά), πόρτας, παράθυρου και φεγγιτών (δεξιά)



**Σχήμα 8.5:** Μοντελοποίηση πέτρινων τοίχων (αριστερά – στο κάτω μέρος διακρίνονται και τα πέδιλα) και αέρα χειμερινού μοντέλου (δεξιά)

Στον Πίνακα 8.2 παρουσιάζονται οι ιδιότητες των υλικών που χρησιμοποιούνται στη μοντελοποίηση. Ως ειδική θερμότητα  $c$  ενός υλικού ορίζεται ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για να ανυψωθεί η θερμοκρασία 1 kg του υλικού κατά 1 K.

Υλικό	Πυκνότητα $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Δυναμικό Ιξώδες $\mu$ (kg/(m·s))	Συντ. Θερμικής Αγωγιμότητας $\lambda$ (W/m·K)	Ειδική θερμότητα $c$ (J/(kg·K))
Αέρας	1.23	$1.79 \cdot 10^{-5}$	0.027	1000
Πέτρα (Ασβεστόλιθος)	2180	-	3.49	720
Οπλισμένο σκυρόδεμα (Μέση τιμή)	3200	-	10	900
Μόνωση (Φελλός)	200	-	0.046	2030
Έδαφος	2000	-	1.40	900
Σύστημα διπλών τζαμιών (Μέση τιμή)	800	-	0.25	1300
Ξύλο πόρτας (Οξιά)	670	-	0.17	1250

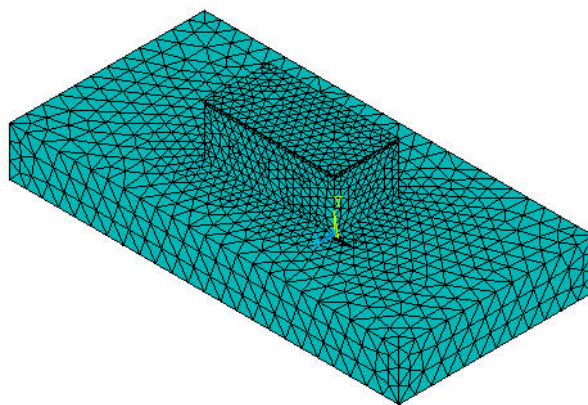
**Πίνακας 8.2:** Ιδιότητες υλικών [ΦΕΚ 362 Δ', 1.6/4.7.1979; Παττάς, 1984; Avallone et al., 1996]

Για την αύξηση της ευελιξίας των αναλύσεων και τη παράλληλη μείωση του χρόνου κατασκευής ενός τροποποιημένου μοντέλου, έχουν παραμετροποιηθεί 15 μεταβλητές του κτιρίου. Ο χρήστης μπορεί να αλλάξει την τιμή σε οποιαδήποτε από αυτές και το

πρόγραμμα αυτόματα δημιουργεί το νέο μοντέλο. Οι παράμετροι αυτές είναι (σε παρένθεση αναγράφονται οι προεπιλεγμένες τιμές σε m):

- *Wall\_d* (0.5): Πάχος του τοίχου
- *Subs\_d* (0.7): Πάχος των πέδων του τοίχου
- *Door\_h* (2.2): Ύψος της πόρτας
- *Door\_w* (1.0): Πλάτος της πόρτας
- *Door\_x* (1.5): Πλησιέστερη απόσταση της πόρτας από τον ανατολικό εξωτερικό τοίχο
- *Win\_w* (2.5): Πλάτος παραθύρου νότιας πλευράς
- *Win\_h* (1.0): Ύψος παραθύρου νότιας πλευράς
- *Win\_x* (4.0): Πλησιέστερη απόσταση του παραθύρου νότιας πλευράς από τον ανατολικό εξωτερικό τοίχο
- *Win\_y* (1.0): Απόσταση κάτω τμήματος παραθύρου νότιας πλευράς από το έδαφος
- *Sky1\_dia* (1.0): Διάμετρος πρώτου φεγγίτη
- *Sky1\_x* (2.0): Απόσταση κέντρου του πρώτου φεγγίτη από το έδαφος
- *Sky1\_y* (2.0): Απόσταση κέντρου του πρώτου φεγγίτη από τον ανατολικό εξωτερικό τοίχο
- *Sky2\_dia* (1.0): Διάμετρος δεύτερου φεγγίτη
- *Sky2\_x* (6.0): Απόσταση κέντρου του δεύτερου φεγγίτη από το έδαφος
- *Sky2\_y* (2.0): Απόσταση κέντρου του δεύτερου φεγγίτη από τον ανατολικό εξωτερικό τοίχο

Μετά το σχεδιασμό του μοντέλου και τον ορισμό των ιδιοτήτων των υλικών μπορεί να ακολουθήσει η δημιουργία του πλέγματος. Στο Σχήμα 8.6 απεικονίζεται το πλέγμα για το χειμερινό μοντέλο



**Σχήμα 8.6:** Πλέγμα χειμερινού μοντέλου



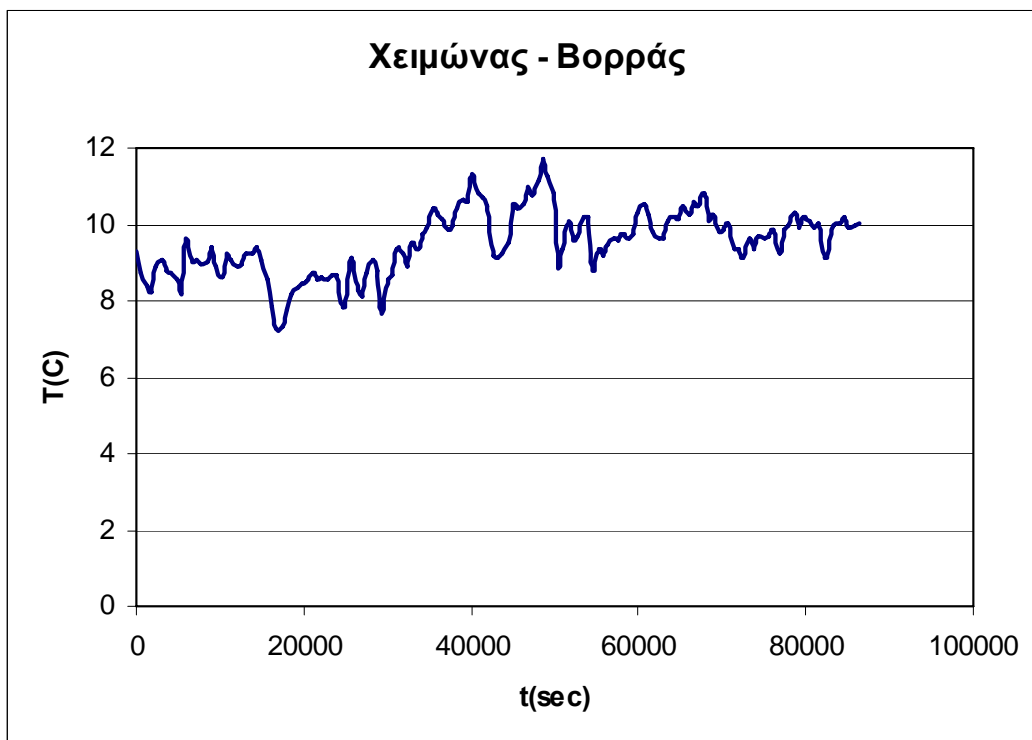
### 8.3 ΟΡΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΩΝ

Στον όρο φορτία περιλαμβάνονται οι οριακές και αρχικές συνθήκες. Για την εφαρμογή που αναπτύσσεται, φορτία αποτελούν η ταχύτητα και η πίεση του ρευστού, η θερμοκρασία και η συναγωγή.

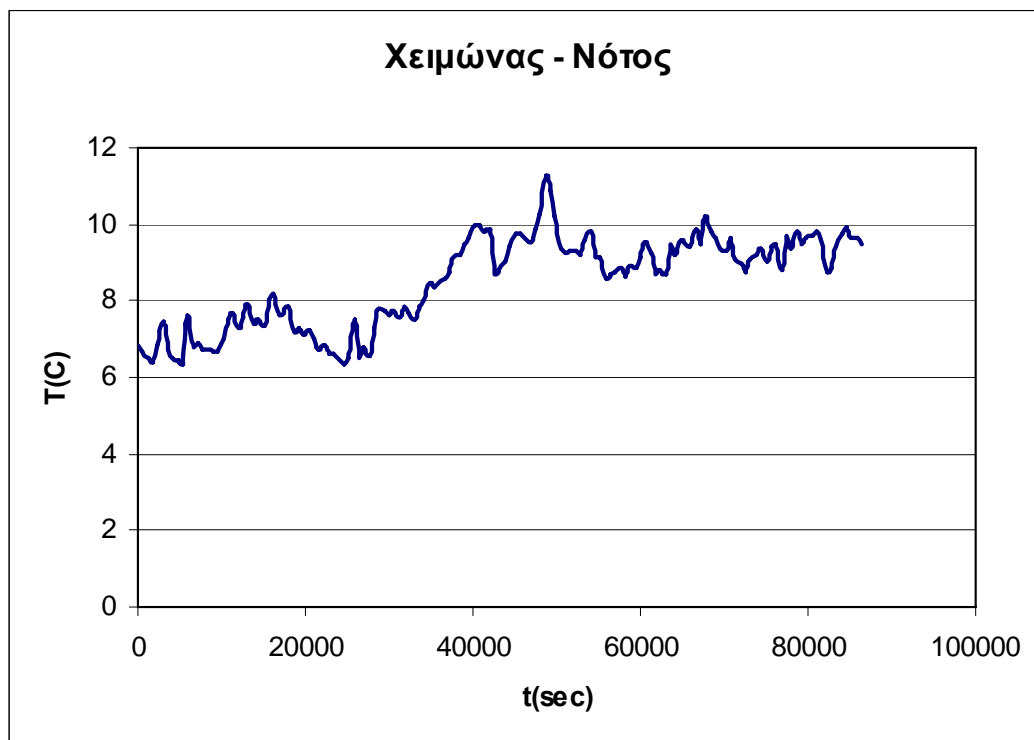
Η ταχύτητα του ρευστού ορίζεται ως μηδέν σε όλες τις επιφάνειες επαφής αέρα και στερεού υλικού (συνθήκη μη ολίσθησης τοιχωμάτων). Επίσης, είναι δυνατό να οριστεί ταχύτητα εισόδου του αέρα στο μοντέλο της θερινής περιόδου.

Ο όρος πίεση αναφέρεται στη σχετική πίεση του αέρα σε μία επιφάνεια. Συνίσταται να ορίζεται ως μηδέν (δηλ. ίση με την πίεση αναφοράς) σε όλες τις οριακές επιφάνειες του αέρα στις οποίες δεν έχει οριστεί ταχύτητα.

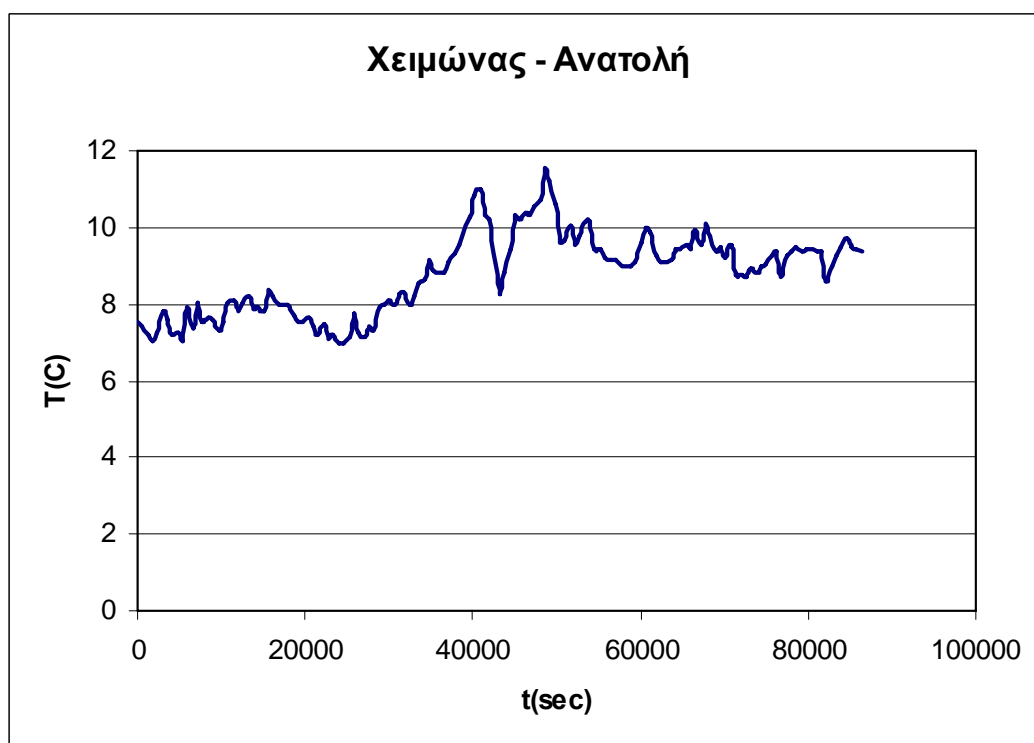
Η θερμοκρασία ορίζεται στο εξωτερικό τμήμα του κελύφους, σε οριακές επιφάνειες του αέρα στο μοντέλο της θερινής περιόδου και σε επιλεγμένους κόμβους ως αρχική συνθήκη. Οι τιμές της θερμοκρασίας που χρησιμοποιούνται έχουν προέλθει από μετρήσεις που έχουν γίνει στους εξωτερικούς τοίχους ενός βιοκλιματικού κτιρίου στο ΤΕΙ Ηρακλείου ανά δεκάλεπτα διαστήματα [Παπαδάκης, 2005]. Για το χειμερινό μοντέλο έχουν επιλεγεί μετρήσεις που αντιστοιχούν σε μια πολύ ψυχρή μέρα (24/12/2004), ενώ για το θερινό μοντέλο έχουν επιλεγεί μετρήσεις που αντιστοιχούν σε μια πολύ θερμή ημέρα (11/7/2004). Στα Σχήματα 8.7-8.16 παριστάνεται η κατανομή των μετρήσεων αυτών. Στην ανάλυση εισάγεται η πλησιέστερη ακέραια τιμή για κάθε μέτρηση.



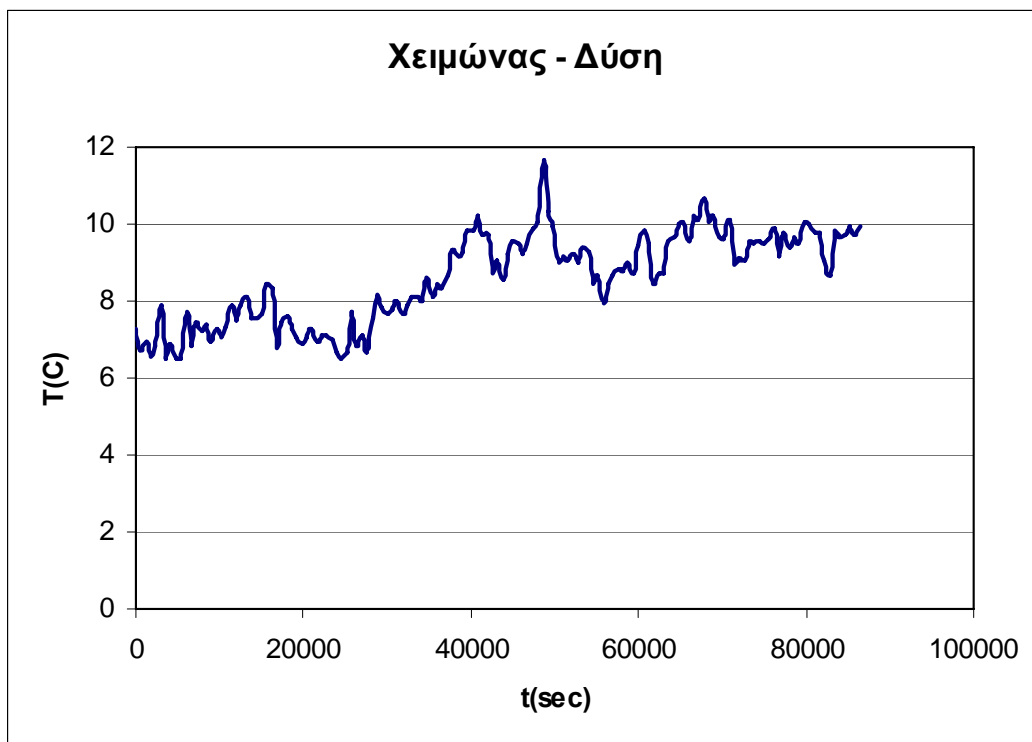
Σχήμα 8.7: Κατανομή θερμοκρασίας 24/12/2004 στο βόρειο τοίχο



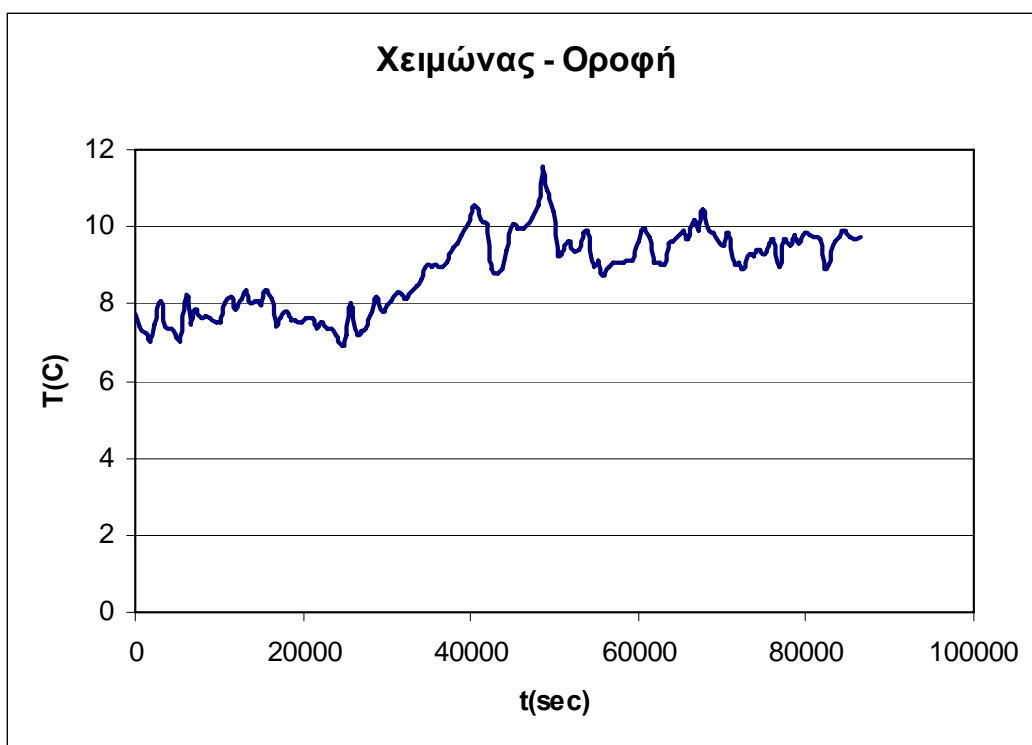
Σχήμα 8.8: Κατανομή θερμοκρασίας 24/12/2004 στο νότιο τοίχο



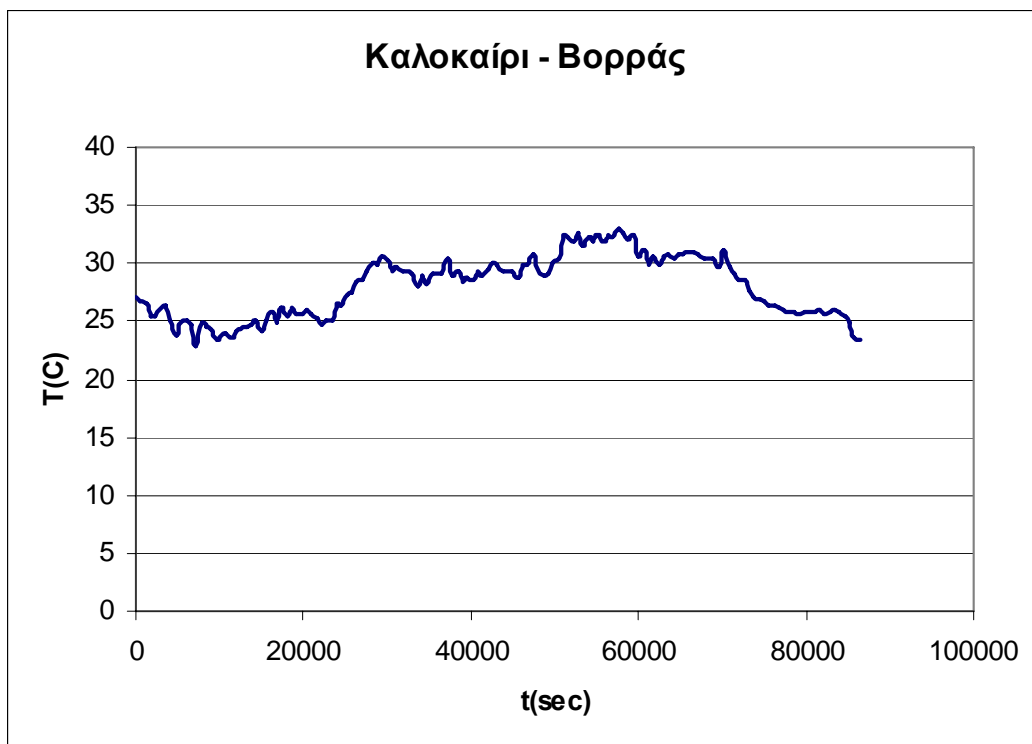
Σχήμα 8.9: Κατανομή θερμοκρασίας 24/12/2004 στον ανατολικό τοίχο



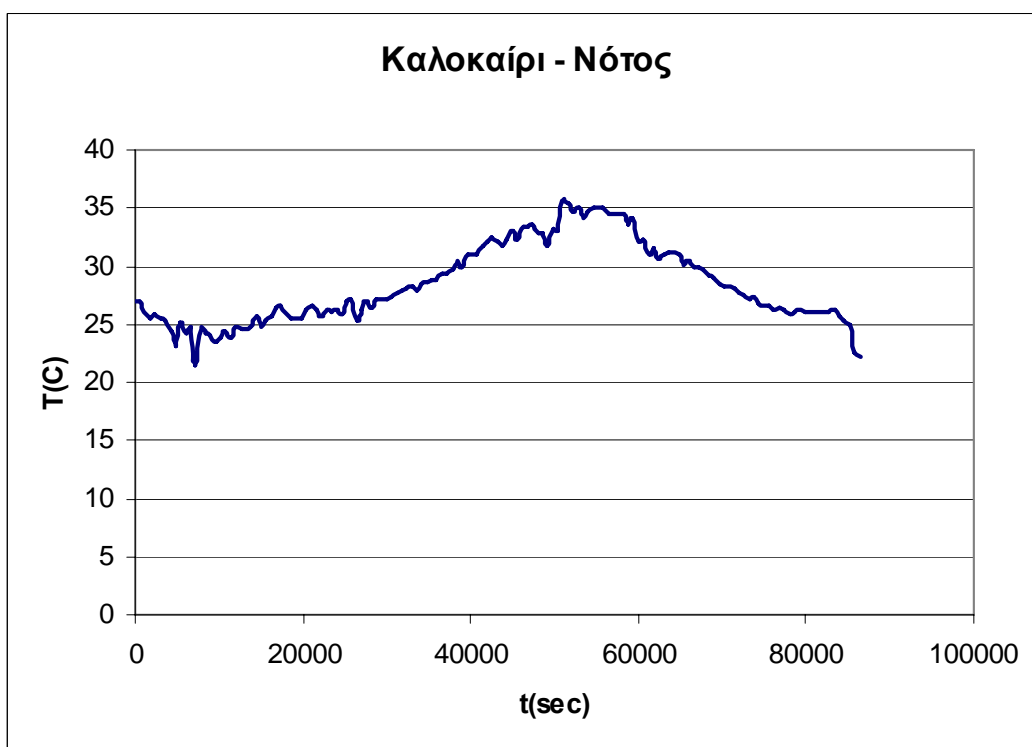
**Σχήμα 8.10:** Κατανομή θερμοκρασίας 24/12/2004 στο δυτικό τοίχο



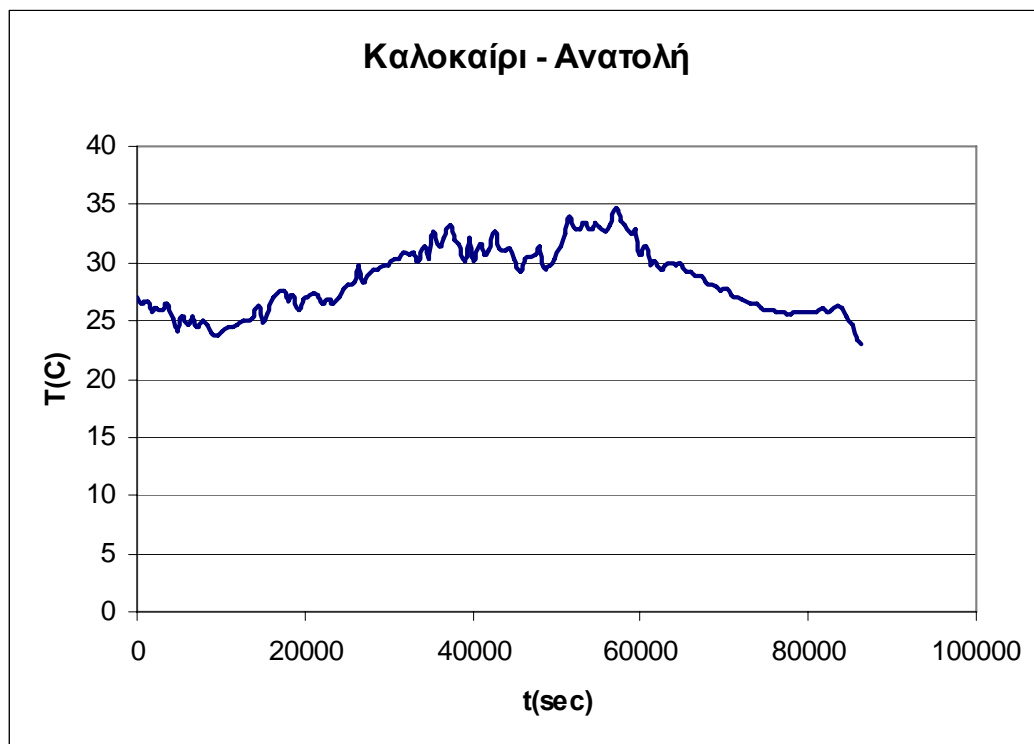
**Σχήμα 8.11:** Κατανομή θερμοκρασίας 24/12/2004 στην οροφή



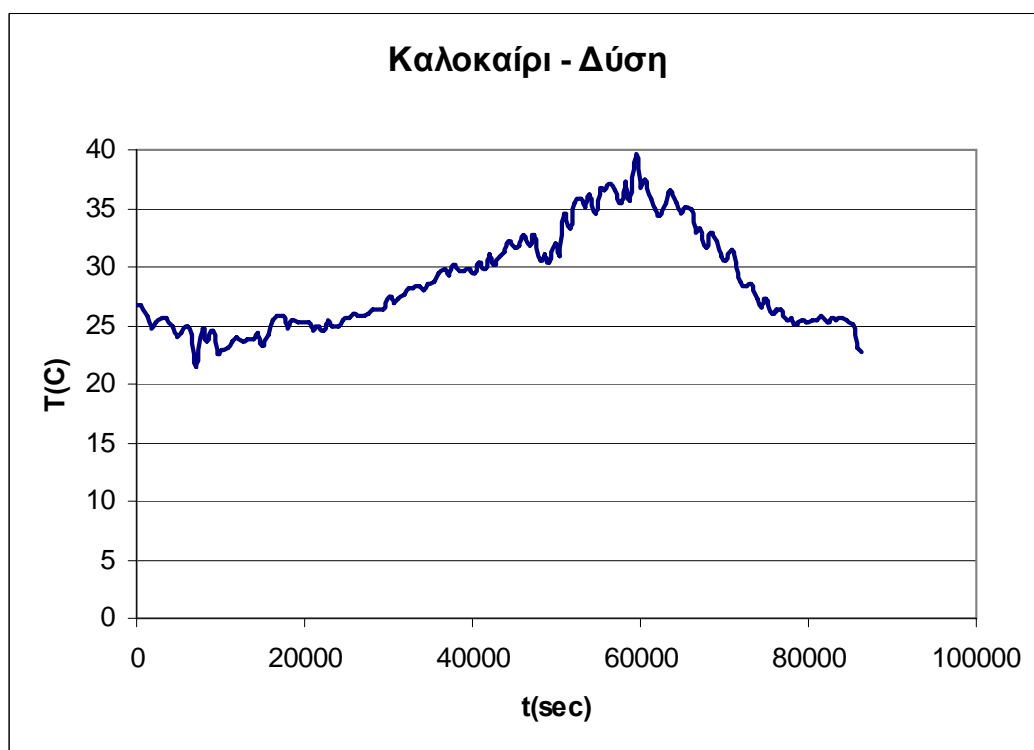
**Σχήμα 8.12:** Κατανομή θερμοκρασίας 11/7/2004 στο βόρειο τοίχο



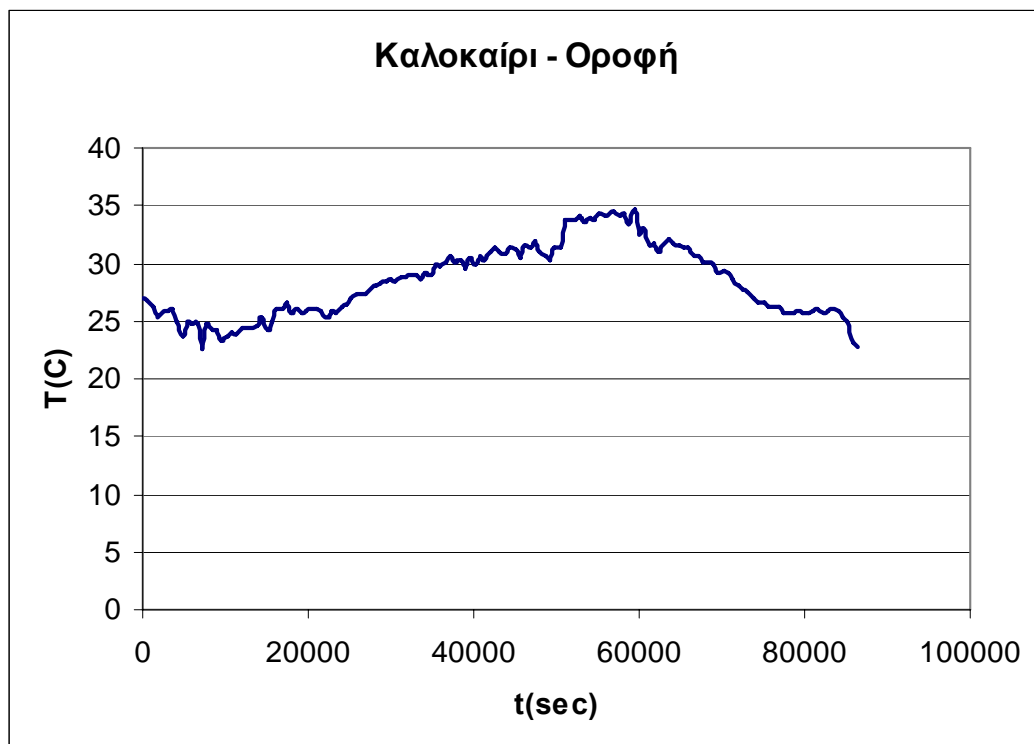
**Σχήμα 8.13:** Κατανομή θερμοκρασίας 11/7/2004 στο νότιο τοίχο



**Σχήμα 8.14:** Κατανομή θερμοκρασίας 11/7/2004 στον ανατολικό τοίχο

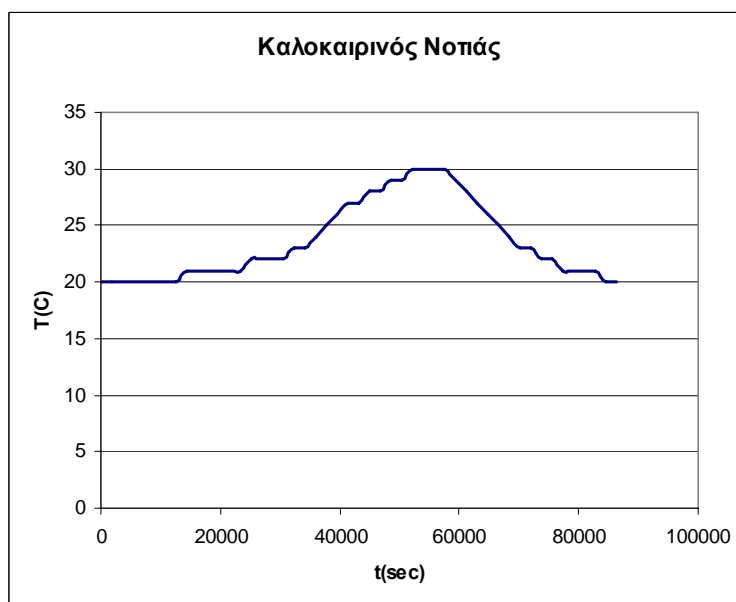


**Σχήμα 8.15:** Κατανομή θερμοκρασίας 11/7/2004 στο δυτικό τοίχο

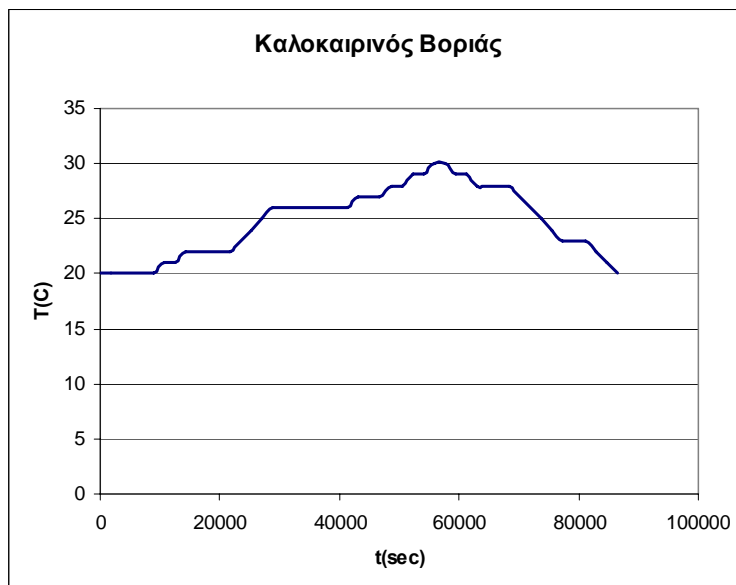


Σχήμα 8.16: Κατανομή θερμοκρασίας 11/7/2004 στην οροφή

Επιπλέον, στο θερινό μοντέλο ορίζεται και η θερμοκρασία εισόδου του αέρα (στην ίδια επιφάνεια που ορίζεται η ταχύτητα εισόδου του αέρα). Θεωρούνται δύο εναλλακτικοί άνεμοι: νοτιάς και βοριάς. Η κατανομή της θερμοκρασίας θεωρείται ως εξής:



Σχήμα 8.16: Κατανομή θερμοκρασίας του καλοκαιρινού νοτιά



**Σχήμα 8.16:** Κατανομή θερμοκρασίας του καλοκαιρινού βοριά

Οι αρχικές συνθήκες θερμοκρασίας που ορίζονται έχουν τις παρακάτω τιμές:

- *Χειμερινό μοντέλο:* 18°C για τον εσωτερικό αέρα και 14°C για τους υπόλοιπους όγκους (έδαφος, πέτρα, πάτωμα, οροφή, μόνωση, πόρτα, παράθυρο, φεγγίτες)
- *Θερινό μοντέλο:* 14°C για το έδαφος και 20°C για τους υπόλοιπους όγκους (αέρας, πέτρα, πάτωμα, οροφή, μόνωση)

Η συναγωγή υπολογίζεται αυτόματα από το λογισμικό στις επιφάνειες που υπάρχει επαφή ρευστού και τοιχώματος. Στις εξωτερικές επιφάνειες του κελύφους του κτιρίου στο χειμερινό μοντέλο δεν ισχύει η παραπάνω συνθήκη, οπότε ο συντελεστής συναγωγής ορίζεται ως  $h = 23.26 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  [ΦΕΚ 362 Δ', 1.6/4.7.1979].

## 8.4 ΕΠΙΛΥΣΗ

Η επίλυση είναι δυναμική συνολικής διάρκειας  $86400\text{sec} = 1\text{day}$ . Ως χρονικό βήμα επανυπολογισμού επιλέγονται τα  $300\text{sec} = 5\text{min}$ .



## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

### 9.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό αναφέρονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων που έγιναν με τη βοήθεια του λογισμικού ANSYS. Οι αναλύσεις αυτές μπορούν να χωριστούν σε τρεις γενικές κατηγορίες:

- Αναλύσεις χειμερινής περιόδου
- Αναλύσεις καλοκαιρινής περιόδου με δυνατό άνεμο
- Αναλύσεις καλοκαιρινής περιόδου με νηνεμία

Για την πρώτη κατηγορία χρησιμοποιήθηκε το χειμερινό μοντέλο του κτιρίου, ενώ για τις δύο τελευταίες το θερινό. Η μοντελοποίηση του κάθε σεναρίου διευκολύνθηκε σημαντικά με τη χρήση των παραμέτρων εισαγωγής που περιγράφονται στο προηγούμενο κεφάλαιο. Συγκεκριμένα, είναι δυνατόν να δημιουργηθεί στο ANSYS αρχείο (τύπου *lgw*), στο οποίο να περιλαμβάνονται σε μορφή κειμένου εντολές που χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση μιας κατηγορίας σεναρίων. Σε αυτό το αρχείο ο χρήστης μπορεί να αλλάξει τις τιμές των παραμέτρων εισαγωγής και να δημιουργήσει αυτόματα ένα τροποποιημένο μοντέλο. Στις αναλύσεις που έγιναν, στο αρχείο τύπου *lgw* περιλαμβάνονται τα παρακάτω:

- Δήλωση των 15 παραμέτρων εισαγωγής
- Εντολές σχεδίασης του μοντέλου
- Ορισμός ιδιοτήτων υλικών
- Ορισμός των τιμών δυναμικών φορτίων (π.χ. εξωτερικές θερμοκρασίες τοίχων) σε μορφή πίνακα
- Ορισμός όλων των φορτίων που εφαρμόζονται σε επιφάνειες (π.χ. συνθήκη μη ολισθηρότητας)

Στο παραπάνω αρχείο δεν συμπεριλαμβάνονται οι εντολές για τη δημιουργία πλέγματος, καθώς διαφορετική γεωμετρία του μοντέλου δημιουργεί διαφορετικούς κόμβους. Επιπλέον, δεν περιέχονται οι αρχικές συνθήκες θερμοκρασίας καθώς ορίζονται σε κόμβους και όχι σε επιφάνειες. Η χρήση της περιγραφόμενης μεθοδολογίας μειώνει σημαντικά το χρόνο μοντελοποίησης ενός σεναρίου, ενώ παράλληλα περιορίζει τα λάθη που μπορούν να προέλθουν τόσο κατά τη διαδικασία σχεδίασης ενός μοντέλου, όσο και κατά τον ορισμό των φορτίων και των επιφανειών στις οποίες αυτά εφαρμόζονται.

## 9.2 ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ

Τα σενάρια που θεωρούνται για τις αναλύσεις της χειμερινής περιόδου είναι τα παρακάτω (σε παρένθεση αναγράφονται οι τιμές των παραμέτρων που μεταβάλλονται):

- Πάχος πέτρινου τοίχου 0.3 m ( $Wall\_d = 0.3$  και  $Subs\_d = 0.7$ )
- Πάχος πέτρινου τοίχου 0.5 m ( $Wall\_d = 0.5$  και  $Subs\_d = 0.7$ )
- Πάχος πέτρινου τοίχου 0.8 m και πάχος πέδילων 1.0 m ( $Wall\_d = 0.8$  και  $Subs\_d = 1.0$ )

Η αρχική θερμοκρασία του αέρα είναι 18°C και θεωρείται ότι έχει προέλθει από κάποια βοηθητική πηγή θέρμανσης. Κατά τη διάρκεια της ανάλυσης η ύπαρξη μιας τέτοιας πηγής δεν λαμβάνεται υπόψη.

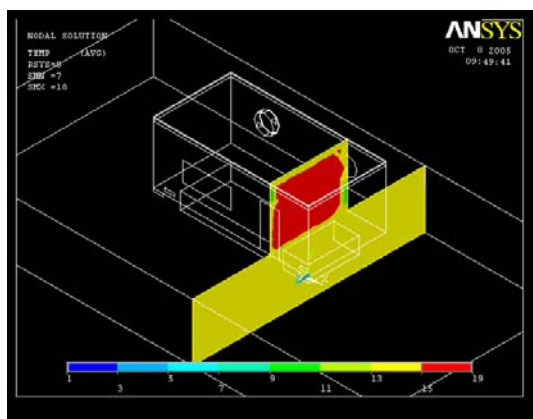
Σε καθένα από τα παραπάνω σενάρια απεικονίζεται η κατανομή της θερμοκρασίας ανά δώρο για τέσσερις επιλεγμένες τομές του κτιρίου. Οι τρεις πρώτες τομές βρίσκονται στον άξονα Βορρά-Νότου, ενώ η τέταρτη στον άξονα Ανατολής-Δύσης. Συγκεκριμένα, η πρώτη τομή διέρχεται από την πόρτα και τον ανατολικότερο φεγγίτη (Σχήματα 9.1, 9.10 και 9.19), έτσι ώστε να μελετηθεί η μόνωση που προσφέρει η ξύλινη πόρτα και το παράθυρο του φεγγίτη. Η δεύτερη τομή (Σχήματα 9.2, 9.11 και 9.20) διέρχεται από το μέσο του βόρειου και νότιου τοίχου και απεικονίζει την επίδραση της θερμικής μάζας στον άξονα Βορρά-Νότου. Η τρίτη τομή (Σχήματα 9.3, 9.12 και 9.21) τέμνει το παράθυρο και τον δυτικότερο φεγγίτη, ενώ η τέταρτη τομή (Σχήματα 9.4, 9.13 και 9.22) διέρχεται από το μέσο του ανατολικού και δυτικού τοίχου.

Επιπλέον, παρουσιάζεται τιμή της θερμοκρασίας σε σημεία των εσωτερικών και εξωτερικών επιφανειών των τεσσάρων τοίχων του κτιρίου, έτσι ώστε να μελετηθεί η επίδραση της θερμικής μάζας. Η κατανομή της θερμοκρασίας απεικονίζεται στα Σχήματα 9.5-9.8 (πρώτο σενάριο), 9.14-9.17 (δεύτερο σενάριο) και 9.23-9.26 (τρίτο σενάριο).

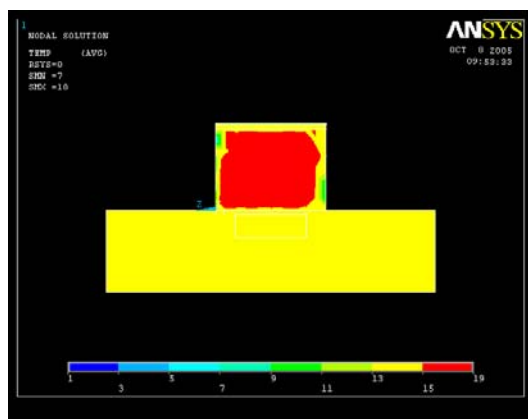
Τέλος, στα Σχήματα 9.9, 9.18 και 9.27 αναπαριστάνεται για κάθε σενάριο η εξέλιξη της θερμοκρασίας σε ένα σημείο που βρίσκεται στο κέντρο του κτιρίου και σε ύψος 1.5 m από το πάτωμα.

Η ταχύτητα του αέρα εντός του κτιρίου δεν απεικονίζεται καθώς έχει μηδενική τιμή καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου.

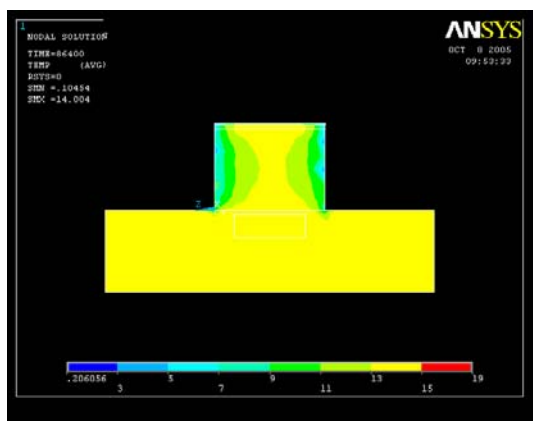
## 9.2.1 ΠΑΧΟΣ ΤΟΙΧΟΥ 0.3 m



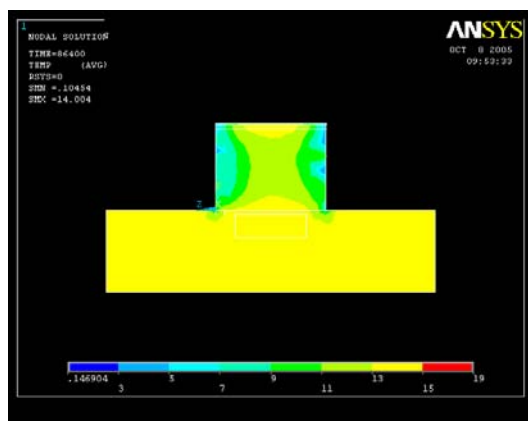
(A)



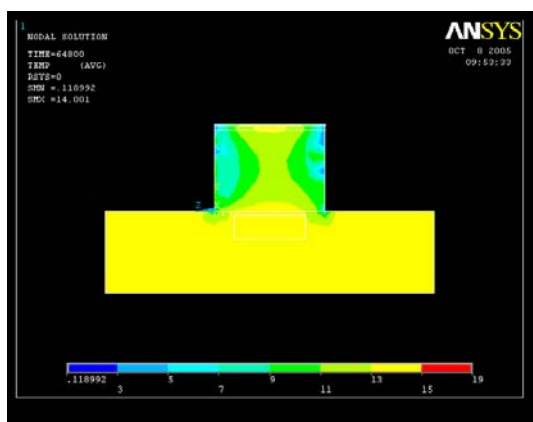
(B)



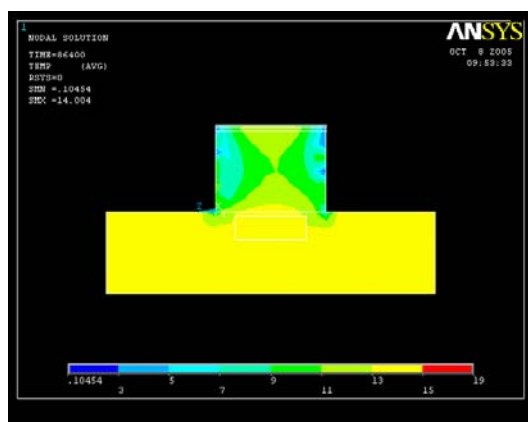
(Γ)



(Δ)

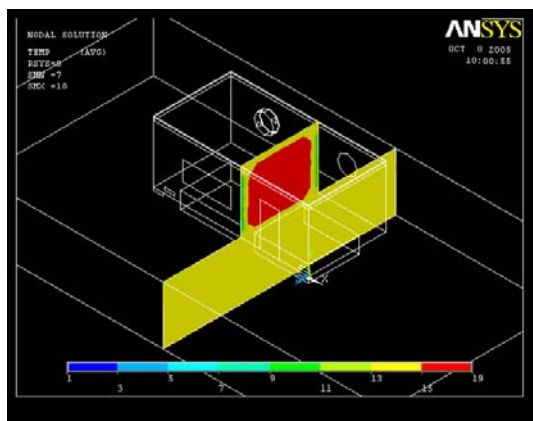


(E)

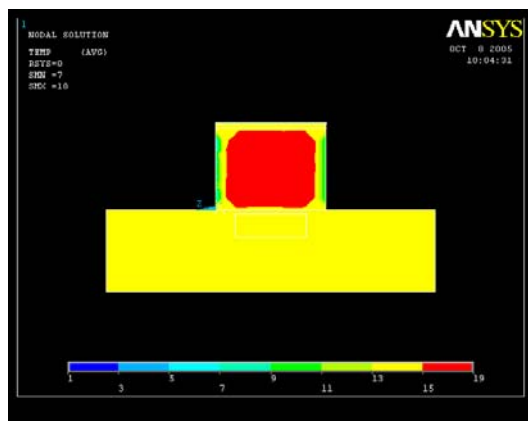


(ΣΤ)

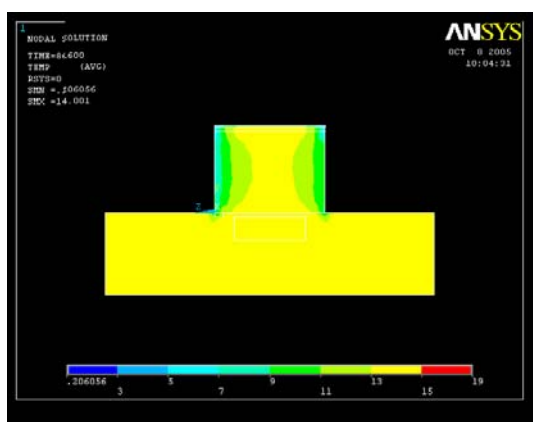
**Σχήμα 9.1:** Κατανομή θερμοκρασίας στην τομή 1 του κτιρίου κατά τη διάρκεια του 24ώρου  
 (Α):Θέση τομής 1, (Β): 0 ώρες, (Γ): 6 ώρες,  
 (Δ): 12 ώρες, (Ε): 18ώρες, (ΣΤ): 24 ώρες



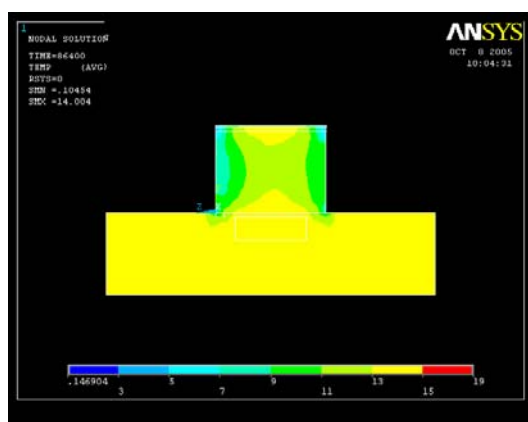
(A)



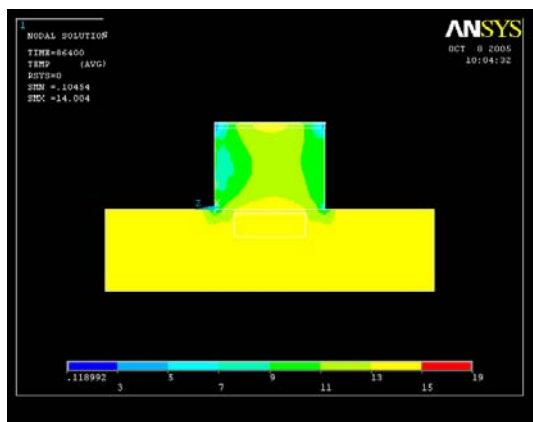
(B)



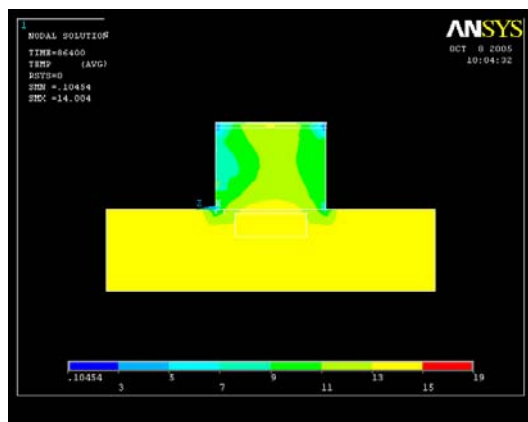
(Γ)



(Δ)

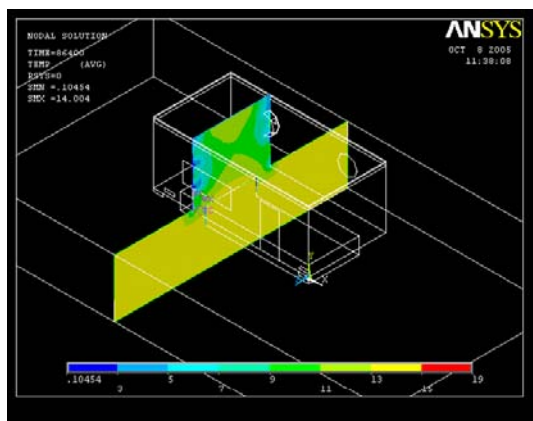


(E)

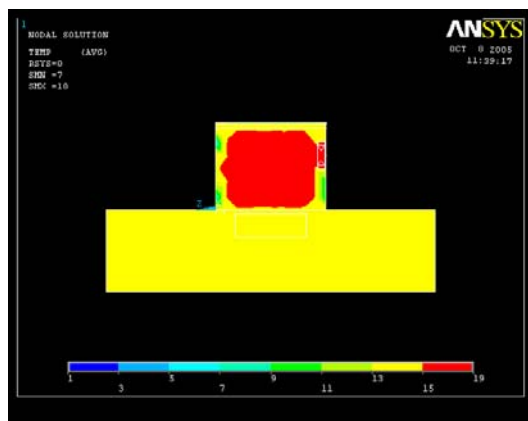


(ΣΤ)

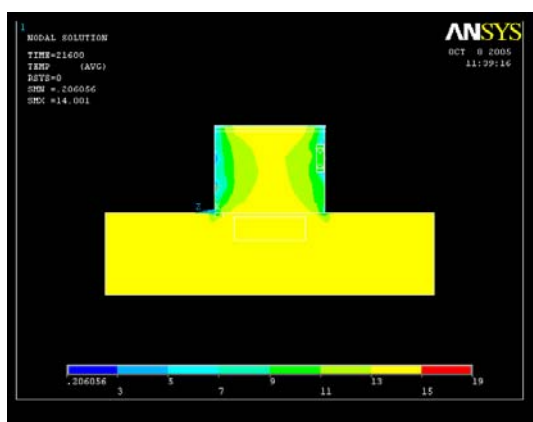
**Σχήμα 9.2:** Κατανομή θερμοκρασίας στην τομή 2 του κτιρίου κατά τη διάρκεια του 24ώρου  
 (A):Θέση τομής 2, (B): 0 ώρες, (Γ): 6 ώρες,  
 (Δ): 12 ώρες, (E): 18ώρες, (ΣΤ): 24 ώρες



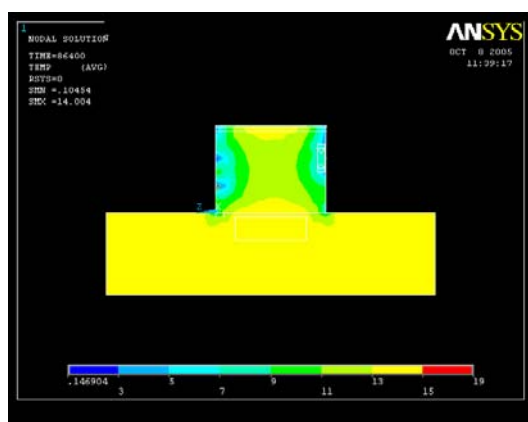
(A)



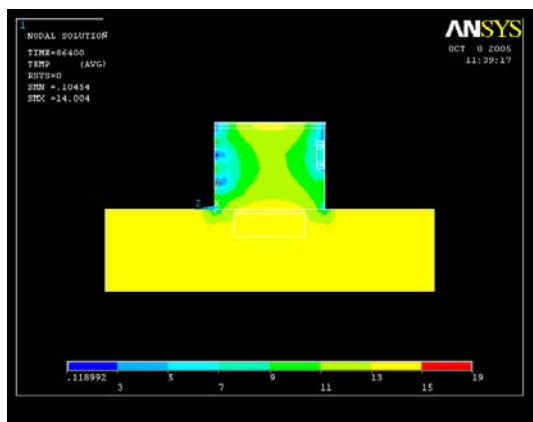
(B)



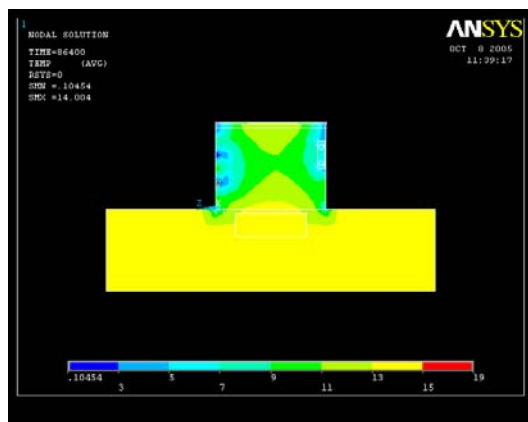
(Γ)



(Δ)

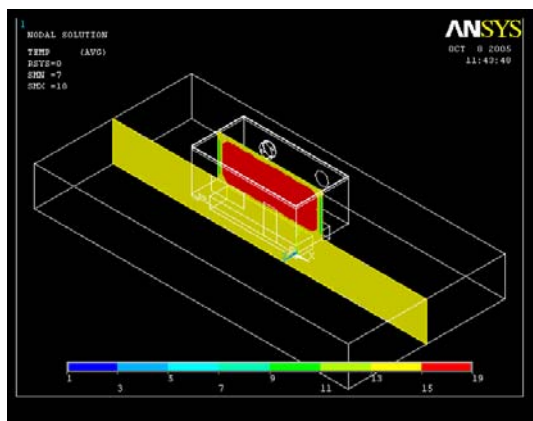


(E)

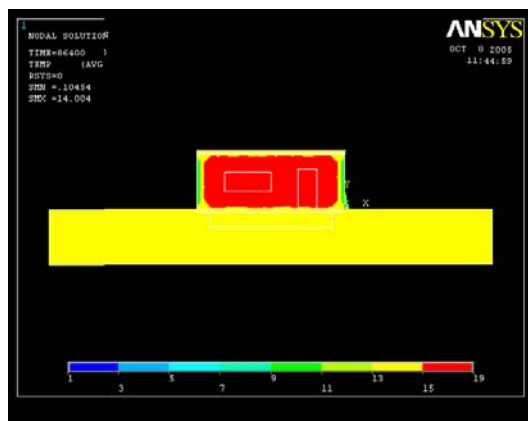


(ΣΤ)

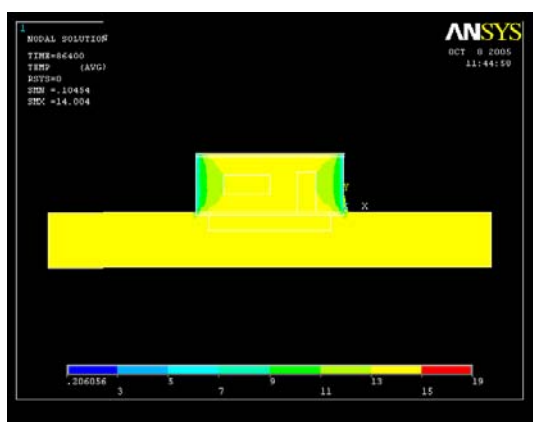
**Σχήμα 9.3:** Κατανομή θερμοκρασίας στην τομή 3 του κτιρίου κατά τη διάρκεια του 24ώρου  
 (A):Θέση τομής 3, (B): 0 ώρες, (Γ): 6 ώρες,  
 (Δ): 12 ώρες, (E): 18ώρες, (ΣΤ): 24 ώρες



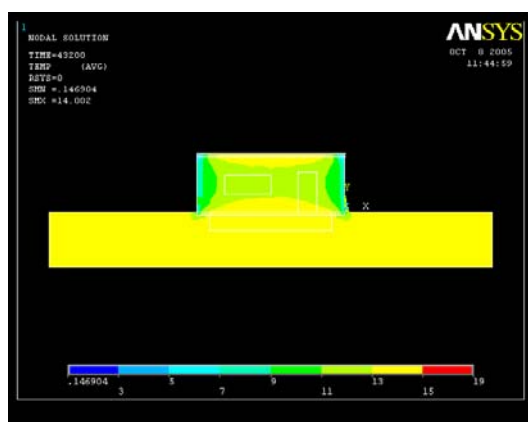
(A)



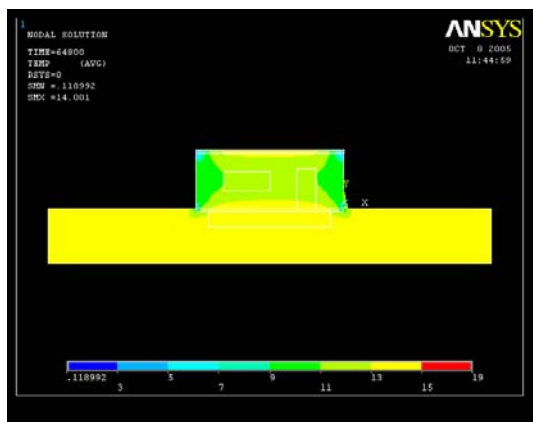
(B)



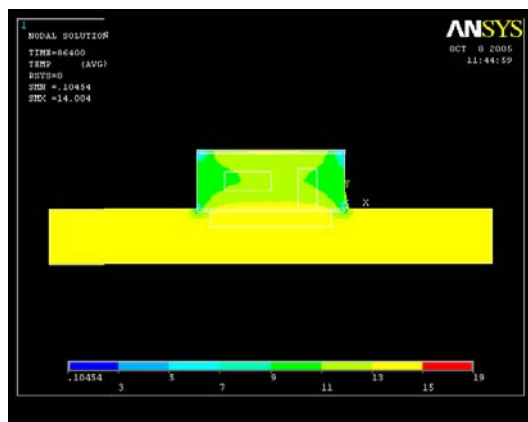
(Γ)



(Δ)

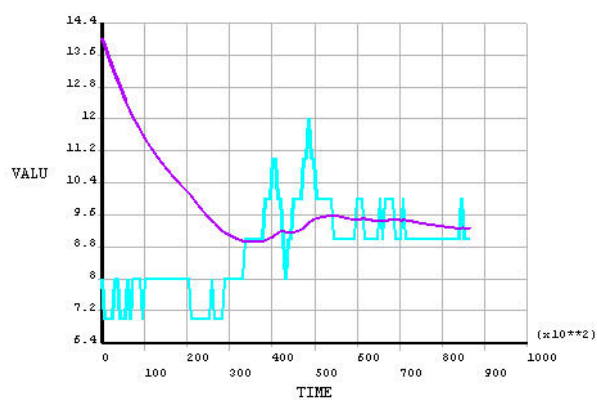


(E)

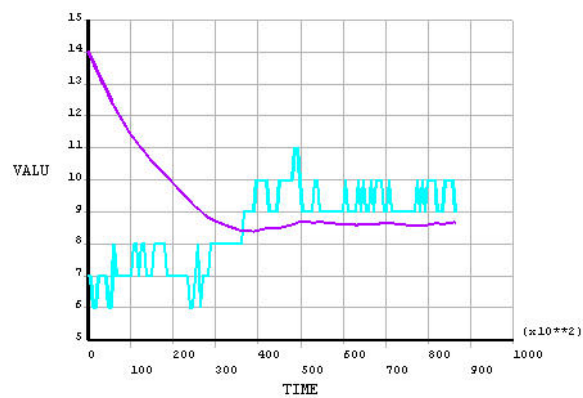


(ΣΤ)

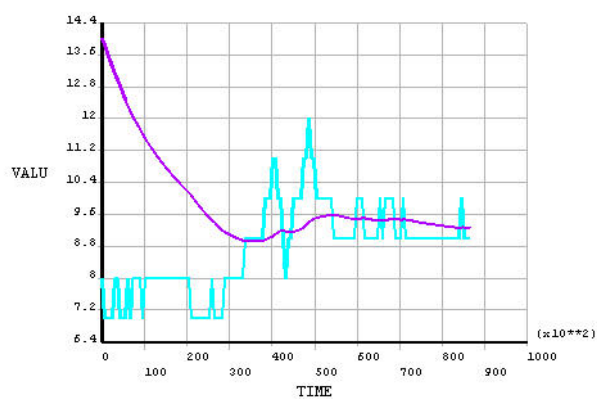
**Σχήμα 9.4:** Κατανομή θερμοκρασίας στην τομή 4 του κτιρίου κατά τη διάρκεια του 24ώρου  
 (Α):Θέση τομής 4, (Β): 0 ώρες, (Γ): 6 ώρες,  
 (Δ): 12 ώρες, (Ε): 18ώρες, (ΣΤ): 24 ώρες



Σχήμα 9.5: Κατανομή θερμοκρασίας στην εξωτερική και την εσωτερική επιφάνεια του βόρειου τοίχου

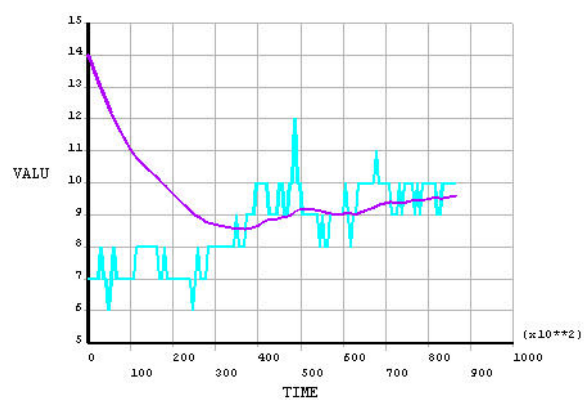


Σχήμα 9.6: Κατανομή θερμοκρασίας στην εξωτερική και την εσωτερική επιφάνεια του νότιου τοίχου

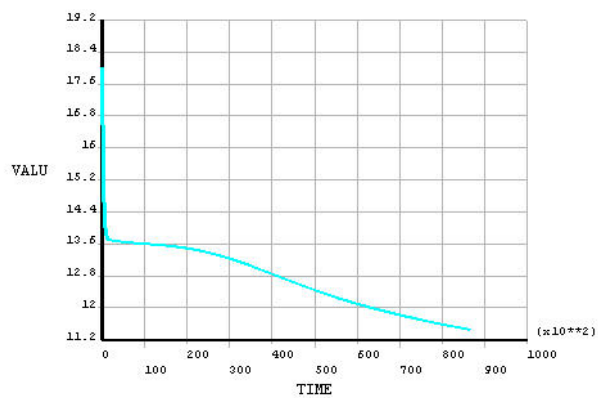


Σχήμα 9.7: Κατανομή θερμοκρασίας στην εξωτερική και την εσωτερική επιφάνεια του ανατολικού τοίχου



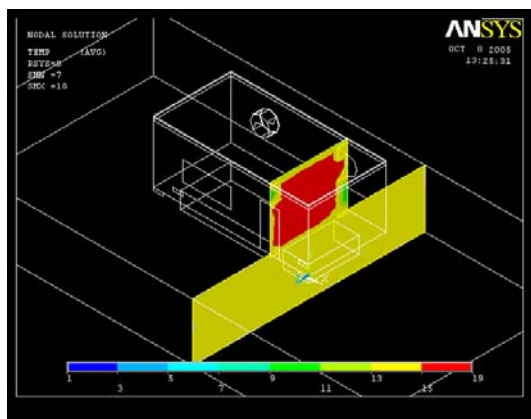


**Σχήμα 9.8:** Κατανομή θερμοκρασίας στην εξωτερική και την εσωτερική επιφάνεια του δυτικού τοίχου

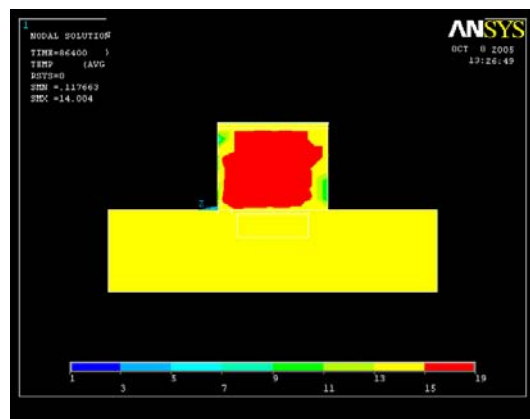


**Σχήμα 9.9:** Κατανομή θερμοκρασίας στο κέντρο του κτιρίου, σε ύψος 1.5 m από το πάτωμα

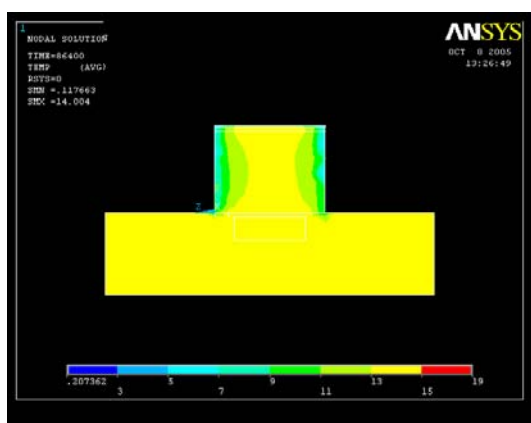
## 9.2.2 ΠΑΧΟΣ ΤΟΙΧΟΥ 0.5 m



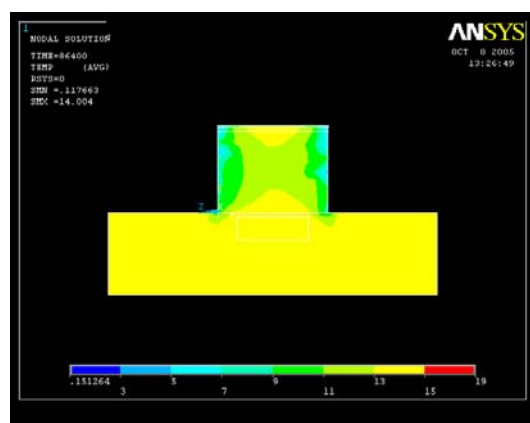
(A)



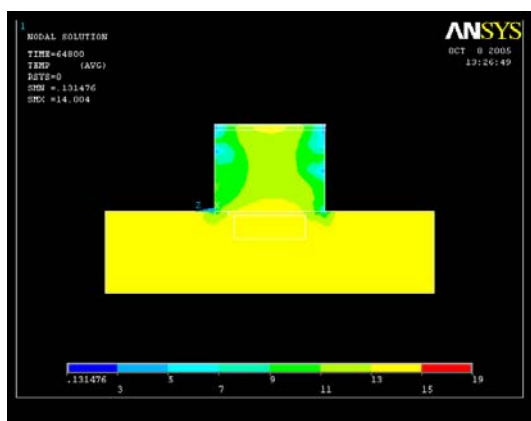
(B)



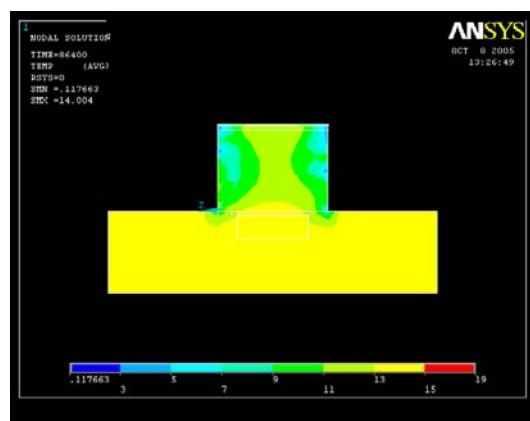
(Γ)



(Δ)

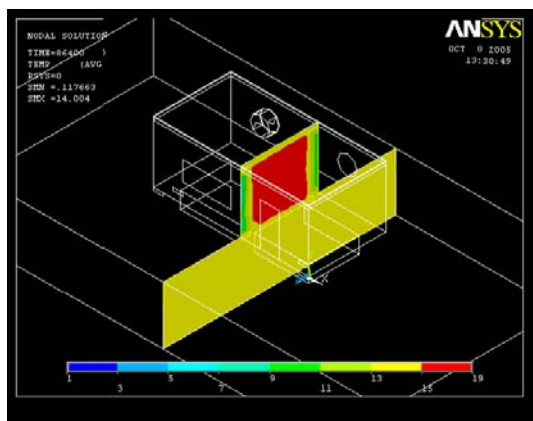


(E)

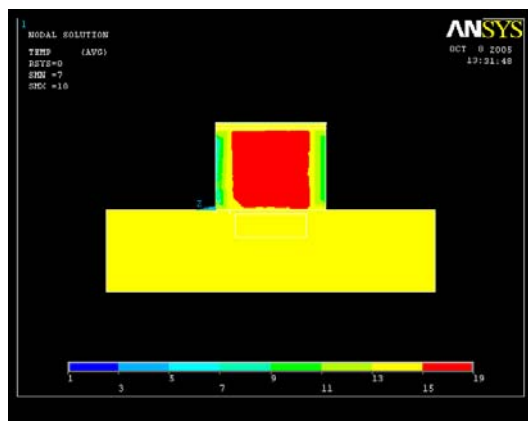


(ΣΤ)

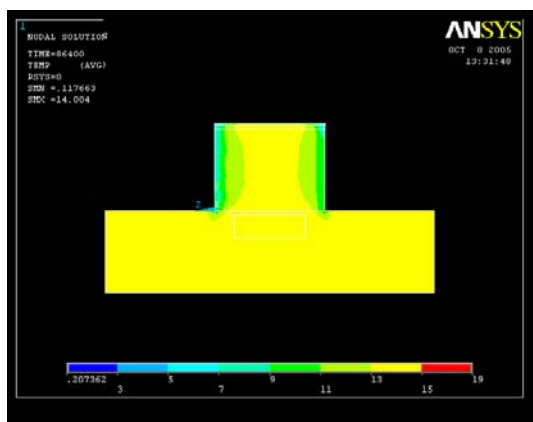
**Σχήμα 9.10:** Κατανομή θερμοκρασίας στην τομή 1 του κτιρίου κατά τη διάρκεια του 24ώρου  
 (A):Θέση τομής 1, (B): 0 ώρες, (Γ): 6 ώρες,  
 (Δ): 12 ώρες, (E): 18ώρες, (ΣΤ): 24 ώρες



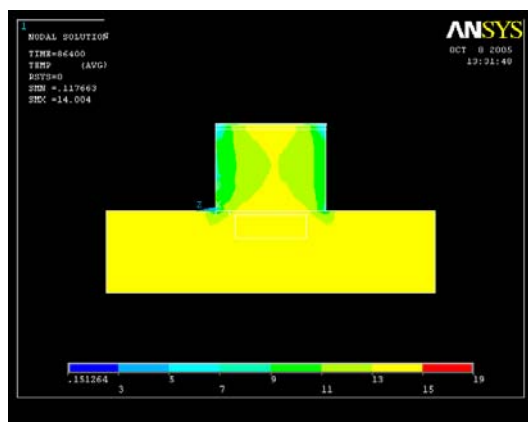
(Α)



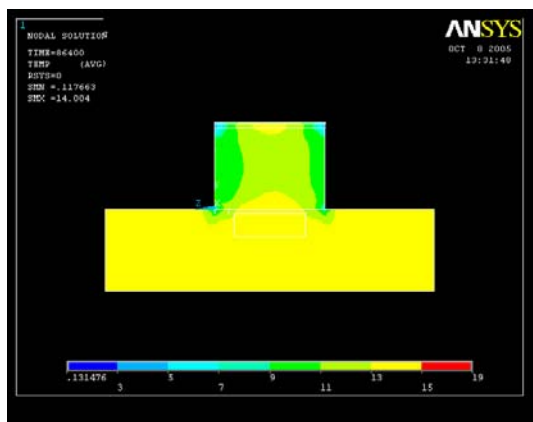
(Β)



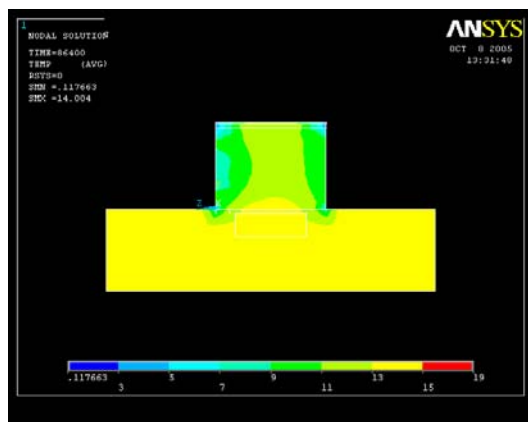
(Γ)



(Δ)

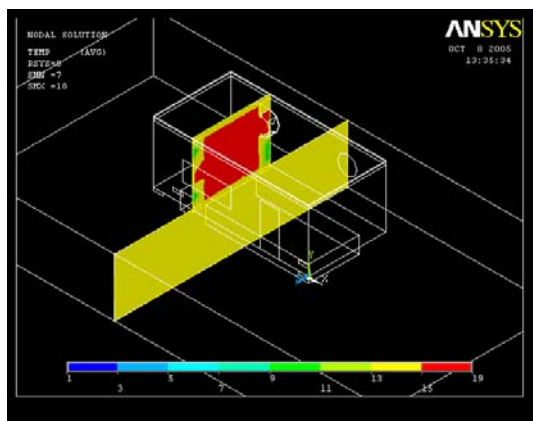


(Ε)

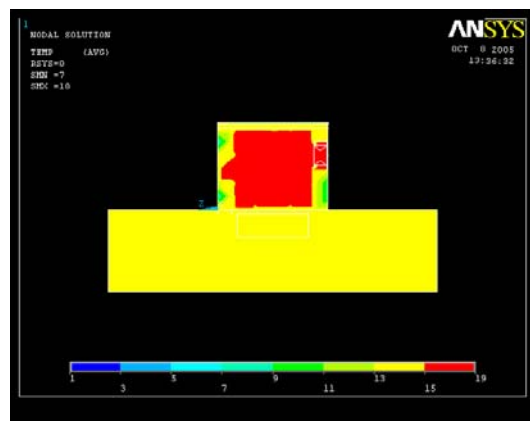


(ΣΤ)

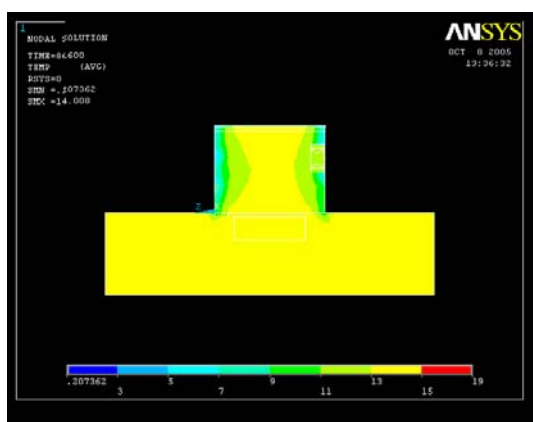
**Σχήμα 9.11:** Κατανομή θερμοκρασίας στην τομή 2 του κτιρίου κατά τη διάρκεια του 24ώρου  
 (Α):Θέση τομής 2, (Β): 0 ώρες, (Γ): 6 ώρες,  
 (Δ): 12 ώρες, (Ε): 18ώρες, (ΣΤ): 24 ώρες



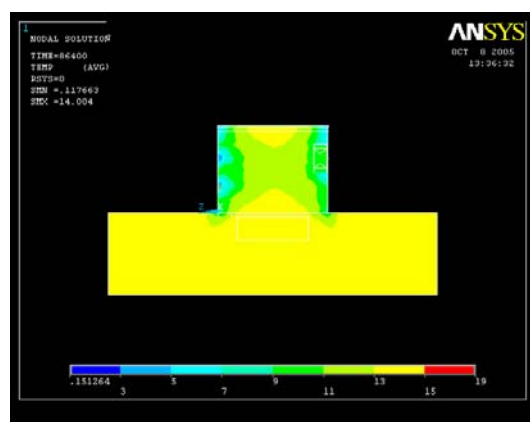
(A)



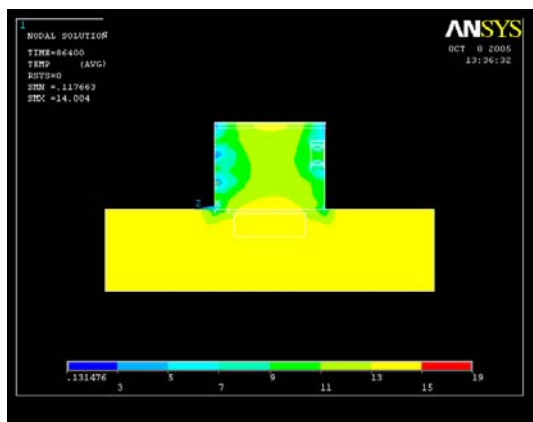
(B)



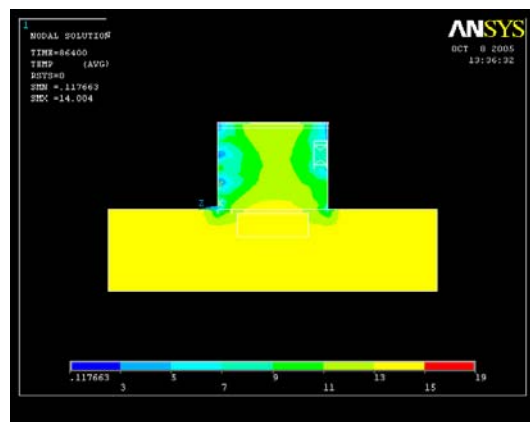
(Γ)



(Δ)

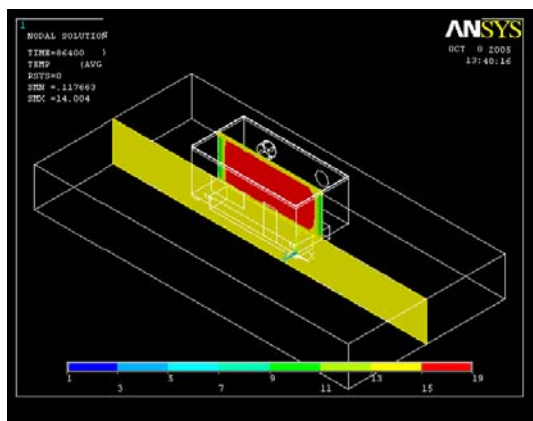


(E)

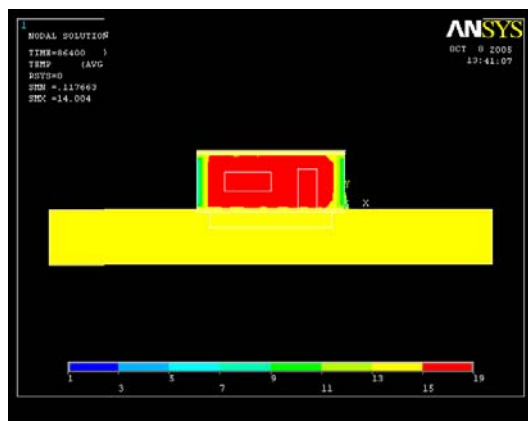


(ΣΤ)

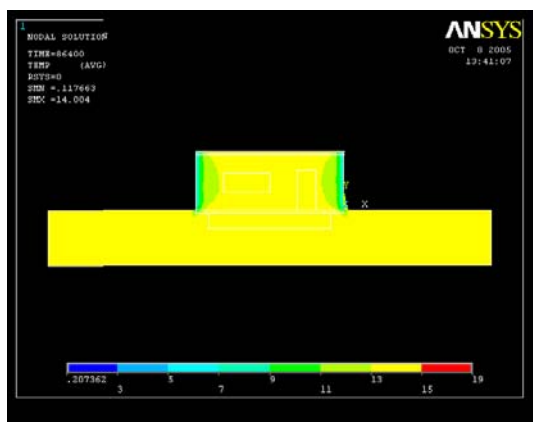
**Σχήμα 9.12:** Κατανομή θερμοκρασίας στην τομή 3 του κτιρίου κατά τη διάρκεια του 24ώρου  
 (A):Θέση τομής 3, (B): 0 ώρες, (Γ): 6 ώρες,  
 (Δ): 12 ώρες, (E): 18ώρες, (ΣΤ): 24 ώρες



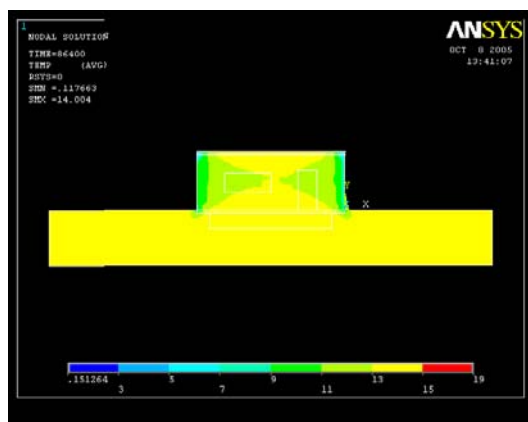
(A)



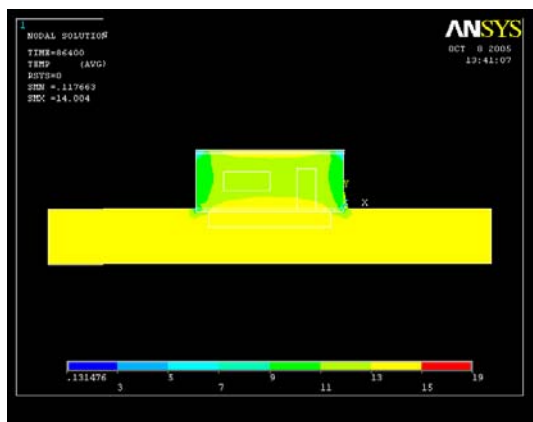
(B)



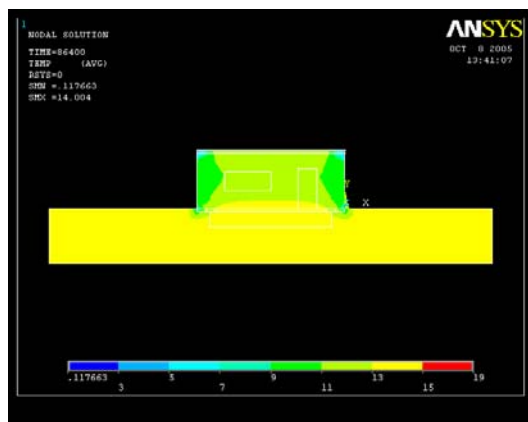
(Γ)



(Δ)

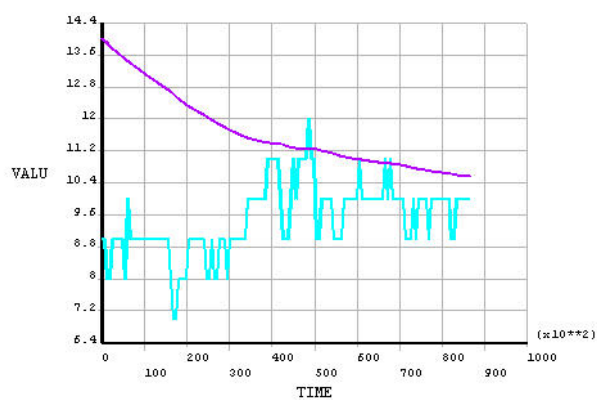


(E)

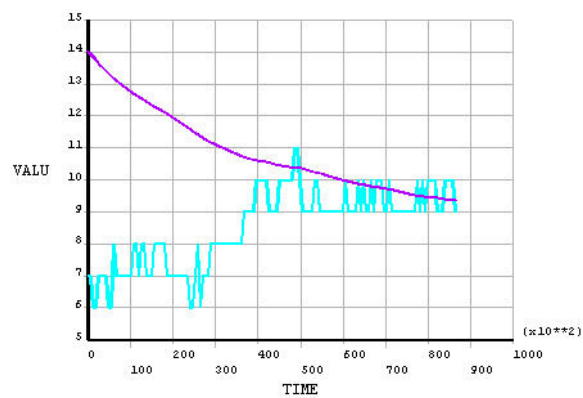


(ΣΤ)

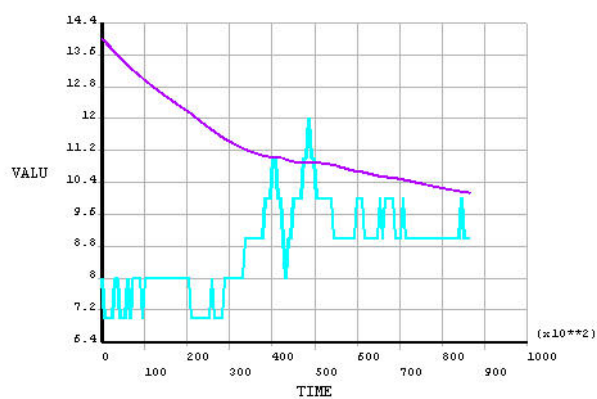
**Σχήμα 9.13:** Κατανομή θερμοκρασίας στην τομή 4 του κτιρίου κατά τη διάρκεια του 24ώρου  
 (A):Θέση τομής 4, (B): 0 ώρες, (Γ): 6 ώρες,  
 (Δ): 12 ώρες, (E): 18ώρες, (ΣΤ): 24 ώρες



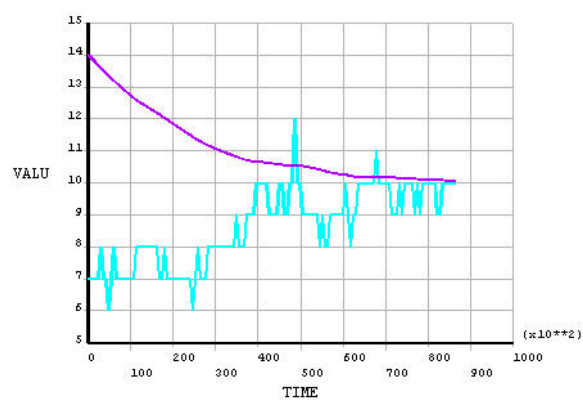
Σχήμα 9.14: Κατανομή θερμοκρασίας στην εξωτερική και την εσωτερική επιφάνεια του βόρειου τοίχου



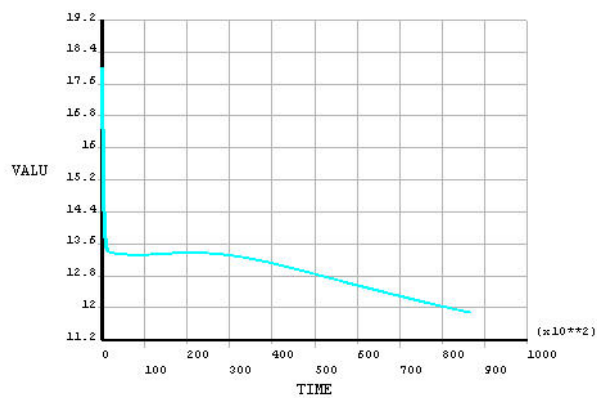
Σχήμα 9.15: Κατανομή θερμοκρασίας στην εξωτερική και την εσωτερική επιφάνεια του νότιου τοίχου



Σχήμα 9.16: Κατανομή θερμοκρασίας στην εξωτερική και την εσωτερική επιφάνεια του ανατολικού τοίχου



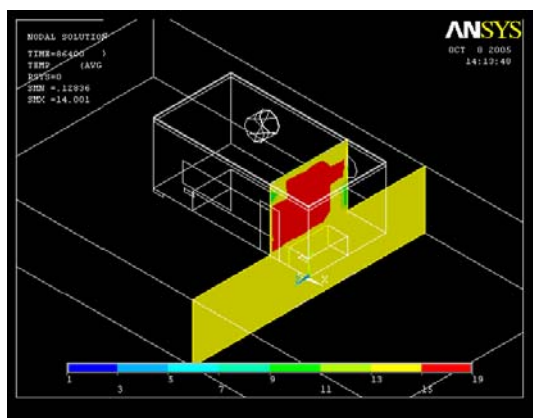
Σχήμα 9.17: Κατανομή θερμοκρασίας στην εξωτερική και την εσωτερική επιφάνεια του δυτικού τοίχου



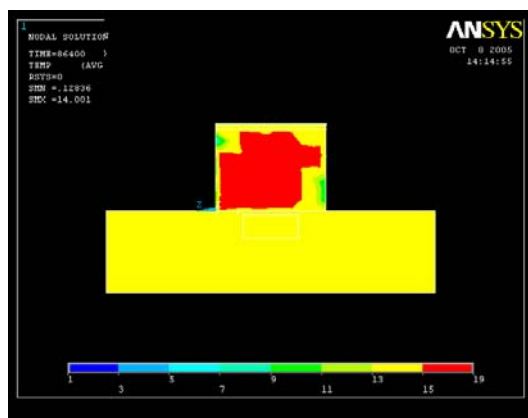
Σχήμα 9.18: Κατανομή θερμοκρασίας στο κέντρο του κτιρίου, σε ύψος 1.5 m από το πάτωμα



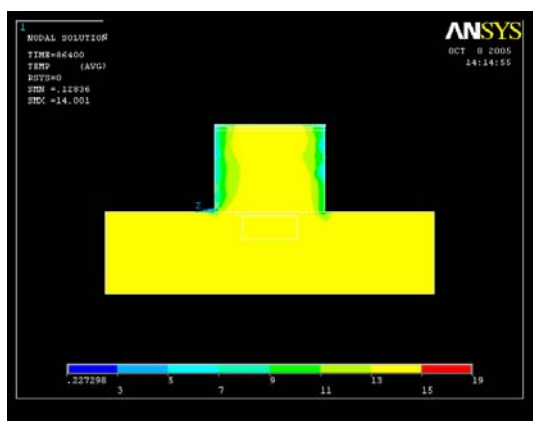
## 9.2.3 ΠΑΧΟΣ ΤΟΙΧΟΥ 0.8 m



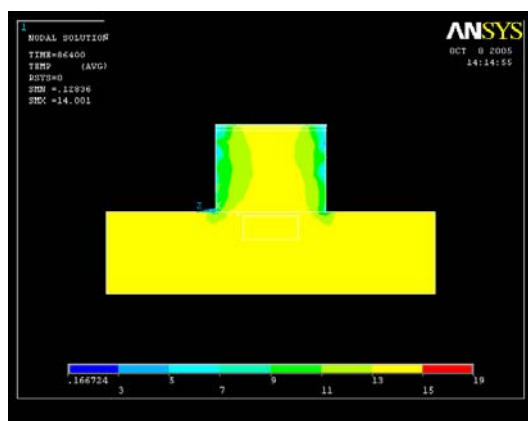
(A)



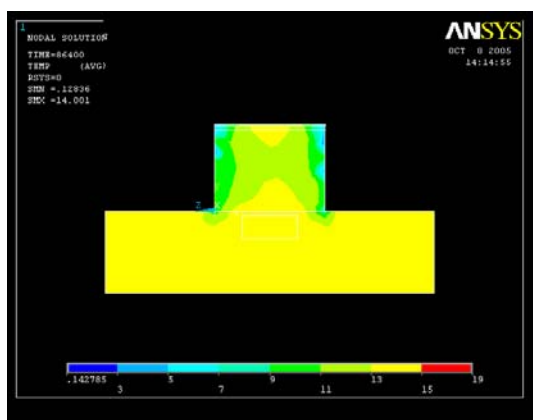
(B)



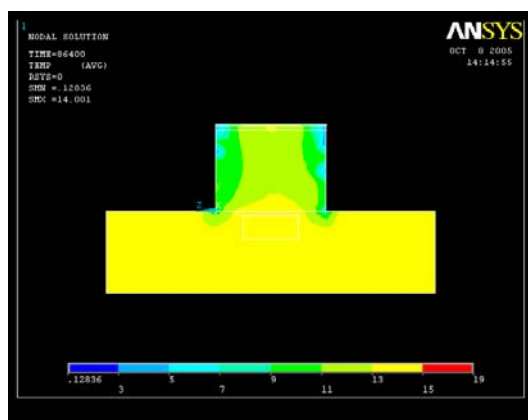
(Γ)



(Δ)

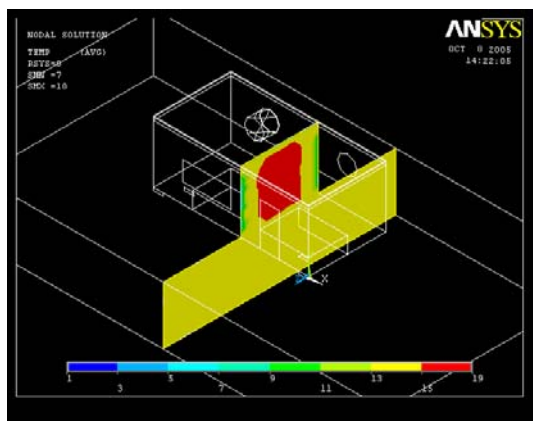


(Ε)

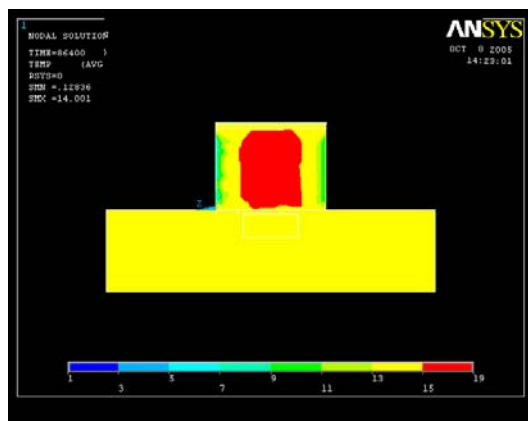


(ΣΤ)

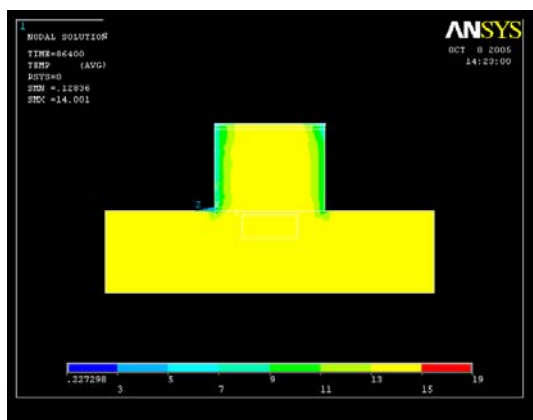
Σχήμα 9.19: Κατανομή θερμοκρασίας στην τομή 1 του κτιρίου κατά τη διάρκεια του 24ώρου  
 (Α):Θέση τομής 1, (Β): 0 ώρες, (Γ): 6 ώρες,  
 (Δ): 12 ώρες, (Ε): 18ώρες, (ΣΤ): 24 ώρες



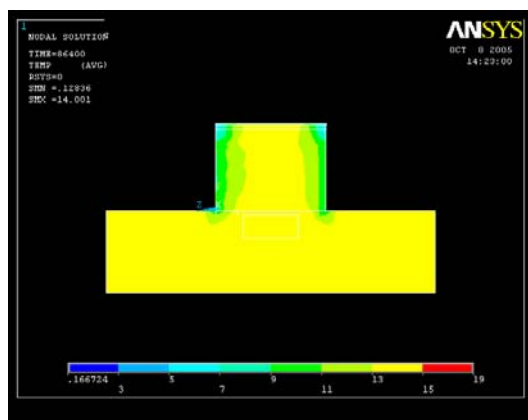
(A)



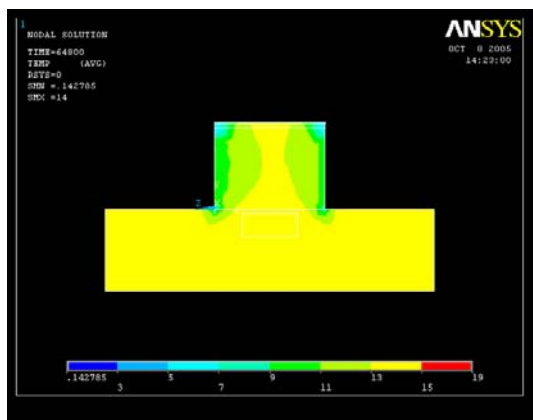
(B)



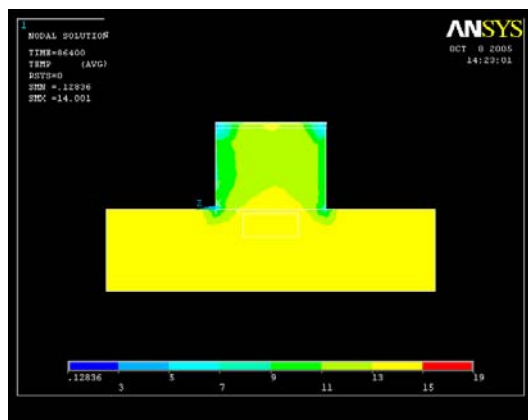
(Γ)



(Δ)

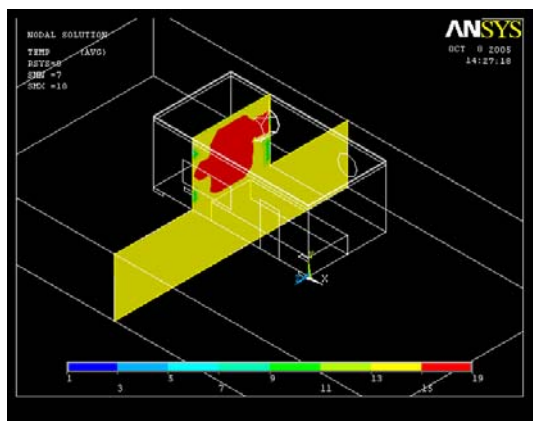


(E)

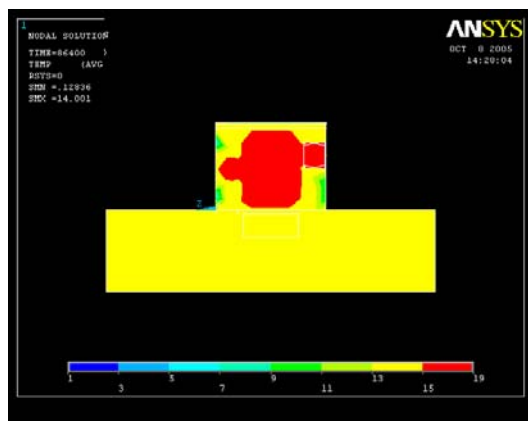


(ΣΤ)

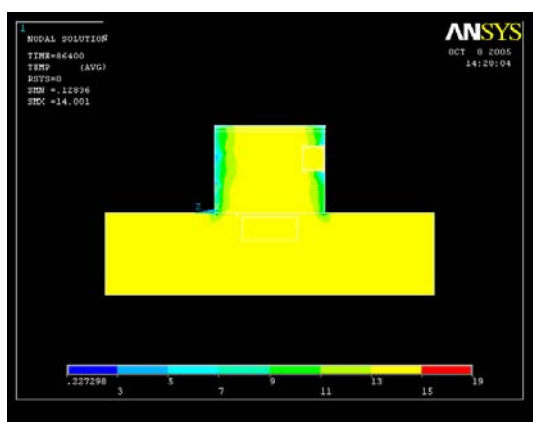
**Σχήμα 9.20:** Κατανομή θερμοκρασίας στην τομή 2 του κτιρίου κατά τη διάρκεια του 24ώρου  
 (Α):Θέση τομής 2, (Β): 0 ώρες, (Γ): 6 ώρες,  
 (Δ): 12 ώρες, (Ε): 18ώρες, (ΣΤ): 24 ώρες



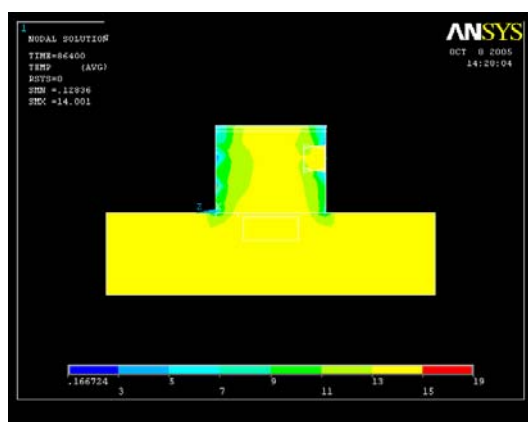
(A)



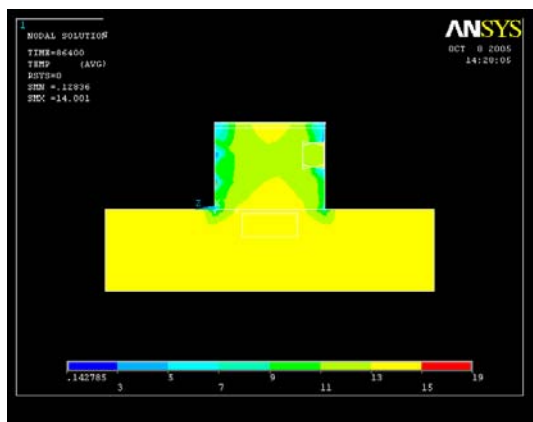
(B)



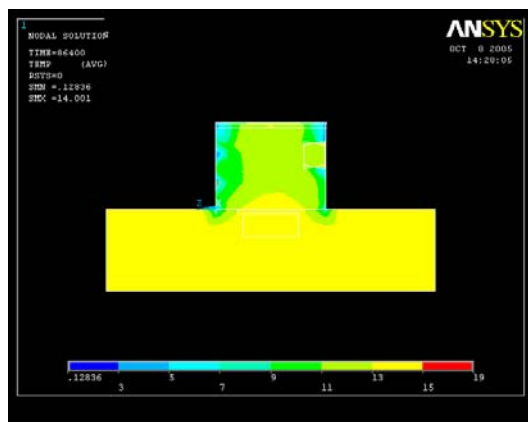
(Γ)



(Δ)

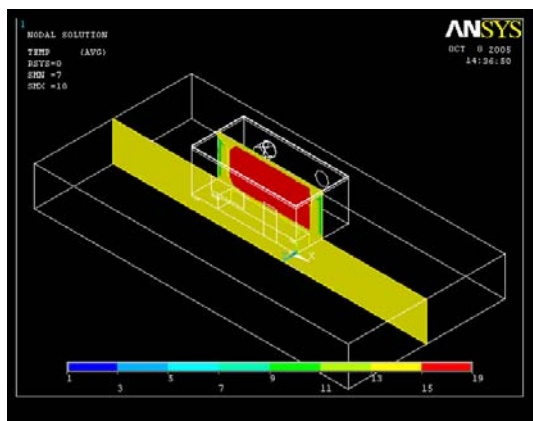


(E)

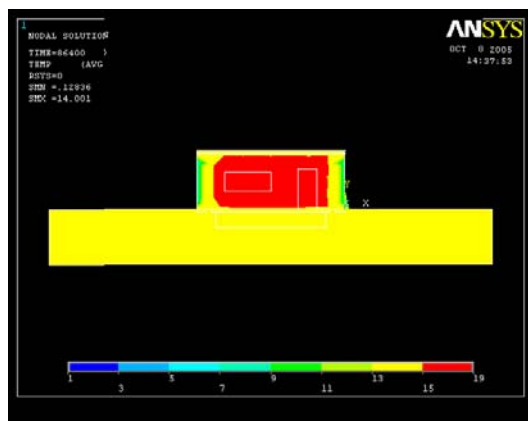


(ΣΤ)

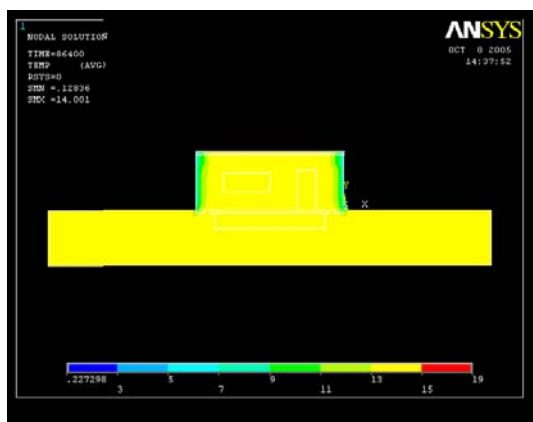
**Σχήμα 9.21:** Κατανομή θερμοκρασίας στην τομή 3 του κτιρίου κατά τη διάρκεια του 24ώρου  
 (A):Θέση τομής 3, (B): 0 ώρες, (Γ): 6 ώρες,  
 (Δ): 12 ώρες, (E): 18ώρες, (ΣΤ): 24 ώρες



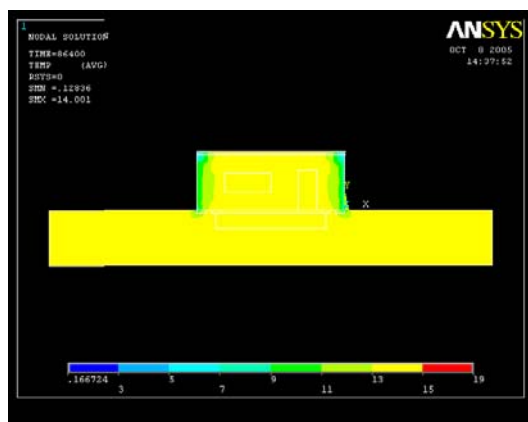
(A)



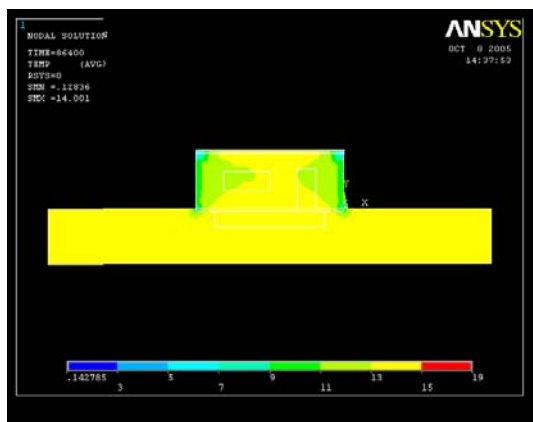
(B)



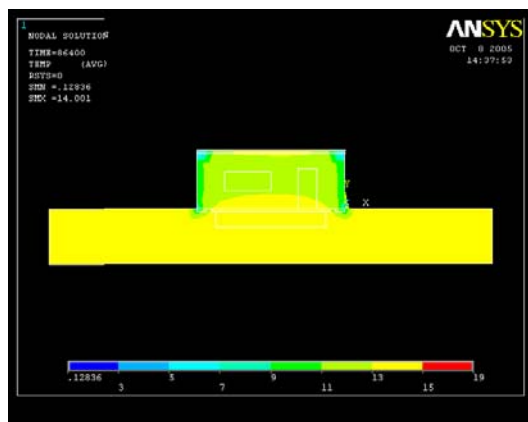
(Γ)



(Δ)

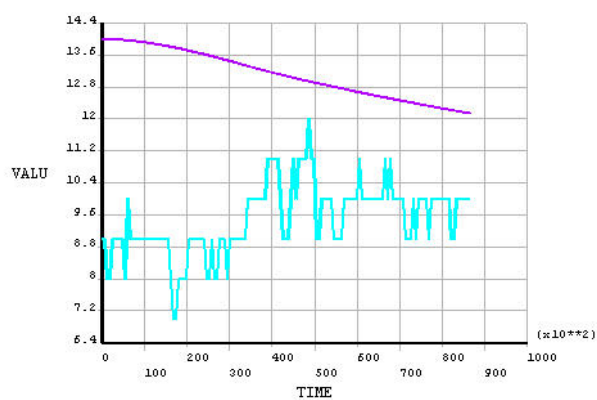


(E)

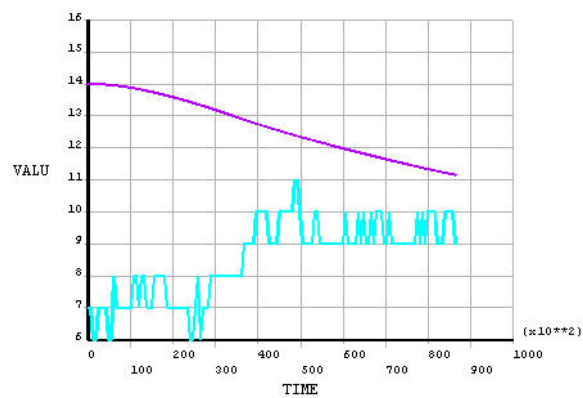


(ΣΤ)

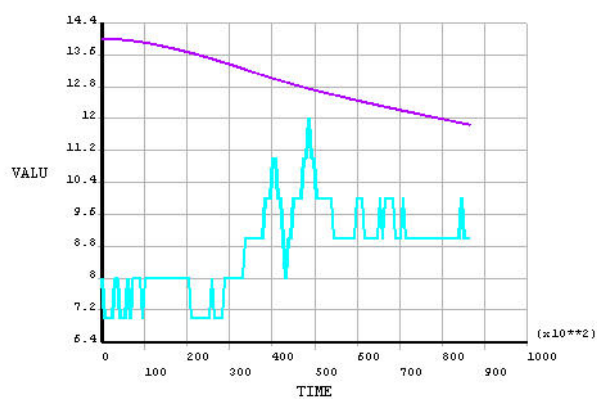
**Σχήμα 9.22:** Κατανομή θερμοκρασίας στην τομή 4 του κτιρίου κατά τη διάρκεια του 24ώρου  
 (A):Θέση τομής 4, (B): 0 ώρες, (Γ): 6 ώρες,  
 (Δ): 12 ώρες, (E): 18ώρες, (ΣΤ): 24 ώρες



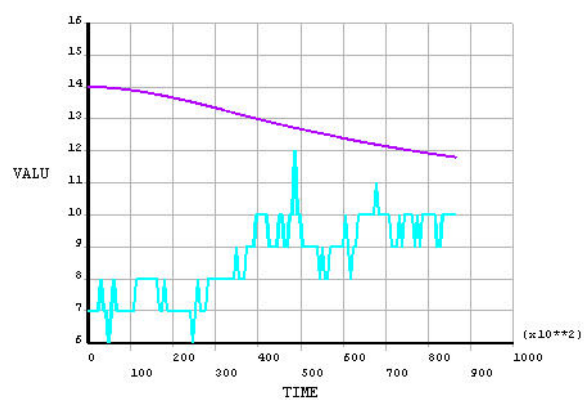
Σχήμα 9.23: Κατανομή θερμοκρασίας στην εξωτερική και την εσωτερική επιφάνεια του βόρειου τοίχου



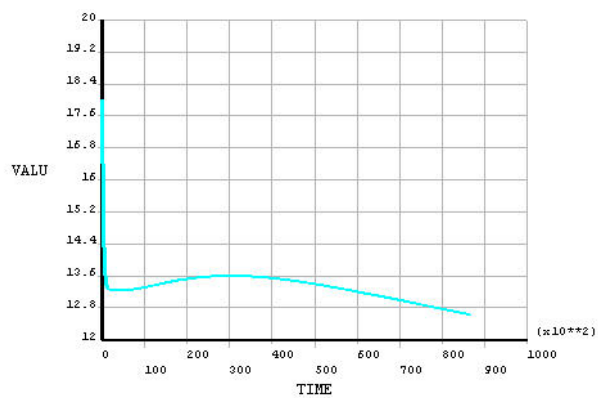
Σχήμα 9.24: Κατανομή θερμοκρασίας στην εξωτερική και την εσωτερική επιφάνεια του νότιου τοίχου



Σχήμα 9.25: Κατανομή θερμοκρασίας στην εξωτερική και την εσωτερική επιφάνεια του ανατολικού τοίχου



Σχήμα 9.26: Κατανομή θερμοκρασίας στην εξωτερική και την εσωτερική επιφάνεια του δυτικού τοίχου



Σχήμα 9.27: Κατανομή θερμοκρασίας στο κέντρο του κτιρίου, σε ύψος 1.5 m από το πάτωμα

### 9.3 ΘΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΜΕ ΔΥΝΑΤΟ ΑΝΕΜΟ

Στις αναλύσεις της θερινής περιόδου με δυνατό άνεμο αναπτύχθηκαν τα ακόλουθα σενάρια (σε παρένθεση αναγράφονται οι τιμές των παραμέτρων που μεταβάλλονται):

- Δυνατός νότιος άνεμος σταθερής ταχύτητας (10 m/sec), ο οποίος εισέρχεται από ανοίγματα μεγάλου εμβαδού και εξέρχεται από ανοίγματα μικρού εμβαδού ( $Sky1\_dia = 1.0$  και  $Sky2\_dia = 1.0$ )
- Δυνατός νότιος άνεμος σταθερής ταχύτητας (10 m/sec) με μεγαλύτερους φεγγίτες (διαμέτρου 1.7 m), έτσι ώστε να υπάρχει ισότητα εμβαδών εισόδου και εξόδου του αέρα στο κτίριο ( $Sky1\_dia = 1.7$  και  $Sky2\_dia = 1.7$ )
- Δυνατός βόρειος άνεμος σταθερής ταχύτητας (10 m/sec), ο οποίος εισέρχεται από ανοίγματα μικρού εμβαδού και εξέρχεται από ανοίγματα μεγάλου εμβαδού ( $Sky1\_dia = 1.0$  και  $Sky2\_dia = 1.0$ )

Κατά τη διάρκεια της ανάλυσης δεν λαμβάνεται υπόψη η λειτουργία βοηθητικής πηγής ψύξης.

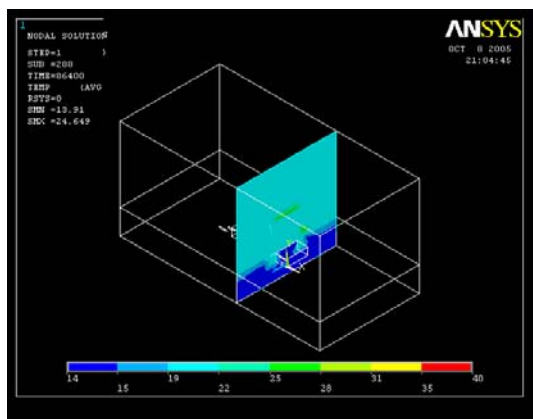
Σε καθένα από τα παραπάνω σενάρια παρουσιάζεται η κατανομή της θερμοκρασίας ανά δώρο για τις τέσσερις τομές που περιγράφηκαν στην παράγραφο 9.2 (Σχήματα 9.28, 9.31, 9.34 και 9.37 για το πρώτο σενάριο, Σχήματα 9.41, 9.44, 9.47 και 9.50 για το δεύτερο σενάριο και Σχήματα 9.54, 9.57, 9.60 και 9.63 για το τρίτο σενάριο).

Καθώς η ταχύτητα του ανέμου έχει σταθερή τιμή καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου, η κατανομή της ταχύτητας στη διεύθυνση Βορρά-Νότου και της τυρβώδους κινητικής ενέργειας παραμένει ουσιαστικά αμετάβλητη. Έτσι, για κάθε τομή αναπαριστούνται οι τελικές (και σταθερές τιμές) των δύο παραπάνω ποσοτήτων (Σχήματα 9.29, 9.32, 9.35, 9.38 (πρώτο σενάριο), 9.42, 9.45, 9.48, 9.51 (δεύτερο σενάριο), 9.55, 9.58, 9.61, 9.64 (τρίτο σενάριο) για την ταχύτητα στη διεύθυνση Βορρά-Νότου – Σχήματα 9.30, 9.33, 9.36, 9.39 (πρώτο σενάριο), 9.43, 9.46, 9.49, 9.52 (δεύτερο σενάριο), 9.56, 9.59, 9.62, 9.65 (τρίτο σενάριο) για την τυρβώδη κινητική ενέργεια).

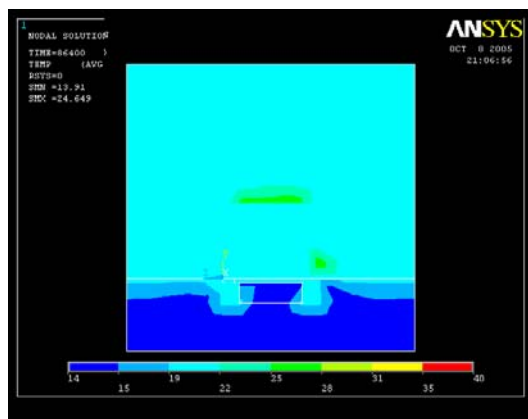
Τέλος, για κάθε σενάριο απεικονίζεται η εξέλιξη της θερμοκρασίας για ένα σημείο που βρίσκεται στο κέντρο του κτιρίου και σε ύψος 1.5 m από το πάτωμα (Σχήματα 9.40, 9.53 και 9.66).



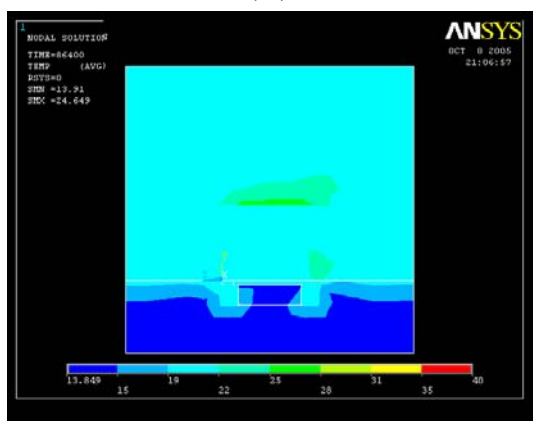
## 9.3.1 ΝΟΤΙΟΣ ΑΝΕΜΟΣ (10 m/sec)



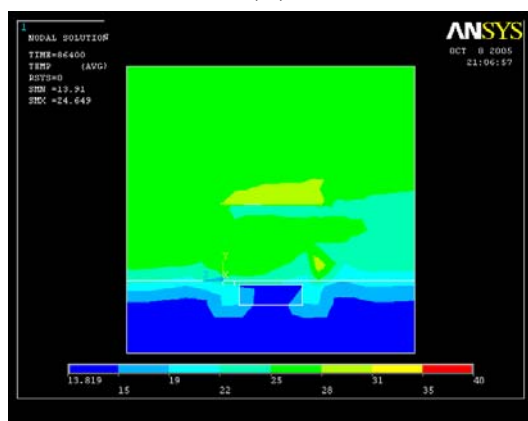
(A)



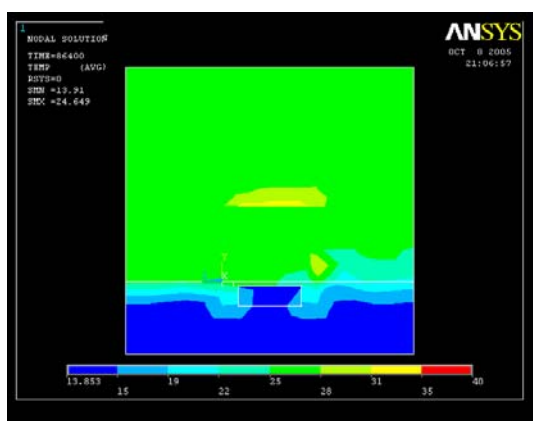
(B)



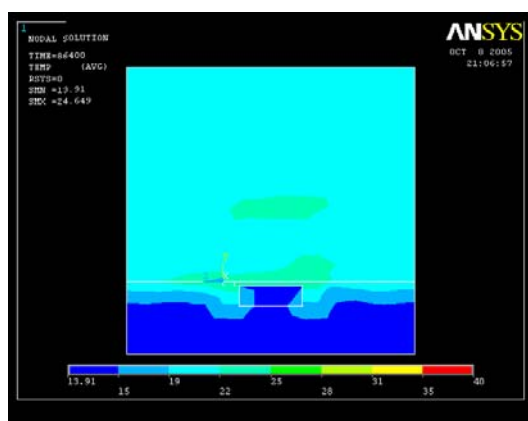
(Γ)



(Δ)

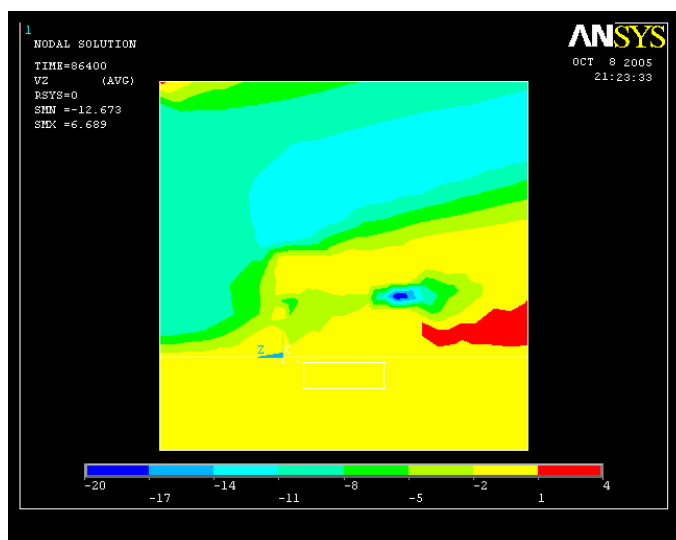


(E)

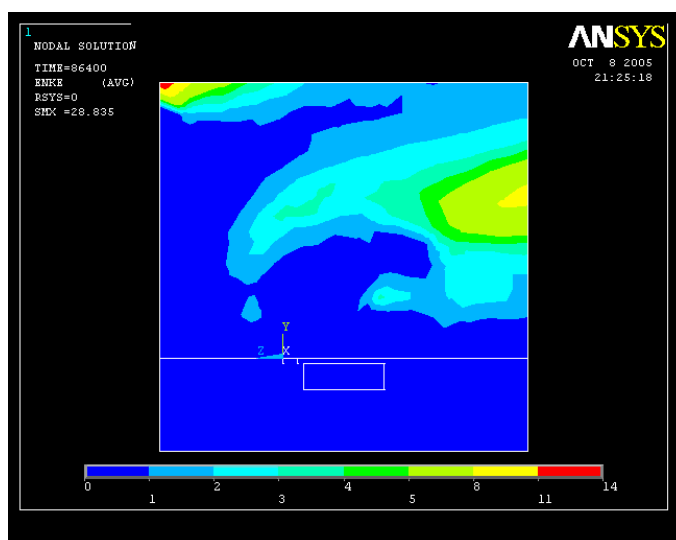


(ΣΤ)

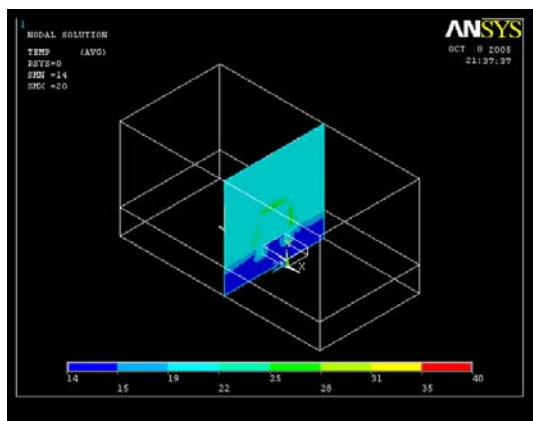
**Σχήμα 9.28:** Κατανομή θερμοκρασίας στην τομή 1 του κτιρίου κατά τη διάρκεια του 24ώρου  
 (A):Θέση τομής 1, (B): 0 ώρες, (Γ): 6 ώρες,  
 (Δ): 12 ώρες, (E): 18ώρες, (ΣΤ): 24 ώρες



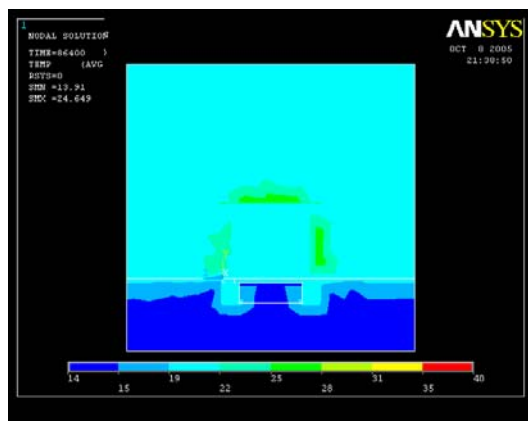
Σχήμα 9.29: Κατανομή οριζόντιας συνιστώσας ταχύτητας (κατεύθυνση Νότος-Βορράς) στην τομή 1



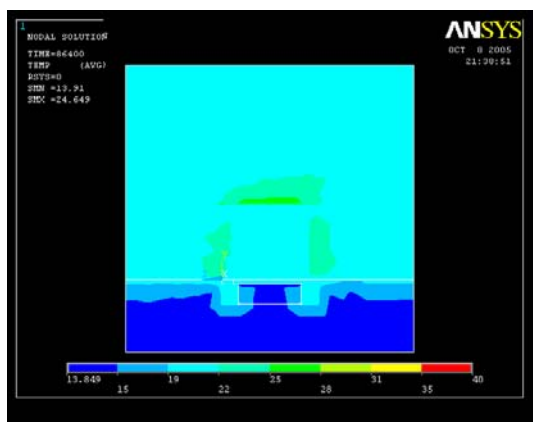
Σχήμα 9.30: Κατανομή τυρβώδους κινητικής ενέργειας στην τομή 1



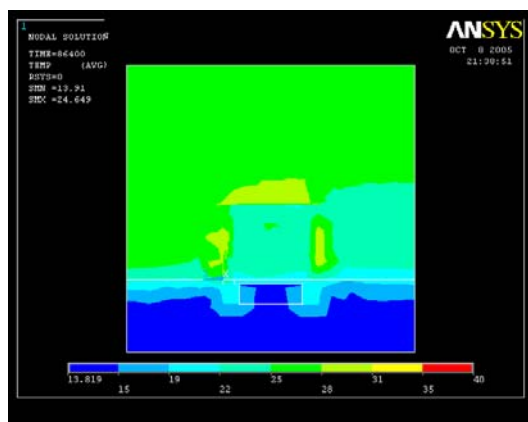
(A)



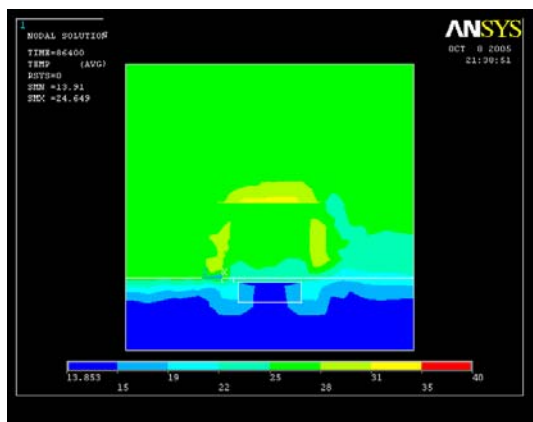
(B)



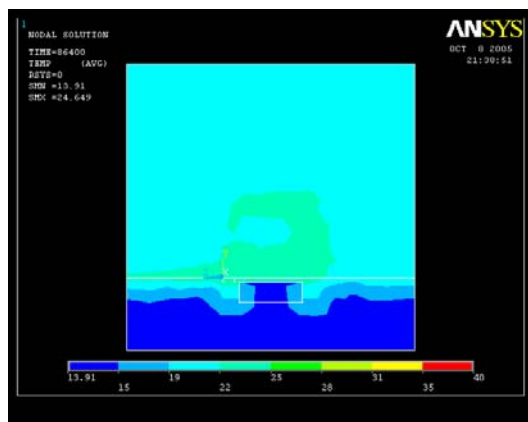
(Γ)



(Δ)

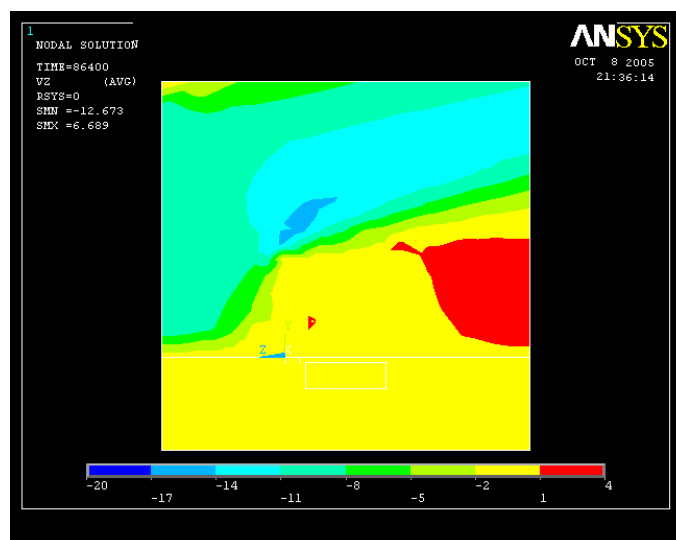


(E)

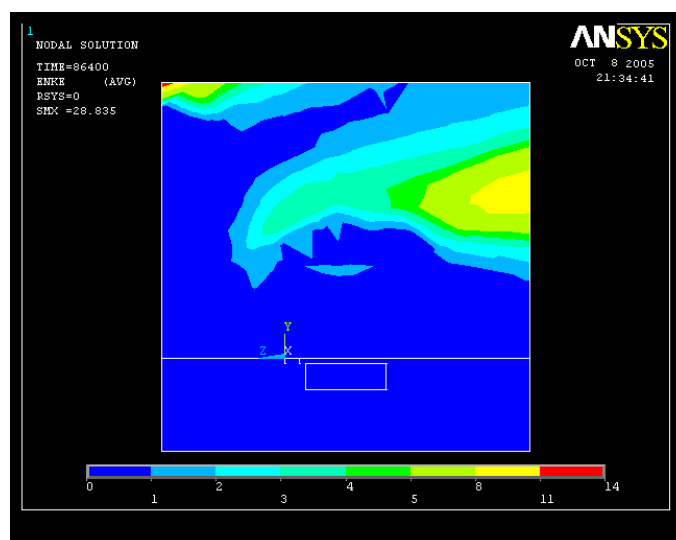


(ΣΤ)

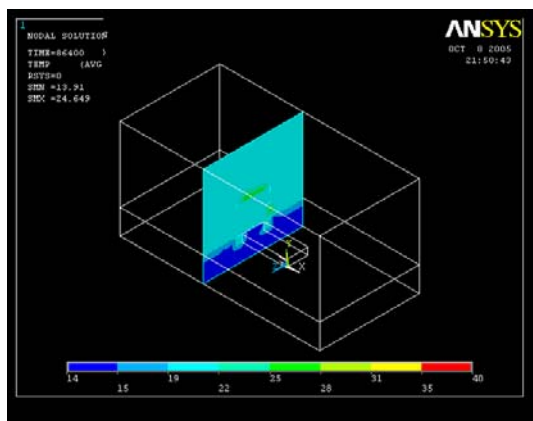
**Σχήμα 9.31:** Κατανομή θερμοκρασίας στην τομή 2 του κτιρίου κατά τη διάρκεια του 24ώρου  
 (A):Θέση τομής 2, (B): 0 ώρες, (Γ): 6 ώρες,  
 (Δ): 12 ώρες, (E): 18ώρες, (ΣΤ): 24 ώρες



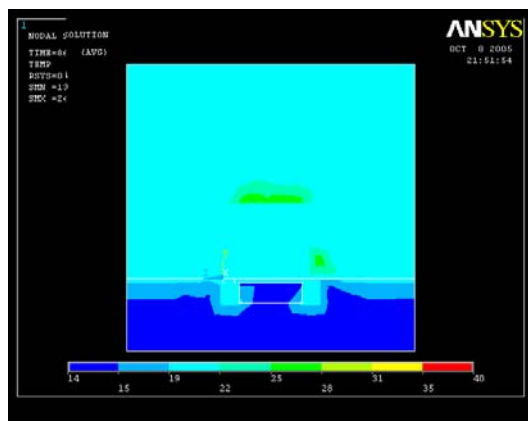
Σχήμα 9.32: Κατανομή οριζόντιας συνιστώσας ταχύτητας (κατεύθυνση Νότος-Βορράς) στην τομή 2



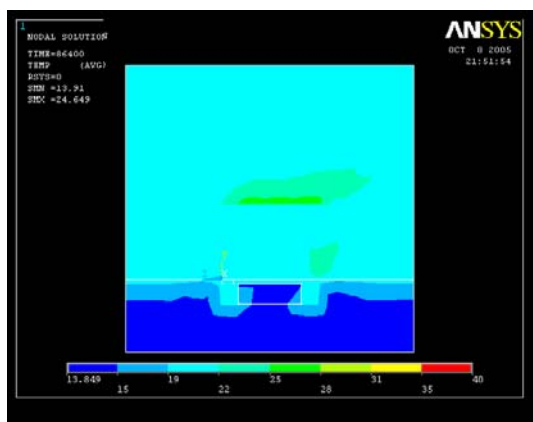
Σχήμα 9.33: Κατανομή τυρβώδους κινητικής ενέργειας στην τομή 2



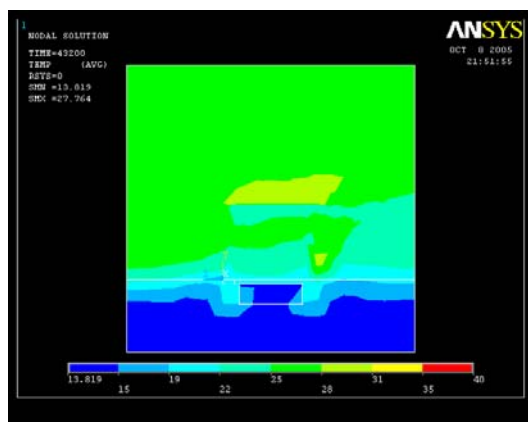
(A)



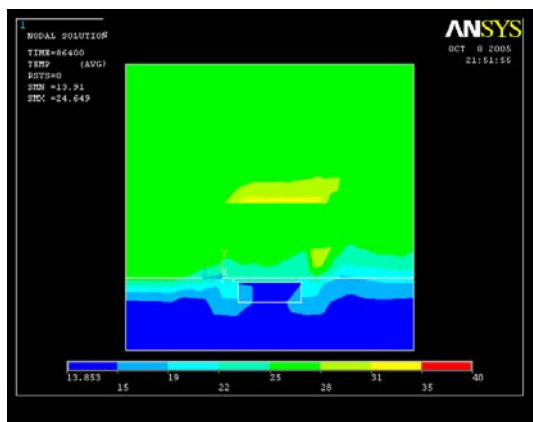
(B)



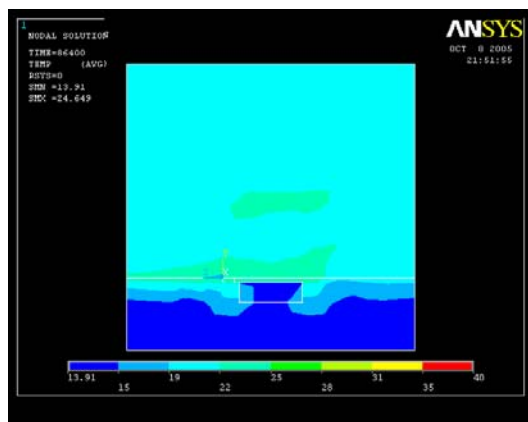
(Γ)



(Δ)

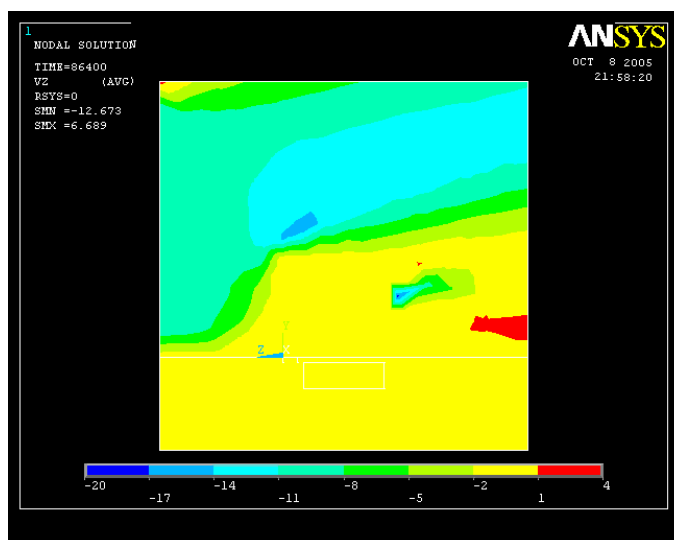


(E)

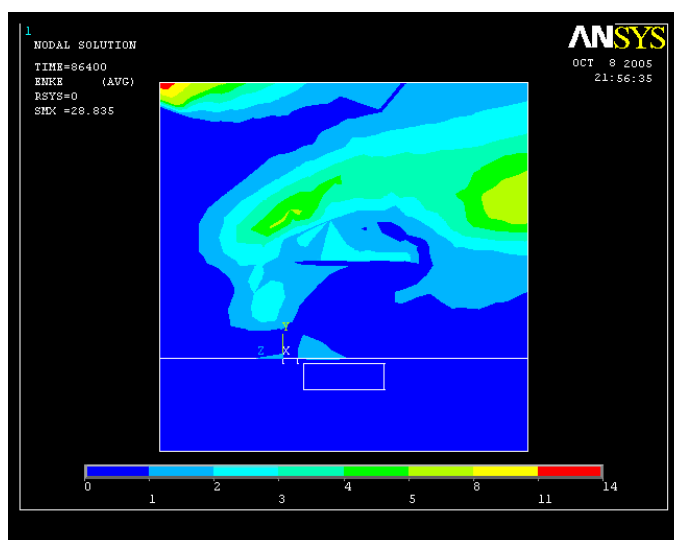


(ΣΤ)

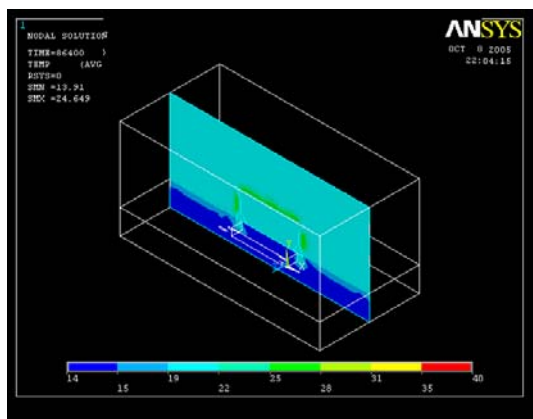
**Σχήμα 9.34:** Κατανομή θερμοκρασίας στην τομή 3 του κτιρίου κατά τη διάρκεια του 24ώρου  
 (A):Θέση τομής 3, (B): 0 ώρες, (Γ): 6 ώρες,  
 (Δ): 12 ώρες, (E): 18ώρες, (ΣΤ): 24 ώρες



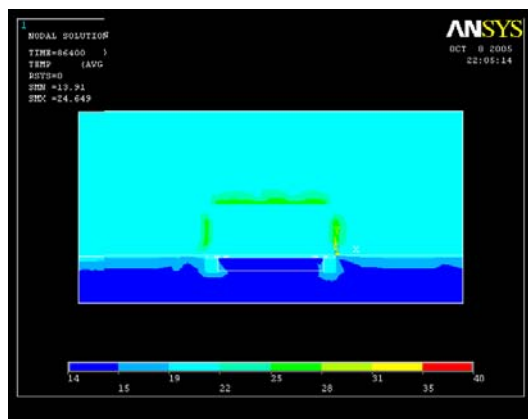
Σχήμα 9.35: Κατανομή οριζόντιας συνιστώσας ταχύτητας (κατεύθυνση Νότος-Βορράς) στην τομή 3



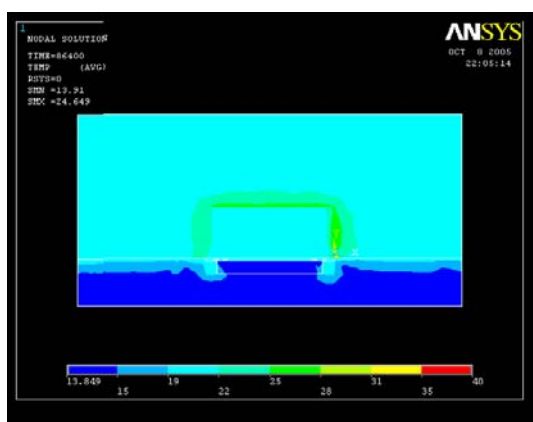
Σχήμα 9.36: Κατανομή τυρβώδους κινητικής ενέργειας στην τομή 3



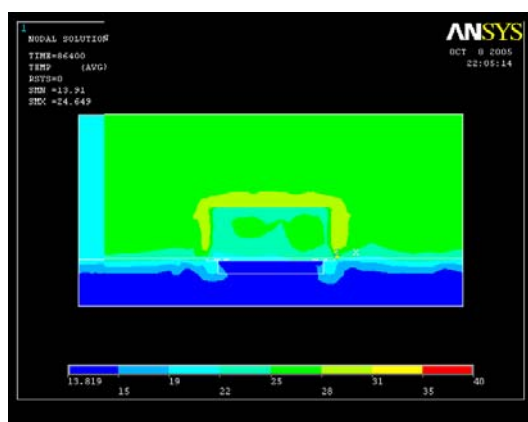
(A)



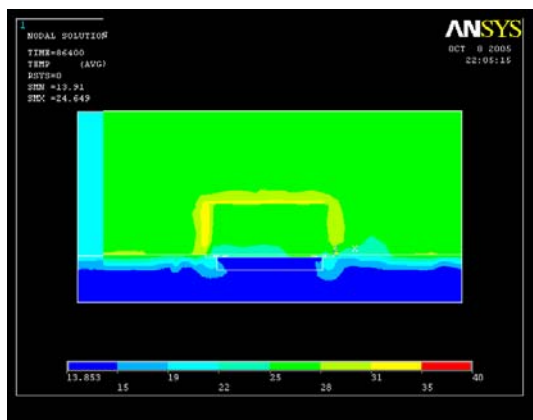
(B)



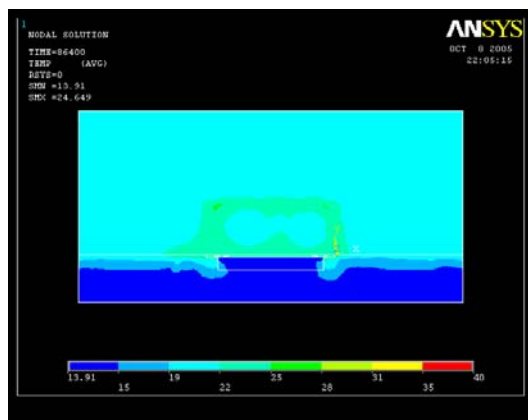
(Γ)



(Δ)

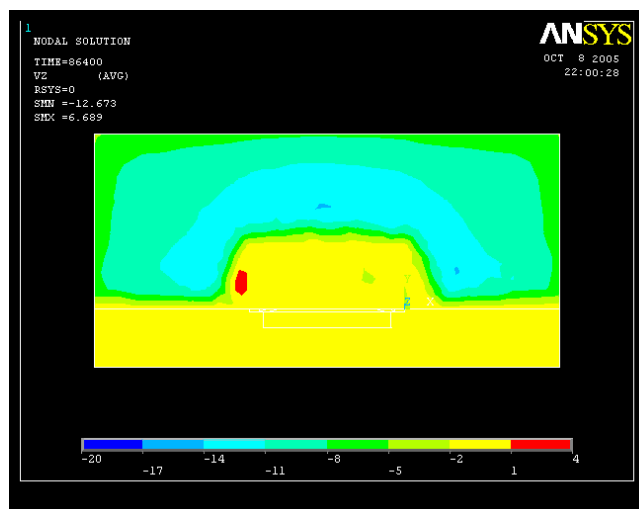


(E)

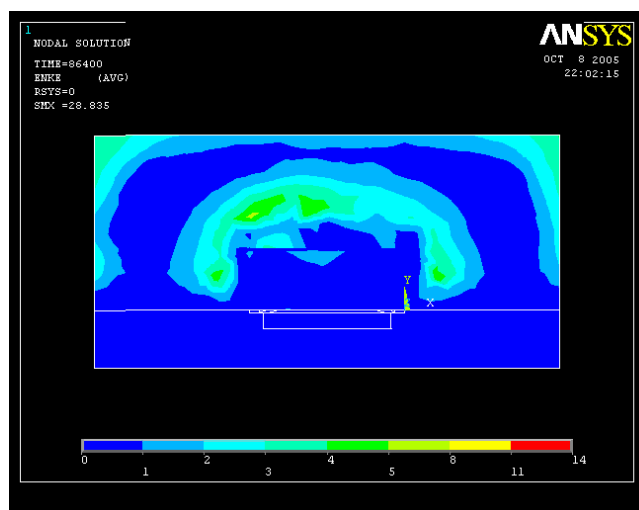


(ΣΤ)

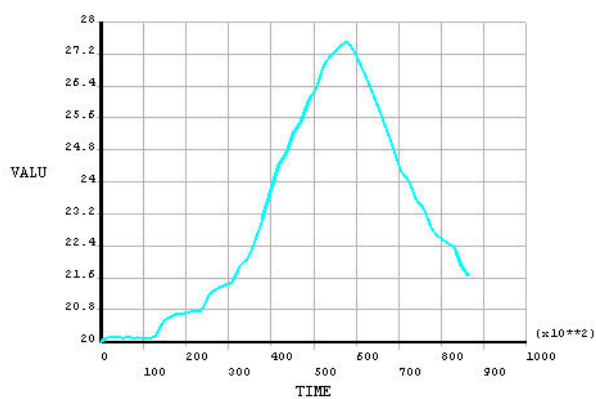
**Σχήμα 9.37:** Κατανομή θερμοκρασίας στην τομή 4 του κτιρίου κατά τη διάρκεια του 24ώρου  
 (A):Θέση τομής 4, (B): 0 ώρες, (Γ): 6 ώρες,  
 (Δ): 12 ώρες, (E): 18ώρες, (ΣΤ): 24 ώρες



Σχήμα 9.38: Κατανομή οριζόντιας συνιστώσας ταχύτητας (κατεύθυνση Νότος-Βορράς) στην τομή 4



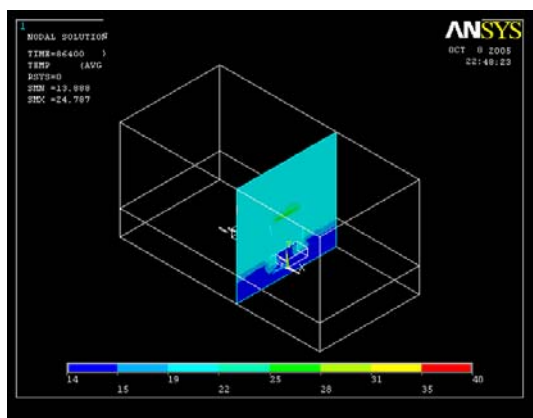
Σχήμα 9.39: Κατανομή τυρβώδους κινητικής ενέργειας στην τομή 4



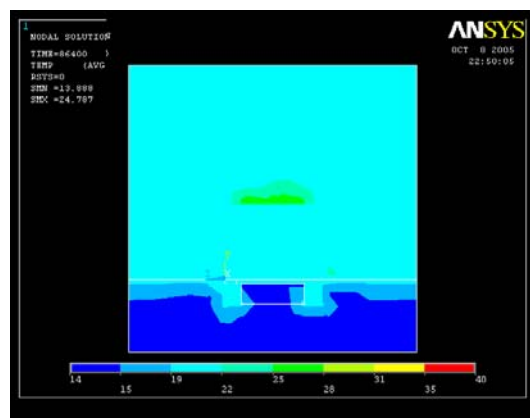
Σχήμα 9.40: Κατανομή θερμοκρασίας στο κέντρο του κτιρίου, σε ύψος 1.5 m από το πάτωμα



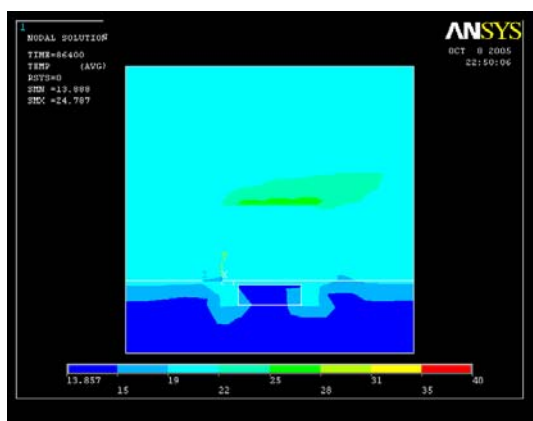
### 9.3.2 ΝΟΤΙΟΣ ΑΝΕΜΟΣ (10 m/sec) ΜΕ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟΥΣ ΦΕΓΓΙΤΕΣ



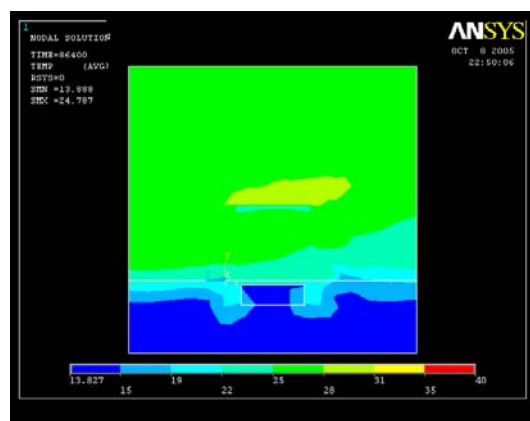
(A)



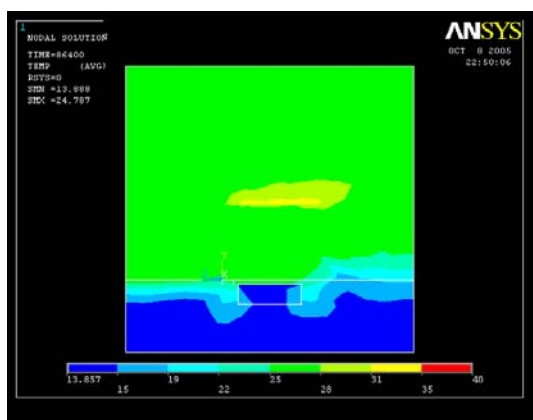
(B)



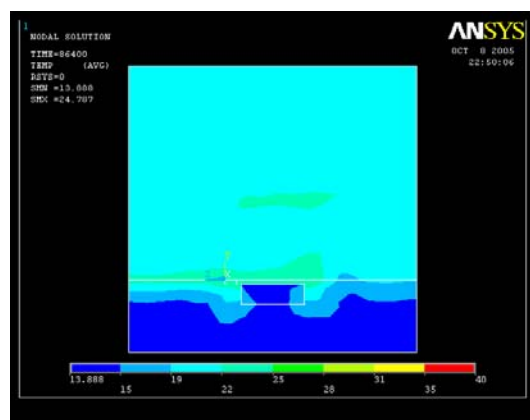
(Γ)



(Δ)

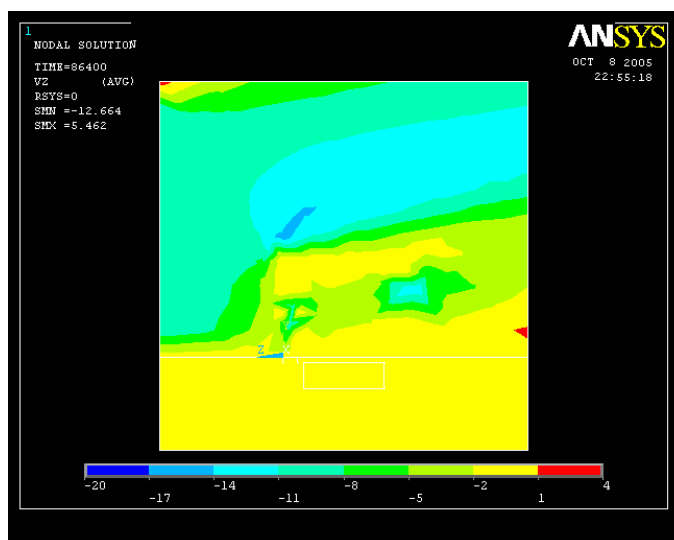


(E)

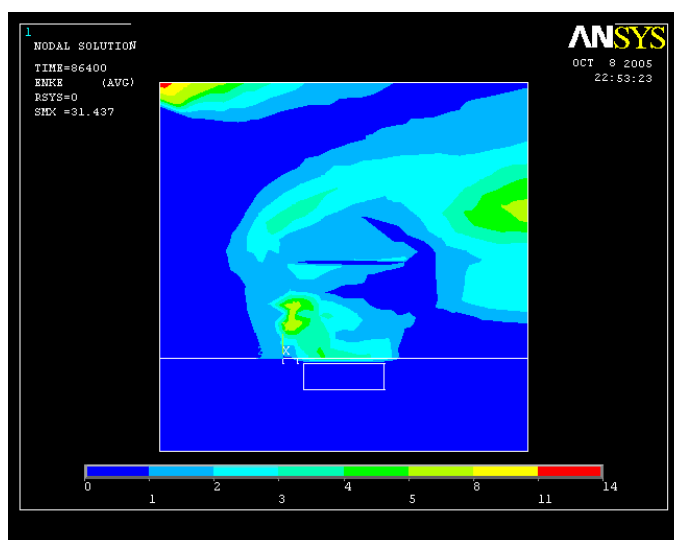


(ΣΤ)

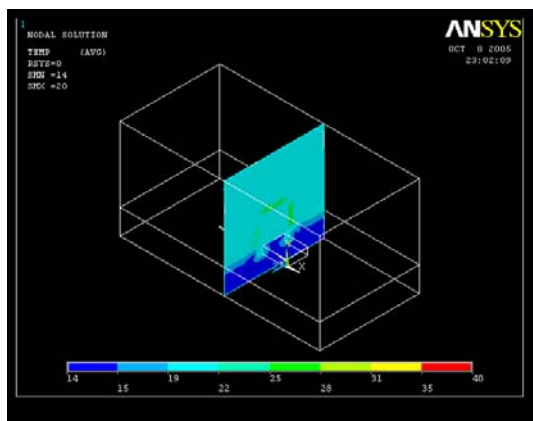
**Σχήμα 9.41:** Κατανομή θερμοκρασίας στην τομή 1 του κτιρίου κατά τη διάρκεια του 24ώρου  
(Α):Θέση τομής 1, (Β): 0 ώρες, (Γ): 6 ώρες,  
(Δ): 12 ώρες, (Ε): 18ώρες, (ΣΤ): 24 ώρες



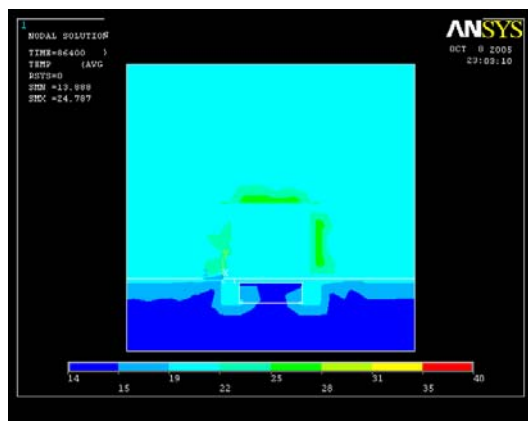
Σχήμα 9.42: Κατανομή οριζόντιας συνιστώσας ταχύτητας (κατεύθυνση Νότος-Βορράς) στην τομή 1



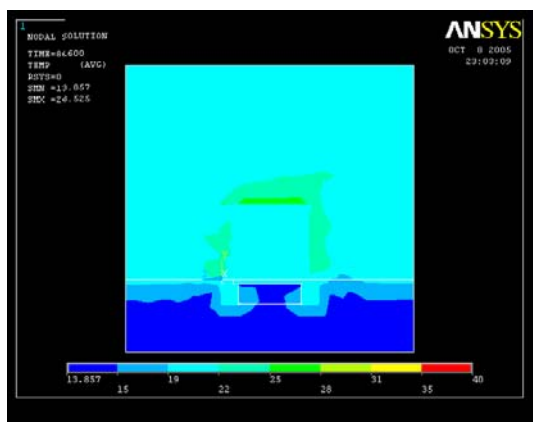
Σχήμα 9.43: Κατανομή τυρβώδους κινητικής ενέργειας στην τομή 1



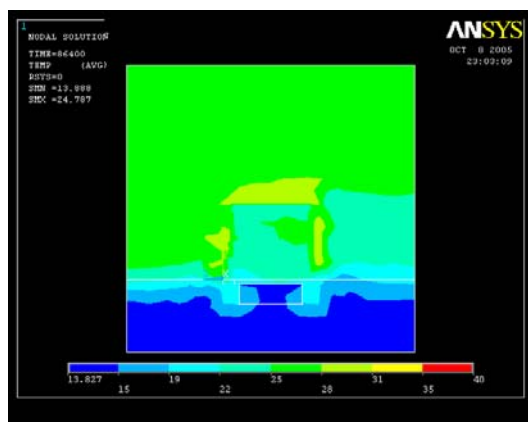
(A)



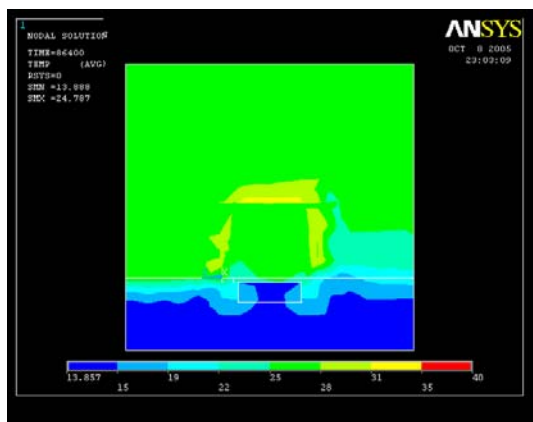
(B)



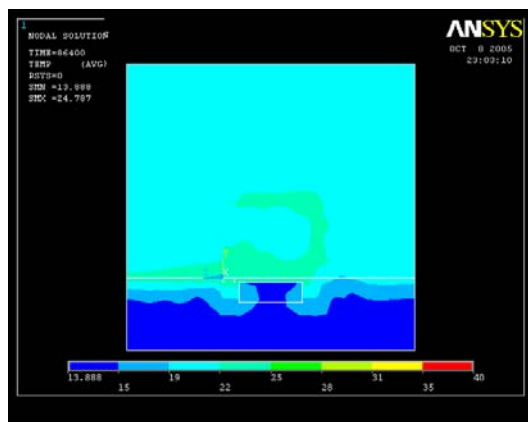
(Γ)



(Δ)

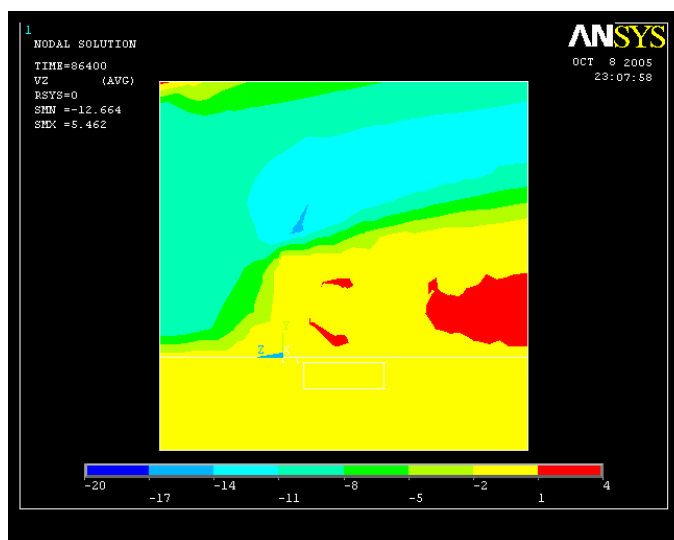


(E)

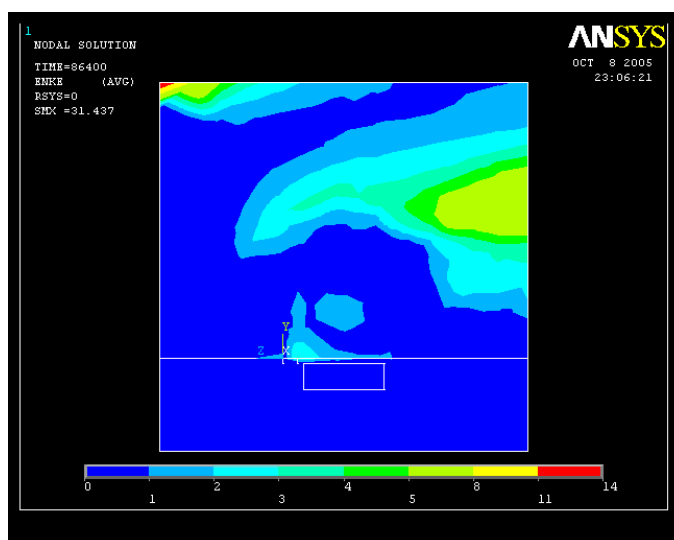


(ΣΤ)

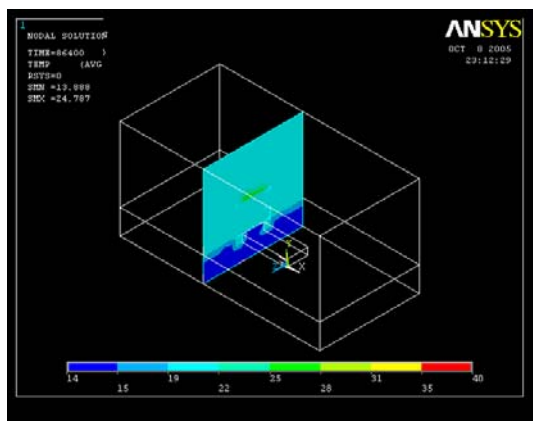
**Σχήμα 9.44:** Κατανομή θερμοκρασίας στην τομή 2 του κτιρίου κατά τη διάρκεια του 24ώρου  
 (A):Θέση τομής 2, (B): 0 ώρες, (Γ): 6 ώρες,  
 (Δ): 12 ώρες, (E): 18ώρες, (ΣΤ): 24 ώρες



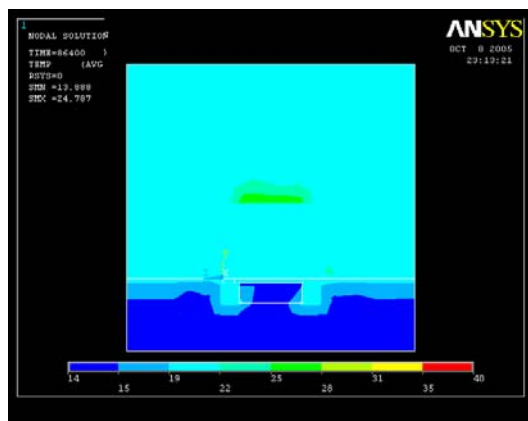
Σχήμα 9.45: Κατανομή οριζόντιας συνιστώσας ταχύτητας (κατεύθυνση Νότος-Βορράς) στην τομή 2



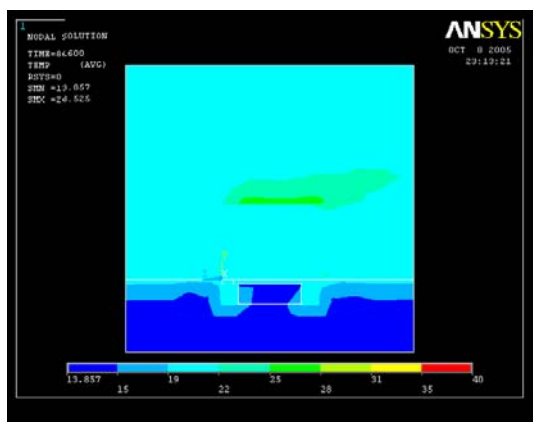
Σχήμα 9.46: Κατανομή τυρβώδους κινητικής ενέργειας στην τομή 2



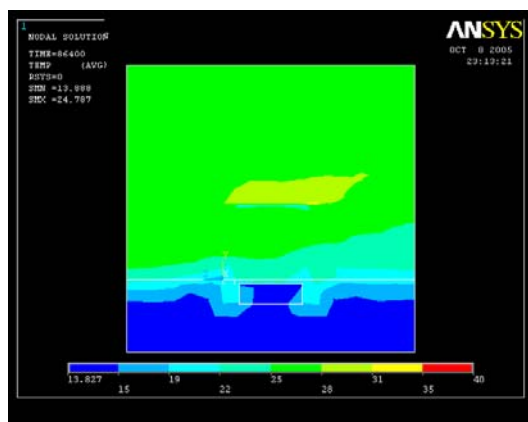
(A)



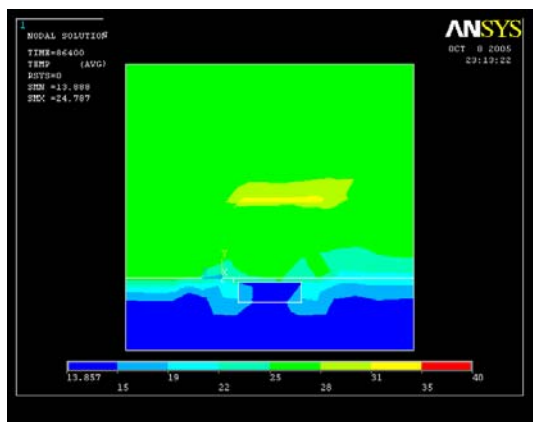
(B)



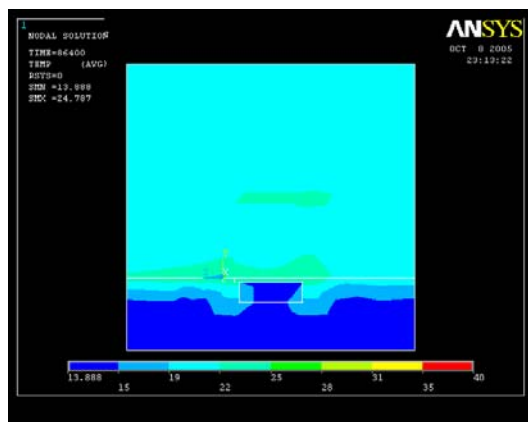
(Γ)



(Δ)

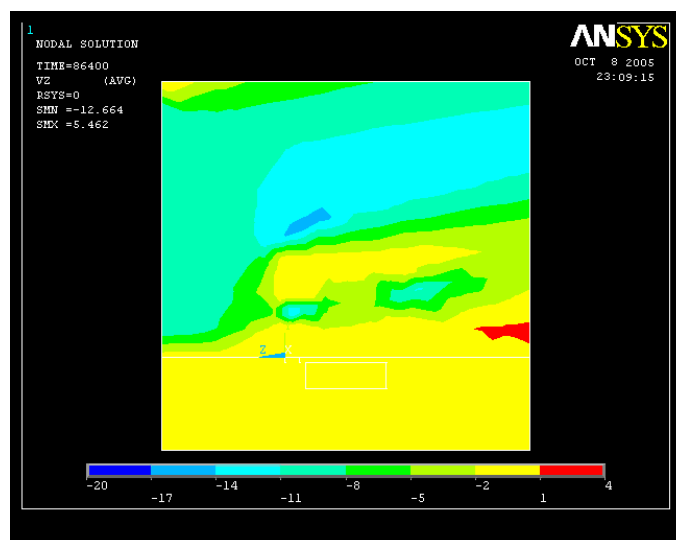


(Ε)

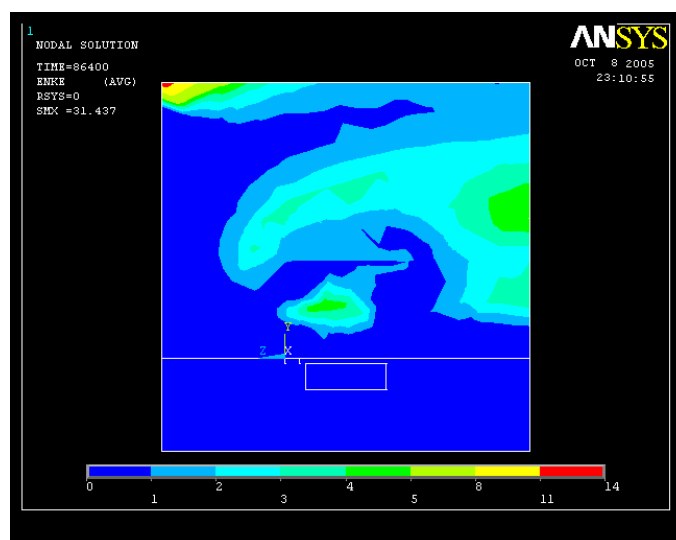


(ΣΤ)

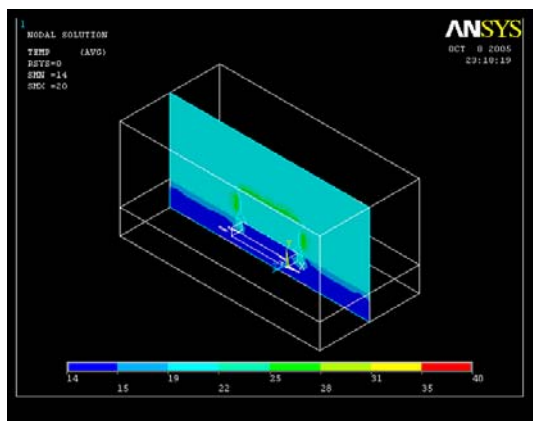
**Σχήμα 9.47:** Κατανομή θερμοκρασίας στην τομή 3 του κτιρίου κατά τη διάρκεια του 24ώρου  
 (Α):Θέση τομής 3, (Β): 0 ώρες, (Γ): 6 ώρες,  
 (Δ): 12 ώρες, (Ε): 18ώρες, (ΣΤ): 24 ώρες



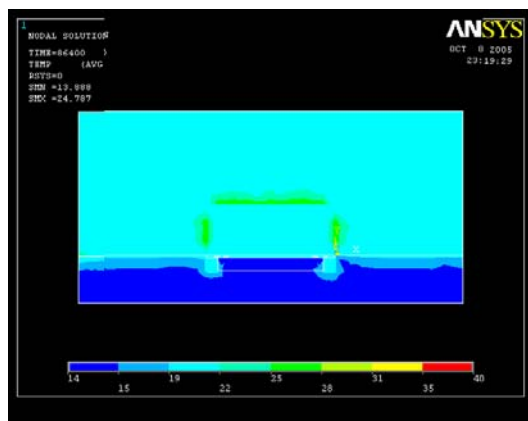
Σχήμα 9.48: Κατανομή οριζόντιας συνιστώσας ταχύτητας (κατεύθυνση Νότος-Βορράς) στην τομή 3



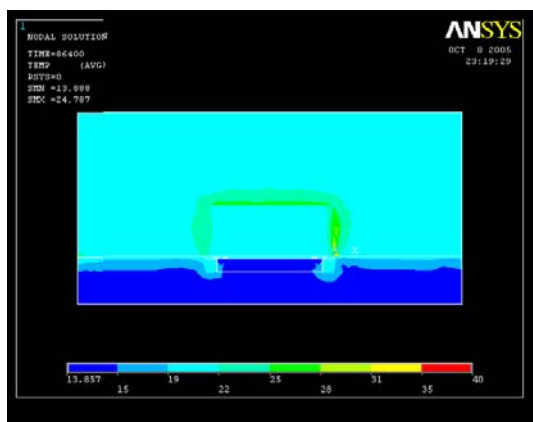
Σχήμα 9.49: Κατανομή τυρβώδους κινητικής ενέργειας στην τομή 3



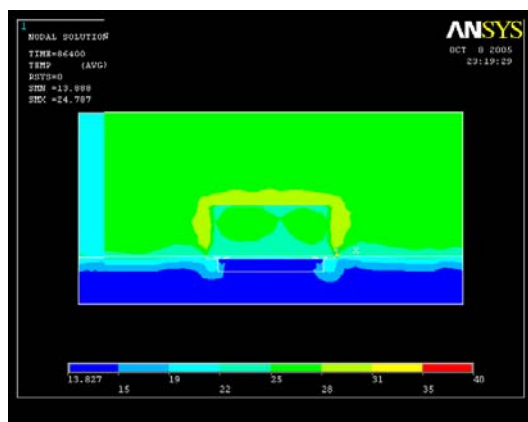
(A)



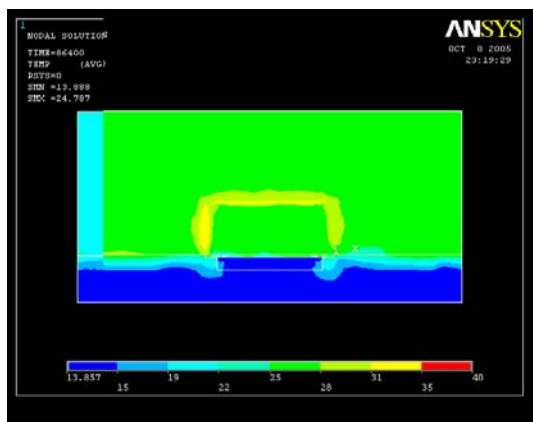
(B)



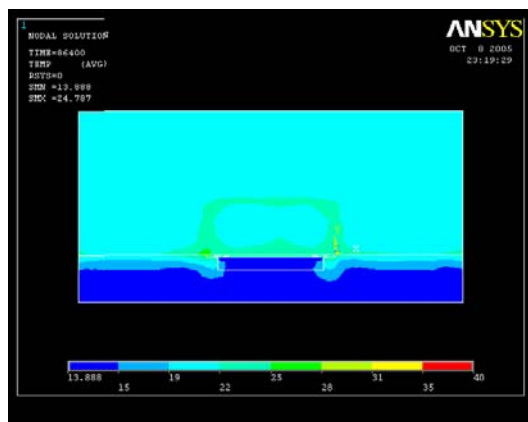
(Γ)



(Δ)

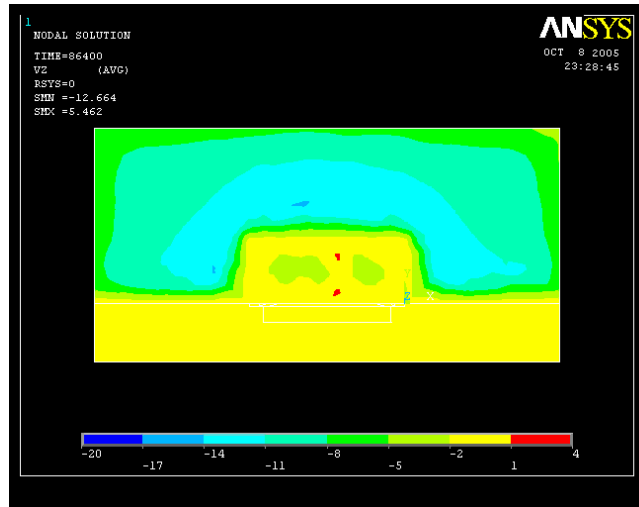


(E)

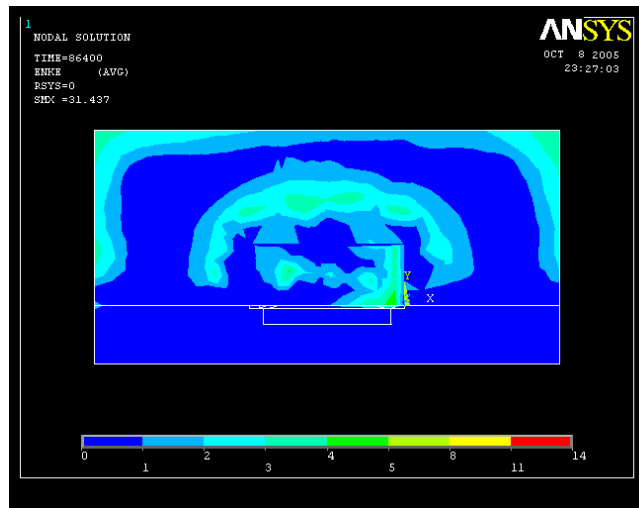


(ΣΤ)

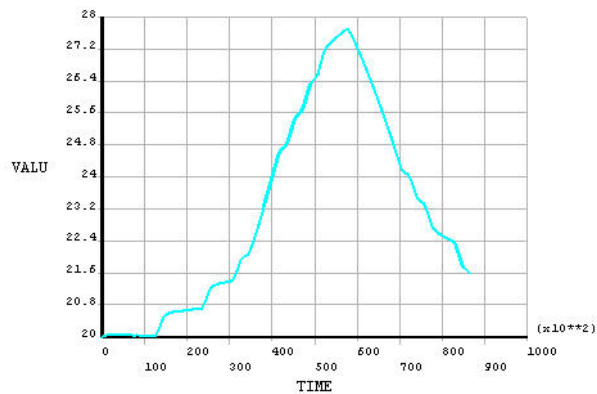
**Σχήμα 9.50:** Κατανομή θερμοκρασίας στην τομή 4 του κτιρίου κατά τη διάρκεια του 24ώρου  
 (A):Θέση τομής 4, (B): 0 ώρες, (Γ): 6 ώρες,  
 (Δ): 12 ώρες, (E): 18ώρες, (ΣΤ): 24 ώρες



Σχήμα 9.51: Κατανομή οριζόντιας συνιστώσας ταχύτητας (κατεύθυνση Νότος-Βορράς) στην τομή 4



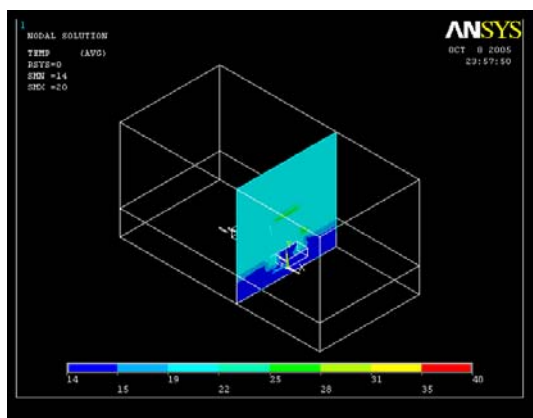
Σχήμα 9.52: Κατανομή τυρβώδους κινητικής ενέργειας στην τομή 4



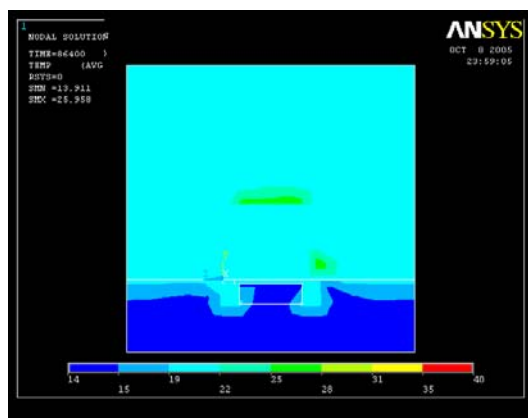
Σχήμα 9.53: Κατανομή θερμοκρασίας στο κέντρο του κτιρίου, σε ύψος 1.5 m από το πάτωμα



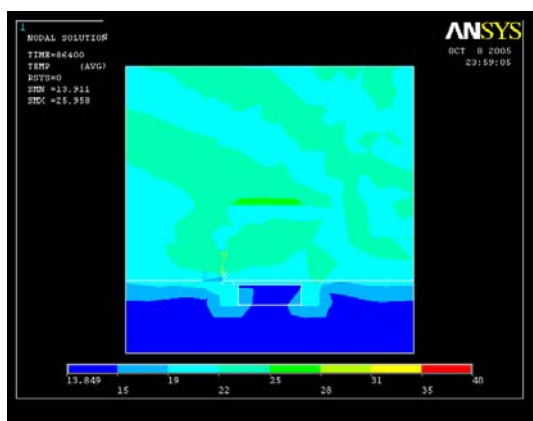
## 9.3.3 ΒΟΡΕΙΟΣ ΑΝΕΜΟΣ (10 m/sec)



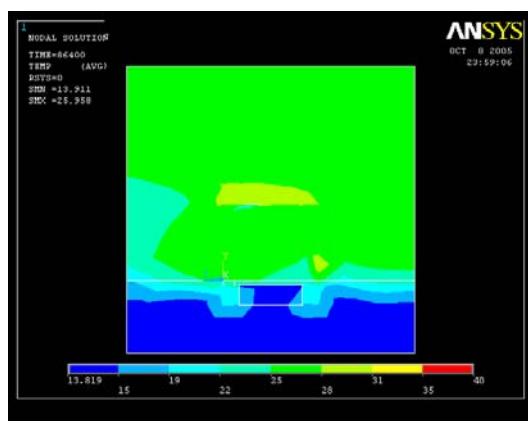
(A)



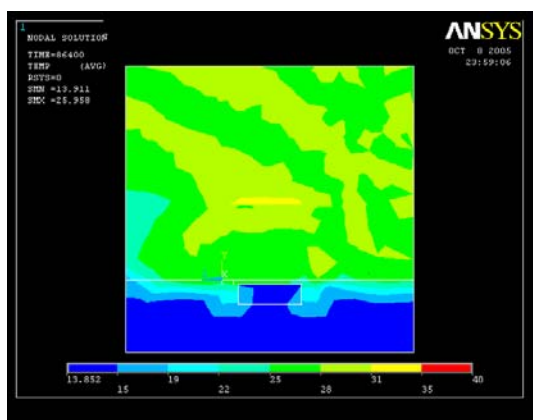
(B)



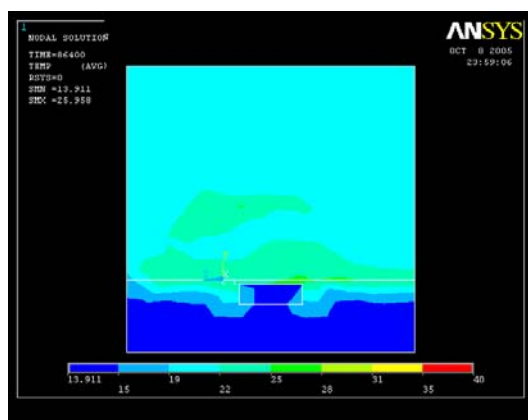
(Γ)



(Δ)

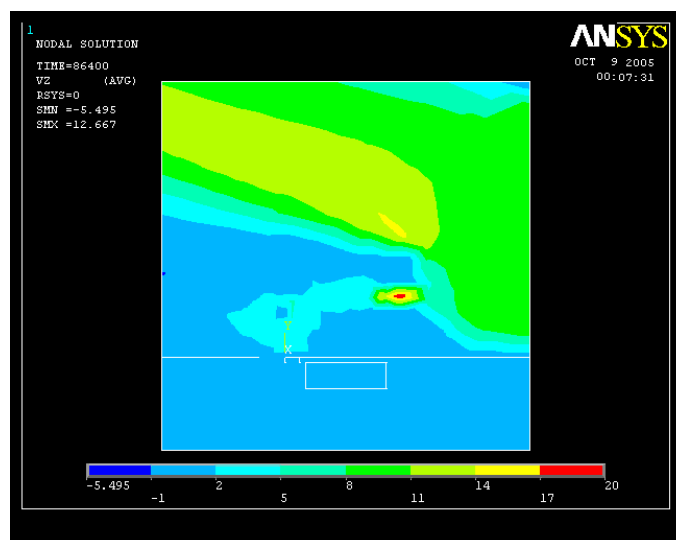


(E)

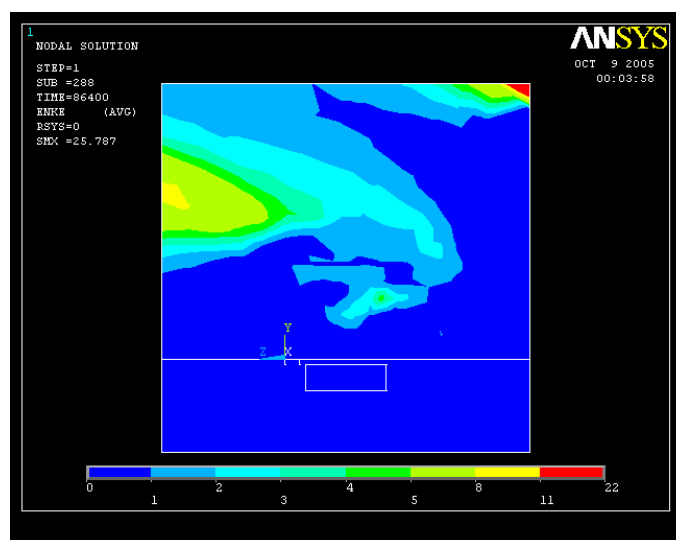


(ΣΤ)

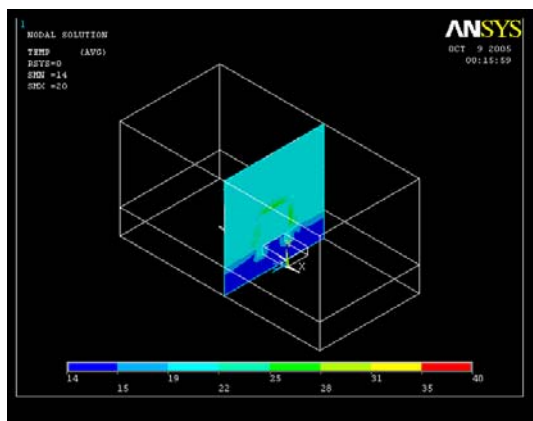
**Σχήμα 9.54:** Κατανομή θερμοκρασίας στην τομή 1 του κτιρίου κατά τη διάρκεια του 24ώρου  
 (Α):Θέση τομής 1, (Β): 0 ώρες, (Γ): 6 ώρες,  
 (Δ): 12 ώρες, (Ε): 18ώρες, (ΣΤ): 24 ώρες



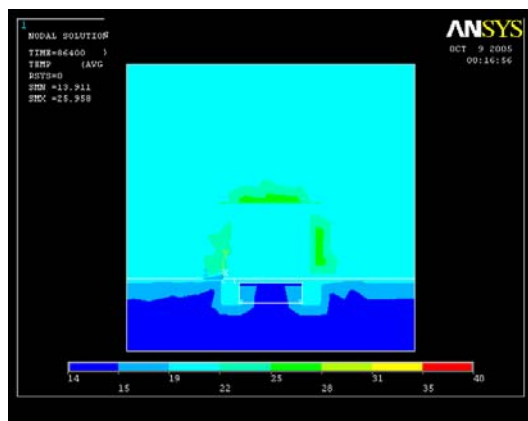
Σχήμα 9.55: Κατανομή οριζόντιας συνιστώσας ταχύτητας (κατεύθυνση Νότος-Βορράς) στην τομή 1



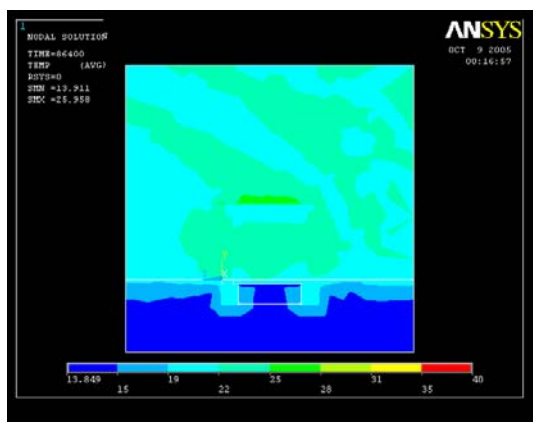
Σχήμα 9.56: Κατανομή τυρβώδους κινητικής ενέργειας στην τομή 1



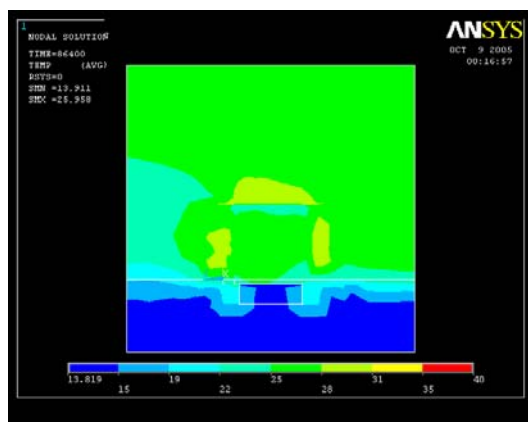
(A)



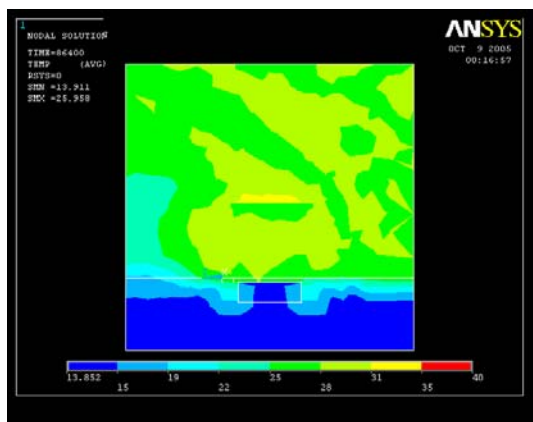
(B)



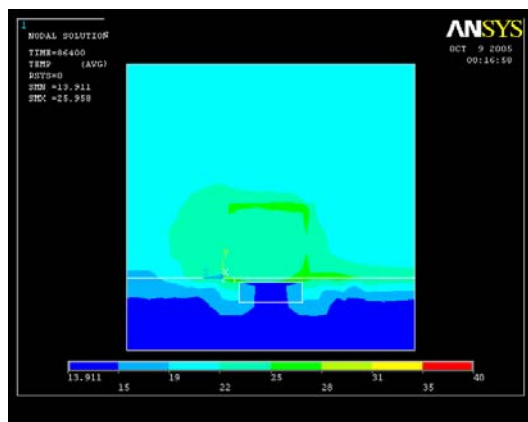
(Γ)



(Δ)

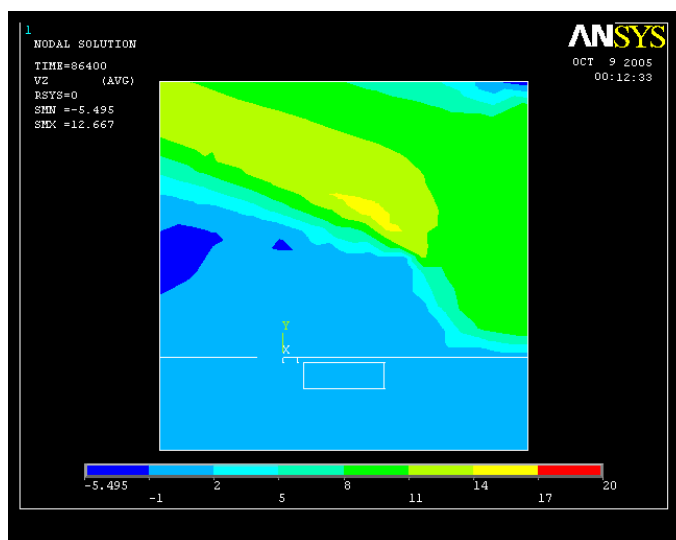


(E)

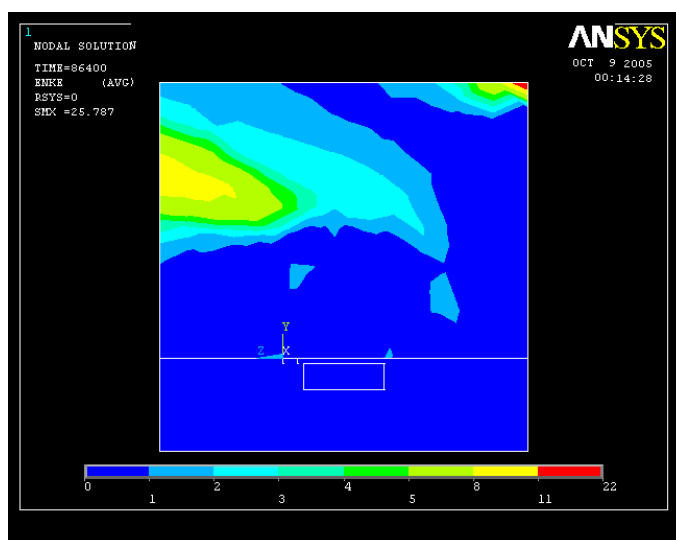


(ΣΤ)

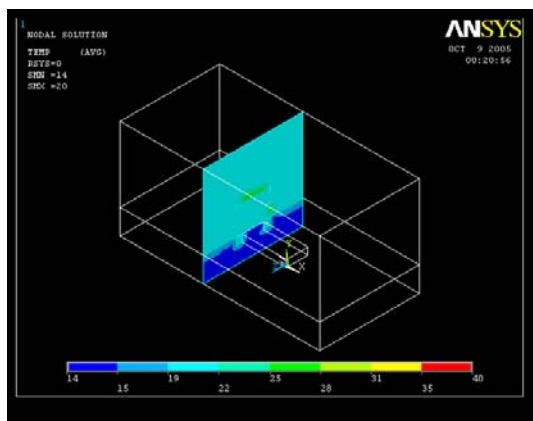
**Σχήμα 9.57:** Κατανομή θερμοκρασίας στην τομή 2 του κτιρίου κατά τη διάρκεια του 24ώρου  
 (A):Θέση τομής 2, (B): 0 ώρες, (Γ): 6 ώρες,  
 (Δ): 12 ώρες, (E): 18ώρες, (ΣΤ): 24 ώρες



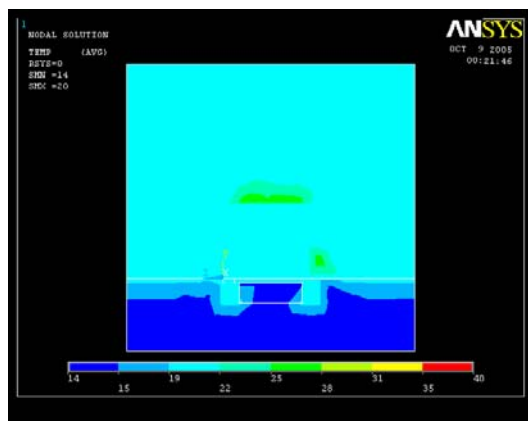
Σχήμα 9.58: Κατανομή οριζόντιας συνιστώσας ταχύτητας (κατεύθυνση Βορράς-Νότος) στην τομή 2



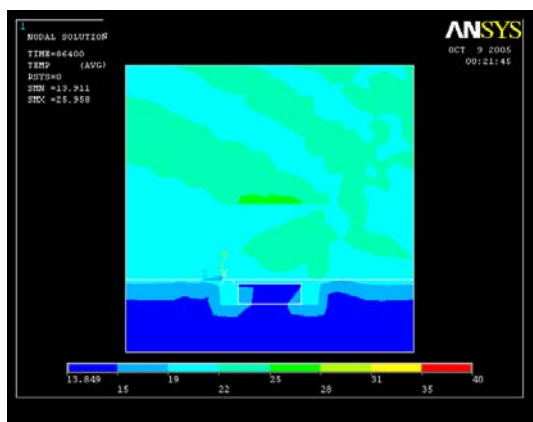
Σχήμα 9.59: Κατανομή τυρβώδους κινητικής ενέργειας στην τομή 2



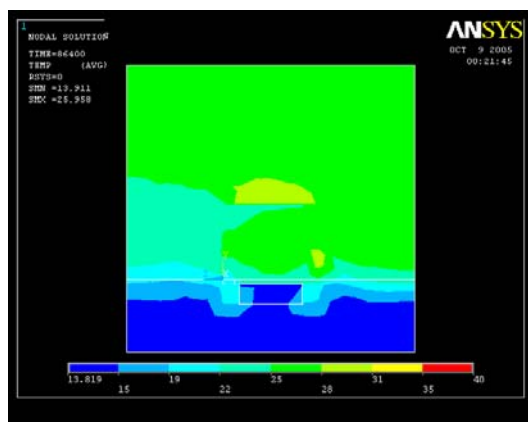
(A)



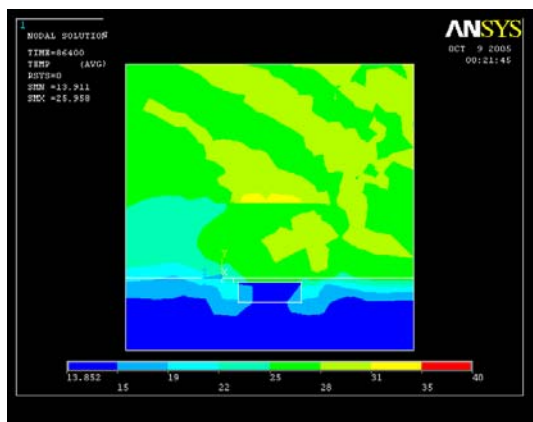
(B)



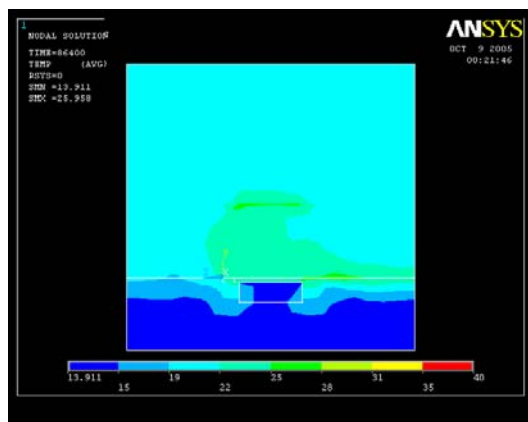
(Γ)



(Δ)

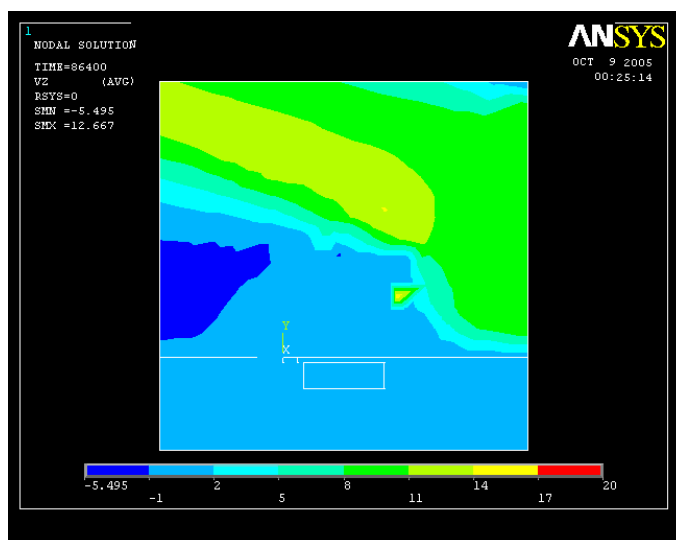


(E)

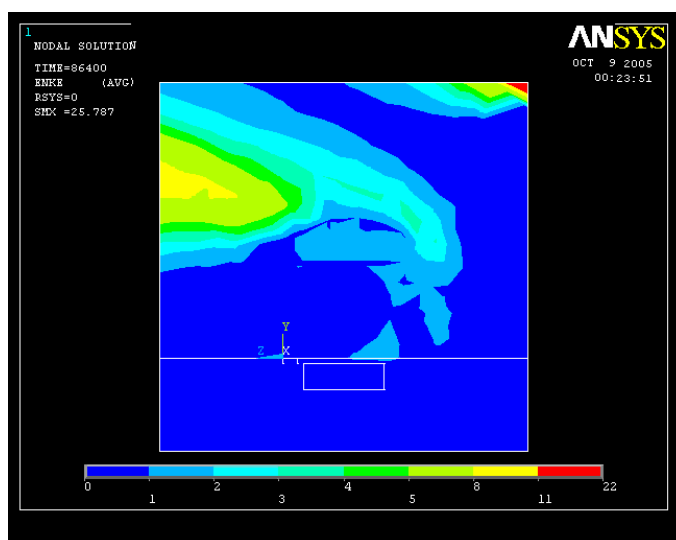


(ΣΤ)

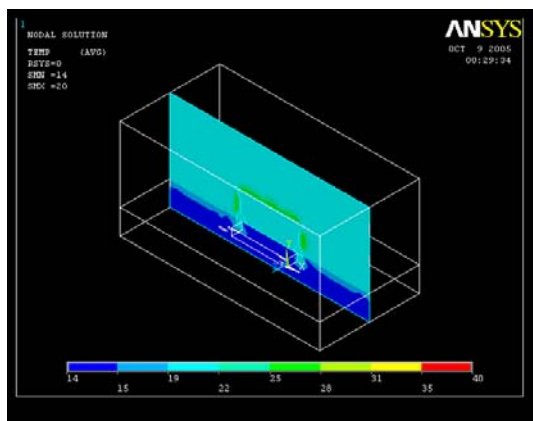
**Σχήμα 9.60:** Κατανομή θερμοκρασίας στην τομή 3 του κτιρίου κατά τη διάρκεια του 24ώρου  
 (A):Θέση τομής 3, (B): 0 ώρες, (Γ): 6 ώρες,  
 (Δ): 12 ώρες, (E): 18ώρες, (ΣΤ): 24 ώρες



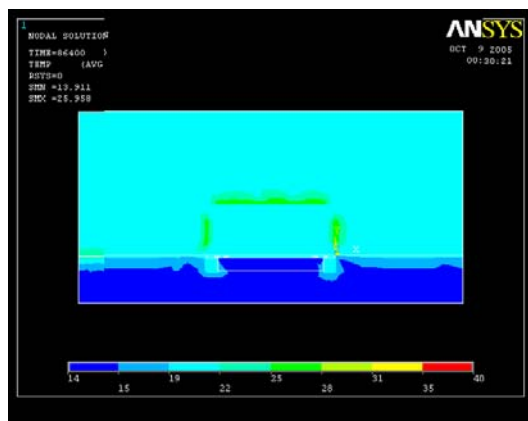
Σχήμα 9.61: Κατανομή οριζόντιας συνιστώσας ταχύτητας (κατεύθυνση Βορράς-Νότος) στην τομή 3



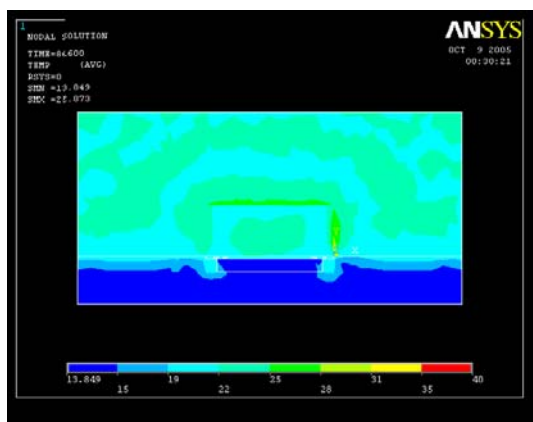
Σχήμα 9.62: Κατανομή τυρβώδους κινητικής ενέργειας στην τομή 3



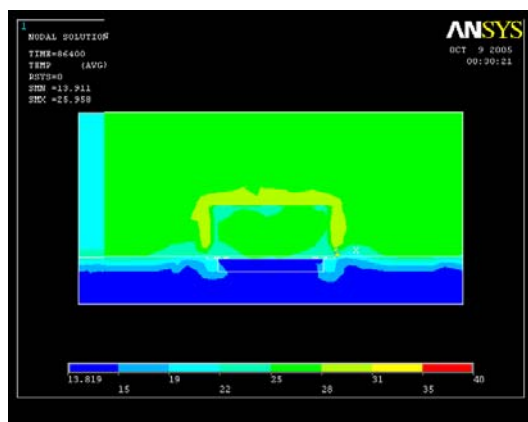
(A)



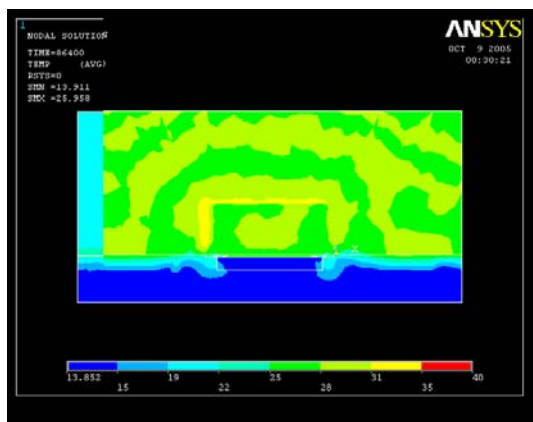
(B)



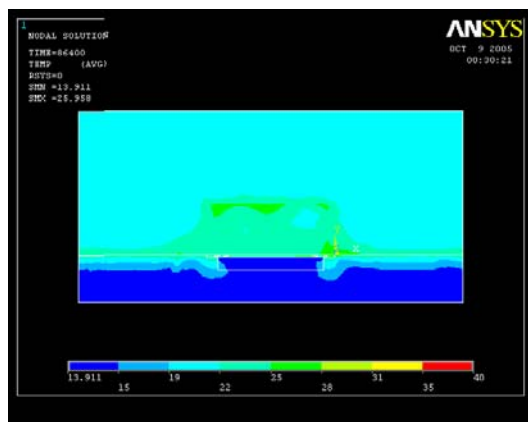
(Γ)



(Δ)

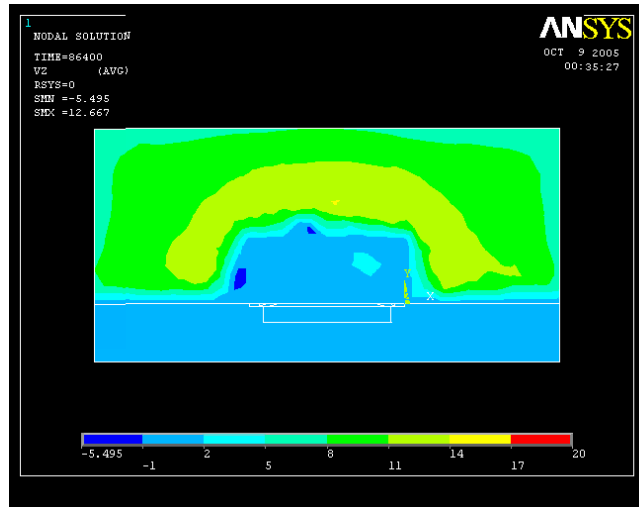


(E)

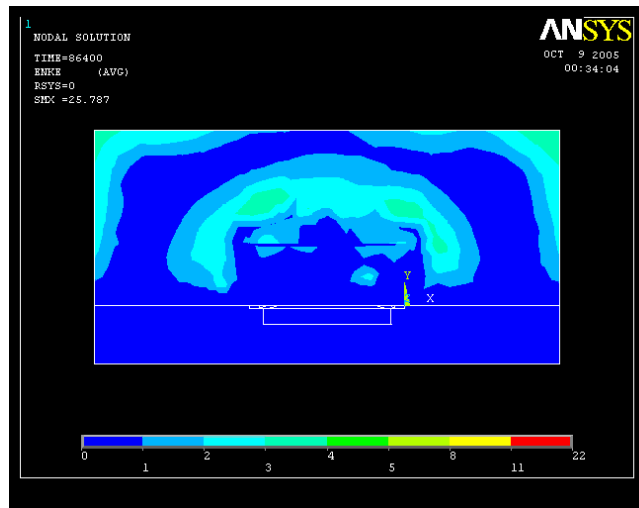


(ΣΤ)

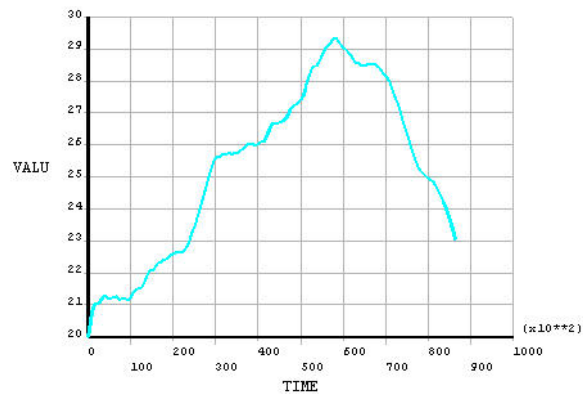
**Σχήμα 9.63:** Κατανομή θερμοκρασίας στην τομή 4 του κτιρίου κατά τη διάρκεια του 24ώρου  
 (A):Θέση τομής 4, (B): 0 ώρες, (Γ): 6 ώρες,  
 (Δ): 12 ώρες, (E): 18ώρες, (ΣΤ): 24 ώρες



Σχήμα 9.64: Κατανομή οριζόντιας συνιστώσας ταχύτητας (κατεύθυνση Βορράς-Νότος) στην τομή 4



Σχήμα 9.65: Κατανομή τυρβώδους κινητικής ενέργειας στην τομή 4



Σχήμα 9.66: Κατανομή θερμοκρασίας στο κέντρο του κτιρίου, σε ύψος 1.5 m από το πάτωμα



## 9.4 ΘΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΜΕ ΝΗΝΕΜΙΑ

Για την περίπτωση αυτή θεωρούνται τα ακόλουθα σενάρια (σε παρένθεση αναγράφονται οι τιμές των παραμέτρων που μεταβάλλονται):

- Πάχος πέτρινου τοίχου 0.5 m ( $Wall\_d = 0.5$  και  $Subs\_d = 0.7$ )
- Πάχος πέτρινου τοίχου 0.8 m και πάχος πέδινων 1.0 m ( $Wall\_d = 0.8$  και  $Subs\_d = 1.0$ )

Κατά τη διάρκεια της ανάλυσης δεν λαμβάνεται υπόψη η λειτουργία βοηθητικής πηγής ψύξης.

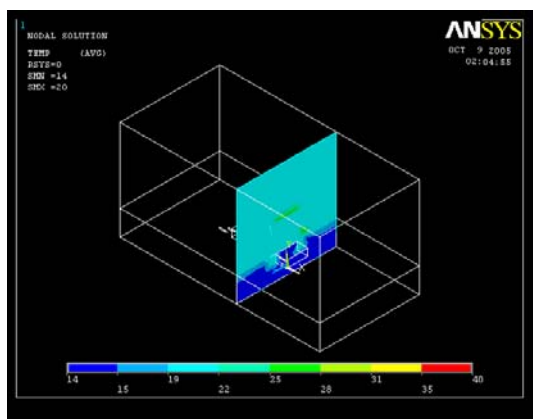
Σε καθένα από τα παραπάνω σενάρια παρουσιάζεται η κατανομή της θερμοκρασίας ανά όροφο για τις τέσσερις τομές που περιγράφηκαν στην παράγραφο 9.2 (Σχήματα 9.67-9.70 για το πρώτο σενάριο και Σχήματα 9.76-9.79 για το δεύτερο σενάριο).

Παρουσιάζεται επίσης η τιμή της θερμοκρασίας σε σημεία των εσωτερικών και εξωτερικών επιφανειών των τεσσάρων τοίχων του κτιρίου, έτσι ώστε να μελετηθεί η επίδραση της θερμικής μάζας (Σχήματα 9.71-9.74 για το πρώτο σενάριο και Σχήματα 9.80-9.83 για το δεύτερο σενάριο).

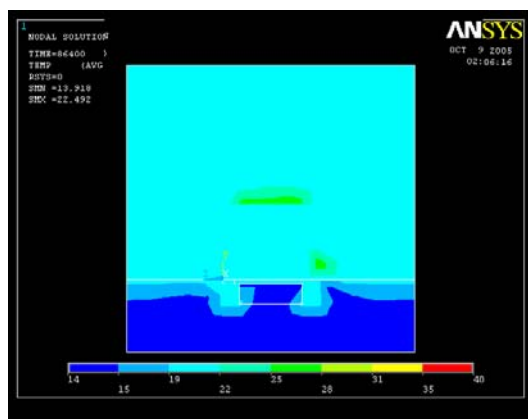
Τέλος, στα Σχήματα 9.75 και 9.84 αναπαριστάνεται για κάθε σενάριο η εξέλιξη της θερμοκρασίας σε ένα σημείο που βρίσκεται στο κέντρο του κτιρίου και σε ύψος 1.5 m από το πάτωμα.

Η ταχύτητα του αέρα καθώς και η τυρβώδης κινητική ενέργεια δεν απεικονίζονται καθώς έχουν μηδενική τιμή καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου.

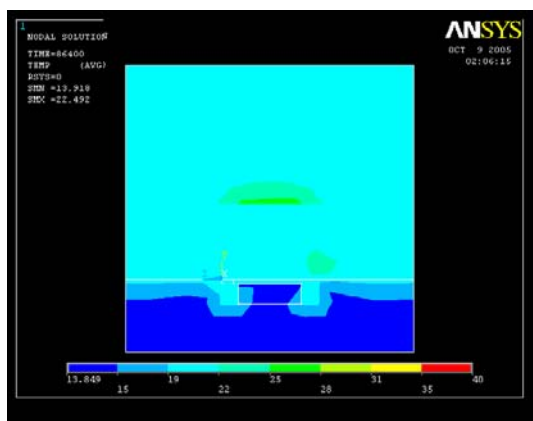
## 9.4.1 ΠΑΧΟΣ ΤΟΙΧΟΥ 0.5 m



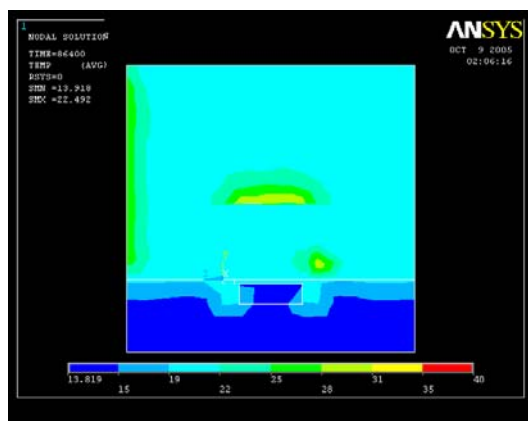
(A)



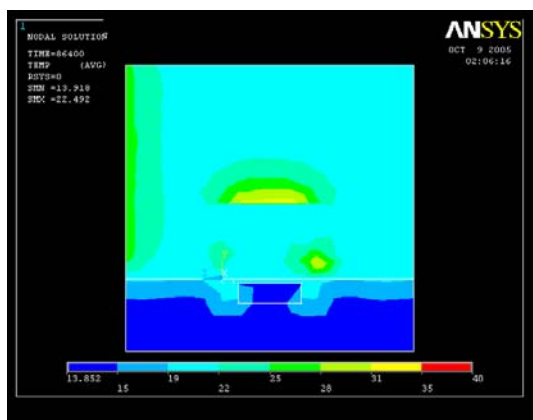
(B)



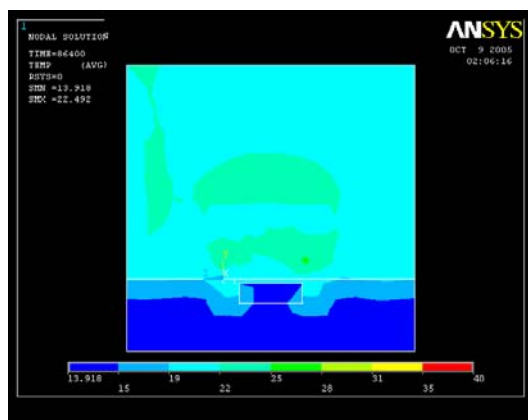
(Γ)



(Δ)

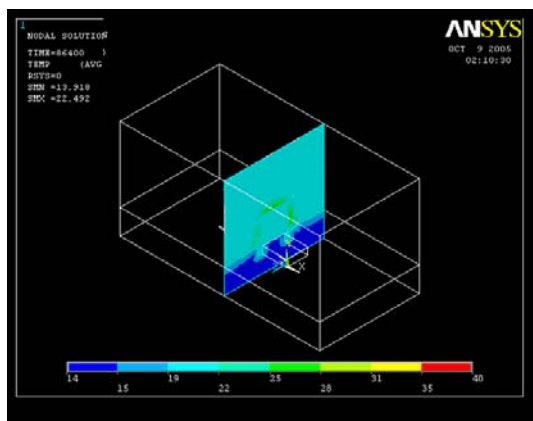


(E)

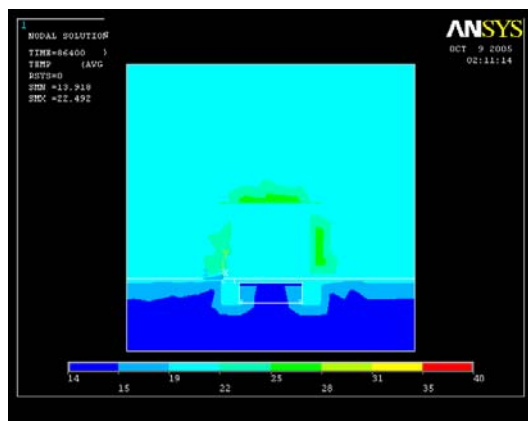


(ΣΤ)

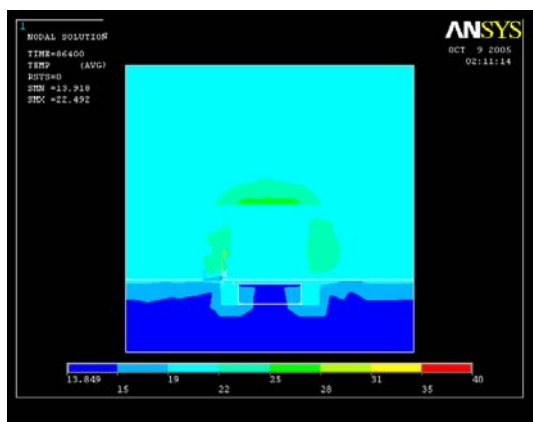
**Σχήμα 9.67:** Κατανομή θερμοκρασίας στην τομή 1 του κτιρίου κατά τη διάρκεια του 24ώρου  
 (Α):Θέση τομής 1, (Β): 0 ώρες, (Γ): 6 ώρες,  
 (Δ): 12 ώρες, (Ε): 18ώρες, (ΣΤ): 24 ώρες



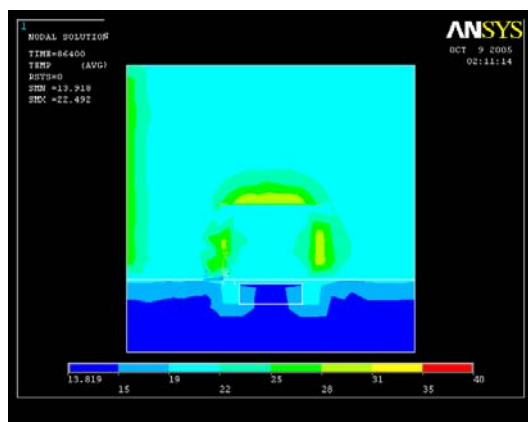
(A)



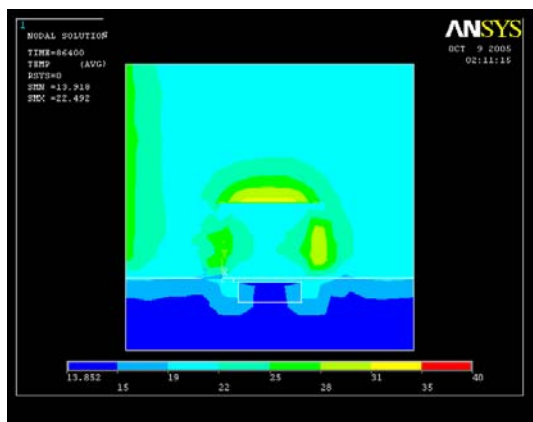
(B)



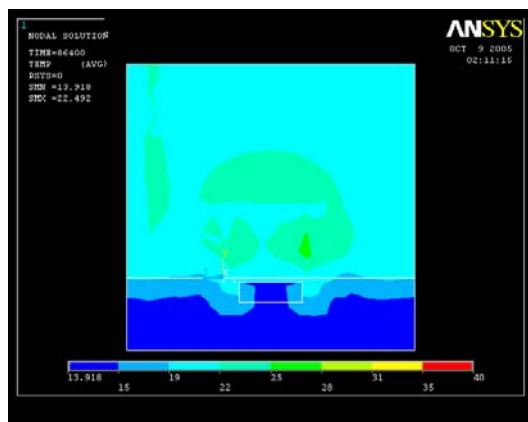
(Γ)



(Δ)

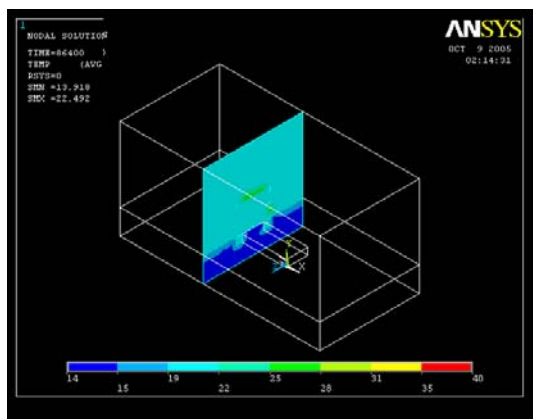


(E)

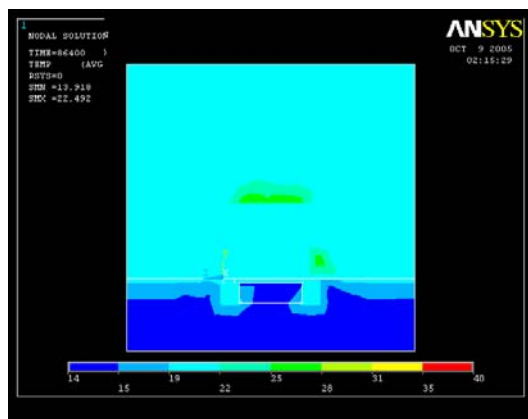


(ΣΤ)

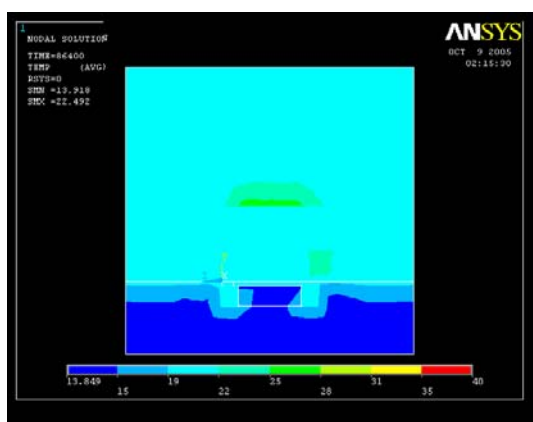
**Σχήμα 9.68:** Κατανομή θερμοκρασίας στην τομή 2 του κτιρίου κατά τη διάρκεια του 24ώρου  
 (A):Θέση τομής 2, (B): 0 ώρες, (Γ): 6 ώρες,  
 (Δ): 12 ώρες, (E): 18ώρες, (ΣΤ): 24 ώρες



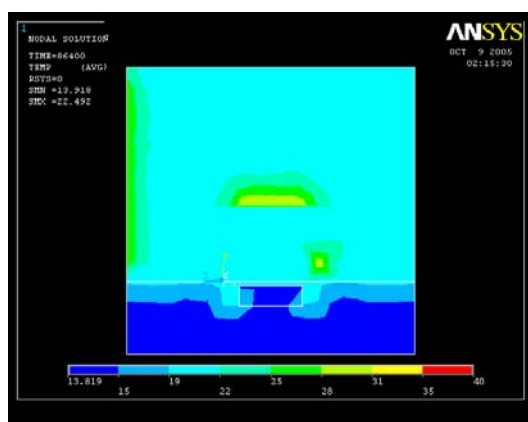
(A)



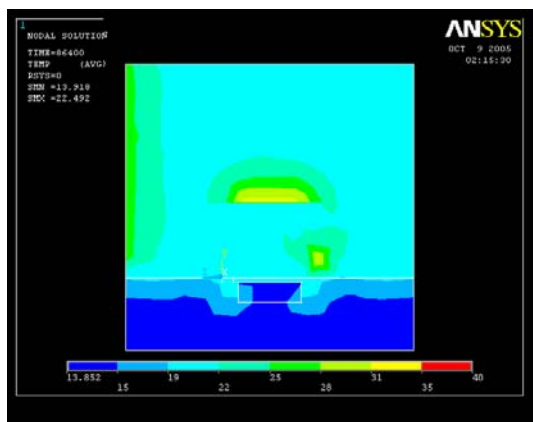
(B)



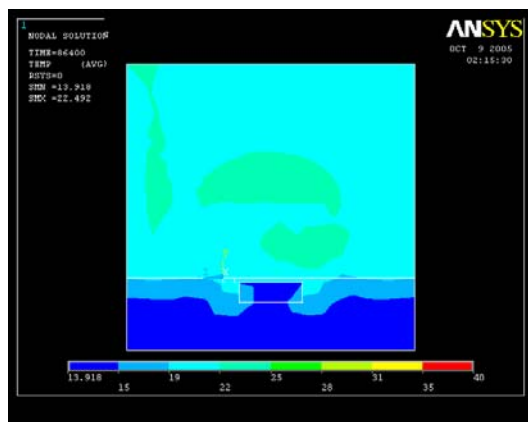
(Γ)



(Δ)

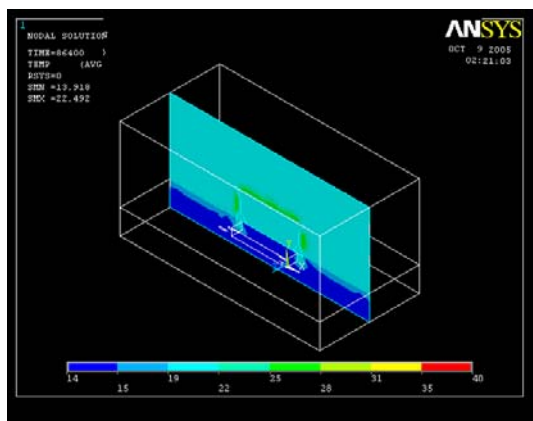


(Ε)

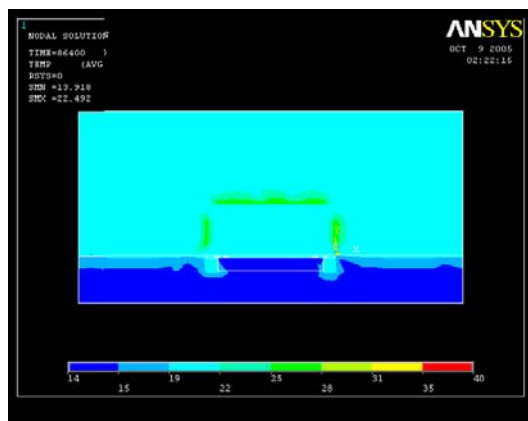


(ΣΤ)

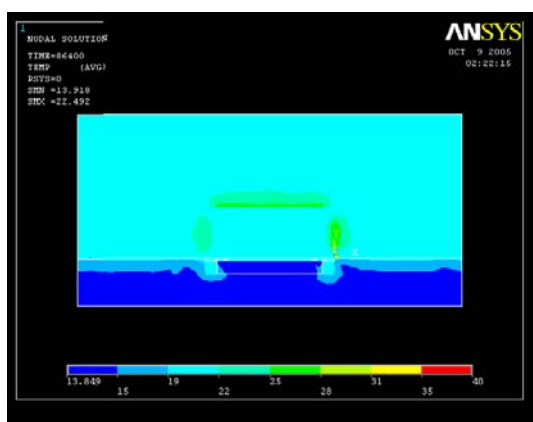
**Σχήμα 9.69:** Κατανομή θερμοκρασίας στην τομή 3 του κτιρίου κατά τη διάρκεια του 24ώρου  
 (Α):Θέση τομής 3, (Β): 0 ώρες, (Γ): 6 ώρες,  
 (Δ): 12 ώρες, (Ε): 18ώρες, (ΣΤ): 24 ώρες



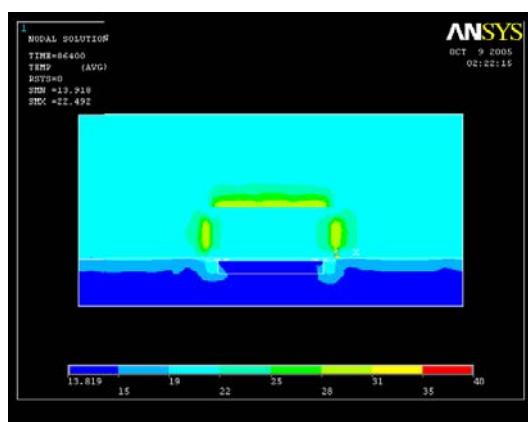
(A)



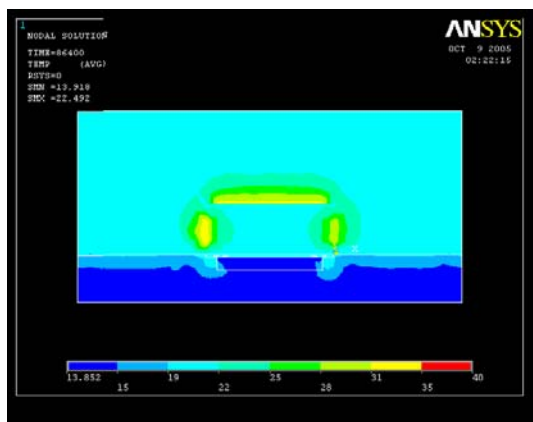
(B)



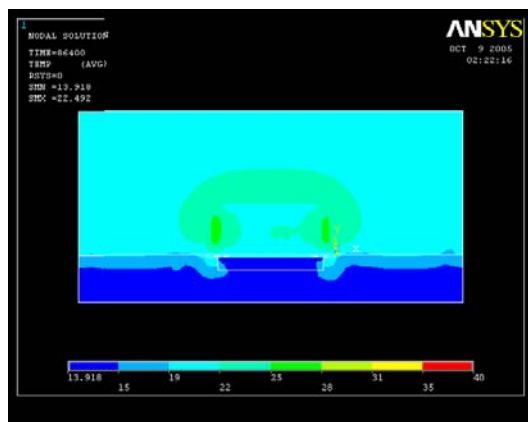
(Γ)



(Δ)

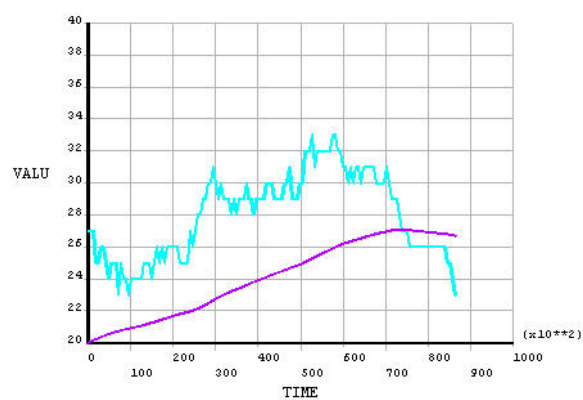


(E)

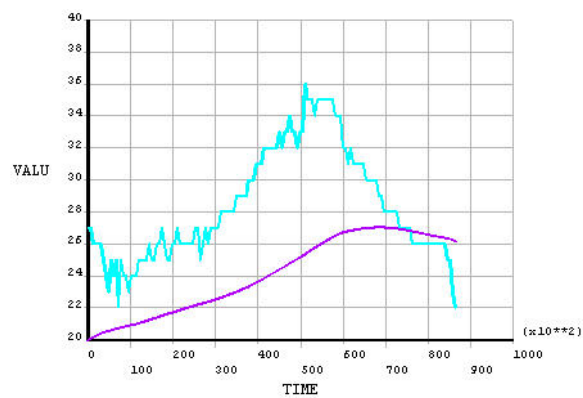


(ΣΤ)

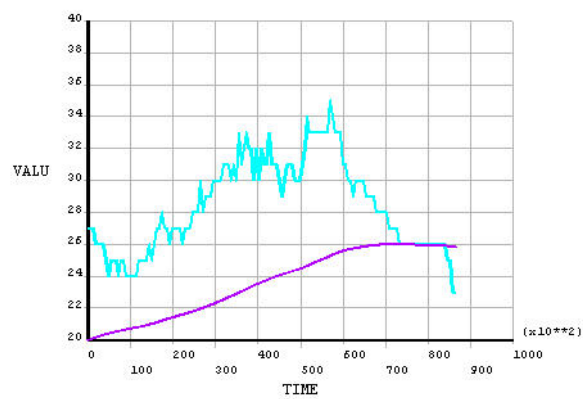
**Σχήμα 9.70:** Κατανομή θερμοκρασίας στην τομή 4 του κτιρίου κατά τη διάρκεια του 24ώρου  
 (Α):Θέση τομής 4, (Β): 0 ώρες, (Γ): 6 ώρες,  
 (Δ): 12 ώρες, (Ε): 18ώρες, (ΣΤ): 24 ώρες



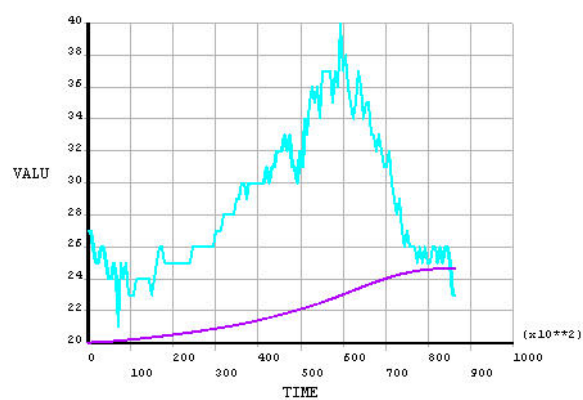
**Σχήμα 9.71:** Κατανομή θερμοκρασίας στην εξωτερική και την εσωτερική επιφάνεια του βόρειου τοίχου



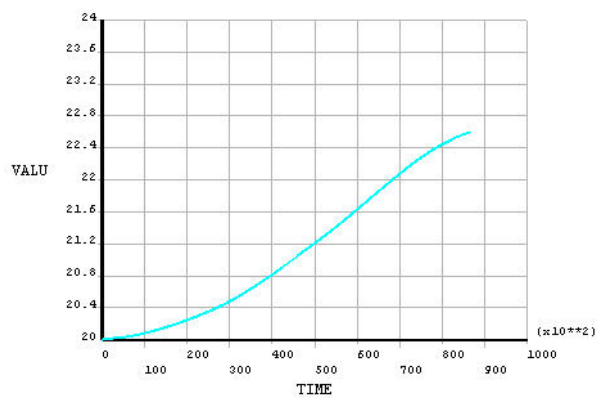
**Σχήμα 9.72:** Κατανομή θερμοκρασίας στην εξωτερική και την εσωτερική επιφάνεια του νότιου τοίχου



**Σχήμα 9.73:** Κατανομή θερμοκρασίας στην εξωτερική και την εσωτερική επιφάνεια του ανατολικού τοίχου

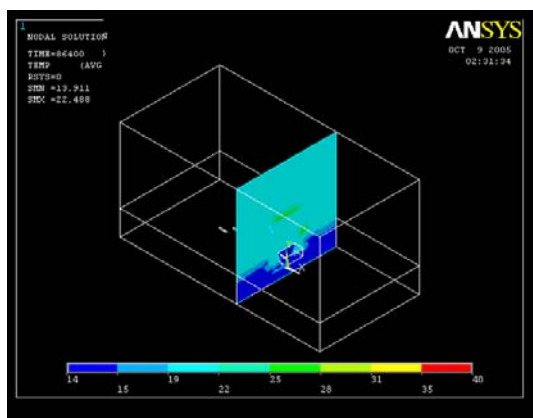


**Σχήμα 9.74:** Κατανομή θερμοκρασίας στην εξωτερική και την εσωτερική επιφάνεια του δυτικού τοίχου

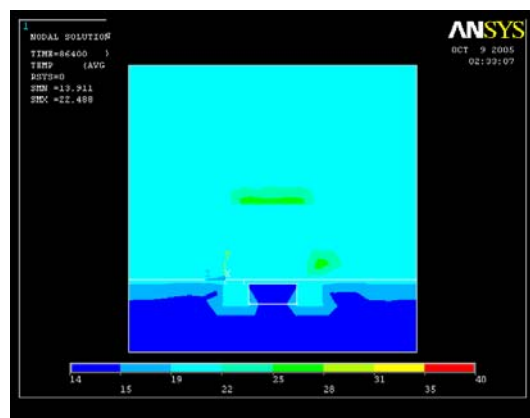


**Σχήμα 9.75:** Κατανομή θερμοκρασίας στο κέντρο του κτιρίου, σε ύψος 1.5 m από το πάτωμα

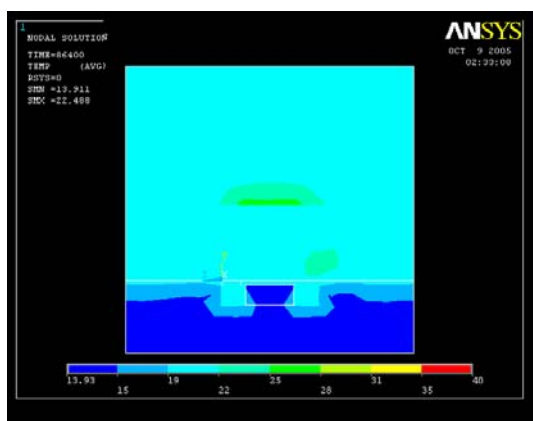
## 9.4.2 ΠΑΧΟΣ ΤΟΙΧΟΥ 0.8 m



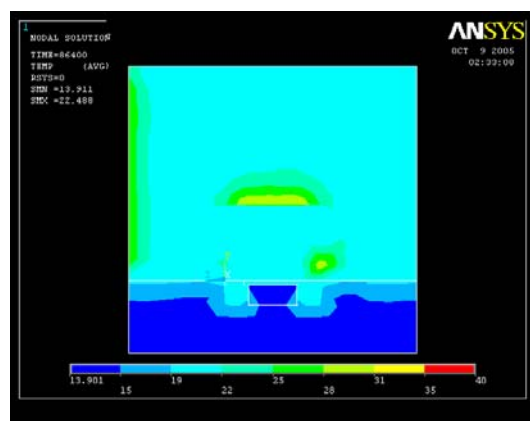
(A)



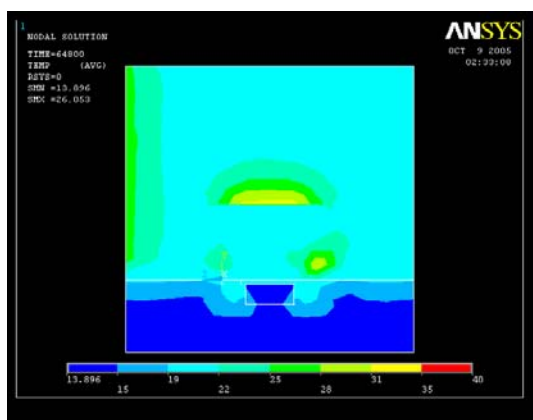
(B)



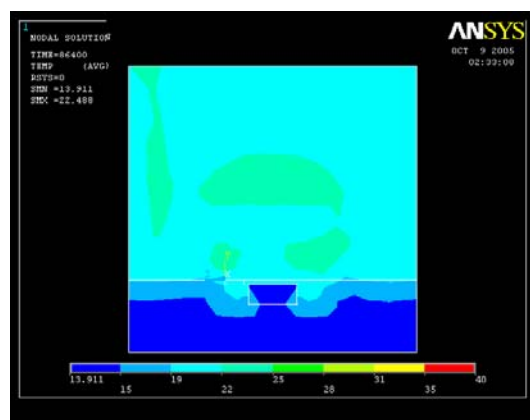
(Γ)



(Δ)



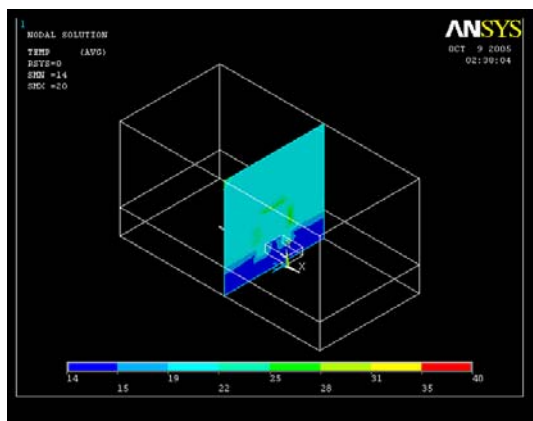
(E)



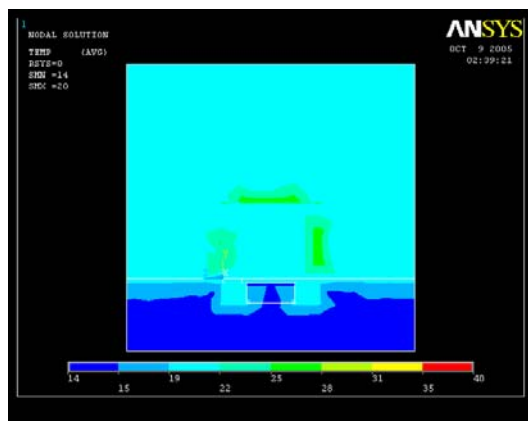
(ΣΤ)

**Σχήμα 9.76:** Κατανομή θερμοκρασίας στην τομή 1 του κτιρίου κατά τη διάρκεια του 24ώρου  
 (Α):Θέση τομής 1, (Β): 0 ώρες, (Γ): 6 ώρες,  
 (Δ): 12 ώρες, (Ε): 18ώρες, (ΣΤ): 24 ώρες

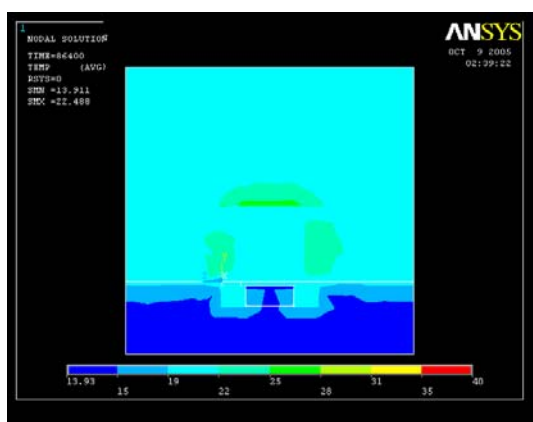




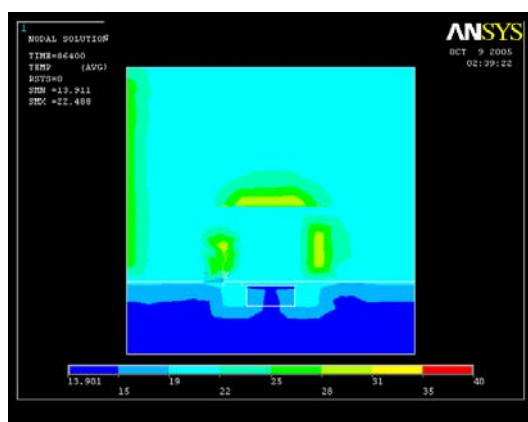
(A)



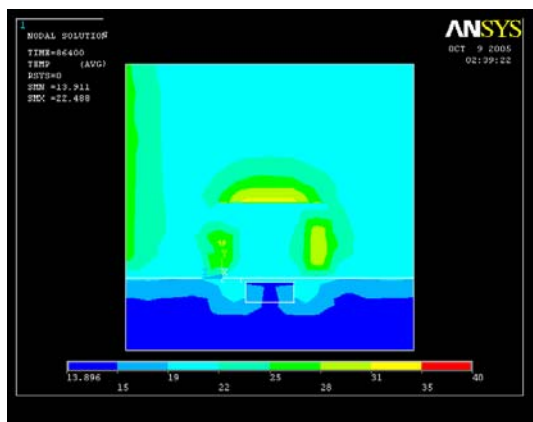
(B)



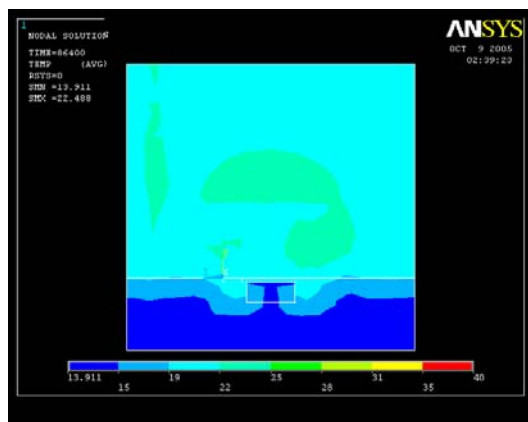
(Γ)



(Δ)

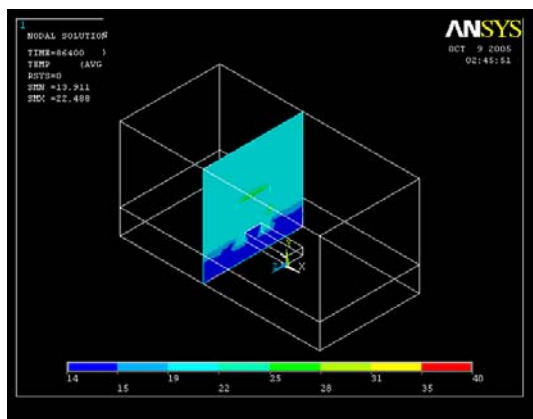


(E)

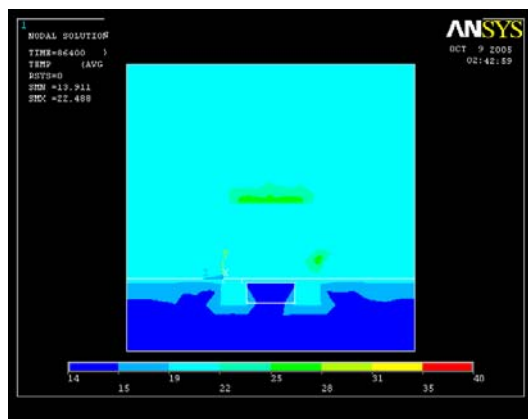


(ΣΤ)

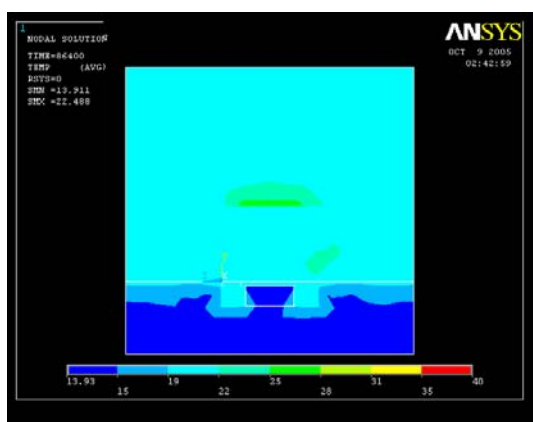
**Σχήμα 9.77:** Κατανομή θερμοκρασίας στην τομή 2 του κτιρίου κατά τη διάρκεια του 24ώρου  
 (A):Θέση τομής 2, (B): 0 ώρες, (Γ): 6 ώρες,  
 (Δ): 12 ώρες, (E): 18ώρες, (ΣΤ): 24 ώρες



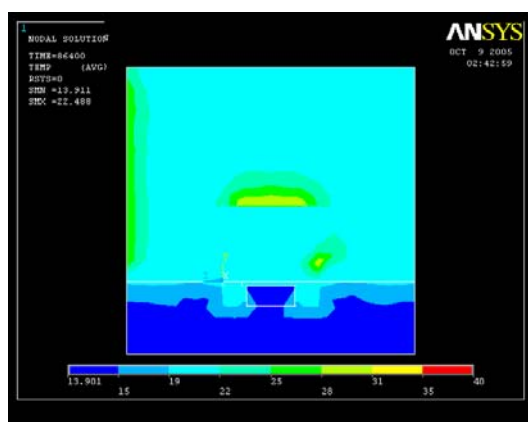
(A)



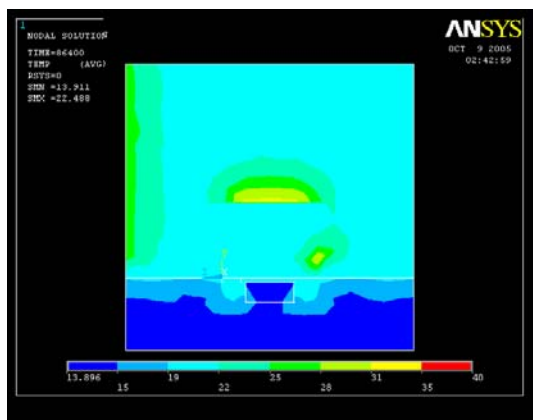
(B)



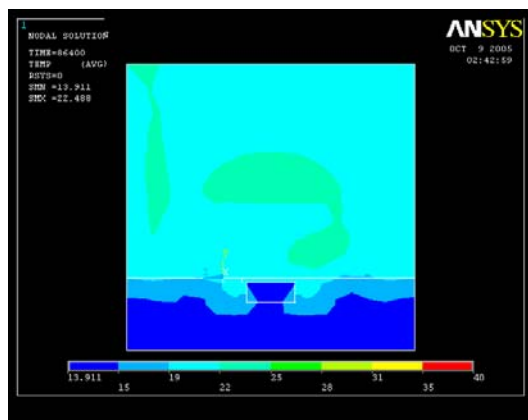
(Γ)



(Δ)

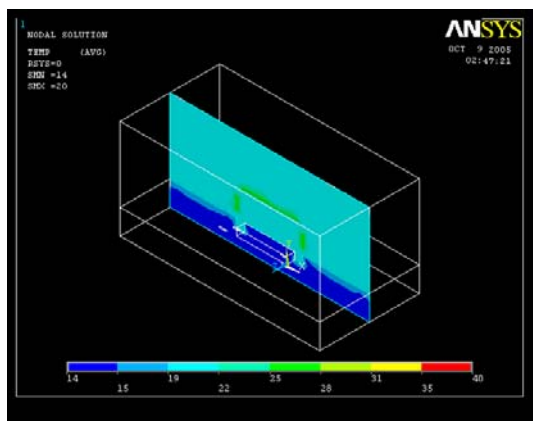


(Ε)

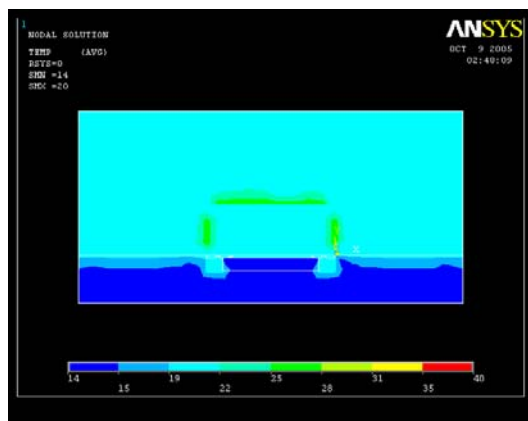


(ΣΤ)

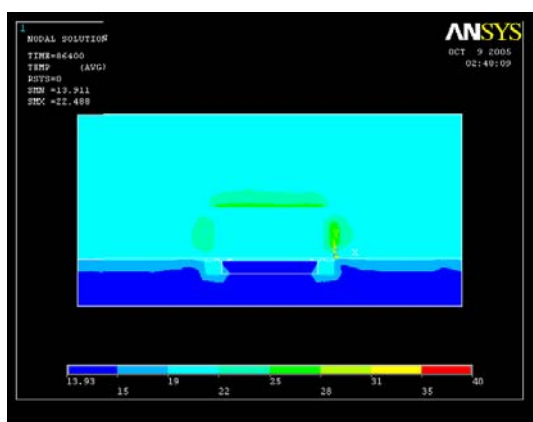
**Σχήμα 9.78:** Κατανομή θερμοκρασίας στην τομή 3 του κτιρίου κατά τη διάρκεια του 24ώρου  
 (Α):Θέση τομής 3, (Β): 0 ώρες, (Γ): 6 ώρες,  
 (Δ): 12 ώρες, (Ε): 18ώρες, (ΣΤ): 24 ώρες



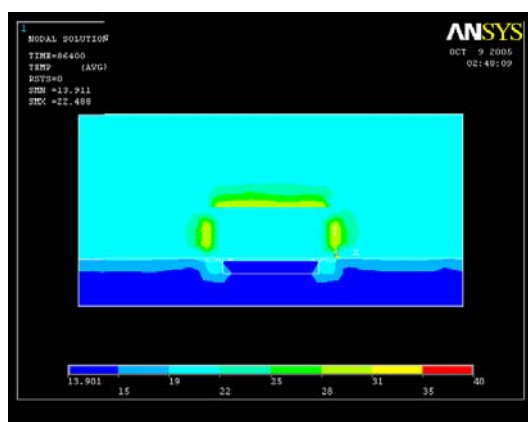
(A)



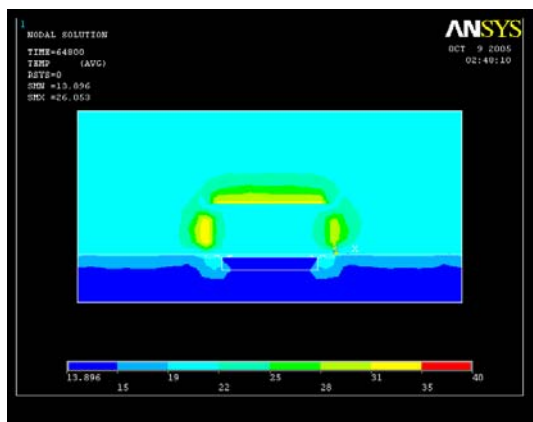
(B)



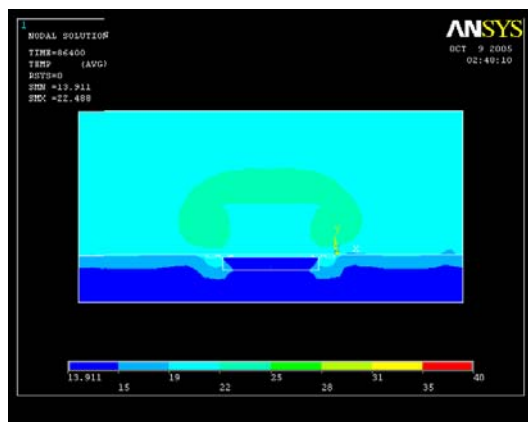
(Γ)



(Δ)

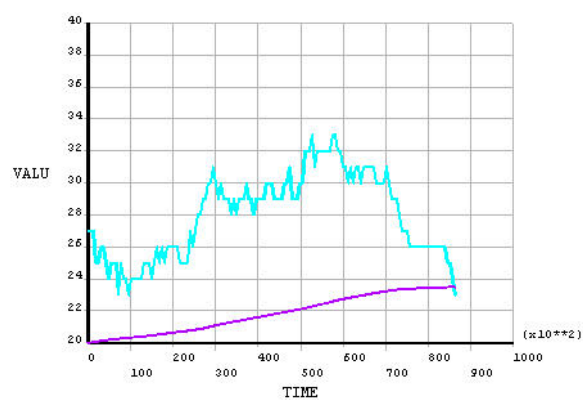


(E)

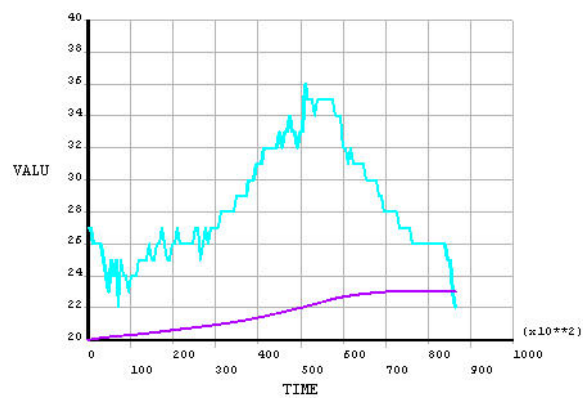


(ΣΤ)

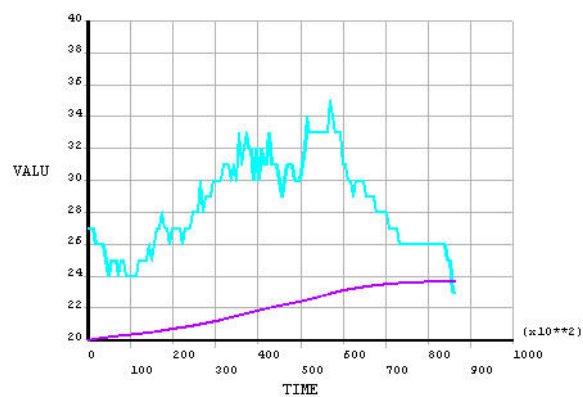
**Σχήμα 9.79:** Κατανομή θερμοκρασίας στην τομή 4 του κτιρίου κατά τη διάρκεια του 24ώρου  
 (A):Θέση τομής 4, (B): 0 ώρες, (Γ): 6 ώρες,  
 (Δ): 12 ώρες, (E): 18ώρες, (ΣΤ): 24 ώρες



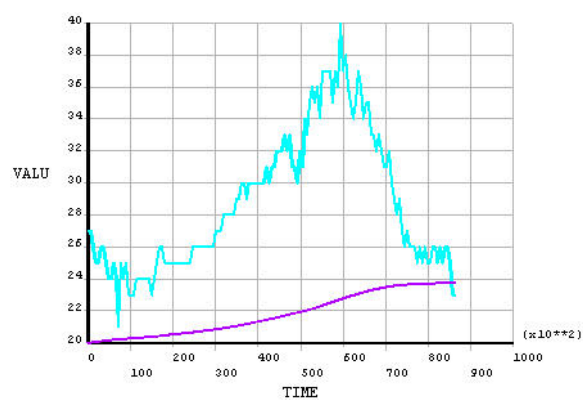
**Σχήμα 9.80:** Κατανομή θερμοκρασίας στην εξωτερική και την εσωτερική επιφάνεια του βόρειου τοίχου



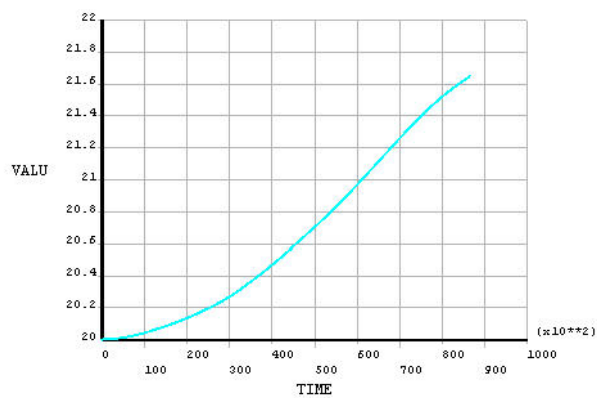
**Σχήμα 9.81:** Κατανομή θερμοκρασίας στην εξωτερική και την εσωτερική επιφάνεια του νότιου τοίχου



**Σχήμα 9.82:** Κατανομή θερμοκρασίας στην εξωτερική και την εσωτερική επιφάνεια του ανατολικού τοίχου



**Σχήμα 9.83:** Κατανομή θερμοκρασίας στην εξωτερική και την εσωτερική επιφάνεια του δυτικού τοίχου



**Σχήμα 9.84:** Κατανομή θερμοκρασίας στο κέντρο του κτιρίου, σε ύψος 1.5 m από το πάτωμα

## **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Τα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν από την εργασία συνοψίζονται στα εξής:

### *Χειμερινή Περίοδος*

- Οι απώλειες θερμότητας είναι μεγαλύτερες στις γυάλινες επιφάνειες και στη πόρτα, ενώ είναι μικρότερες στην οροφή (λόγω της μόνωσης) και το πάτωμα (λόγω του εδάφους). Το συμπέρασμα αυτό συνάγεται από τη μελέτη όλων των θερμοκρασιακών τομών και ιδιαίτερα αυτών των Σχημάτων 9.1, 9.10 και 9.19.
- Η απώλειες θερμότητας στους πέτρινους τοίχους εξαρτώνται σημαντικά από το πάχος τους. Σε τοίχο πάχους 0.3m η θερμοκρασία πέφτει με υψηλό ρυθμό, φτάνει την ελάχιστη τιμή της (9°C) στις 8 ώρες και στη συνέχεια παραμένει πρακτικά αμετάβλητη, ακολουθώντας την κατανομή της εξωτερικής θερμοκρασίας (Σχήματα 9.5-9.8). Σε τοίχο πάχους 0.5m η ελάχιστη τιμή της θερμοκρασίας δεν διαφοροποιείται σημαντικά (10°C), υπάρχει όμως σημαντική μείωση του ρυθμού απώλειας θερμότητας (Σχήματα 9.14-9.17). Ο τοίχος πάχους 0.8m παρουσιάζει πολύ καλύτερα αποτελέσματα τόσο στο ρυθμό απώλειας θερμότητας, όσο και στην ελάχιστη τιμή θερμοκρασίας που παρατηρείται (12°C – Σχήματα 9.23-9.26).

### *Θερινή Περίοδος με δυνατό άνεμο*

- Η εσωτερική θερμοκρασία του κτιρίου παραμένει αμετάβλητη στην περίπτωση του μεγαλύτερου εμβαδού ανοιγμάτων εισόδου και σε αυτήν των αντίστοιχων εμβαδών ανοιγμάτων εισόδου και εξόδου (σύγκριση Σχημάτων 9.40 και 9.53). Αντίθετα, αυξάνεται σημαντικά (περίπου 2°C) στην περίπτωση του ανοιγμάτων εισόδου μικρότερου εμβαδού από τα ανοίγματα εξόδου (Σχήμα 9.66). Από τα παραπάνω προκύπτει η μεγάλη σημαντικότητα της μελέτης των ανέμων που επικρατούν σε μια περιοχή πριν την κατασκευή του κτιρίου.
- Η ταχύτητα εισόδου του αέρα αυξάνεται σημαντικά στα πολύ στενά ανοίγματα του κτιρίου (Σχήματα 9.29, 9.35, 9.55 και 9.61).

- Η τυρβώδης κινητική ενέργεια εντός του κτιρίου παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή της στην περίπτωση των ανοιγμάτων εισόδου και εξόδου αντίστοιχου εμβαδού, αμέσως μετά τα ανοίγματα εισόδου (Σχήμα 9.43 σε σύγκριση με Σχήματα 9.30, 9.56 και Σχήμα 9.49 σε σύγκριση με Σχήματα 9.36, 9.62).

*Θερινή Περίοδος με νηνεμία*

- Η επίδραση του πάχους του πέτρινου τοίχου είναι πολύ σημαντική, καθώς αύξησή του κατά 0.3m (από 0.5m σε 0.8m) έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση της μέγιστης θερμοκρασίας εντός του κτιρίου στη βόρεια και νότια πλευρά (23°C αντί για 27°C, όπως φαίνεται στα Σχήματα 9.71 και 9.72 σε σύγκριση με τα Σχήματα 9.80 και 9.81). Στην ανατολική και δυτική πλευρά, καθώς και στο κέντρο του κτιρίου η πτώση της θερμοκρασίας είναι μικρότερη (1-2°C – Σχήματα 9.73, 9.82 (Ανατολή), Σχήματα 9.74, 9.83 (Δύση) και Σχήματα 9.75, 9.84 (κέντρο κτιρίου)).

Ως γενικό συμπέρασμα προκύπτει ότι τα λογισμικά των πεπερασμένων στοιχείων είναι πλέον εξαιρετικά φιλικά στο χρήστη, ενώ η δυνατότητα παραμετροποίησης τα καθιστά ιδιαίτερα ευέλικτα ως προς τα διαφορετικά σενάρια που μπορούν να μοντελοποιηθούν σε αυτά. Παρόλα αυτά δεν είναι προς το παρόν δυνατόν να γίνει μια εξαιρετικά ακριβής μελέτη ενός κτιρίου όσον αφορά την αρχιτεκτονική του μορφή, καθώς η αύξηση της πολυπλοκότητας μεγαλώνει με γεωμετρικό ρυθμό τον υπολογιστικό φόρτο.

Οι μελλοντικές επεκτάσεις της παρούσης εργασίας μπορούν να περιλαμβάνουν:

- Μοντελοποίηση του κτιρίου χρησιμοποιώντας ως φορτίο την ακτινοβολία του ηλίου (και όχι την εξωτερική θερμοκρασία) και σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν
- Δυναμική μελέτη κτιρίου με περισσότερες λεπτομέρειες (π.χ. διαφορετικά δωμάτια)
- Εισαγωγή εσωτερικών πηγών θέρμανσης και ψύξης στο κτίριο (ως επιφανειακά φορτία πυκνότητας ροής θερμότητας)
- Μελέτη κτιρίου με δυναμική κατανομή της ταχύτητας του εξωτερικού ανέμου

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Βιβλία – Εργασίες – Σημειώσεις – ΦΕΚ

1. Avallone A. Eugene & Baumeister Theodore III, “*Marks’ Standard Handbook for Mechanical Engineers*”, Tenth Edition, McGraw – Hill, New York, 1996.
2. Αθανασιάδης Α. Νικόλαος, “*Μηχανική Ρευστών*”, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα, 1989.
3. Διεπιστημονικό Ινστιτούτο Περιβαλλοντικών Ερευνών (ΔΙΠΕ) & ΥΠΕΧΩΔΕ, “*Οικολογική Δόμηση*”, Ελληνικά Γράμματα, Αθήνα, 2000.
4. Dyson P. K., “*Computational Fluid Dynamics*”, Course Notes, University of Plymouth, 2004.
5. Ευρωπαϊκή Επιτροπή, “*Ενεργειακός Σχεδιασμός – Εισαγωγή για Αρχιτέκτονες*”, Μάλλιαρης Παιδεία, Θεσσαλονίκη, 1994.
6. Ευρωπαϊκή Επιτροπή, “*Ενέργεια στην Αρχιτεκτονική – Το Ευρωπαϊκό Εγχειρίδιο για τα Παθητικά Ηλιακά Κτίρια*”, Μάλλιαρης Παιδεία, Θεσσαλονίκη, 1996.
7. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), “*Εγχειρίδιο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας – Παθητικά Ηλιακά Συστήματα*”, Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Πρόγραμμα ALTENER, Αθήνα, 1998.
8. Moaveni Saeed, “*Finite Element Analysis – Theory and Application with ANSYS*”, Prentice Hall, New Jersey, 1999.
9. Munson R. Bruce, Young F. Donald & Okiishi H. Theodore, “*Fundamentals of Fluid Mechanics*”, Third Edition, John Wiley & Sons, 1998.
10. Νικολός Κ. Ιωάννης, “*Σημειώσεις Μαθήματος Ρευστομηχανική*”, Σημειώσεις Προπτυχιακού Μαθήματος, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2004.
11. Νικολός Κ. Ιωάννης, “*Σημειώσεις Μαθήματος Μετάδοση Θερμότητας*”, Σημειώσεις Προπτυχιακού Μαθήματος, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2001.
12. Οικονόμου Ι. Θεώνη, “*Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων – Νέα Μέθοδος 5000 – Πρόγραμμα Ηλιακός Σχεδιασμός Κτιρίων*”, Μεταπτυχιακή Εργασία, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2003.
13. Παπαδάκης Γιώργος, “*Μέτρηση Λειτουργίας Βιοκλιματικού Κτιρίου*”, Πτυχιακή Εργασία, ΤΕΙ Κρήτης, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Μηχανολογίας, Ηράκλειο, 2005.
14. Παττάς Ν. Κ. (Επιμέλεια), “*Μετάδοσις Θερμότητος – Εφαρμογαί εις Βιομηχανικάς Κατασκευάς*”, Εκδόσεις Γιαχούδη – Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη, 1984.
15. Santamouris M. & Asimakopoulous D., “*Passive Cooling of Buildings*”, James & James, London, 1996.
16. Σηφαλάκη Αντιγόνη, “*Έλεγχος Αντοχής Φιαλών Συσκευασίας με τη Μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων*”, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2004.



17. Στασινόπουλος Ν. Θάνος, “*Αρχές Βιοκλιματικού Σχεδιασμού*”, Σημειώσεις Μεταπτυχιακού Μαθήματος, Τμήμα Αρχιτεκτόνων, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2001.
18. Στασινόπουλος Ν. Θάνος, “*Έλεγχος Ηλιασμού*”, Σημειώσεις Μεταπτυχιακού Μαθήματος, Τμήμα Αρχιτεκτόνων, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2001.
19. Στασινόπουλος Ν. Θάνος, “*Ηλιακή Γεωμετρία*”, Σημειώσεις Μεταπτυχιακού Μαθήματος, Τμήμα Αρχιτεκτόνων, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2001.
20. Στασινόπουλος Ν. Θάνος, “*Φυσικός Αερισμός*”, Σημειώσεις Μεταπτυχιακού Μαθήματος, Τμήμα Αρχιτεκτόνων, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2001.
21. Τζανάκης Ιάκωβος & Καφετάκης Μιχάλης, “*Μελέτη Κατανομής Θερμοκρασίας και Ταχύτητας του Αέρα Κτιρίου Βιοκλιματικής Σχεδίασης*”, Πτυχιακή Εργασία, ΤΕΙ Κρήτης, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Μηχανολογίας, Ηράκλειο, 2005.
22. Τσιπήρας Στεφ. Κώστας, “*Το Οικολογικό Σπίτι*”, «Νέα Σύνορα» – Α. Α. Λιβάνη, Αθήνα, 1996.
23. Τσιπήρας Στεφ. Κώστας, “*Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων*”, π – Systems International, Αθήνα, 2000.
24. Τσιπήρας Στεφ. Κώστας & Τσιπήρας Στεφ. Θέμης, “*Οικολογική Αρχιτεκτονική*”, Κέδρος, Αθήνα, 2005.
25. Φύλλο Εφημερίδας Κυβερνήσεως (ΦΕΚ) 362 Δ’, “*Θερμομόνωσης Κτιρίων*”, Προεδρικό Διάταγμα της 1.6/4.7.1979.
26. Φύλλο Εφημερίδας Κυβερνήσεως (ΦΕΚ) 880 Β’, “*Κανονισμός Ορθολογικής Χρήσης και Εξοικονόμησης Ενέργειας*”, Προεδρικό Διάταγμα της 19.8.1998.

#### Εγχειρίδια

1. ANSYS Release 8.0 Documentation, “*ANSYS Commands Reference*”
2. ANSYS Release 8.0 Documentation, “*Basic Analysis Procedures Guide*”
3. ANSYS Release 8.0 Documentation, “*Modeling and Meshing Guide*”
4. ANSYS Release 8.0 Documentation, “*Thermal Analysis Guide*”
5. ANSYS Release 8.0 Documentation, “*Fluids Analysis Guide*”
6. ANSYS Release 8.0 Documentation, “*APDL Programmer’s Guide*”
7. ANSYS Release 8.0 Documentation, “*ANSYS Tutorials*”
8. ANSYS Release 8.0 Documentation, “*ANSYS, Inc. Theory Reference*”

#### Internet Sites – Βιοκλιματική Αρχιτεκτονική

1. <http://www.spitia.gr>
2. <http://www.cres.gr/kape>
3. <http://www.geocities.com/ResearchTriangle/Facility/8776/>
4. <http://www.ktirio.gr>
5. <http://www.ntua.gr/arch/geometry/postgrad/>
6. <http://www.meteo.ntua.gr/g/charts/>
7. <http://www.l-e-s-s.co.uk/Guides/Modelling/Ecotect/WeaTool.htm>
8. <http://www.geocities.com/grapsasArch/envlinks.htm>

9. <http://www.greenpeace.org/greece>
10. <http://www.greekarchitects.gr>

*Internet Sites – ANSYS*

1. <http://www.ansys.com/>
2. <http://ansys.belcan.com/support/links/>
3. <http://ansys.net/ansys/?mycat=search&mytype=Tips&mycategory=APDL>
4. <http://www.mece.ualberta.ca/tutorials/ansys/>
5. [http://www.me.cmu.edu/academics/courses/NSF\\_Edu\\_Proj/StrAnalysis\\_ANSYS/introduction\\_main.html](http://www.me.cmu.edu/academics/courses/NSF_Edu_Proj/StrAnalysis_ANSYS/introduction_main.html)
6. <http://instruct1.cit.cornell.edu/Courses/ansys/>
7. <http://www.me.cmu.edu/academics/courses/NSF%5FEdu%5FProj/ThFIEngr%5FANSYS/problems.htm>
8. <http://www.andrew.cmu.edu/course/24-ansys/problems.htm>
9. <http://www.engr.uky.edu/~jrbake01/ansystutor.html>
10. <http://www.media.mit.edu/physics/pedagogy/fab/fab2001archive/manuals/Using%20ANSYS%20for%20Finite%20Element%20Modeling.htm>
11. [http://dynamo.ecn.purdue.edu/~bashir/ee526\\_bme581\\_fall2004/ANSYS\\_Manual\\_092704.htm](http://dynamo.ecn.purdue.edu/~bashir/ee526_bme581_fall2004/ANSYS_Manual_092704.htm)
12. [http://www3.sympatico.ca/peter\\_budgell/home.html#H](http://www3.sympatico.ca/peter_budgell/home.html#H)