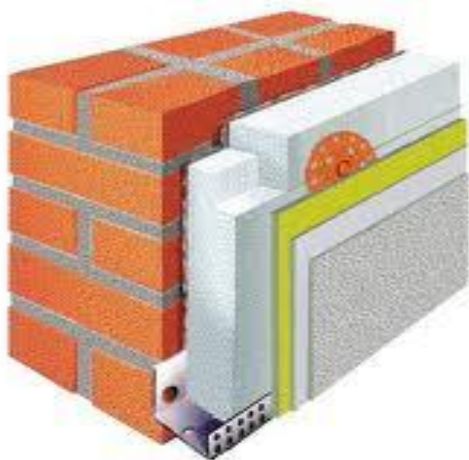




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Εξοικονόμηση ενέργειας με τη χρήση προστατευτικής επίστρωσης
εξωτερικών τοίχων**



Φοιτητής: Σάββας Μαγκλής

Επιβλέπων καθηγητής: Χρήστος Τζιβανίδης

ΑΘΗΝΑ 2011

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
1. ΕΝΕΡΓΕΙΑ	
1.1. Το ενεργειακό πρόβλημα	7
1.2. Κατανάλωση ενέργειας και κτίρια	12
1.3. Ενεργειακός Σχεδιασμός κτιρίων	17
2. ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ	
2.1. Τι είναι Θερμομόνωση	23
2.2. Σκοπός Θερμομόνωσης	24
2.3. Μελέτη και σχεδιασμός θερμομόνωσης κτιρίου	25
2.4. Δομικά στοιχεία – Θερμομόνωση δομικών στοιχείων	25
2.4.1. Χαρακτηριστικές ιδιότητες δομικών στοιχείων	26
2.4.2. Στοιχεία του κτιρίου ευαίσθητα στη θερμοδιαφυγή	27
2.5. Θερμομονωτικά υλικά	29
2.5.1. Κριτήρια επιλογής θερμομονωτικών υλικών	29
2.5.2. Βασικές έννοιες και ορισμοί	31
2.6. Βασικές έννοιες και ορισμοί	31
2.7. Τυπικές περιπτώσεις θερμομόνωσης κτιρίου	35
2.8. Εξωτερική θερμομόνωση τοίχων	36
3. ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ – ΠΡΟΒΛΗΜΑ	
3.1. Χωροχρόνος	41
3.2. Κτίριο	44
3.3. Δομική – Θερμική Ανάλυση κτιρίου	45
4. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ	
4.1. Διακριτοποίηση προβλήματος	48
4.2. Γενικευμένη εξίσωση πεπερασμένων διαφορών	50

4.3.	Οριακές συνθήκες	52
4.3.1α	Εξωτερικές οριακές συνθήκες	54
4.3.1β	Μετάδοση θερμότητας στην επιφάνεια των εξωτερικών τοίχων	54
4.3.2α	Εσωτερικές οριακές συνθήκες	60
4.3.2β	Μετάδοση θερμότητας από την εσωτερική επιφάνεια των εξωτερικών τοίχων στο εσωτερικό	73
4.4.	Τελική διαμόρφωση συστήματος	74
4.5.	Επίλυση συστήματος	77
5.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	
5.1.	Καλοκαιρινή περίοδος	80
5.2.	Χειμερινή περίοδος	89
6.	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	99

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι γεγονός ότι οι ενεργειακές ανάγκες της κοινωνίας μας συνεχίζουν να αυξάνονται, ενώ οι ποσότητες των ορυκτών καυσίμων – που είναι ακόμη η κύρια ενεργειακή πηγή μας – συνεχώς ελαττώνονται, με ορατό πλέον τον κίνδυνο να εξαφανιστούν αν συνεχίσουμε σε αυτούς τους ρυθμούς. Επομένως, δεν είναι καθόλου τυχαίο ότι καθημερινά ακούμε πολλές συζητήσεις σχετικά με το ενεργειακό πρόβλημα, καθώς και τους διάφορους εμπειρογνώμονες να προειδοποιούν για τις καταστροφικές συνέπειες, τόσο στον οικονομικό όσο και στον περιβαλλοντικό τομέα, του προβλήματος αυτού. Τεράστια συμβολή στη διαμόρφωση του ενεργειακού προβλήματος, εκτός από τη βαριά βιομηχανία και τις μεταφορές, έχει και ο οικιακός και τριτογενής τομέας, το μεγαλύτερο μέρος των οποίων είναι τα κτίρια.

Τα κτίρια αποτελούν τον μεγαλύτερο καταναλωτή ενέργειας στην Ευρώπη, καλύπτοντας το 40% του συνολικού ενεργειακού ισοζυγίου της. Παράλληλα, ο κτιριακός χώρος, σαν πλήρες στοιχείο του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος επηρεάζεται από τα σύγχρονα προβλήματά του αλλά και συντελεί στην διαμόρφωσή τους αφού το 14% της εκπομπής CO₂ στην ατμόσφαιρα οφείλεται σε αυτόν. Λαμβάνοντας υπόψη ότι ένα ποσοστό ,περίπου το 40%, της ενέργειας αυτής καταναλώνεται για σκοπούς θερμικής άνεσης (θέρμανση και δροσισμό του χώρου), καταλαβαίνουμε ότι η εφαρμογή της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής και των διαφόρων τεχνικών της αποτελεί μονόδρομο. Οι τεχνικές αυτές που κατά βάση κάνουν χρήση ηλιακής ενέργειας καθώς και των άλλων πηγών του περιβάλλοντος έχουν ήδη αποδείξει σε πρακτικό επίπεδο ότι είναι ιδιαίτερα αποδοτικές τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά.

Μια από τις πιο διαδεδομένες τεχνικές της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής είναι η θερμική προστασία του κελύφους του κτιρίου (θερμομόνωση). Η εφαρμογή της θερμομόνωσης έχει σαν σκοπό να παρεμποδίσει τη διαφυγή της θερμικής ενέργειας από ένα χώρο προς την ατμόσφαιρα ή προς ένα άλλο ψυχρότερο γειτονικό χώρο ή αντίστροφα, με αποτέλεσμα να δημιουργείται αίσθημα θερμικής άνεσης για τους χρήστες του κτιρίου καθ' όλην τη διάρκεια του έτους.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναλύεται η εγκατάσταση εξωτερικής θερμομόνωσης (προστατευτικής επίστρωσης εξωτερικών τοίχων) σε υφιστάμενο κτίριο το οποίο βρίσκετε λίγο έξω από την Αθήνα. Σκοπός μας είναι αναδειχτεί το ενεργειακό όφελος από την

εγκατάσταση αυτή σε σύγκριση με το υφιστάμενο κτίριο χωρίς την θερμομόνωση. Για την επίτευξή του αναπαρείστατε η θερμική συμπεριφορά του κτιρίου και για τις δύο περιπτώσεις. Ο υπολογισμός των θερμοροών γίνεται με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών και το μαθηματικό μοντέλο που προκύπτει, κωδικοποιείται και επιλύεται σε Matlab. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν καταγράφονται σε κατάλληλα διαγράμματα.

1. ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Ο άνθρωπος συνδέθηκε με την έννοια ενέργεια από την πρώτη στιγμή της ύπαρξής του πάνω στη Γη. Αρχικά όπως και οι άλλοι ζωντανοί οργανισμοί μέσω της τροφής ο πρωτόγονος άνθρωπος συσσωρεύε στις κατάλληλες αποθήκες του σώματός του ενέργεια, την οποία χρησιμοποιούσε για να κινηθεί, να κυνηγήσει, να αντιμετωπίσει τους εχθρούς του.

Πολύ αργότερα άρχισε να χρησιμοποιεί την ενέργεια άλλων ζωντανών οργανισμών (μυϊκή δύναμη των ζώων) αυξάνοντας σημαντικά τις δυνατότητές του και ενισχύοντας τη θέση του στο όχι και τόσο φιλικό περιβάλλον στο οποίο έπρεπε να επιβιώσει.

Η εκμετάλλευση της ενέργειας που υπήρχε άφθονη και σε διάφορες μορφές στο φυσικό περιβάλλον (ενέργεια καυσίμων, αιολική, υδραυλική ενέργεια) ήταν το όχημα που μαζί με την ανάπτυξη των ιδιαίτερων ψυχοπνευματικών του ικανοτήτων, του έδωσαν τη δυνατότητα να ακολουθήσει την μεγαλειώδη εξελικτική του πορεία φτάνοντας στο σημερινό τεχνολογικό θαύμα. Τα ίδια αυτά στοιχεία θα καθορίσουν την πορεία και την τεχνολογική εξέλιξή του και στο μέλλον, μόνο που οι πρώτες ανησυχίες τόσο για τις επιπτώσεις στον ίδιο και στο περιβάλλον, όσο και για την τελική κατάληξη αυτής της πορείας, πολλαπλασιάζονται και ενισχύονται με ανάλογους ρυθμούς.

1.1. Το ενεργειακό πρόβλημα

Ο 20ος αιώνας αποτέλεσε την περίοδο των εντονότερων μεταβολών που έχει καταγράψει ως τώρα η ιστορία ή, ακόμη, αποτέλεσε τον «αιώνα του εμφράγματος» εξαιτίας του ραγδαίου ρυθμού των γεγονότων. Το θέμα της ενέργειας παραμένει στο επίκεντρο του αιώνα αυτού, θα καθορίσει αναμφίβολα τις εξελίξεις του επόμενου και μπορεί να προσεγγιστεί από τρεις διαφορετικές απόψεις:

- Την εξασφάλιση της αναγκαίας ποσότητας ενέργειας, στην κατάλληλη για την κάθε χρήση μορφή, δηλαδή την ενεργειακή επάρκεια.

Περίπου το 75% των παγκόσμιων αποθεμάτων πετρελαίου, που αποτελεί σήμερα την κυριότερη ενεργειακή πηγή, βρίσκονται στη νευραλγική στο παγκόσμια ενεργειακό χάρτη περιοχή της Μέσης Ανατολής. Οι κατά καιρούς τοπικές και περιφερειακές συρράξεις στην περιοχή αυτή (οκταετής πόλεμος Ιράν-Ιράκ 1980-88, Κουβέιτ 1991, Ιράκ 2003) προκαλούν μια έντονη ανησυχία σχετικά με την επάρκεια και σταθερότητα της πετρελαϊκής τροφοδοσίας. Συρράξεις οι οποίες προκαλούνται κατά βάση μετά από παρέμβαση των παγκόσμιων υπερδυνάμεων, εκμεταλλευόμενοι το θρησκευτικό φονταμενταλισμό, προκειμένου να αυξήσουν την επιρροή τους στο διεθνές κύκλωμα του πετρελαίου.

Όσον αφορά το φυσικό αέριο, η Ρωσία των έντονων διπλωματικών παιχνιδιών, κατέχει σήμερα τις μεγαλύτερες πηγές αποθέματος φυσικού αερίου με εξαγωγές που φτάνουν το 25% ολόκληρης της δυτικοευρωπαϊκής αγοράς. Ποιος όμως μπορεί να ξεχάσει τη διακοπή της τροφοδοσίας φυσικού αερίου προς την Ουκρανία το φθινόπωρο του 2006, κατόπιν διαφορών σε πολιτικό – διπλωματικό επίπεδο;

Αρνητικό στοιχείο επίσης αποτελεί το γεγονός ότι λοιπές πετρελαιοπαραγωγές χώρες όπως η Νιγηρία και η Βενεζουέλα, καθώς και χώρες με μεγάλη παραγωγή φυσικού αερίου όπως το Ουζμπεκιστάν και το Καζακστάν, δε μπορούν να χαρακτηριστούν πολιτικά αξιόπιστες. Και είναι εδώ που αναδύεται το μεγάλο ερώτημα:

Μπορεί κάποιος να εγγυηθεί ότι μέσα στα επόμενα 20 χρόνια οι προαναφερθείσες χώρες θα είναι πολιτικά πιο αξιόπιστες και σταθερές;

Εκτός όμως από την αξιοπιστία των πετρελαιοπαραγωγών χωρών υπάρχει και η αντίληψη ότι οι ενεργειακοί πόροι εξαντλούνται. Σύμφωνα με μια στατιστική μελέτη που παρουσίασε η British Petroleum (BP) στις 13/6/2007 υπάρχουν “αποδεδειγμένα” αποθέματα πετρελαίου ικανά για να τροφοδοτήσουν τον κόσμο με την ισχύουσα κατανάλωση για 40 χρόνια. Αν αναλογιστεί κανείς ότι η κυριότερη ενεργειακή πηγή σήμερα είναι το πετρέλαιο με ποσοστό κοντά στο 38%, φαίνεται ξεκάθαρα η σοβαρότητα του προβλήματος. Ωστόσο, τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής προκάλεσαν διαφωνίες στους κόλπους των εμπειρογνομώνων. Σε αυτό όμως που κανείς δε διαφωνεί είναι ότι η ζήτηση του πετρελαίου αυξάνεται με ταχύ ρυθμό, λόγω κυρίως της ραγδαίας ανάπτυξης σε κράτη όπως η Κίνα και η Ινδία. Η αυξημένη ζήτηση υποδεικνύει ακριβώς την ανάγκη για ακόμα περισσότερα αποθέματα που θα πρέπει να καλυφθούν με κάποιο τρόπο.

- Το κόστος αυτής της ενέργειας.

Η εκμετάλλευση και διαχείριση των κυριότερων ενεργειακών πηγών από μια χούφτα εταιρείες, έχει εγκλωβίσει την ενέργεια στα διάφορα γεωστρατηγικά – οικονομικά συμφέροντα και παιχνίδια.

Τρανότερη απόδειξη του πιο πάνω δε θα μπορούσε να αποτελέσει κάτι άλλο, εκτός από τη πετρελαϊκή κρίση του 1973, όπου χωρίς την ύπαρξη κάποιας στενότητας πετρελαίου, ο ΟΠΕΚ (Οργανισμός Πετρελαιοπαραγωγών Κρατών) προέβει στο προσωρινό μοϊκοτάρισμα της παγκόσμιας αγοράς. Δεδομένης της σημαντικότητας του πετρελαίου, το γεγονός αυτό εκτόξευσε την τιμή του από \$ 3,011 / βαρέλι τον Οκτώβριο, σε \$ 11,53 τον Δεκέμβριο του ίδιου έτους. Η κρίση αυτή προκάλεσε γενική αύξηση των τιμών και κλονισμό της παγκόσμιας οικονομίας.

Στις μέρες μας, διάφορα οικονομικά, γεωπολιτικά, στρατηγικά, κοινωνικά, τοπικά συμφέροντα έχουν εκτοξεύσει τις τιμές των καυσίμων σε πρωτόγνωρα επίπεδα, με το πετρέλαιο να φτάνει στα \$ 147 / βαρέλι στις 11/7/2008! Γίνεται επομένως αντιληπτό ότι με βάση τις συνεχείς αυθαιρεσίες του μονοπωλίου του ΟΠΕΚ, με τη συνοχή των μεγάλων εταιρειών, αλλά και την αδράνεια μερικών κυβερνήσεων, η ανοδική αυτή τάση της τιμής της ενέργειας θα συνεχιστεί. Το αποτέλεσμα αυτού το βιώνει καθημερινά όλη η ανθρωπότητα με την άνευ προηγουμένου αύξηση της τιμής των πρώτων υλών και μεταφορών, και κατ' επέκταση όλων των βασικών καταναλωτικών αγαθών.

- Τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση της.

Από τις αρχές της δεκαετίας του 70, έχει αρχίσει μια έντονη συζήτηση γύρω από το περιβάλλον και την προστασία του. Έκδηλη είναι πλέον η περιβαλλοντική κρίση, η οποία ολοένα και εντείνεται. Καταρακτώδεις βροχές, παρατεταμένοι καύσωνες και πυρκαγιές, όξινη βροχή, αφανισμός ειδών χλωρίδας και πανίδας, ερημοποίηση, κρίση νερού κ.τ.λ. συνθέτουν ένα τρομακτικό σκηνικό, προκαλώντας ανησυχίες για την επιβίωση του πλανήτη. Είναι μήπως όλα αυτά άσχετα προς την παραγωγή, μεταφορά και κατανάλωση ενέργειας;

Βάσει στατιστικών της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, οι εκπομπές CO₂, αέριο που ευθύνεται κατά 80% για το φαινόμενο του θερμοκηπίου, προέρχονται κατά 94% από τον ενεργειακό τομέα. Εκπομπές που προέρχονται κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων, την κατανάλωση ειδών

πετρελαίου και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ατμού. Επιπλέον, μικρή ωστόσο εμφανής είναι και η συμμετοχή του ενεργειακού τομέα στις εκπομπές των άλλων αερίων που ευθύνονται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου, CH_4 και N_2O , με συμβολή 17% και 7% αντίστοιχα.

Το πρόβλημα λαμβάνει γιγαντιαίες διαστάσεις, αν αναλογιστεί κανείς και την οικολογική καταστροφή που προκαλείται από τους πυρηνικούς σταθμούς. Τα πυρηνικά απόβλητα και η απελευθέρωση καυτού νερού που χρησιμοποιείται για δροσισμό των αντιδραστήρων σε παρακείμενα ποτάμια και λίμνες, σε συνδιασμό με το απομακρυσμένο έστω ενδεχόμενο ενός νέου Τσέρνομπιλ, φέρνουν τον εφιάλτη μια παγκόσμιας οικολογικής καταστροφής στο προσκήνιο.



Εικόνα 1.1-1: Μόλυνση της ατμόσφαιρας από την καύση ορυκτών καυσίμων¹

Ενδεικτικά είναι τα παρακάτω στοιχεία που αφορούν την παραγωγή ενέργειας.

Πίνακας 1.1-1: Ρύποι και επιπτώσεις από εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας, άνθρακα και πετρελαίου.

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΘΡΑΚΑ ΚΑΙ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ	
ΡΥΠΟΣ	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ
CO ₂	Υπερθέρμανση του πλανήτη
NO _x	Αιθαλομίχλη
Σωματίδια και σκόνη	Καρκινικές και άλλες παθήσεις του πνεύμονα

Πίνακας 1.1-2: ρύποι και επιπτώσεις από εγκαταστάσεις πυρηνικής ενέργειας.

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	
ΡΥΠΟΣ	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ
Ραδιενεργά τοξικά απόβλητα	Δύσκολο να εξουδετερωθούν
Διαρροές ακτινοβολίας	Δηλητηριάσεις και αυξανόμενος κίνδυνος καρκίνου
Εκπομπές θερμότητας	Ρύπανση υδάτων – εξόντωση θαλάσσιας ζωής

Αυτές οι τρεις απόψεις συνθέτουν ό,τι έχει γίνει ευρύτερα γνωστό με τον όρο «ενεργειακό πρόβλημα», που είναι μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις που αντιμετωπίζει σήμερα η ανθρωπότητα, και είναι απαραίτητο για όλες τις χώρες να εφαρμόσουν μια ενιαία στρατηγική αντιμετώπισής του.

1.2. Κατανάλωση ενέργειας και κτίρια

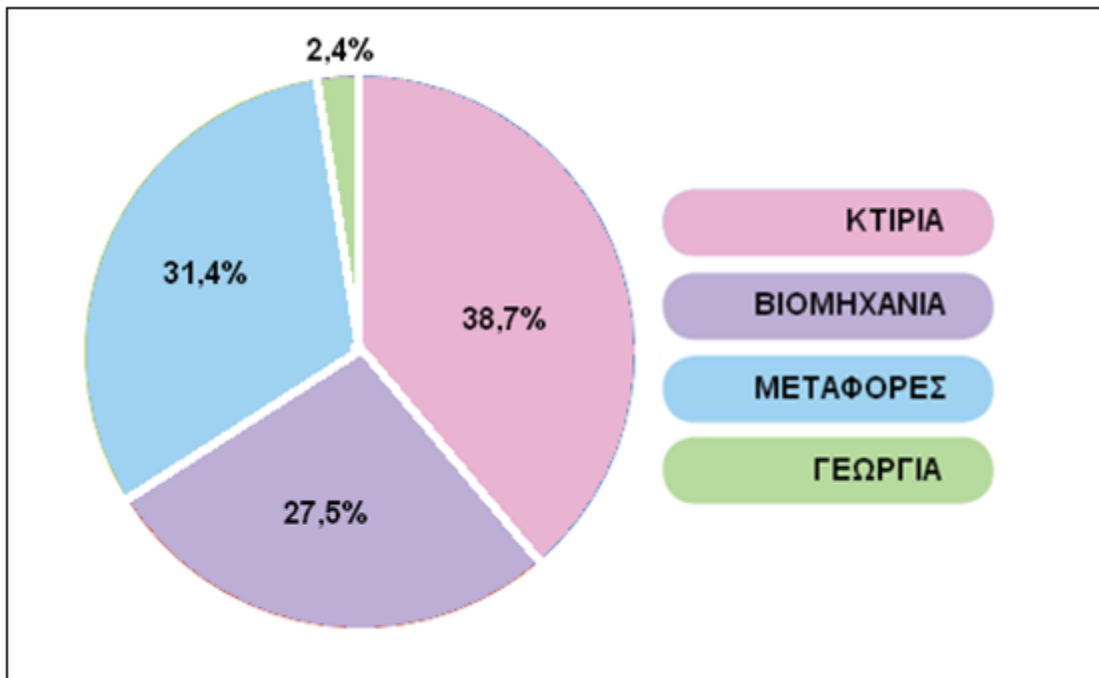
Η κατανάλωση ενέργειας στον κτιριακό τόμεα (σπίτια, σχολεία, νοσοκομεία, εμπορικά κέντρα, γραφεία κτλ) συμβάλει στην επέκταση του ενεργειακού προβλήματος; Και αν ναι σε ποιο βαθμό;

Δεδομένου ότι ο κάτοικος των αστικών κυρίως κέντρων βιώνει το 80% της ζωής του στο εσωτερικό των κτιρίων, είναι προφανής η επίδραση της ποιότητας του εσωτερικού κλίματος τόσο στην υγεία και την άνεση όσο και την παραγωγικότητά του. Τα κτίρια καταναλώνουν ενέργεια η οποία χρησιμοποιείται για την επίτευξη θερμικής και οπτικής άνεσης εντός των χώρων, για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, καθώς και για την χρήση διάφορων ηλεκτρικών συσκευών. Είναι λοιπόν ξεκάθαρο ότι η ενεργειακή κατανάλωση σε ένα κτίριο είναι αναπόφευκτη.

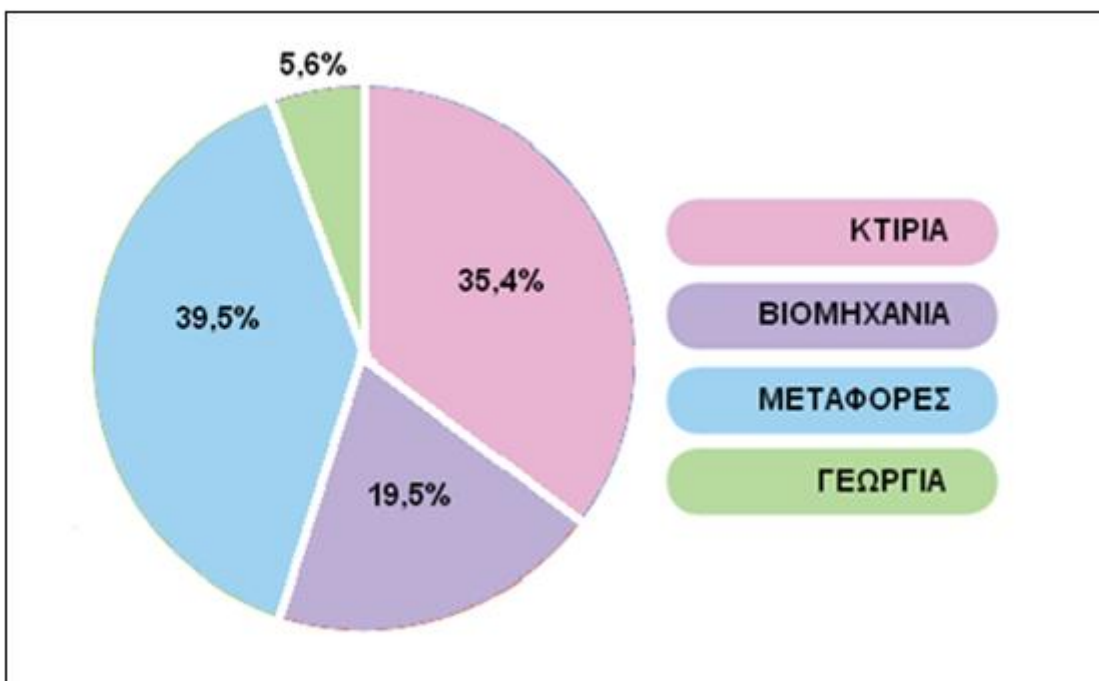
Πιο κάτω παρουσιάζουμε τα επίσημα στατιστικά στοιχεία για την παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση κατά το έτος 2006, όπως αυτά παρουσιάζονται στην ειδική έκδοση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής 'EU Energy and Transport in figures'².

Πίνακας 1.2-1: Τελική κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα στην Ε.Ε. και στην Ελλάδα²

ΤΕΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑ ΤΟΜΕΑ 2006 (Mtoe)					
	ΟΛΙΚΗ	ΚΤΙΡΙΑ	ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ	ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ	ΓΕΩΡΓΙΑ
Ε.Ε	1177,4	455,2	323,3	370,1	28,7
ΕΛΛΑΔΑ	21,5	7,6	8,5	4,2	1,2



Εικόνα 1.2-1: Ποσοστά ενεργειακής κατανάλωσης ανά τομέα στην Ε.Ε.²



Εικόνα 1.2-2: Ποσοστά ενεργειακής κατανάλωσης ανά τομέα στην Ελλάδα²

Όπως βλέπουμε στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ο τομέας των κτιρίων απορροφά, κατά μέση τιμή, το 38,7% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης. Στην Ελλάδα ο κτιριακός τομέας απορροφά το 35,4% της συνολικής κατανάλωσης. Ποιος όμως ευθύνεται για τη τόσο μεγάλη κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια; Μια έρευνα που έγινε πρόσφατα για την ειδική ενεργειακή κατανάλωση των διαφόρων τύπων κτηρίων στην Ελλάδα είχε τα εξής αποτελέσματα.

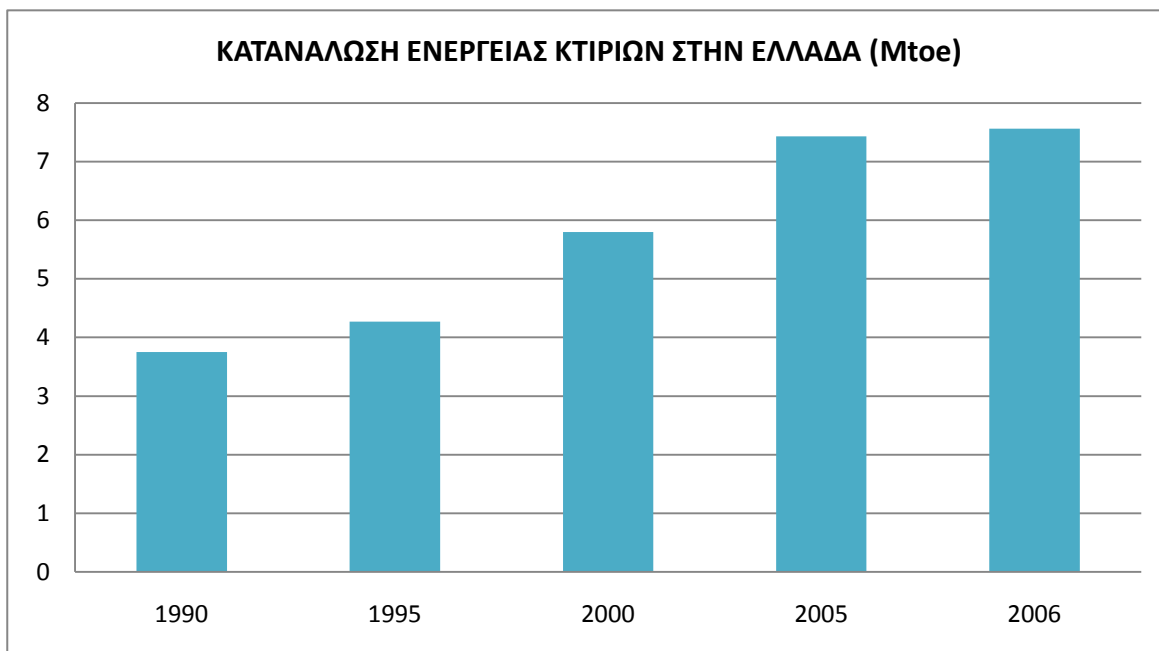
Πίνακας 1.2-2 : Μέση ενεργειακή κατανάλωση διαφόρων τύπων κτιρίων ανά είδος χρήσης (kWh ανά τετραγωνικό μέτρο το χρόνο)³

Τύπος κτιρίου	Δροσισμός	Θέρμανση	Φωτισμός	Συσκευές
Γραφεία	24	95	20	48
Εμπορικά	18	74	19	41
Σχολεία	2	66	16	8
Νοσοκομεία	3	299	52	53
Ξενοδοχεία	11	198	24	40

Παρατηρούμε λοιπόν ότι η θέρμανση των χώρων αποτελεί την σημαντικότερη ειδική ενεργειακή κατανάλωση για όλα τα κτίρια στην χώρα. Αυτό είναι απαράδεκτο για την Ελλάδα που βρίσκεται στη θερμότερη ζώνη της Ευρώπης, και οφείλεται αποκλιστικά στη χαμηλή ενεργειακή απόδοση των κτιρίων. Αυτός είναι και ο λόγος που στην Ελλάδα σήμερα ξοδεύεται διπλάσιο ποσό για θέρμανση από ότι στην παγωμένη Σουηδία.

Επίσης, η αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος στα μεγάλα αστικά κέντρα έχει συντελέσει στην δραματική αύξηση της απαιτούμενης ενέργειας για τον δροσισμό των κτιρίων κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η απαιτούμενη ενέργεια για τον δροσισμό ενός κτιρίου στο κέντρο της Αθήνας είναι σχεδόν διπλάσια από την απαιτούμενη στην περιφέρεια της πόλης.

Το πρόβλημα γίνεται ακόμη πιο ανησυχητικό, αν δούμε και την εξέλιξη που έχει η κατανάλωση ενέργειας σε κτίρια τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα αφού σύμφωνα με επίσημα στατιστικά στοιχεία τα ελληνικά κτίρια από το 1990 έως το 2006, αυξάνουν σταθερά τις ενεργειακές τους ανάγκες.

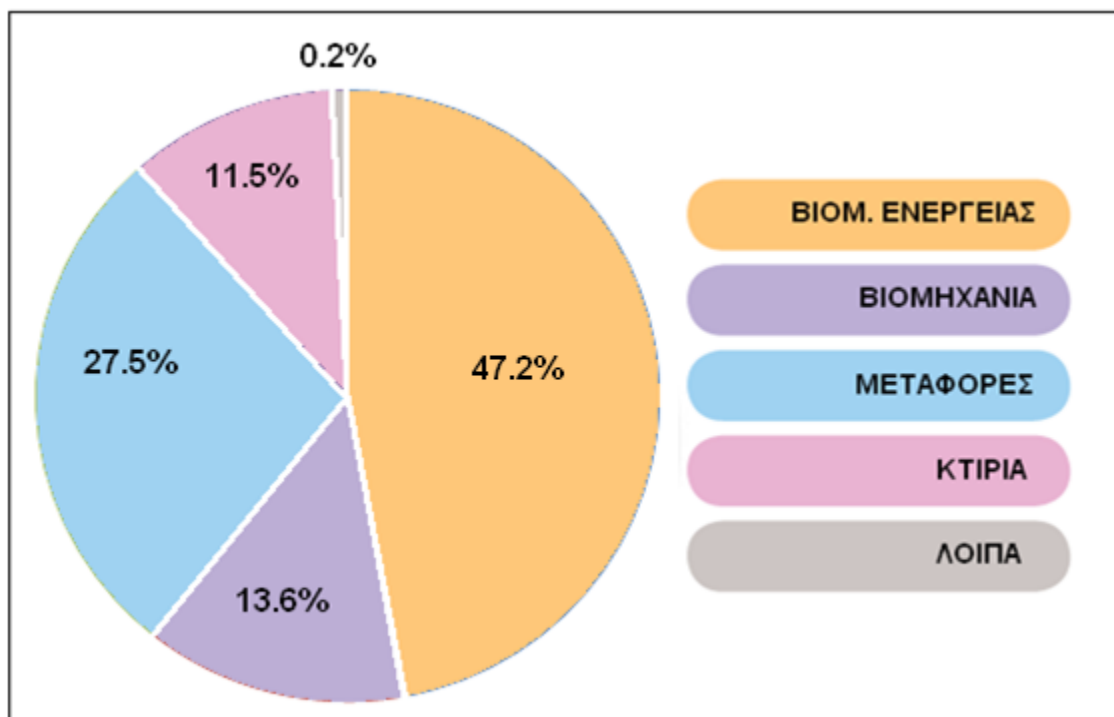


Εικόνα 1.2-3 : Εξέλιξη κατανάλωσης ενέργειας στα ελληνικά κτίρια²

Τα τεράστια ποσά ενέργειας που καταναλώνονται στο κτιριακό τομέα, πέραν του οικονομικού κόστους που φορτώνουν τον καταναλωτή, συμβάλλουν και στην καταστροφή του περιβάλλοντος. Σύμφωνα με τα επίσημα στατιστικά στοιχεία για την παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση κατά το έτος 2006, όπως αυτά παρουσιάζονται στην ειδική έκδοση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής 'EU Energy and Transport in figures' ο κτιριακός τομέας είναι υπεύθυνος για το 11% της συνολικής εκπομπής CO₂ στην Ευρώπη.

Πίνακας 1.2-3: Εκπομπές CO₂ σε Ελλάδα και Ε.Ε. το έτος 2006²

ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO₂ (10⁶ ΤΟΝΟΙ) – 2006						
	ΣΥΝΟΛΟ	ΒΙΟΜΗΧ. ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ	ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ	ΚΤΙΡΙΑ	ΛΟΙΠΑ
ΕΛΛΑΔΑ	123,1	58,2	16,7	33,7	14,2	0,3
Ε.Ε.	4558,7	1686,7	1012,03	1039,4	702,04	118,5



Εικόνα 1.2-4: Ποσοστά εκπομπής CO₂ ανά τομέα στην Ελλάδα²

Το συμπέρασμα που προκύπτει από τα παραπάνω στοιχεία είναι ότι τα κτίρια αποτελούν σήμερα έναν κύριο καταναλωτή ενέργειας και έναν πολύ καλό τροφοδότη CO₂ στην ατμόσφαιρα. Νοούμενου ότι το μεγαλύτερο ποσοστό σπατάλης της ενέργειας γίνεται για την επίτευξη θερμικής άνεσης, υποδुकνίεται ξεκάθαρα που πρέπει να κινηθεί η έρευνα τα επόμενα χρόνια ώστε να δοθούν άμεσες και αποτελεσματικές λύσεις. Ήδη η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει σαν στόχο τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας κατά 9% έως το 2016. Έτσι, με μια σειρά από κοινοτικές οδηγίες ωθεί τις χώρες μέλη να λάβουν διαφορα μέτρα με στόχο τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων λαμβάνοντας υπόψη τις εξωτερικές και τοπικές συνθήκες, καθώς και τις κλιματικές απαιτήσεις των εσωτερικών χώρων. Μια τέτοια οδηγία είναι και η Οδηγία 2002/91/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου⁴, τα μέτρα της οποίας είναι:

1. Ο καθορισμός ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης για τις διάφορες κατηγορίες νέων κτιριων
2. Η εφαρμογή ελάχιστων απαιτήσεων για την ενεργειακή απόδοση υφισταμένων κτιριων στα οποία γίνεται μεγάλης κλίμακας ανακαινιση
3. Η ενεργειακή πιστοποίηση των κτιρίων και

4. Η καθιέρωση τακτικών επιθεωρήσεων των εγκαταστάσεων θέρμανσης και κλιματισμού

Τα μέτρα αυτά θα έπρεπε να είχαν εφαρμοστεί στη χώρα μας από τις 4 Ιανουαρίου 2009⁵ κάτι που δεν έγινε. Αν λάβουμε επίσης υπόψη το γεγονός ότι στις 19 Οκτωβρίου 2007 η Ελλάδα, μαζί με άλλα 11 κράτη μέλη, κλήθηκε στο ευρωδικαστήριο επειδή δεν είχε γνωστοποιήσει τα μέτρα που επρόκειτο να λάβει για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων⁶, μπορούμε να αντιληφθούμε πόσο πίσω βρισκόμαστε σαν χώρα στον τομέα αυτό.

1.3. Ενεργειακός Σχεδιασμός Κτιρίων

Όπως αναφέραμε και στην προηγούμενη παράγραφο στόχος μας είναι η λήψη μετρων για βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Τι εννοούμε όμως με τον όρο **“ενεργειακή απόδοση κτιρίου”**; Ο όρος αυτός αναφέρεται στην ποσότητα ενέργειας που πραγματικά καταναλώνεται ή εκτιμάται ότι ικανοποιεί τις διάφορες ανάγκες που συνδέονται με τη συνήθη χρήση του κτιρίου, συμπεριλαμβανομένων, μεταξύ άλλων, της θέρμανσης, της παραγωγής ζεστού νερού, της ψύξης, του εξαερισμού και του φωτισμού. Βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης μπορεί να γίνει με το **βιοκλιματικό σχεδιασμό κτιρίων**.

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίων αφορά τον σχεδιασμό κτιρίων και χώρων (εσωτερικών και εξωτερικών) αξιοποιώντας τους διαθέσιμους φυσικούς πόρους με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτευχθούν οι επιθυμητές συνθήκες άνεσης (θερμικής, οπτικής, ακουστικής) με όσο το δυνατόν μικρότερη ενεργειακή δαπάνη. Η λογική του σχεδιασμού βασίζεται στο σχεδιασμό κτιρίων τα οποία ενσωματώνονται στο μικροκλίμα εκμεταλλευόμενα τους φυσικούς πόρους που τους παρέχονται για θέρμανση, κλιματισμό και φωτισμό. Χαρακτηριστικά παραδείγματα της παλαιότητας της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής είναι οι σκηνές των ινδιάνων και τα ιγκλού των Εσκιμώων τα οποία ήταν σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να τους παρέχουν την βέλτιστη θερμική άνεση που μπορούσε να επιτευχθεί κάτω από αυτές τις ακραίες συνθήκες. Βέβαια δεν είναι αυτά τα βιοκλιματικά κτίρια. Παρά την παλαιότητα αυτού του σκεπτικού σχεδιασμού σήμερα κατα κύριο λόγο αυτές οι αρχές δεν εφαρμόζονται. Αποτέλεσμα αυτής της απουσίας είναι κτίρια με μεγάλη ενεργειακή κατανάλωση και με κακές συνθήκες διαβίωσης. Σύνηθες φαινόμενο είναι το σύνδρομο του «άρρωστου κτιρίου» κατά το οποίο παρουσιάζονται προσωρινά μικροπροβλήματα υγείας λόγω της κακής ποιότητας των συνθηκών άνεσης.



Εικόνα 1.3-1: Τρεις βασικές αρχές του βιοκλιματισμού: απρόσκοπτη είσοδος της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της χειμερινής μέρας και διατήρηση της θερμότητας αυτής κατά τη διάρκεια της νύχτας, και επαρκής προστασία από την ηλιακή ακτινοβολία το καλοκαίρι⁷

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός αποτελείται από δύο πολύ σημαντικές μεθόδους εξοικονόμησης ενέργειας και περιορισμού εκπομπών ρύπων. Αυτές είναι:

1. Τα ενεργητικά συστήματα

Τα ενεργητικά συστήματα 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 κλπ. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται επίσης στη βιομηχανία, σε διάφορες αγροτικές εφαρμογές, στην αφαλάτωση κτλ.

2. Τα παθητικά συστήματα

Τα παθητικά συστήματα αποτελούν δομικά στοιχεία του κτιρίου που υποβοηθούν την καλύτερη άμεση ή έμμεση εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση ή το δροσισμό του κτιρίου. Λειτουργούν χωρίς μηχανολογικά εξαρτήματα ή πρόσθετη παροχή ενέργειας αλλά με φυσικό τρόπο και χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

α) Παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, την αποθηκεύουν υπό μορφή θερμότητας και τη διανέμουν στο χώρο. Η συλλογή της ηλιακής ενέργειας βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και ειδικότερα, στην είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω του γυαλιού ή άλλου διαφανούς υλικού και τον εγκλωβισμό της προκύπτουσας θερμότητας στο εσωτερικό του χώρου που καλύπτεται από το γυαλί. Όλα τα παθητικά ηλιακά συστήματα πρέπει να έχουν προσανατολισμό περίπου νότιο, ώστε να υπάρχει ηλιακή πρόσπτωση στα ανοίγματα κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια της ημέρας το χειμώνα. Το

συνηθέστερο παθητικό ηλιακό σύστημα (σύστημα άμεσου κέρδους) βασίζεται στην αξιοποίηση των παραθύρων κατάλληλου προσανατολισμού, σε συνδυασμό με την κατάλληλη θερμική μάζα (βαριά υλικά, όπως πέτρα, πλάκες, μπετόν στους τοίχους και στα δάπεδα, χωρίς να είναι καλυμμένα, π.χ. από χαλιά), η οποία απορροφά μέρος της θερμότητας και την «προσφέρει» στο χώρο αργότερα και έτσι διατηρείται ο χώρος θερμός για πολλές ώρες. Αλλα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης είναι οι ηλιακοί τοίχοι (τοίχος θερμικής αποθήκευσης, θερμοσιφωνικό πανέλο, τοίχος Trombe – Michel), τα θερμοκήπια (ηλιακοί χώροι) που είναι κλειστοί χώροι που ενσωματώνονται σε νότια τμήματα του κτιριακού κελύφους και περιβάλλονται από υαλοστάσια και τα ηλιακά αίθρια που είναι εσωτερικοί χώροι του κτιρίου οι οποίοι έχουν στην οροφή τους τζάμι και λειτουργούν όπως τα θερμοκήπια. Τα συστήματα αυτά αποτελούν συστήματα εμμεσου κέρδους.

Όλα τα Παθητικά Ηλιακά Συστήματα πρέπει να συνδυάζονται με την απαιτούμενη θερμική προστασία (θερμομόνωση) και την απαιτούμενη θερμική μάζα του κτιρίου, η οποία αποθηκεύει και αποδίδει τη θερμότητα στο χώρο με χρονική υστέρηση, ομαλοποιώντας έτσι την κατανομή της θερμοκρασίας μέσα στο εικοσιτετράωρο. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα θα πρέπει το καλοκαίρι να συνδυάζονται με ηλιοπροστασία και συχνά με δυνατότητα αερισμού.

β) Παθητικά συστήματα και τεχνικές φυσικού δροσισμού

Τα παθητικά συστήματα και τεχνικές φυσικού δροσισμού, σκοπο έχουν να δροσίσουν με φυσικό τρόπο το χώρο κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, ώστε να γίνει κατορθωτή η όσο το δυνατό περισσότερη μείωση της χρήσης κλιματιστικού συστήματος. Οι τεχνικές που εφαρμόζονται εδώ ποικίλουν, ενώ κάποιες είναι εξαιρετικά απλές. Μια τέτοια μέθοδος είναι και η ηλιοπροστασία - σκίαση του κτιρίου με διαφόρων τύπων σκίαστρα (μόνιμα ή κινητά) και με βλάστηση που μπορεί να εξασφαλίσει μείωση του ψυκτικού φορτίου του κτιρίου μέχρι και 30%. Αρκετά αποτελεσματική τεχνική είναι επίσης και ο διαμπερής αερισμός κατά τη διάρκεια της νύχτας, όπου δροσίζονται τοίχοι και πατώματα με αποτέλεσμα να μειώνεται η μέγιστη εσωτερική θερμοκρασία των κτιρίων κατά 1 με 2°C. Διάφορες άλλες τεχνικές είναι ο φυσικός εξαερισμός με την απρόσκοπτη κίνηση του αέρα διαμέσου των εσωτερικών χώρων, μετά βεβαίως από κατάλληλο σχεδιασμό ανοιγμάτων, ο κατακόρυφος αερισμός, η χρήση ανεμιστήρων οροφής κ.α. Υπάρχουν βέβαια και πιο σύνθετες τεχνικές που είναι όμως και πιο αποτελεσματικές όπως η θερμική προστασία του περιβλήματος του κτιρίου με εγκατάσταση

φυτεμένου δώματος και τοίχων, η ενίσχυση του φυσικού εξαερισμού με τη βοήθεια ηλιακών καμινάδων, η απόρριψη θερμότητας από το κτίριο προς στη γη με αγωγή μέσω σωληνών εδάφους κτλ.

γ) Συστήματα και τεχνικές φυσικού φωτισμού

Ο φυσικός φωτισμός στοχεύει στην επίτευξη οπτικής άνεσης μέσα στα κτίρια, αλλά και στη γενικότερη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης μέσα στους χώρους, συνδυάζοντας φως, θέα, δυνατότητα αερισμού, αξιοποίηση και ρύθμιση της εισερχόμενης ηλιακής ενέργειας. Ιδιαίτερη σημασία κατά το σχεδιασμό των συστημάτων φυσικού φωτισμού έχει η κατά το δυνατόν μεγαλύτερη κάλυψη των απαιτήσεων σε φωτισμό από το φυσικό φως, ανάλογα με τη χρήση του κτιρίου και την εργασία που επιτελείται μέσα στους χώρους. Μέσω των κατάλληλων συστημάτων και τεχνικών εξασφαλίζεται στους εσωτερικούς χώρους επαρκής ποσότητα (στάθμη φωτισμού), αλλά και ομαλή κατανομή, ώστε να αποφεύγονται έντονες διαφοροποιήσεις της στάθμης, οι οποίες προκαλούν φαινόμενο «θάμβωσης». Τα συστήματα φυσικού φωτισμού είναι τα ανοίγματα στην κατακόρυφη τοιχοποιία, τα ανοίγματα οροφής, τα αίθρια και οι φωταγωγοί.

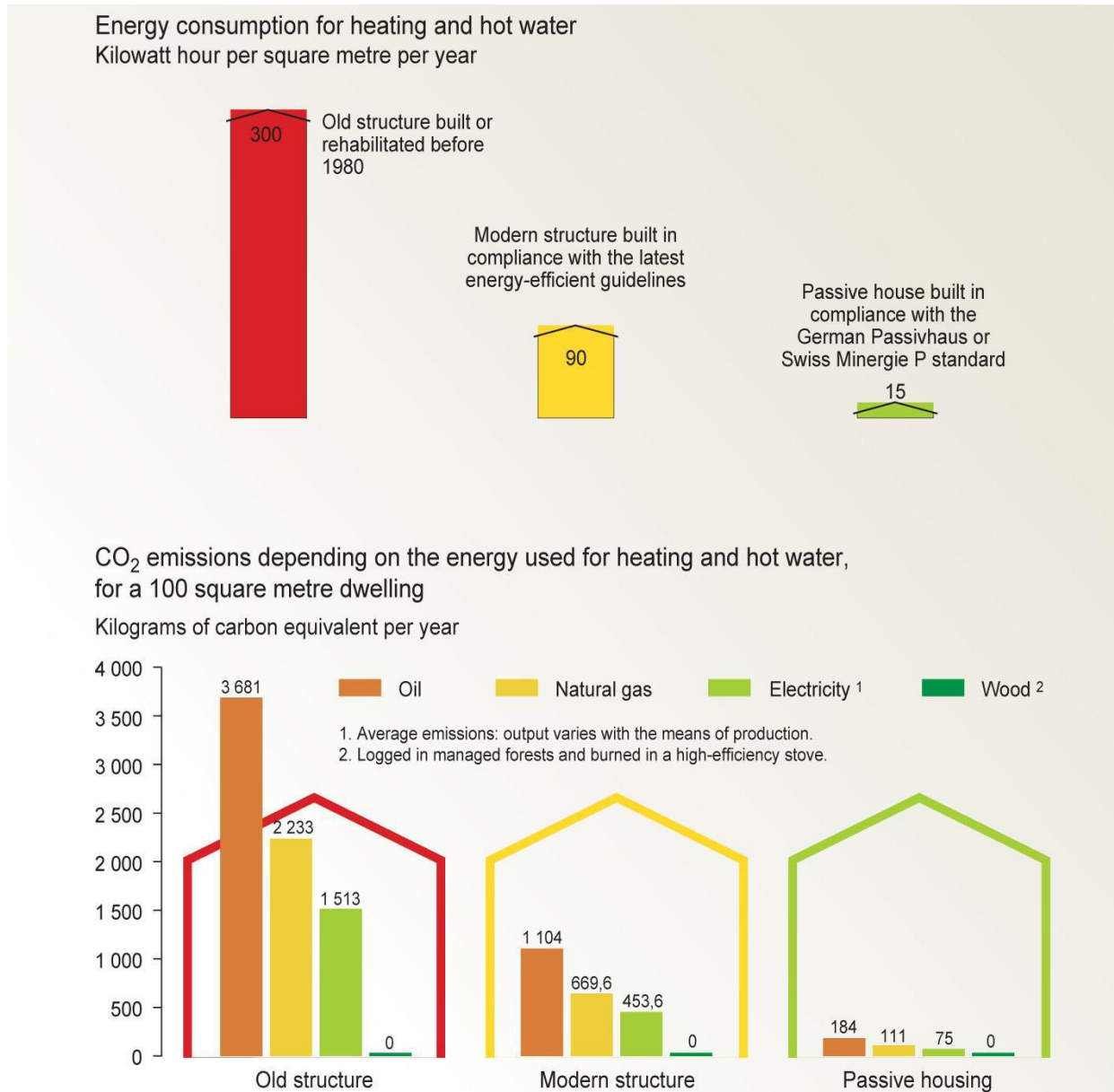
Τα οφέλη που μπορούμε να αποκομίσουμε από την εφαρμογή του βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι πολλά. Σύμφωνα με μελέτη του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, μια καλή θερμομόνωση των εξωτερικών τοίχων θα μπορούσε να εξοικονομήσει θερμική ενέργεια μέχρι και 42% και ηλεκτρική ενέργεια για δροσισμό 24% αντίστοιχα. Αυτή την τεχνική θα μελετήσουμε στη παρούσα διπλωματική εργασία.

Αν σκεφτείς κανείς πόσες άλλες τεχνικές μπορούμε να εφαρμόσουμε στα πλαίσια του βιοκλιματικού σχεδιασμού, γίνεται αντιληπτό πόσο μεγάλη μπορεί να είναι η συνολική εξοικονόμηση ενέργειας. Η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης αποτελεί από μόνη της όφελος, μιας και συμβάλλει στην άμβλυνση του ενεργειακού προβλήματος. Ταυτόχρονα η μείωση αυτή σημαίνει επίσης και ελάττωση των εκπεμπόμενων ρύπων που οφείλονται στο κτιριακό τομέα, όπου σε συνδιασμό με την αυξημένη χρήση βλάστησης που επιβάλλει ο βιοκλιματικός σχεδιασμός, αποτελούν ένα άκρως σημαντικό περιβαλλοντικό όφελος. Όσον αφορά τον οικονομικό τομέα, η βελτίωση της θερμικής συμπεριφοράς του κτιρίου, μειώνει αφενώς το κόστος εγκαταστάσεων θέρμανσης, ψύξης και αερισμού, και αφετέρου την κατανάλωση καυσίμων αλλά και ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, ένα βιοκλιματικό κτίριο είναι

σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο, ώστε να προσφέρει ένα ποιοτικά αναβαθμισμένο και πιο υγιές περιβάλλον, συμβάλλοντας έτσι στη βελτίωση της ποιότητας ζωής των ανθρώπων.

Ένα μεγάλο πλεονέκτημα του βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι ότι μπορούν πολλές τεχνικές του να εφαρμοστούν και σε υφιστάμενα κτίρια. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, αν ληφθεί υπόψη η υπέρκορη κτιριακή κατάσταση στην οποία βρίσκονται σήμερα τα μεγάλα αστικά κέντρα και ιδιαίτερα η Αθήνα. Μπορούν να γίνουν από απλές επεμβάσεις μηδενικού κόστους, όπως η αλλαγή της συμπεριφοράς των χρηστών του κτιρίου (ορθή χρήση ανοιγμάτων κτλ), μέχρι και επεμβάσεις ανακατασκευής του κτιρίου μεγάλου κόστους με βεβαίως θεαματικά αποτελέσματα. Υπάρχουν βέβαια και ενδιάμεσες λύσεις με επεμβάσεις στο κτίριο χαμηλού κόστους (διάνοιξη ορθά προσανατολισμένων ανοιγμάτων, αυξημένη χρήση βλάστησης κτλ), οι οποίες αποσβέονται σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Η κατάσταση στην Ελλάδα σήμερα δε θα μπορούσε να χαρακτηριστεί και η καλύτερη. Σύμφωνα με το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), μέχρι το 2007 υπήρχαν 176 εφαρμογές βιοκλιματικών κτιρίων, εκ των οποίων οι 2 αποτελούν οικιστικά σύνολα. Από αυτά, ο μεγαλύτερος αριθμός των κτηρίων βρίσκεται στην περιοχή της Αττικής (58) και στη Μακεδονία (41). Οι υπόλοιπες περιοχές μοιράζονται τα καταγεγραμμένα βιοκλιματικά κτήρια με ένα μέσο αριθμό (Στερεά Ελλάδα και Εύβοια 17, Κρήτη 17, Πελοπόννησος 14). Ακόμα πιο ανησυχητικά είναι τα στοιχεία του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, σύμφωνα με τα οποία από το σύνολο των κατοικιών στην Ελλάδα το 2001, μόνο το 5,1% είχαν μόνωση εξωτερικών τοίχων και μόλις το 2,1% διπλά τζάμια!



Εικόνα 1.3-2: Σύγκριση ενεργειακής κατανάλωσης για θέρμανση και ζεστό νερό, καθώς και εκπομπής CO₂ μεταξύ ενός παλιού, ενός νέου και ενός παθητικού κτιρίου⁸

2. ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ

2.1. Τι είναι Θερμομόνωση

Είναι γνωστό ότι, ανάμεσα σε δύο σώματα με διαφορετικές θερμοκρασίες, προκαλείται συνεχής ροή θερμότητας από το θερμότερο προς το ψυχρότερο και ότι οι θερμικές απώλειες δεν νοούνται μόνο για την απώλεια της ζέστης ενός χώρου το χειμώνα αλλά και της δροσιάς το καλοκαίρι, όταν ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι θερμότερος. Αυτή η ροή θερμότητας είναι αδύνατον να εμποδιστεί τελείως και μπορεί, μόνο, να περιοριστεί ως προς την ένταση και τη διάρκειά της. Αυτό είναι κατορθωτό μόνο όταν υπάρχει έλεγχος των θερμικών απωλειών.

Με τον όρο θερμομόνωση εννοούμε τη θερμική προστασία των κτιρίων, τη δημιουργία δηλαδή ενός <<προστατευτικού περιβλήματος>> στο κέλυφος των κτιρίων με στόχο τον περιορισμό των θερμικών απωλειών. Το χειμώνα να μειώνει το ρυθμό με τον οποίο η θερμότητα χάνεται από το κτίριο και το καλοκαίρι να μειώνεται ο ρυθμός με τον οποίο η θερμότητα εισάγεται σε αυτό. Η μείωση αυτή μπορεί να είναι σημαντική, αρκεί η θερμομόνωση να εφαρμόζεται ορθολογικά και σύμφωνα με τις απαιτήσεις του σχετικού διατάγματος που καθορίζει τους μέγιστους συντελεστές θερμοπερατότητας των επιμέρους δομικών στοιχείων του κελύφους.

Η θερμομόνωση είναι μία από τις βασικότερες παραμέτρους του σύγχρονου αρχιτεκτονικού σχεδιασμού.

Σε παλαιότερες εποχές, η ανάγκη για μια τέτοια πρόβλεψη δεν ήταν επιβεβλημένη, αφού οι βαριές κατασκευές του περιβλήματος (τοιχοί, στέγη), η διάταξη των χώρων καθώς και η σύνθεση των χαμηλών όγκων των παραδοσιακών κτισμάτων, ήταν καθοριστικοί παράγοντες ρύθμισης της θερμομονωτικής ικανότητας, αλλά και της ροής θερμότητας.

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας και τη διαφοροποίηση των σύγχρονων αναγκών, η προστασία από τις θερμικές μεταβολές μεταβιβάστηκε στα διάφορα τεχνητά συστήματα ελέγχου του μικροκλίματος, όπως η κεντρική θέρμανση και ο κλιματισμός. Η κατανάλωση ενέργειας για τη λειτουργία των συστημάτων αυτών δεν αποτελούσε πρόβλημα, μέχρι τη στιγμή που τα διαθέσιμα αποθέματα των συμβατικών καυσίμων - ουσιαστικά του πετρελαίου - μειώθηκαν και έπαψαν να είναι φτηνά. Επακόλουθο αυτού ήταν μια παγκόσμια προσπάθεια διαφύλαξης και

ορθολογικής εκμετάλλευσης των αποθεμάτων ενέργειας. Έτσι άρχισε να διαφαίνεται, μεταξύ άλλων, ο πρωτεύοντας ρόλος που έχει να παίξει η θερμομόνωση στην εξοικονόμηση ενέργειας.

Στις περισσότερες χώρες με ψυχρότερα κλίματα ισχύουν εδώ και πολλά χρόνια κανονισμοί και τεχνικές προδιαγραφές, που καθορίζουν τις απαιτήσεις, τις ιδιότητες και τον τρόπο σύνθεσης των υλικών. Οι κανονισμοί αυτοί, μαζί με τις τεχνικές προδιαγραφές εξασφαλίζουν μία τεχνοοικονομικά σωστή θερμομόνωση. Τέτοια, θεωρείται αυτή που για να γίνει δεν απαιτείται υπερβολικά μεγάλο αρχικό κόστος εγκατάστασης και που, ωστόσο, εξασφαλίζει μακροχρόνια οικονομία στη χρήση του κτιρίου και περιορισμό στην εφαρμογή ενεργοβόρων τεχνητών συστημάτων ελέγχου του εσωτερικού περιβάλλοντος.

2.2. Σκοπός Θερμομόνωσης .

Κάτω από συνθήκες οικονομικά προσιτές, μια καλή θερμική μόνωση έχει σαν σκοπό την εξασφάλιση:

- υγιεινής, άνετης και ευχάριστης διαβίωσης, χωρίς να διαταράσσεται το θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπινου σώματος και να προκαλούνται σοβαρές θερμικές αλληλοεπιδράσεις κρύου ή ζέστης ανάμεσα σ' αυτό και στο χώρο που το περιβάλλει.
- οικονομίας στην κατανάλωση ενέργειας, με τον περιορισμό των θερμικών απωλειών από το κέλυφος του κτιρίου.
- εξοικονόμησης στο αρχικό κόστος κατασκευής της εγκατάστασης του συστήματος κεντρικής θέρμανσης ή κλιματισμού.
- ταυτόχρονης προστασίας από θορύβους, αφού τα περισσότερα από τα θερμομονωτικά υλικά είναι και ηχομονωτικά.
- προστασίας του περιβάλλοντος, αφού μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας ελαττώνεται αντίστοιχα και η ποσότητα των εκλυόμενων καυσαερίων προς την ατμόσφαιρα.

2.3. Μελέτη και σχεδιασμός θερμομόνωσης κτιρίου

Πριν καταφύγει κανείς σε οποιοσδήποτε βοηθητικές οικοδομικές κατασκευές για τον έλεγχο των θερμικών απωλειών πρέπει, κατά το σχεδιασμό, να έχει υπόψη του τους βασικότερους παράγοντες που τις προκαλούν, όπως:

- Η τοποθεσία και ο προσανατολισμός του κτιρίου μέσα στον περιβάλλοντα χώρο. Έτσι όσο περισσότερο εκτεθειμένο είναι ένα κτίριο στους ανέμους τόσο μεγαλύτερες απώλειες θερμότητας εμφανίζει. Επίσης, όσο περισσότερο προσβάλλεται από την ηλιακή ακτινοβολία τόσο οι απώλειες ψύξης των εσωτερικών χώρων του είναι μεγαλύτερες.
- Το μέγεθος των επιφανειών του εξωτερικού περιβλήματος του κτιρίου που είναι άμεσα εκτεθειμένες στις καιρικές συνθήκες, σε συνάρτηση με τον όγκο του κτιρίου. Ένα ελεύθερο στο χώρο κτίριο εμφανίζει πολύ μεγαλύτερες απώλειες από ένα άλλο που είναι ενταγμένο σε ένα συνεχές σύστημα δόμησης.
- Το πόσο εκτεθειμένοι στο ύπαιθρο είναι οι διάφοροι χώροι του κτιρίου. Χώροι τελείως εσωτερικοί θεωρείται ότι δεν παρουσιάζουν καμία θερμική μεταβολή. Αντίθετα, χώροι που εκτείνονται σε δύο ή περισσότερους ορόφους, όπως για παράδειγμα τα κλιμακοστάσια, παρουσιάζουν μεγάλες απώλειες.
- Τα εξωτερικά κουφώματα, τα οποία, ανάλογα με το μέγεθος, τον αριθμό και τη θέση τους στις όψεις ενός κτιρίου, επηρεάζουν τη ροή της θερμότητας και η κακή συναρμογή τους επιτρέπει τη διείσδυση ρευμάτων αέρα.

2.4. Δομικά στοιχεία - Θερμομόνωση δομικών στοιχείων

Δομικά στοιχεία ονομάζονται όλα τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την δόμηση – αποπεράτωση μιας εγκατάστασης όπως τούβλα, μάρμαρα κ.λπ.

Ο ρυθμός ροής θερμότητας διαμέσου του κελύφους ενός κτιρίου εξαρτάται, μεταξύ άλλων, από το σύνολο των κατασκευαστικών μέτρων που λαμβάνονται και κυρίως από τα υλικά που χρησιμοποιούνται. Οι χαρακτηριστικές ιδιότητες των δομικών στοιχείων καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τη θερμική συμπεριφορά του κελύφους του κτιρίου. Η μελέτη και η σωστή εφαρμογή της θερμομόνωσης βασίζεται στο βέλτιστο συνδυασμό των μεθόδων και υλικών κατασκευής, τα οποία προσδίδουν συγκεκριμένες χαρακτηριστικές ιδιότητες στα δομικά στοιχεία του κτιρίου.

2.4.1. Χαρακτηριστικές ιδιότητες των δομικών στοιχείων

- i. **Θερμομονωτική ικανότητα**, δηλαδή η αντίσταση θερμοδιαφυγής ($1/\Lambda$) των δομικών στοιχείων. Αυτή εξαρτάται από τις ιδιότητες που έχουν τα υλικά που συνθέτουν την κατασκευή ενός δομικού στοιχείου, δηλαδή:
 - Τη θερμική αγωγιμότητα (συντελεστής λ)
 - Την περιεκτικότητά τους σε υγρασία και
 - Το πάχος τους.
- ii. **Βαθμός διαπερατότητας** του αέρα διαμέσου των δομικών στοιχείων, που εξαρτάται από:
 - Το είδος της κατασκευής που διαμορφώνει το περίβλημα ενός χώρου.
 - Την επιφάνεια των ανοιγμάτων και τον τρόπο συναρμογής των κουφωμάτων.
- iii. **Θερμοχωρητικότητα (Q)** των δομικών στοιχείων του κτιρίου, που συμβάλλει στον περιορισμό του ρυθμού μεταβολής της θερμοπερατότητας των στοιχείων. Όταν οι τοίχοι και οι οροφές έχουν μεγάλη θερμοχωρητική ικανότητα, τότε η θερμότητα που συγκεντρώνουν, ενόσω λειτουργεί η θέρμανση, αποβάλλεται όταν αυτή σταματήσει, με αποτέλεσμα να εμποδίζεται η γρήγορη ψύξη των χώρων. Το αντίθετο συμβαίνει το καλοκαίρι, όταν οι χώροι ψύχονται. Ανάλογα με τη θέση της μόνωσης - στην εξωτερική ή εσωτερική επιφάνεια - οι τοίχοι και οι οροφές ενεργούν:
 - Ως συσσωρευτές θερμότητας, όταν η θερμική μόνωση τοποθετείται στην εξωτερική τους επιφάνεια. Στην περίπτωση αυτή, συσσωρεύουν επί ένα μεγάλο χρονικό διάστημα τη θερμότητα, για να την αποβάλουν και πάλι μέσα στο χώρο με ακτινοβολία. Με τη διαδικασία αυτή αυξάνεται αντίστοιχα η διάρκεια μεταβολής της θερμοκρασίας σε χώρους, στους οποίους είναι απαραίτητο να δημιουργείται αίσθημα άνεσης (κατοικίες, χώροι εργασίας, κ.λπ.).
 - Ως φράγμα προστασίας, όταν η θερμική μόνωση τοποθετείται στην εσωτερική τους επιφάνεια, στις περιπτώσεις που δεν μας ενδιαφέρει η διάρκεια αποθέρμανσης ή απόψυξης των χώρων (θέατρα, εκκλησίες κ.λπ.), αλλά αντίθετα επιθυμούμε τη γρήγορη θέρμανση ή ψύξη των χώρων αυτών.
- iv. Οι τιμές των συντελεστών **θερμικής αγωγιμότητας** και **αντίστασης θερμοδιαφυγής** των διαφόρων υλικών που συγκροτούν μια κατασκευή.

2.4.2. Στοιχεία του κτιρίου ευάλωτα στη θερμοδιαφυγή

Η κατασκευή της θερμομόνωσης ενός κτιρίου πρέπει να εκτελείται σύμφωνα με ορισμένες προϋποθέσεις που καθορίζονται από τη μελέτη θερμομόνωσης, τη θέση της επιφάνειας που πρόκειται να προστατευθεί, τη θέση της μονωτικής στρώσης μέσα στην κατασκευή (εσωτερικά ή εξωτερικά). Είναι ευνόητο ότι δεν μπορούν να αγνοηθούν και οι προϋποθέσεις που επιβάλλουν οι απαιτήσεις προστασίας από την υγρασία. Για το λόγο αυτό, το πρόβλημα της θερμομόνωσης -όπως ήδη τονίστηκε- δεν μπορεί να εξετάζεται μεμονωμένα, αλλά σε συνδυασμό με άλλες απαιτήσεις προστασίας.

Στη συνέχεια γίνεται συνοπτική αναφορά στα πιο ευάλωτα στοιχεία ενός κτιρίου, που έχουν ανάγκη θερμικής προστασίας. Αυτά είναι:

➤ **Οροφή (επίπεδη ή κεκλιμένη) και η Στέγη**

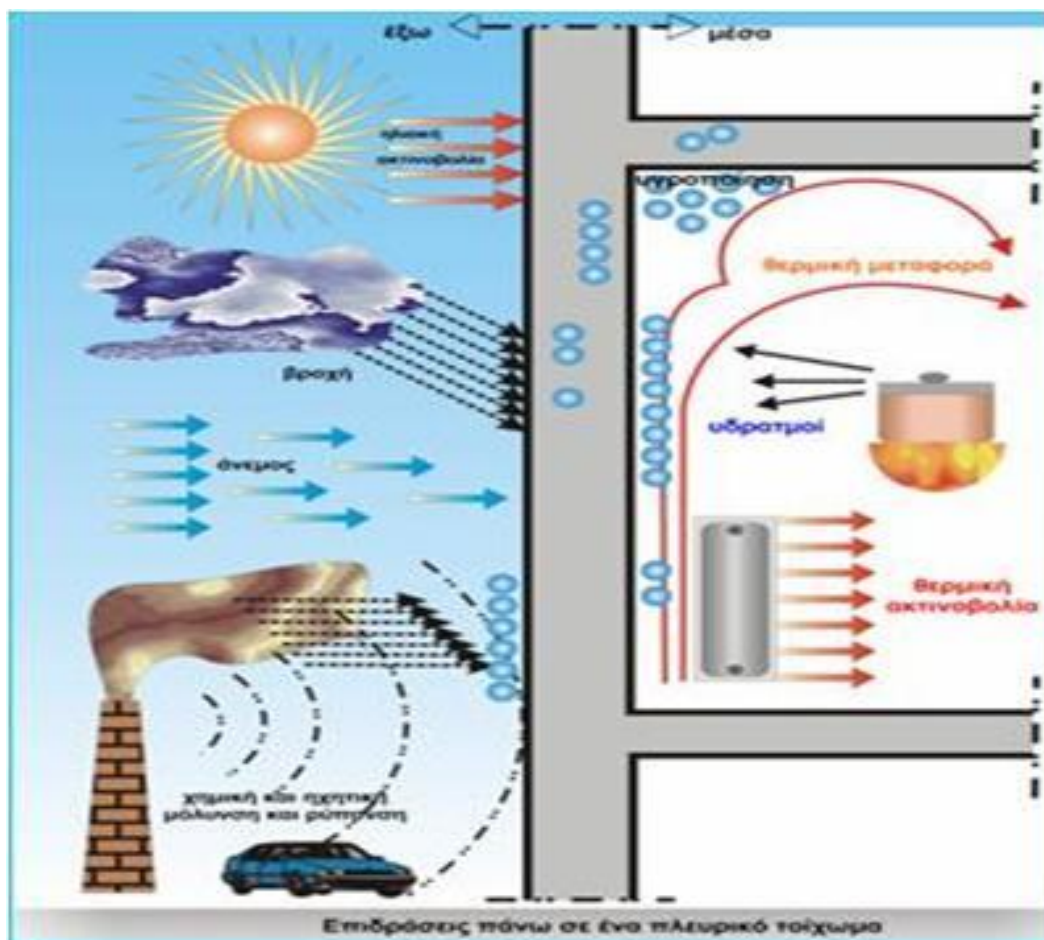
Παρουσιάζουν μεγάλες θερμικές απώλειες μια και είναι τα μέρη εκείνα του κτιρίου που δέχονται άμεσα όλες τις επιδράσεις των καιρικών συνθηκών.

➤ **Εξωτερικά τοιχώματα**

Υπόκεινται σε μια σειρά επιδράσεων και τα οποία ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους, προκαλούν μεγάλες θερμικές απώλειες. Η προστασία των εξωτερικών τοιχωμάτων μπορεί να γίνει εσωτερικά ή εξωτερικά, ανάλογα με τη χρήση των χώρων που προστατεύουν και το βασικό μέρος της δομής τους. Υπάρχουν επίσης περιπτώσεις τοιχωμάτων, στις οποίες η θερμική μόνωση τοποθετείται ανάμεσα σε δυο κατακόρυφα στρώματα ομοιογενών ή ανομοιογενών υλικών και είναι σχετικά απλή λύση η οποία όμως, όπως και οι προηγούμενες, έχει και πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Πάντως σε όλες τις περιπτώσεις πλευρικών εξωτερικών τοιχωμάτων παίρνονται μέτρα:

- Προστασίας του θερμομονωτικού υλικού από συμπύκνωση και δρόσο, με φράγμα υδρατμών.
- Παρεμπόδισης της διείσδυσης νερών βροχής, που θα έχει ως συνέπεια την πρόκληση ανεπανόρθωτης ζημιάς στο θερμομονωτικό υλικό.
- Αποφυγής της δημιουργίας θερμογεφυρών που αυξάνουν τις θερμικές απώλειες και δημιουργούν θερμικές τάσεις στα επιμέρους υλικά που συνθέτουν την κατασκευή.

Επιπλέον πρέπει να αποφεύγεται η διάτρηση των εξωτερικών τοιχωμάτων για να περάσουν σωληνώσεις εγκαταστάσεων ή άλλου είδους κατασκευές. Όπου αυτό είναι απαραίτητο, τότε επιβάλλεται ιδιαίτερη μέριμνα για την προστασία των ευάλωτων αυτών στοιχείων, τόσο από τη θερμότητα, όσο και από την υγρασία.



Εικόνα 2.4 – 1: Επιδράσεις στα πλευρικά τοιχώματα⁹

➤ Ανοίγματα

Είναι από τα πιο ευάλωτα στοιχεία ενός κτιρίου. Για τον περιορισμό των θερμικών απωλειών, πρέπει οι αρμοί συναρμογής των πλαισίων να είναι απόλυτα αδιαπέραστοι από τον αέρα. Τα υλικά που συγκροτούν το κούφωμα (ξύλο, αλουμίνιο, πλαστικό) να είναι άριστης ποιότητας ώστε να αποφεύγονται οι παραμορφώσεις των φύλλων. Για ξύλινα παράθυρα ή πόρτες, αυτό δεν είναι εύκολα κατορθωτό εξαιτίας της φύσης του υλικού. Στην περίπτωση όμως κουφωμάτων αλουμινίου, η πρόβλεψη ειδικών

παρεμβυσμάτων στους αρμούς επαφής δίνει συνήθως άριστα αποτελέσματα. Επιπλέον τα υαλοστάσια των ανοιγμάτων θα πρέπει να έχουν χαμηλό συντελεστή θερμοπερατότητας.

➤ **Στηθαία των Παραθύρων**

Συνήθως τοποθετούνται τα θερμαντικά σώματα, επειδή λειτουργικοί λόγοι επιβάλλουν συχνά τη μείωση του πάχους του τοιχώματος στις θέσεις αυτές. Επίσης, η έντονη θερμική ακτινοβολία προκαλεί συμπύκνωση στις θέσεις αυτές γρηγορότερα παρά στις υπόλοιπες επιφάνειες του χώρου, με αποτέλεσμα να καταπονούνται περισσότερο τα δομικά στοιχεία που γειτονεύουν με σώματα θέρμανσης.

➤ **Μπαλκόνια και οι Προεξοχές της Πλάκας**

Όταν δεν προστατεύονται από τη θερμότητα, λειτουργούν σαν θερμογέφυρες, με αποτέλεσμα να μην ελέγχονται απόλυτα οι θερμικές απώλειες των εσωτερικών χώρων και να προκαλούνται βλάβες στις κατασκευές, λόγω συμπύκνωσης. Όμως η μόνωσή τους είναι συχνά προβληματική, γιατί ανεβάζει υπέρμετρα το ολικό κόστος για τη θερμομόνωση του κτιρίου.

2.5. Θερμομονωτικά Υλικά

Σήμερα στην αγορά υπάρχει μεγάλη ποικιλία θερμομονωτικών υλικών. Η επιλογή τους θα πρέπει να γίνεται λαμβάνοντας σοβαρά υπόψη τις διάφορες καταπονήσεις (μηχανικές, υγροθερμικές και φυσικοχημικές) που υφίστανται τα υλικά στο συγκεκριμένο έργο νοουμένου ότι οι συγκεκριμένες καταπονήσεις επηρεάζουν άμεσα τη θερμική απόδοσή τους.

2.5.1. Κριτήρια επιλογής θερμομονωτικών υλικών

α. Θερμοτεχνικά Χαρακτηριστικά

- Η τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ .
- Η εξάρτηση του λ από τη θερμοκρασία.
- Η εξάρτηση του λ από την υγρασία. Η τιμή του λ αυξάνει σημαντικά με τη συμπύκνωση υδρατμών μέσα στη μάζα του.
- Η ειδική θερμοχωρητικότητα.
- Ο συντελεστής θερμικής διαστολής. Όσο χαμηλότερος είναι, τόσο απομακρύνεται ο κίνδυνος οικοδομικών μικροζημιών ή καταστροφής των στεγανώσεων.

β. Τρόπος Εφαρμογής

- Προκατασκευασμένα προϊόντα ή κατασκευή επί τόπου.
- Απαιτούμενα προστατευτικά μέτρα (για προστασία από μηχανικές βλάβες ή δυσμενείς περιβαλλοντικές επιδράσεις).
- Δυνατότητα ελέγχου κατά την κατασκευή.

γ. Μηχανικές Ιδιότητες

- Αντοχή σε θλίψη, κάμψη και δονήσεις.
- Αλλοιώσεις με το χρόνο (γήρανση).
- Πυκνότητα.
- Ελαστικότητα, ευθραυστότητα.

δ. Χημική συμπεριφορά-ανθεκτικότητα

- Αντίσταση στη διάβρωση, στους μικροοργανισμούς, έντομα, κ.λπ.
- Συμπεριφορά στην υγρασία (τυχόν μεταβολή των διαστάσεων, διαπερατότητα στους υδρατμούς, απορροφητικότητα νερού).
- Συμπεριφορά στη φωτιά και μέγιστες επιτρεπόμενες θερμοκρασίες λειτουργίας.
- Βαθμός ευαισθησίας σε υπεριώδη ακτινοβολία, σε διάφορα αέρια και σε διάφορους διαλύτες ή το θαλασινό νερό, κ.λπ.

ε. Οικονομικά Στοιχεία

- Επιπρόσθετο κόστος προμήθειας και εγκατάστασης.
- Χρόνος απόσβεσης δαπάνης.
- Ποσοστό προστιθέμενης αξίας στην όλη κατασκευή.

2.5.2. Συνηθισμένα Θερμομονωτικά Υλικά

Στο πιο κάτω πίνακα παρουσιάζονται τα ευρέως χρησιμοποιημένα θερμομονωτικά υλικά της αγοράς, με τις μέσες τιμές της θερμικής αγωγιμότητας (λ) για το κάθε υλικό.

Πίνακας 2.5 -1: Τιμές θερμικής αγωγιμότητας θερμομονωτικών υλικών¹⁰

A/A	ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ	λ [W/mK]
1.	Εξηλασμένη πολυστερίνη	0,029
2.	Διογκωμένη πολυστερίνη	0,045
3.	Υαλοβάμβακας	0,038
4.	Πολυουθέρανη	0,025
5.	Αφρώδες Γυαλί	0,810
6.	Περλιτοειδή	0,064
7.	Πετροβάμβακας	0,042
8.	Φελλός	0,041
9.	PVC	0,170
10.	Κυψελωτό Σκυρόδεμα	0,240
11.	Θερμομονωτικό τούβλο (25x20cm)	0,270

2.6. Βασικές Έννοιες και ορισμοί

Πιο κάτω παρουσιάζουμε μερικές βασικές έννοιες και ορισμούς που χρησιμοποιούμε συχνά μιλώντας για θερμομόνωση.

Μετάδοση θερμότητας με αγωγή

Αυτή βασίζεται στην ιδιότητα των μορίων των υλικών σωμάτων να προσλαμβάνουν θερμότητα από γειτονικά μόρια υψηλότερης θερμοκρασίας και να μεταδίδουν τη θερμότητά τους σε γειτονικά μόρια χαμηλότερης θερμοκρασίας. Στα στερεά σώματα η μετάδοση της θερμότητας επιτυγχάνεται εύκολα λόγω της πολύ μικρής απόστασης (πρακτικά όταν έρχονται σε επαφή) μεταξύ των μορίων κάθε σώματος. Στα υγρά, την αγωγιμότητα βοηθούν οι ελαστικές κρούσεις των μορίων. Στα μέταλλα, η ροή της θερμότητας με αγωγή οφείλεται κύρια στη διάχυση των ελεύθερων ηλεκτρονίων.

Μετάδοση θερμότητας με μεταφορά

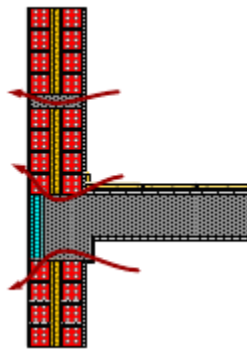
Αυτή βασίζεται στη δυνατότητα μεταβίβασης της θερμότητας σε υγρά ή αέρια σώματα μέσω της μετακίνησης των θερμών μορίων. Στα κτίρια, με τη φυσική κυκλοφορία του αέρα διακινούνται σημαντικά ποσά θερμότητας. Εκτός από τη φυσική κυκλοφορία του αέρα, που οφείλεται σε θερμοκρασιακές μεταβολές μέσα στους χώρους, μετακινήσεις του αέρα προκαλούν και οι άνεμοι, οι κινήσεις των ανθρώπων, τα ανοίγματα θυρών και παραθύρων, η λειτουργία ανεμιστήρων κ.ά.

Μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία

Αυτή συμβαίνει μεταξύ στερεών σωμάτων με διαφορετική θερμοκρασία που διαχωρίζονται από αέρα και μεταδίδεται με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Θερμογέφυρα

Θερμογέφυρες καλούνται σημεία ή τμήματα του κτιριακού κελύφους με σημαντική μείωση της θερμικής αντίστασης των δομικών στοιχείων και είναι σημαντική πηγή θερμικών απωλειών. Εμφανίζονται στη διεπιφάνεια δύο διαφορετικών δομικών στοιχείων ή δύο ίδιων διαφορετικού πάχους. Στην περιοχή της θερμογέφυρας, λόγω της αυξημένης ροής της θερμότητας, παρουσιάζονται στις εσωτερικές πλευρές του τοιχώματος χαμηλότερες επιφανειακές θερμοκρασίες, με αποτέλεσμα τη συχνή εμφάνιση τοπικής υγρασίας και μούχλας.



Εικόνα 2.6 – 1: Ροή θερμότητας από θερμογέφυρες¹¹

Υγρασία

Είναι η περιεκτικότητα (κατά βάρος ή στα % μέρη) μιας ουσίας σε νερό. Ειδικά για τον αέρα, υγρασία είναι η περιεκτικότητά του σε νερό με τη μορφή υδρατμών. Αυτή εξαρτάται από

τη δυνατότητα απόληψης ποσοτήτων νερού (από ελεύθερες επιφάνειες νερού ή από υγρά σώματα στο χώρο, εκτεθειμένα σε ρεύματα αέρα, ανθρώπινες εκπνοές και ιδρώτα) από τον αέρα, από τη θερμοκρασία και την πίεση του αέρα, καθώς και από την επιφανειακή θερμοκρασία των τοιχωμάτων ή άλλων αντικειμένων στο χώρο. Με την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα αυξάνεται η δυνατότητά του να παραλαμβάνει υγρασία, ενώ με τη μείωση της θερμοκρασίας του μπορεί να επέλθει κορεσμός και, στη συνέχεια, να εμφανισθεί υγρασία των υδρατμών (εμφάνιση σταγόνων στην επιφάνεια των ψυχρότερων αντικειμένων ή τοιχωμάτων).

Φράγμα υδρατμών

Αυτό είναι λεπτό στρώμα υλικού μεγάλης αντίστασης υδατοδιαφυγής (π.χ. φύλλο αλουμινίου, PVC, πισσόχαρτου, γυαλιού, στρώμα πλαστικού χρώματος κ.ά.) που τοποθετείται στη θερμότερη πλευρά των χώρων όπου υπάρχει αυξημένη υγρασία για να εμποδίζει τους υδρατμούς να εισχωρήσουν και να ψυχθούν στο εσωτερικό του δομικού στοιχείου.

Κέλυφος κτιρίου

Κέλυφος κτιρίου είναι το σύνολο των επιφανειών των δομικών στοιχείων που περιβάλλουν τον θερμαινόμενο χώρο του κτιρίου.

Θερμαινόμενος χώρος

Θερμαινόμενος χώρος είναι η κλειστή περιοχή για την οποία απαιτείται ενέργεια για επίτευξη και διατήρηση συνθηκών θερμικής άνεσης (θέρμανση, ψύξη).

Ειδική θερμοχωρητικότητα (c)

Έτσι ονομάζεται η ποσότητα ενέργειας που χρειάζεται για να υψωθεί η θερμοκρασία της μονάδας μάζας ενός υλικού κατά 1°C . Οι μονάδες της ειδικής θερμοχωρητικότητας είναι το $\text{J/kg}\cdot\text{K}$.

Θερμική αντίσταση (R)

Θερμική αντίσταση είναι η αντίσταση των στοιχείων στην ροή θερμότητας σε Watt διαμέσου ομοιογενούς υλικού για διαφορά θερμοκρασίας στις δυο πλευρές του στοιχείου 1°C .

Συντελεστής θερμοπερατότητας (U)

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας καθορίζει τη θερμομονωτική ικανότητα του στοιχείου κατασκευής και δίδει την ποσότητα της θερμότητας σε Wh η οποία μεταδίδεται, σε σταθερή θερμική κατάσταση, ωριαία, από επιφάνεια 1m^2 του στοιχείου κατασκευής, όταν η διαφορά θερμοκρασίας του αέρα που βρίσκεται σε επαφή με τις δυο πλευρές του στοιχείου είναι 1 βαθμός Κέλβιν. Ο συντελεστής αυτός εξαρτάται από την επιφάνεια της κατασκευής, το πάχος και το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ των οικοδομικών υλικών και η μονάδα μέτρησης είναι $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας (κ)

Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας είναι η ποσότητα θερμότητας που ρέει σε ένα δευτερόλεπτο, μια ώρα μέσα από τη στρώση ομοιογενούς υλικού επιφάνειας 1m^2 , όταν η θερμοκρασιακή πτώση κατά τη διεύθυνση ροής της θερμότητας είναι $1^\circ\text{C}/\text{m}$.

Θερμοχωρητικότητα (Q)

Έτσι ονομάζεται η ικανότητα ενός κατασκευαστικού στοιχείου να αποθηκεύει, κατά τη θέρμανσή του, ποσότητες θερμότητας. Η θερμοχωρητικότητα υπολογίζεται από τη σχέση: $Q=mc\Delta T$, όπου m είναι η μάζα του στοιχείου, c η ειδική θερμότητά του, και ΔT η διαφορά θερμοκρασίας, ενώ μετράται σε kcal.

Συντελεστής θερμοχωρητικότητας (W)

Εκφράζει την ποσότητα της ενέργειας που αποθηκεύεται σε 1m^2 στοιχείου κατασκευής, όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του στοιχείου και του αέρα που το περιβάλλει είναι 1°C . Οι μονάδες του συντελεστή αυτού είναι τα: $\text{kcal}/\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C}$.

2.7. Τυπικές περιπτώσεις θερμομόνωσης κτιρίου

Ένα κτίριο πρέπει να θερμομονώνεται σε όλες τις εξωτερικές επιφάνειές του, κατακόρυφες και οριζόντιες που περικλείουν κλιματιζόμενους χώρους από τους οποίους είναι δυνατόν να διαφύγει θερμική ενέργεια (επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με ατμοσφαιρικό αέρα ή μη κλιματιζόμενους χώρους).

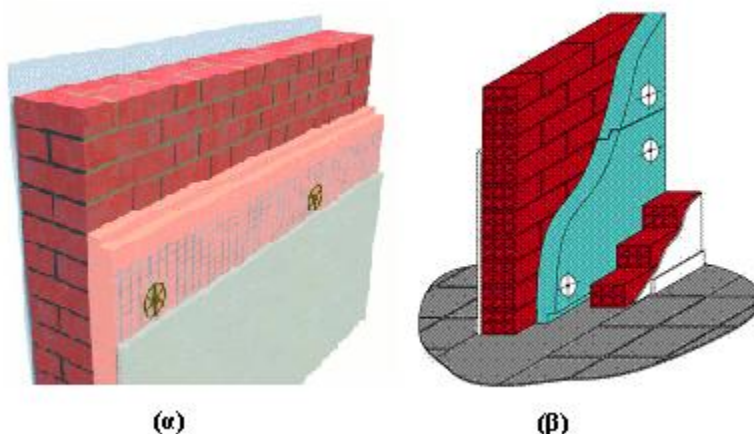
Ως εκ τούτου, τα πιο βασικά μέρη ενός κτιρίου τα οποία πρέπει να θερμομονώνονται είναι:

- Εξωτερική τοιχοποιία-δοκοί-υποστυλώματα
- Εξωτερικά κουφώματα
- Οροφές και στέγες
- Δάπεδα εκτεθειμένα στο εξωτερικό περιβάλλον
- Δομικά στοιχεία σε επαφή με μη κλιματιζόμενους χώρους

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα μελετήσουμε τη μόνωση εξωτερικών τοίχων υφιστάμενου κτιρίου και θα γίνει σύγκριση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου πριν και μετά την εφαρμογή της. Η θερμομόνωση των εξωτερικών τοίχων μπορεί να γίνει με τέσσερεις τρόπους. Αυτοί είναι:

- Θερμομόνωση στην εσωτερική επιφάνεια
- Θερμομόνωση στην εξωτερική επιφάνεια
- Θερμομόνωση στον πυρήνα
- Χρήση θερμομονωτικών τούβλων

Ο κάθε τρόπος έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά του. Εμείς θα μελετήσουμε το δεύτερο τρόπο δηλαδή την εξωτερική θερμομόνωση τοίχων.



Εικόνα 2.7 -1:α) εξωτερική θερμομόνωση, β) θερμομόνωση πυρήνα¹²

2.8. Εξωτερική θερμομόνωση τοίχων

Το σύστημα εξωτερικής θερμομόνωσης εφαρμόζεται σε νέες ή παλαιές κατοικίες και συγκεκριμένα επενδύοντας εξωτερικά το κτίριο με θερμομονωτικό υλικό. Με τον τρόπο αυτό ελαχιστοποιούνται οι θερμικές απώλειες του κτιρίου από τους εξωτερικούς τοίχους αλλά και η εισροή θερμότητας το καλοκαίρι από το περιβάλλον προς το εσωτερικό του κτιρίου. Η χρήση της σε υφιστάμενα μη θερμομονωμένα κτίρια, πρέπει να γίνεται με προσοχή, λόγω δυσκολίας κατασκευής, υψηλού κόστους και αύξησης περιμέτρου του κτιρίου που μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα συντελεστή δόμησης.

Πλεονεκτήματα

- Δε δημιουργούνται θερμογέφυρες στα δοκάρια, στις κολώνες, στα σενάζια και στα δάπεδα, στα σημεία όπου ο τούβλινος τοίχος συναντά τα στοιχεία αυτά, έστω και αν είναι θερμομονωμένα. Παρέχει λοιπόν εξαιρετική θερμική άνεση στο εσωτερικό του κτιρίου.
- Προστατεύει τις επιφάνειες των τοίχων από υγρασίες, καθώς είναι στεγανά επιχρίσματα, και εκτός από την συντηρητική προστασία που προσφέρουν στο κτίριο, μειώνουν και τις ανάγκες θέρμανσης ή ψύξης του.
- Δε δημιουργούν επιφάνειες με θερμοχωρητικότητα στην εξωτερική πλευρά των τοίχων, που θα συσώρευαν θερμότητα και θα την επανακτινοβολούσαν στο περιβάλλον,

εντείνοντας το φαινόμενο των θερμικών νησίδων στην πόλη. Δηλαδή δε συμβάλουν στην αύξηση της θερμοκρασίας της πόλης, όπως κάνουν οι τοίχοι των συμβατικών κτιρίων. Αντιθέτως εκμεταλλεύονται τη θερμοχωρητικότητα των τοίχων μόνο για το εσωτερικό του κτιρίου, συμβάλλοντας στην οικονομία ενέργειας.

- Αυξάνουν, σε μία καινούργια κατοικία, το εμβαδόν των λειτουργικών χώρων κατά 6 περίπου τετραγωνικά μέτρα κάθε εκατό τετραγωνικά εμβαδού κατοικίας. Όσο δηλαδή μία αποθήκη. Αυτό συμβαίνει γιατί δε χρειάζεται διπλή τούβλινη δομή (διπλό τοίχο) αλλά μονή.
- Αυξάνει δραματικά το χρόνο ζωής του κτιρίου καθώς το προστατεύει από διάβρωση και παγοπληξίες. Το σύστημα αυτό σπάνια παρουσιάζει ρηγματώσεις
- Σε περίπτωση που εφαρμοστεί σε υφιστάμενα κτίρια, αφενός μεν δεν εμποδίζει τη λειτουργία του εσωτερικού χώρου κατά την κατασκευή και αφετέρου δεν μειώνει το ωφέλιμο εμβαδόν του.
- Ελαχιστοποίηση έως μηδενισμός των θερμογεφυρών.

Μειονεκτήματα

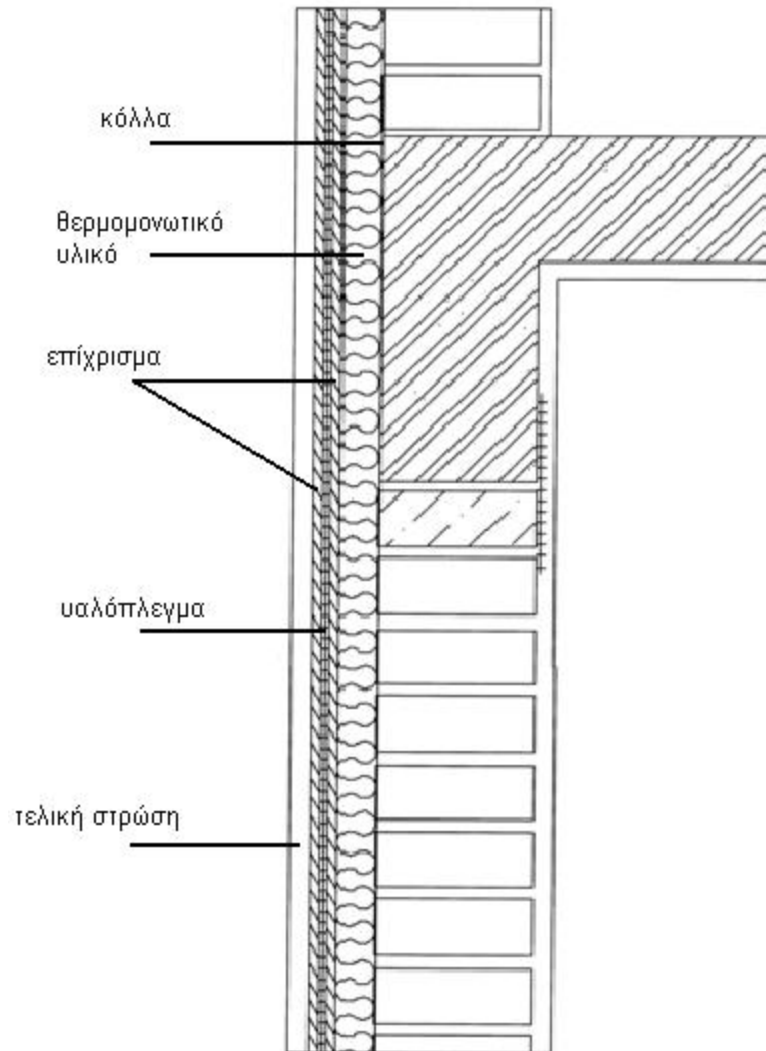
- Δυσκολία / Αδυναμία εφαρμογής σε κτίρια με έντονες εξωτερικές μορφολογικές όψεις.

Εφαρμογή

1. Αρχικά γίνεται προετοιμασία της υφιστάμενης επιφάνειας (Καθαρισμός - Επισκευή)
2. Στη συνέχεια τοποθετούνται οι μαρμαροποδιές των παραθύρων καθώς θα πρέπει να προεξέχουν της τελικής επιφάνειας του συστήματος.
3. Ορίζεται στη βάση του τοίχου, (συνήθως 50 εκατοστά ύψος από αυτή) είτε με ράμμα είτε με ειδικό μεταλλικό τεμάχιο, οριζόντιος οδηγός ο οποίος πρέπει να είναι απολύτως κάθετος προς τις κάθετες ακμές-γωνίες του κτιρίου.
4. Επικολλώνται οι θερμομονωτικές πλάκες από πολυστερίνη ή άλλο θερμομονωτικό υλικό τοποθετημένες έτσι ώστε το μεγαλύτερο μήκος τους να αναπτύσσεται οριζόντια (δηλαδή παράλληλα με το έδαφος) παίρνοντας ως βάση έναρξης τον οριζόντιο οδηγό. Οι πλάκες

αυτές είναι σημαντικό να διασταυρώνονται έτσι ώστε να συμπίπτουν οι κάθετες απολήξεις τους με τις κάθετες απολήξεις των θερμομονωτικών πλακών της από κάτω σειρά. Ό,τι ακριβώς δηλαδή προσέχουμε και όταν χτίζουμε τούβλα. Ειδικά στη βάση, κάτω από τον οδηγό η πυκνότητα του θερμομονωτικού υλικού αυξάνεται (ή ακόμη αλλάζει σε ορισμένες περιπτώσεις και το ίδιο το υλικό) ώστε να αποφευχθεί μελλοντικά εμφάνιση ανερχόμενης υγρασίας.

5. Ανάλογα με το ύψος της τοιχοποιίας αλλά και το αν αυτή είναι οπτοπλινθοδομή, από σκυρόδεμα ή από τσιμεντοσανίδα, οι θερμομονωτικές πλάκες πακτώνονται με ειδικά βύσματα ώστε να εξασφαλίζεται πρόσθετη μηχανική στερέωση.
6. Πληρώνονται τα κενά ανάμεσα στους αρμούς των θερμομονωτικών φύλλων ή στην επαφή που αυτά έχουν με στοιχεία που διακόπτουν τη συνέχεια της επιφάνειας και κατόπιν τρίβονται όλα τα σημεία που εξέχουν από τα θερμομονωτικά φύλλα έτσι ώστε να εξασφαλισθεί επίπεδη επιφάνεια χωρίς ανωμαλίες (καμπύλες ή ακμές)
7. Τοποθετούνται τα γωνιόκρανα και οι νεροσταλάκτες με το αρχικό υλικό επιχρίσματος ώστε να διαμορφωθεί το πλαίσιο μέσα στο οποίο θα εφαρμοσθεί το ειδικό επίχρισμα και ενισχύονται με ορθογώνια τεμάχια υαλοπλέγματος, η νοητή προέκταση των διαγωνίων των παραθύρων και των εξωτερικών θυρών.
8. Ακολουθεί διάστρωση με οδοντωτή σπάτουλα (υπό γωνία 45 μοιρών) ώστε να προσδιορίζεται το πάχος της στρώσης, μία πρώτη στρώση επιχρίσματος καλύπτοντας την πολυστερίνη (η οποία σημειωτέον πρέπει να έχει προηγουμένως καθαρισθεί από υπολείμματα λόγω του τριψίματος που προηγήθηκε). Η έναρξη διάστρωσης του επιχρίσματος γίνεται ξεκινώντας τώρα από την οροφή και καταλήγοντας προς τα κάτω.
9. Με νωπό και μαλακό ακόμα το επίχρισμα τοποθετούμε το υαλόπλεγμα βυθίζοντάς το μέσα στο επίχρισμα με την ίσια πλευρά της σπάτουλας, αποφεύγοντας να δημιουργήσουμε ζάρες ή φούσκες (σημεία δηλαδή όπου δε θα έχει καλυφθεί από το επίχρισμα).
10. Μετά τη σκλήρυνση του πρώτου στρώματος ακολουθεί η τελική στρώση οποία μπορεί να πάρει ειδική υφή ανάλογα με τη διάμετρο του χαλαζιακού του κόκκου αλλά και την τεχνολογία που θα επιλέξει ο αρχιτέκτονας ή ο ιδιοκτήτης του έργου.



Εικόνα 2.8-1: Εξωτερική θερμομόνωση τοίχου με μονωτικό υλικό¹³

Τα υλικά από το οποίο μπορούν να κατασκευαστούν οι μονωτικές πλάκες που χρησιμοποιούνται στην εξωτερική θερμομόνωση είναι:

- η εξηλαμένη πολυστερίνη
- η διογκωμένη πολυστερίνη
- ο πετροβάμβακας
- ο φελλός



Εικόνα 2.8-2: Φωτογραφία που λήφθηκε κατά τη διάρκεια εφαρμογής εξωτερικής θερμομόνωσης

3. ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ – ΠΡΟΒΛΗΜΑ

3.1. Χωροχρόνος

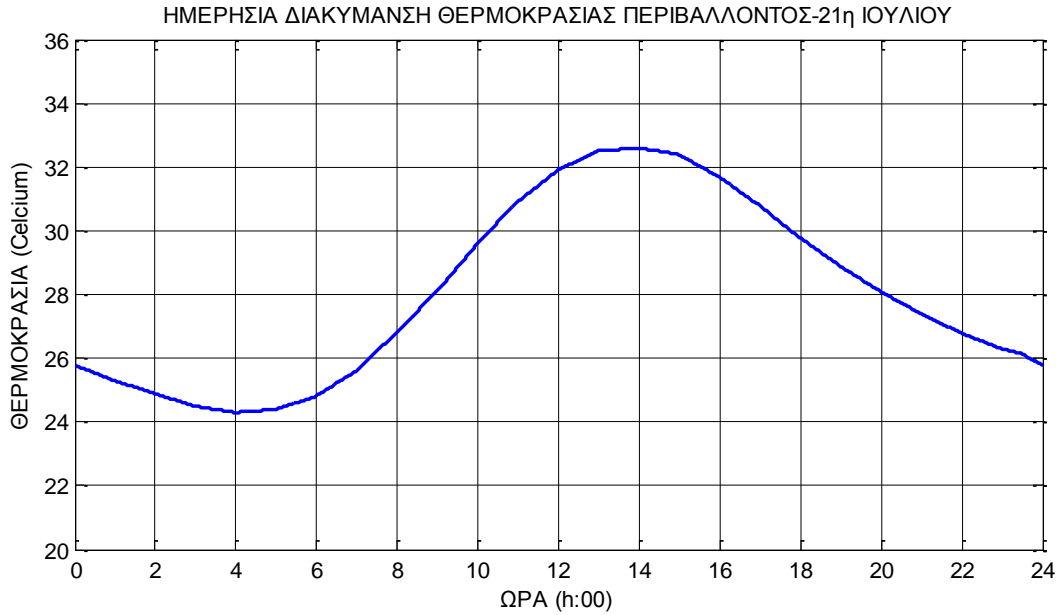
Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο να μελετήσει τη θερμική συμπεριφορά ενός κτιρίου κατά τη διάρκεια ολοκλήρου του έτους, στο οποίο υποθέτουμε ότι έχει εγκατασταθεί προστατευτική επίστρωση στους εξωτερικούς τοίχους (δηλαδή έχει εφαρμοστεί εξωτερική θερμομόνωση), και να συγκριθεί στη συνέχεια με την πραγματική του συμπεριφορά έχοντας μια τυπική εξωτερική τοιχοποιία χωρίς μόνωση.

Υποθέτουμε ότι το υπό εξέταση κτίριο βρίσκεται σε ένα προάστιο της Αθήνας και όχι στο πυκνοδομημένο κέντρο. Η υπόθεση αυτή γίνεται ώστε τόσο η διακύμανση, όσο γενικά και οι τιμές της θερμοκρασίας του αέρα περιβάλλοντος να είναι φυσικές για να μπορέσουμε έτσι να χρησιμοποιήσουμε τις μέσες τιμές της θερμοκρασίας αυτής, όπως δίνονται από την ASHRAE.

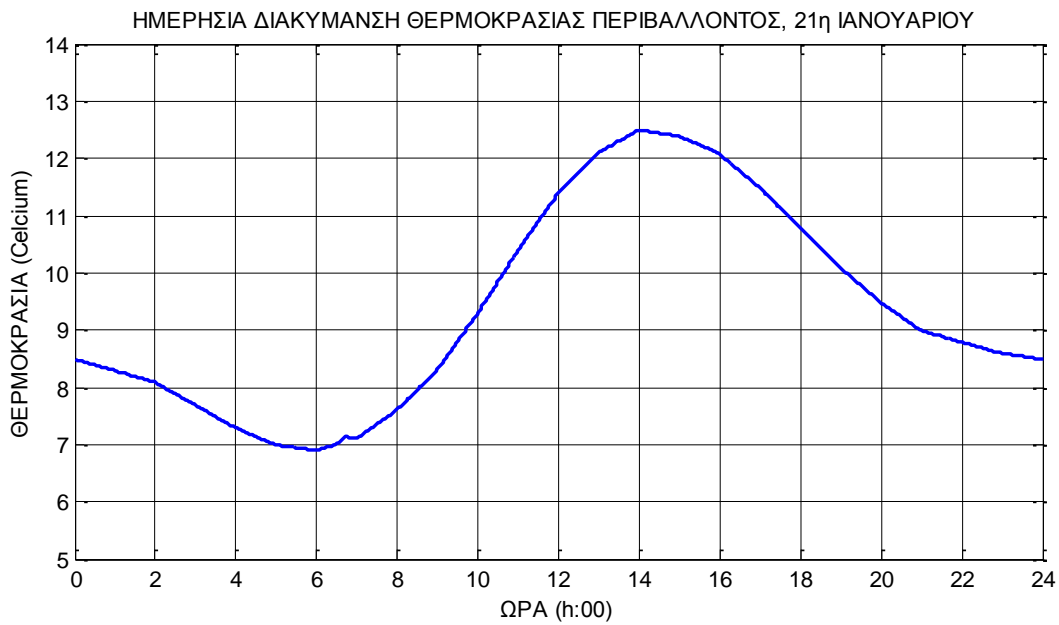
Όσο αφορά το χρονικό υπόβαθρο των υπολογισμών, αυτό τοποθετείται στην 21^η του Ιούλη και στην 21^η του Γενάρη. Η επιλογή αυτή στηρίχτηκε αφενός στο γεγονός ότι ο Ιούλιος και Ιανουάριος αποτελούν αντίστοιχα το θερμότερο και ψυχρότερο μήνα του χρόνου και αφετέρου στο ότι όπως αναφέρθηκε κάποια κλιματολογικά – καιρικά δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν έχουν αντληθεί από την ASHRAE, η οποία δίνει τα στοιχεία αυτά την 21^η κάθε μήνα.

Με βάση τα όσα έχουν αναφερθεί, παρουσιάζονται πιο κάτω διαγράμματα της ημερήσιας διακύμανσης της θερμοκρασίας του αέρα περιβάλλοντος και της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας για την 21^η Ιουλίου και 21^η Ιανουαρίου αντίστοιχα.

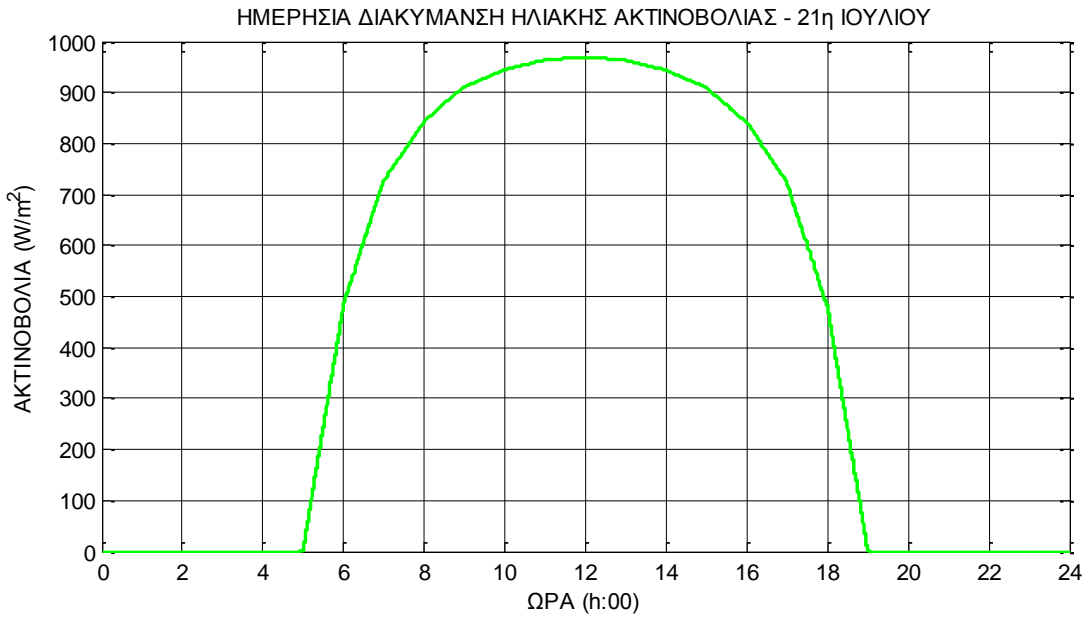
Σημειώνεται ότι η ASHRAE παρουσιάζει τιμές ανά ώρα. Για το σχεδιασμό των πιο κάτω γραφημάτων, αλλά και στους υπολογισμούς που θα γίνουν στη συνέχεια, όπου υπάρχει η απαίτηση για πολύ μικρότερο χρονικό βήμα από την μια ώρα, οι ενδιάμεσες τιμές υπολογίστηκαν κάνοντας γραμμική παρεμβολή.



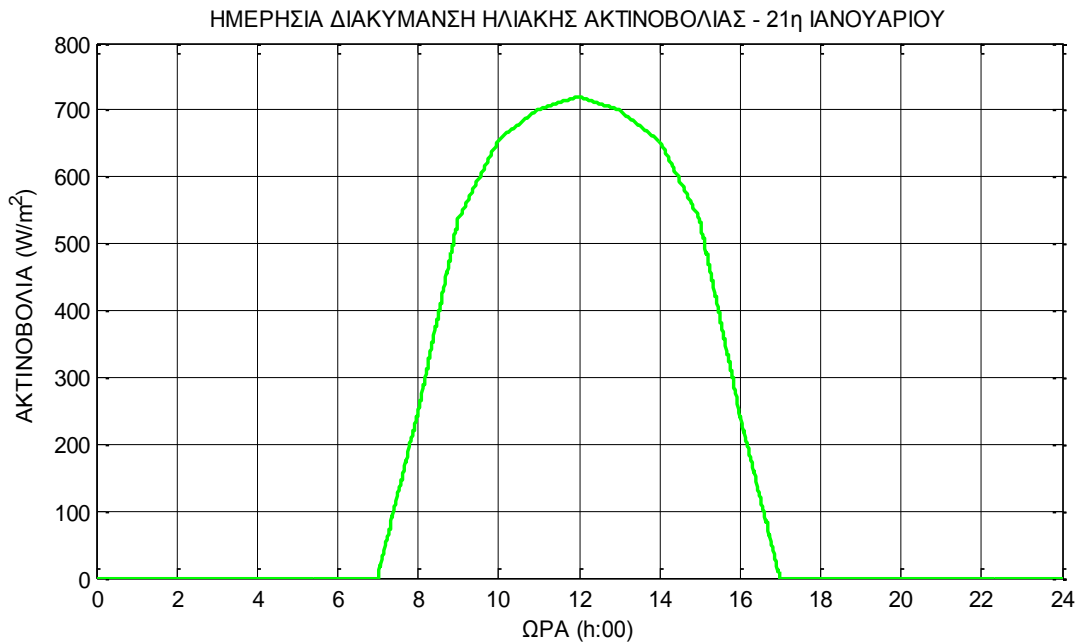
Εικόνα 3.1-1α: Μέση τιμή ημερήσιας διακύμανσης θερμοκρασίας περιβάλλοντος για την 21^η Ιουλίου¹⁴



Εικόνα 3.1-1β: Μέση τιμή ημερήσιας διακύμανσης θερμοκρασίας περιβάλλοντος για την 21^η Ιανουαρίου¹⁴



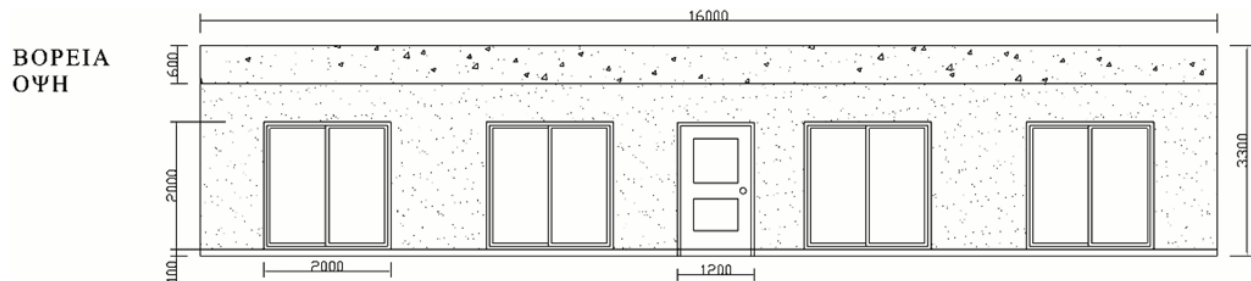
Εικόνα 3.1-2α: Μέση τιμή ημερήσιας διακύμανσης ηλιακής ακτινοβολίας την 21^η Ιουλίου¹⁵



Εικόνα 3.1-2α: Μέση τιμή ημερήσιας διακύμανσης ηλιακής ακτινοβολίας την 21^η Ιανουαρίου¹⁵

3.2. Κτίριο

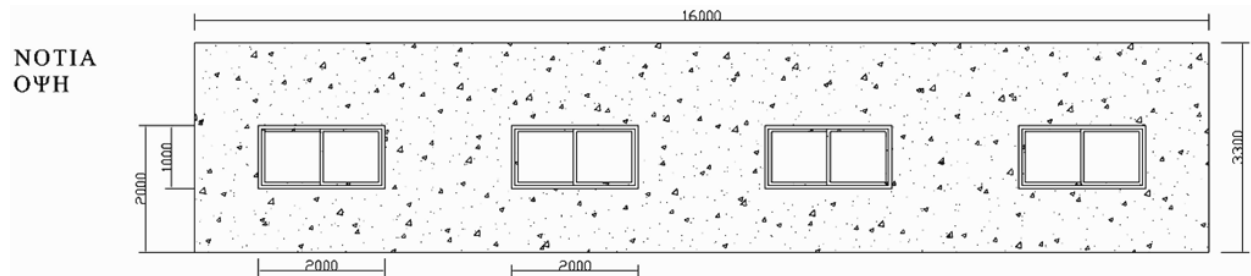
Το κτίριο που εξετάζεται αποτελεί μια τυπική μονόροφη κατοικία της δεκαετίας του 1980. Συγκεκριμένα, πρόκειται για ένα κτίριο διαστάσεων 16m πλάτος x 13m μήκος x 3.3m ύψος. Η οροφή είναι επίπεδη τaráτσα (πλάκα) και οι τέσσερις πλαϊνοί τοίχοι είναι αυτόνομοι (δεν είναι κοινοί με γειτονικά κτίρια), συναλλάσσοντας έτσι θερμότητα απευθείας με το περιβάλλον. Πιο κάτω παρουσιάζονται οι όψεις του κτιρίου:



Συνολική επιφάνεια βόρειας όψης: 52,8 m²

Επιφάνεια τοίχων: 34,4 m²

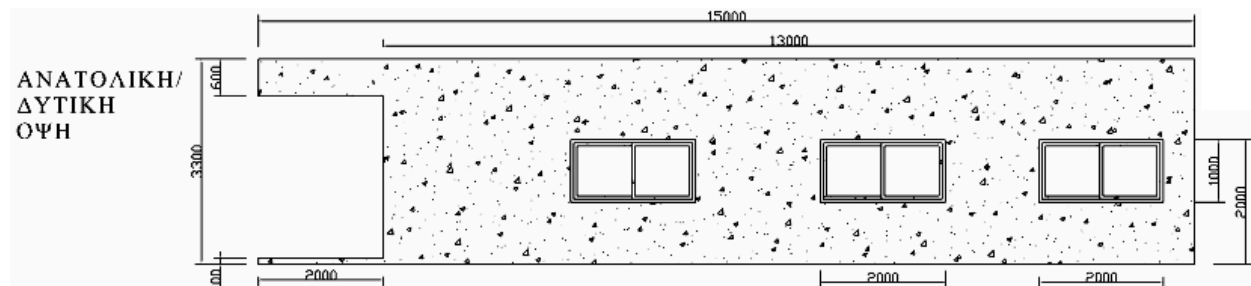
Επιφάνεια ανοιγμάτων (παράθυρα): 16 m²



Συνολική επιφάνεια νότιας όψης: 52,8 m²

Επιφάνεια τοίχων: 44,8 m²

Επιφάνεια ανοιγμάτων (παράθυρα): 8 m²



Συνολική επιφάνεια πλευράς: 42,9 m²

Επιφάνεια τοίχων: 36,9 m²

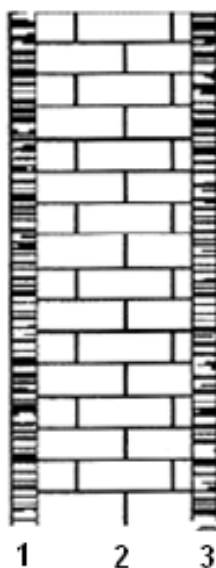
Επιφάνεια ανοιγμάτων (παραθύρων): 6 m²

Εικόνα 3.2-1: Όψεις κτιρίου

3.3. Δομική – Θερμική Ανάλυση Κτιρίου

Α. Εξωτερική τοιχοποιία

Εξωτερικός τοίχος από συνηθισμένο τρυπητό τούβλο (30x20x10cm) πάχους 20 cm, σοβατισμένος εσωτερικά και εξωτερικά με σοβά πάχους 2,5 cm.

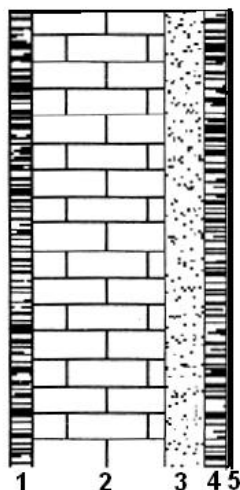


Εικόνα 3.3-1: Τομή εξωτερικού τοίχου¹³

Πίνακας 3.3-1: Στρώματα και τιμές υλικών εξωτερικών τοίχων

A/A	ΥΛΙΚΟ	L (m)	k (W/m*K)	c (J/Kg*K)	ρ (Kg/m ³)
1	Εσωτερικό επίχρισμα	0,025	0.87	1000	1800
2	Τούβλο	0,2	0,4	840	1000
3	Εξωτερικό επίχρισμα	0,025	0.87	1000	1800

Στην περίπτωση της εφαρμογής της εξωτερικής θερμομόνωσης αφαιρείται ο εξωτερικός σοβάς και τοποθετείτε το θερμομονωτικό υλικό όπως περιγράψαμε στην παράγραφο 2.8

Εικόνα 3.3-2: Τομή εξωτερικού τοίχου με εξωτερική θερμομόνωση¹³

Πίνακας 3.3-2: Στρώματα και τιμές υλικών μονωμένων εξωτερικών τοίχων

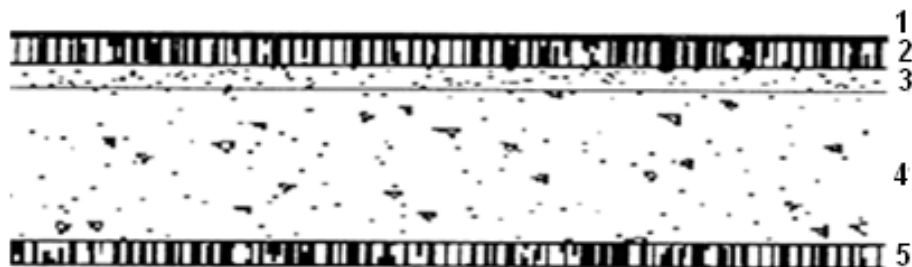
A/A	ΥΛΙΚΟ	L (m)	k (W/m*K)	c (J/Kg*K)	ρ (Kg/m ³)
1	Εσωτερικό επίχρισμα	0,025	0.87	1000	1800
2	Τούβλο	0,2	0.4	840	1000
3	Θερμομονωτικό υλικό	0.03	0.029	1000	50
4	Εξωτερικό επίχρισμα	0.025	0.87	1000	1800
5	Τελικό διακοσμητικό επίχρισμα	0.002	0.22	1000	600

Β. Εσωτερική τοιχοποιία

Ομοίως με την εξωτερική με τη διαφορά ότι τα τούβλα είναι δομημένα με την πλευρά πάχους 10 cm

Γ. Οροφή

Οριζόντια πλάκα πάχους 15 cm, με θερμομόνωση και υγραμόνωση



Εικόνα 3.3-3: Τομή οροφής¹³

Πίνακας 3.3-3: Στρώματα και τιμές υλικών οροφής

A/A	ΥΛΙΚΟ	L (m)	k (W/m*K)	c (J/Kg*K)	ρ (Kg/m ³)
1	Ασφαλτόπανο	0,005	0,19	1800	1100
2	Screed Ρύσεων	0,05	1,35	840	1200
3	Θερμομονωτικό υλικό	0,05	0,029	1000	50
4	Οπλισμένο Σκυρόδεμα	0,15	2,03	880	2300
5	Εσωτερικό επίχρισμα	0,025	0,87	1000	1800

4. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ

Ζητούμενο είναι ο υπολογισμός της ροής θερμότητας από και προς το κτίριο, μέσω του κελύφους του κτιρίου κατά τη διάρκεια της θερινής και της χειμερινής περιόδου, για τις δύο περιπτώσεις, του απλού δηλαδή εξωτερικού τοίχου χωρίς θερμομόνωση και του τοίχου με το προστατευτικό περίβλημα-εξωτερική θερμομόνωση. Για το σκοπό αυτό γίνεται μαθηματική επίλυση του προβλήματος με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών. Το πρόβλημα είναι μεταβατικό, με μεταβαλλόμενες οριακές συνθήκες, ενώ για την απλοποίηση του κάνοθμε την παραδοχή ότι έχοθμε μονοδιάστατη ροή θερμότητας μέσω του κελύφους. Πρόκειται λοιπόν για ένα παραβολικό πεδίο ροής και η εξίσωση που το περιγράφει είναι η εξής:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) \quad (4 - 1)$$

όπου:

ρ Πυκνότητα (kg/m³)

c Θερμοχωρητικότητα (J/kgK)

k Θερμική Αγωγιμότητα (W/mK)

$\frac{\partial T}{\partial t}$ Μεταβολή της θερμοκρασίας (K) σε χρονικό βήμα (sec)

$\frac{\partial T}{\partial x}$ Μεταβολή της θερμοκρασίας (K)σε χώρικό βήμα (m)

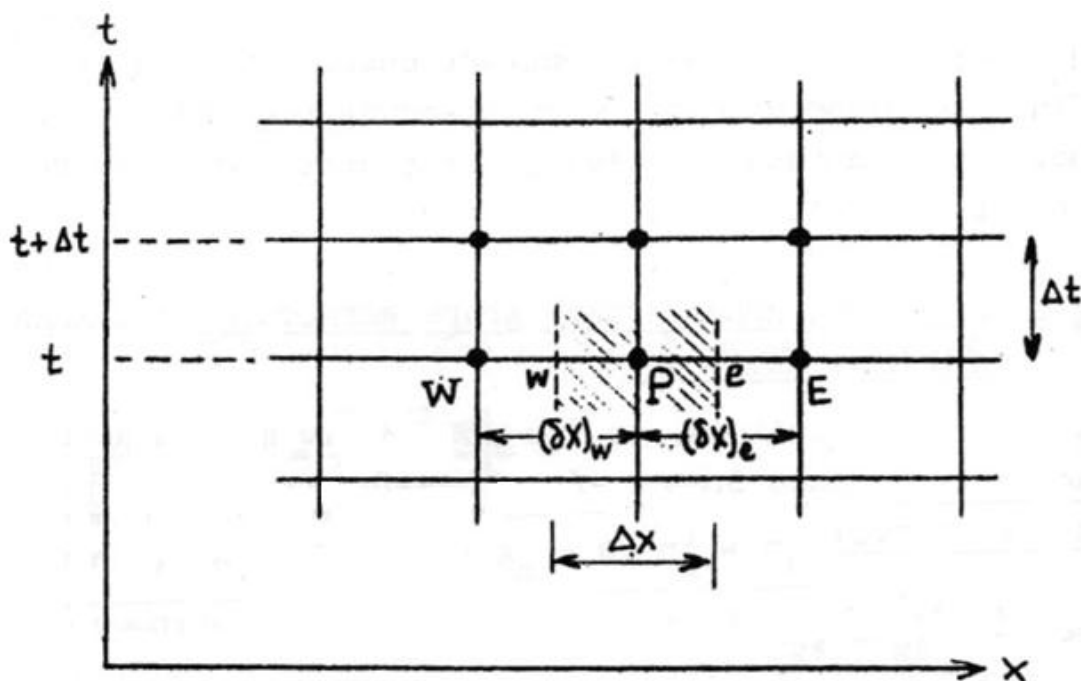
4.1. Διακριτοποίηση Προβλήματος

Για την επίλυση της Δ.Ε. με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών, θα πρέπει πρώτα να γίνει να γίνει διακριτοποίηση του χώρου στο κατάλληλο αριθμητικό πλέγμα. Επομένως, το ολικό πάχος των εξωτερικών –πλαϊνών- τοίχων, η οριζόντια απόσταση δηλαδή της εξωτερικής επιφάνειας με την εσωτερική θα πρέπει να χωριστεί σε ένα αριθμό κόμβων N. Όσο πυκνότερο είναι το πλέγμα (μικρότερη απόσταση των γειτονικών κόμβων – περισσότεροι κόμβοι) τόσο μεγαλύτερη ακρίβεια επιτυγχάνεται, προσεγγίζοντας έτσι την ακριβή, αναλυτική λύση της Δ.Ε. Η απόσταση μεταξύ δύο γειτονικών κόμβων δx ($\delta x = x_{i+1} - x_i$) μπορεί να είναι σταθερή

(ομοιόμορφο πλέγμα), είτε να μειώνεται σε περιοχές με μεγάλη μεταβολή τοπικής θερμοκρασίας, ώστε να εξοικονομείται χώρος στη μνήμη του Η/Υ και χρόνος. Ωστόσο, η απλοποίηση του προβλήματος μέσω της μονοδιάστατης του επίλυσης από τη μια, και οι υψηλές δυνατότητες των Η/Υ από την άλλη μας δίνουν τη δυνατότητα να καθορίσουμε ένα ιδιαίτερα πυκνό ομοιόμορφο πλέγμα, όπου και στις δυο περιπτώσεις έχουμε $\delta x \approx 1\text{mm}$

Πίνακας 4.1-1: Πληροφορίες διακριτοποίησης εξωτερικών τοίχων

	Τοίχος χωρίς μόνωση	Τοίχος με μόνωση
Πάχος κατασκευής L (m)	0.250	0.282
Αριθμός κόμβων N	250	275
Απόσταση γειτονικών κόμβων δx (m)	0.001	0.00103



Σχήμα 4.1-1: Υπολογιστικό πλέγμα συντεταγμένων x-t για την επίλυση της μεταβατικής μονοδιάστατης εξίσωσης διάχυσης¹⁶

4.2. Γενικευμένη εξίσωση πεπερασμένων διαφορών

Το πρόβλημα έγκειται στον υπολογισμό των τιμών της θερμοκρασίας επί των κόμβων i του υπολογιστικού πλέγματος κατά τη χρονική στιγμή $t+\Delta t$, με γνωστές τις τιμές κατά την προηγούμενη χρονική στιγμή t . Για το σκοπό αυτό ορίζουμε όγκους αναφοράς οι οποίοι περικλείουν τον κάθε κόμβο i .

Στο σχήμα 4.1-1 ο γραμμοσκιασμένος όγκος αναφοράς w_e , μήκους Δx , περιβάλλει τον κόμβο P με τις δύο πλευρές του w και e να διχοτομούν τις αποστάσεις WP και PE αντίστοιχα, οι οποίες είναι ίσες. Κάνοντας την παραδοχή ότι η πυκνότητα ρ και η ειδική θερμοχωρητικότητα c του υλικού του επιπέδου στο οποίο βρίσκεται ο υπό εξέταση κόμβος είναι σταθερά, ολοκληρώνουμε την Δ.Ε. (4-1) στο συγκεκριμένο όγκο αναφοράς στο χρονικό βήμα από t μέχρι $t+\Delta t$:

$$\rho c \int_t^{t+\Delta t} \int_w^e \frac{\partial T}{\partial t} dx dt = \int_t^{t+\Delta t} \int_w^e \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) dx dt \quad (4.2 - 1)$$

Λόγω του αρκετά πυκνού υπολογιστικού πλέγματος, γίνεται η παραδοχή ότι η θερμοκρασία του κόμβου T_P είναι σταθερή σε ολόκληρο τον όγκο αναφοράς. Επομένως, το πρώτο μέλος της εξίσωσης (4.2-1) γράφεται:

$$\rho c \int_t^{t+\Delta t} \int_w^e \frac{\partial T}{\partial t} dx dt = \rho c \Delta x (T_P^1 - T_P^0) \quad (4.2 - 2)$$

όπου T_P^1 και T_P^0 η θερμοκρασία στον κόμβο P τη χρονική στιγμή $t+\Delta t$ και t αντίστοιχα.

Λύνοντας το δεύτερο μέλος:

$$\int_t^{t+\Delta t} \int_w^e \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) dx dt = \int_t^{t+\Delta t} \left[\left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right)_e - \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right)_w \right] dt \quad (4.2 - 3)$$

Υποθέτοντας ότι η μεταβολή της θερμοκρασίας μεταξύ δύο διαδοχικών κόμβων είναι γραμμική η πιο πάνω εξίσωση μετατρέπεται σε:

$$\int_t^{t+\Delta t} \int_w^e \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) dx dt = \int_t^{t+\Delta t} \left[\left(k_e \frac{(T_E - T_P)}{(\delta x)_e} \right) - \left(k_w \frac{(T_P - T_W)}{(\delta x)_w} \right) \right] dt \quad (4.2 - 4)$$

και λόγω των σχέσεων (4.2-2) και (4.2-4) η εξίσωση (4.2-1) γράφεται:

$$\rho c \Delta x (T_P^1 - T_P^0) = \int_t^{t+\Delta t} \left[\left(k_e \frac{(T_E - T_P)}{(\delta x)_e} \right) - \left(k_w \frac{(T_P - T_W)}{(\delta x)_w} \right) \right] dt \quad (4.2 - 5)$$

για τον υπολογισμό του πιο πάνω χρονικού ολοκληρώματος απαιτείται να γίνει μια υπόθεση σχετικά με τον τρόπο μεταβολής της θερμοκρασίας T_P με το χρόνο για το χρονικό διάστημα από t μέχρι $t+\Delta t$. Μπορούν να γίνουν τρεις υποθέσεις οι οποίες εκφράζονται από τη σχέση:

$$\int_t^{t+\Delta t} T_P dt = [f T_P^1 + (1 - f) T_P^0] \Delta t \quad (4.2 - 6)$$

Και είναι οι παρακάτω:

1. T_P σταθερά και ίση με την τιμή T_P^0 κατά τη χρονική στιγμή t (άμεση διατύπωση $f=0$)
2. T_P σταθερά και ίση με την τιμή T_P^1 κατά τη χρονική στιγμή $t+\Delta t$ (έμμεση διατύπωση $f=1$)
3. T_P μεταβάλλεται γραμμικά με το χρόνο (διατύπωση Crank-Nikolson, $f=0.5$)

Υποθέτοντας ότι η T_P μεταβάλλεται γραμμικά με το χρόνο, ισχύει:

$$\int_t^{t+\Delta t} T_P dt = [0.5 T_P^1 + 0.5 T_P^0] \Delta t \quad (4.2 - 7)$$

Χρησιμοποιώντας για τις θερμοκρασίες T_W και T_E όμοιες σχέσεις με τη εξίσωση (4.2-7) η εξίσωση (4.2-5) μετατρέπεται:

$$\rho c \frac{\Delta x}{\Delta t} (T_P^1 - T_P^0) = 0.5 \left[\left(k_e \frac{(T_E^1 - T_P^1)}{(\delta x)_e} \right) - \left(k_w \frac{(T_P^1 - T_W^1)}{(\delta x)_w} \right) \right] + 0.5 \left[\left(k_e \frac{(T_E^0 - T_P^0)}{(\delta x)_e} \right) - \left(k_w \frac{(T_P^0 - T_W^0)}{(\delta x)_w} \right) \right] \quad (4.2 - 8)$$

Παραλείποντας, για απλότητα, τους δείκτες 1 (θερμοκρασία κόμβου τη χρονική στιγμή $t+\Delta t$) και εκτελώντας τις πράξεις, η πιο πάνω εξίσωση διατυπώνεται ως ακολούθως (τυπική μορφή εξίσωσης πεπερασμένων διαφορών).

$$A_P T_P = 0.5 A_E (T_E - T_E^0) + 0.5 A_W (T_W + T_W^0) + (A_P^0 - 0.5 A_E - 0.5 A_W) T_P^0 \quad (4.2 - 9)$$

Από την παραπάνω εξίσωση παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία κατά τη χρονική στιγμή $t+\Delta t$ σε ένα τυχαίο κόμβο T_i εκφράζεται συναρτήσει των άγνωστων θερμοκρασιών των γειτονικών κόμβων T_{i-1} και T_{i+1} . Πρόκειται επομένως για ένα σύστημα τριδιαγώνιας μορφής (TDMA), του οποίου η διαδικασία επίλυσης θα αναλυθεί σε επόμενη παραγραφο.

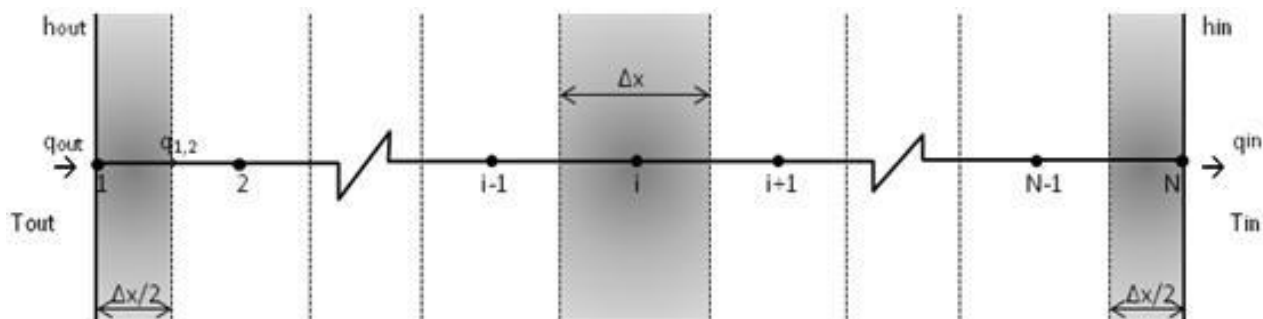
4.3. Οριακές συνθήκες

Για κάθε εσωτερικό κόμβο γραφουμε μια εξίσωση πεπερασμένων διαφορών, έτσι καταστρώνουμε ένα σύστημα $N-2$ εξισώσεων του οποίου η επίλυση δεν είναι δυνατή διότι πλην των αγνώστων τιμών της θερμοκρασίας των εσωτερικών κόμβων T_i ($i=2 \dots N-2$), περιέχονται στις εξισώσεις και οι δύο άγνωστες θερμοκρασίες στους οριακούς κόμβους T_1 και T_N . Χρειαζονται επομένως άλλες δύο εξισώσεις για την συμπλήρωση του συστήματος, οι οποίες παρέχονται από τις οριακές συνθήκες του προβλήματος.

Στο πρόβλημα που εξετάζεται, είναι γνωστές οι τιμές των συντελεστών συναγωγής h_{in} μεταξύ εσωτερικής επιφάνειας κατασκευής (εσωτερικό επίχρισμα) και εσωτερικού αέρα, και h_{out} μεταξύ της εξωτερικής επιφάνειας του τοίχου και του εξωτερικού αέρα. Όσον αφορά τις αντίστοιχες θερμοκρασίες T_{in} και T_{out} (θερμοκρασίες διερχόμενου ρευστού), αυτές είναι υπολογίσιμες. Επομένως, οι οριακές συνθήκες στο πρόβλημά μας είναι οι θερμοροές στα δύο όρια:

$$\dot{q}_{in} = h_{in}(T_{in} - T_N) \quad (4.3 - 1\alpha)$$

$$\dot{q}_{out} = h_{out}(T_{out} - T_1) \quad (4.3 - 1\beta)$$



Σχήμα 4.3-1: Εσωτερικός και οριακός όγκοι αναφοράς

Με βάση τα παραπάνω, η εξίσωση πεπερασμένων διαφορών στο εξωτερικό όριο του πλέγματος (κόμβος 1) διατυπώνεται:

$$\begin{aligned} \rho c \frac{\Delta x}{2} (T_1^1 - T_1^0) = 0.5 \left[\left(k_e \frac{(T_2^1 - T_1^1)}{(\delta x)_e} \right) - (h_{out}(T_1^1 - T_{out}^1)) \right] \\ + 0.5 \left[\left(k_e \frac{(T_2^0 - T_1^0)}{(\delta x)_e} \right) - (h_{out}(T_1^0 - T_{out}^0)) \right] \end{aligned} \quad (4.3 - 2)$$

$$A_1 T_1 = \frac{A_2}{2} (T_2 - T_2^0) + \frac{h_{out}}{2} (T_{out} + T_{out}^0) + T_1^0 \left(A_1^0 - \frac{A_2}{2} - \frac{h_{out}}{2} \right) \quad (4.3 - 3)$$

Όπου:

$$A_2 = \frac{k_e}{(\delta x)_e}$$

$$A_1^0 = \frac{\rho c \Delta x}{2 \Delta t}$$

$$A_1 = A_P^0 + \frac{A_2}{2} + \frac{h_{out}}{2}$$

Αντίστοιχα οι εξισώσεις (4.3-2) και (4.3-3) ισχύουν και για το εσωτερικό όριο (κόμβος N) με τις ακόλουθες αντικαταστάσεις:

$$A_1, A_1^0, T_1 \rightarrow A_N, A_N^0, T_N$$

$$A_2, T_2 \rightarrow A_{N-1}, T_{N-1}$$

$$T_{out}, h_{out} \rightarrow T_{in}, h_{in}$$

Για την επίλυση του προβλήματος, οι οριακές συνθήκες που πρέπει να καθοριστούν είναι οι θερμοκρασίες εξωτερικού T_{out} και εσωτερικού T_{in} αέρα, καθώς και οι αντίστοιχοι συντελεστές συναγωγής h_{out} και h_{in} .

4.3.1α Εξωτερικές οριακές συνθήκες

Ο καθορισμός των εξωτερικών οριακών συνθηκών είναι αρκετά εύκολος καθώς η θερμοκρασία του αέρα περιβάλλοντος που συνάγει θερμότητα με την επιφάνεια του κτιρίου όπως και η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι τα μεγέθη περιβάλλοντος που δίνονται σε πίνακες από την ASHRAE για την Αθήνα. Τα μεγέθη αυτά θα χρησιμοποιηθούν κατά τον ενεργειακό ισολογισμό στον εξωτερικό, οριακό κόμβο της διαστρωμάτωσης της κατασκευής.

4.3.1β Μετάδοση θερμότητας στην επιφάνεια των εξωτερικών τοίχων

Οι εξωτερικές οριακές συνθήκες τόσο στην περίπτωση του απλού τοίχου όσο και στην περίπτωση των θερμομονωμένων τοίχων είναι οι ίδιες. Η εξωτερική επιφάνεια των τοίχων συναλάσσει θερμότητα με τον αέρα περιβάλλοντος θερμοκρασίας T_0 , ενώ υπόκειται και στην ηλιακή ακτινοβολία I_t . Η θερμοκρασία του αέρα περιβάλλοντος είναι σταθερή και για τους τέσσερις τοίχους και η διακύμανση της φαίνεται στα διαγράμματα 3.1-1α και 3.1-1β για το καλοκαίρι και το χειμώνα αντίστοιχα. Η ολική ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε κάθε τοίχο διαφέρει ανάλογα με τον προσανατολισμό του.

Η ταχύτητα της θερμικής ροής από και προς την εξωτερική επιφάνεια των τοίχων υπολογίζεται:

$$\dot{q}_{0-w} = \Phi_{rad,sol-w} + \Phi_{rad,TIR-w} + \Phi_{conv,o-w} \quad \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (4.3.1 - 1)$$

Αναλυτικά:

- (i) $\Phi_{rad,sol-r}$ – Απορροφόμενη ηλιακή ακτινοβολία (W/m^2)

Η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει προφανώς στο σύνολό της στην επιφάνεια των τοίχων (δείκτης w). Μεγάλο ποσοστό της όμως ανακλάται. Χρησιμοποιούμε την πιο κάτω εξίσωση:

$$\Phi_{\text{rad,sol-w}} = (1 - \rho_w)I_t \quad (4.3.1 - 2)$$

Όπου: $I_t \rightarrow$ η ολική ηλιακή ακτινοβολία

$\rho_r=0.58 \rightarrow$ ο λόγος ανάκλασης (προσδιορίζεται βάσει του λόγου απορρόφησης για ανοιχτόχρωμη επιφάνεια οροφής που δίνει η ASHRAE, που είναι ίσος με $a=0.42$. Κάνουμε δηλαδή την παραδοχή ότι η προσπίπτουσα ακτινοβολία είτε απορροφάται είτε ανακλάται από την επιφάνεια $a=1-\rho_r$)

(ii) $\Phi_{\text{rad,TIR-w}}$ – θερμική ακτινοβολία από τους εξωτερικούς τοίχους (W/m^2)

Η θερμική ακτινοβολία υπεισέρχεται στους υπολογισμούς υπό τη μορφή ενός διορθωτικού συντελεστή για μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία $\epsilon\Delta R$ ($\text{W/m}^2\text{K}$), όπου

$$\Phi_{\text{rad,TIR-r}} = \epsilon\Delta R = 0 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (4.3.1 - 3)$$

Για κατακόρυφες επιφάνεις (τοίχους) ο διορθωτικός συντελεστής ισούτε με μηδέν

(iii) $\Phi_{\text{conv,o-r}}$ – Συναγωγή θερμότητας αέρα περιβάλλοντος – εξωτερικής επιφάνεια τοίχου (W/m^2)

Χρησιμοποιούμε την πιο κάτω εξίσωση:

$$\Phi_{\text{conv,o-w}} = h_{\text{ex-wall}}(T_0 - T_r) \quad (4.3.1 - 4)$$

Όπου: $h_{\text{ex-wall}} = 16.3 \text{ W/m}^2\text{K} \rightarrow$ Συντελεστής συναγωγιμότητας αέρα περιβάλλοντος - εξωτερικής επιφάνειας τοίχου

Συνυπολογίζοντας τις παραμέτρους που διαμορφώνουν την εισερχόμενη θερμοροή η ASHRAE έχει διατυπώσει την ισοδύναμη θερμοκρασία ήλιου-αέρος T_e :

$$T_{e,\text{orien}} = T_0 + \frac{a}{h_{\text{ex,wall}}} I_{t,\text{orien}} - \frac{\epsilon\Delta R}{h_{\text{ex,wall}}} \quad [\text{K}] \quad (4.3.1 - 5)$$

Όπου:

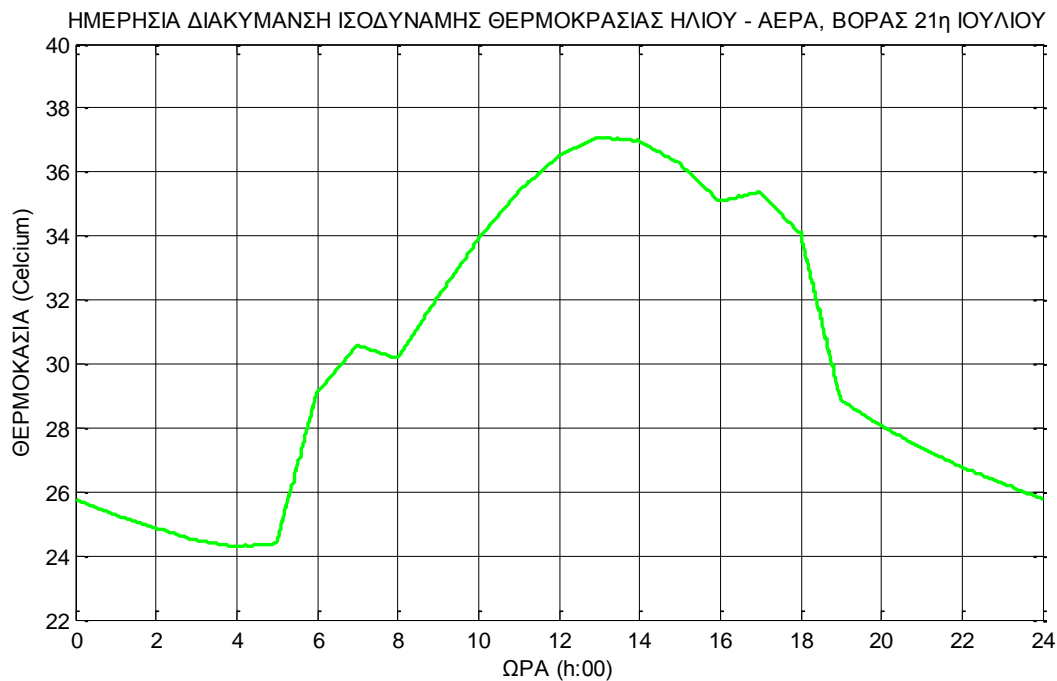
$T_{e,orien}$ - Ισοδύναμη θερμοκρασία ήλιου-αέρος σε κάθε προσανατολισμό (όπου orien → east ή west ή south ή north)

$h_{ex,wall}=16.3\text{W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ - Συντελεστής συναγωγιμότητας αέρα περιβάλλοντος – εξωτερικής επιφάνειας τοίχου.

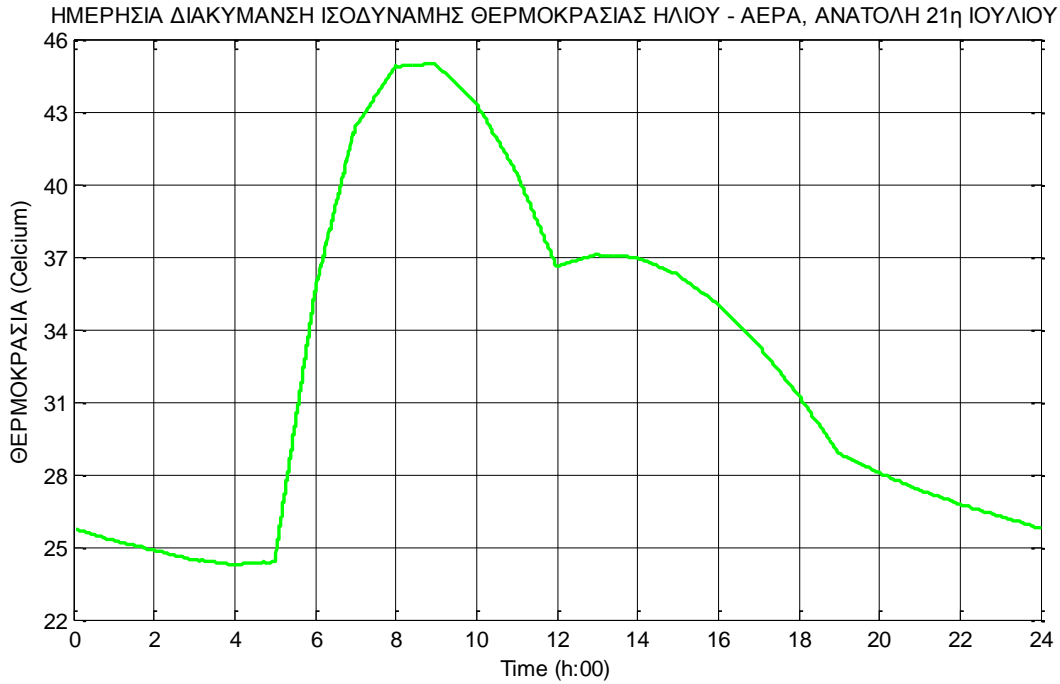
$I_{t,orien}$ - Ολική ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε κάθε τοίχο (W/m^2)

Έτσι η εξωτερική επιφάνεια κάθε τοίχου, ανάλογα με τον προσανατολισμό του, συνάγει θερμότητα με την αντίστοιχη ισοδύναμη θερμοκρασία ήλιου-αέρος και έχουμε:

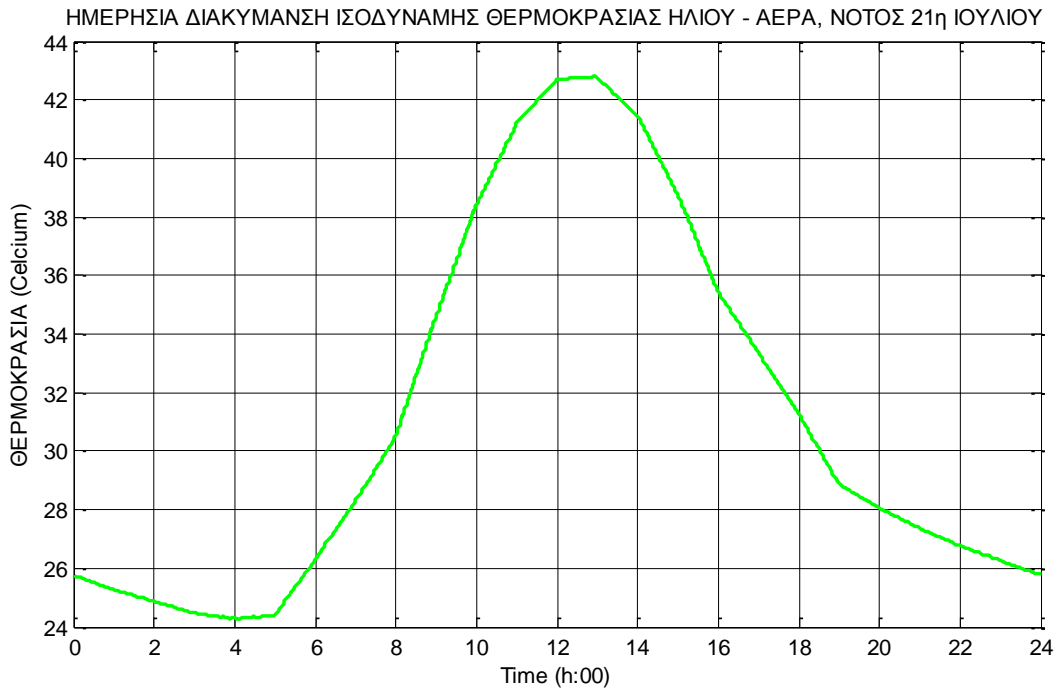
$$\dot{q}_{ex,orien} = h_{ex,wall}(T_{e,orien} - T_{ex,orienwall}) \quad (4.3.1 - 6)$$



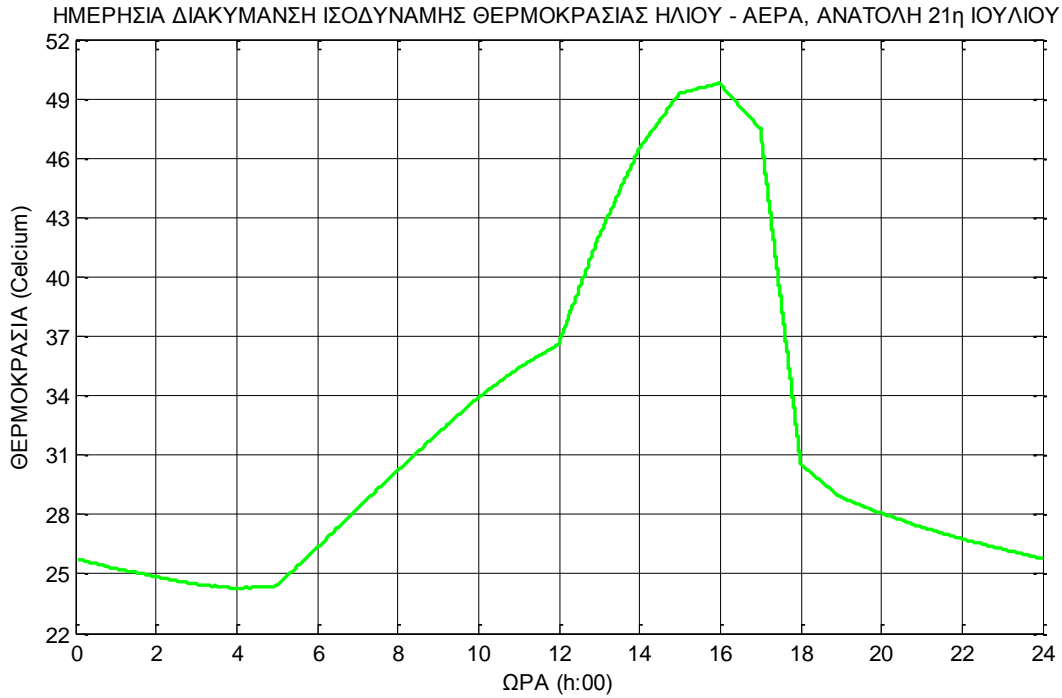
Εικόνα 4.3.1-1: Διάγραμμα διακύμανσης της ισοδύναμης θερμοκρασίας ήλιου αέρος για βόρεια προσανατολισμένο ανοιχτόχρωμο τοίχο¹⁵



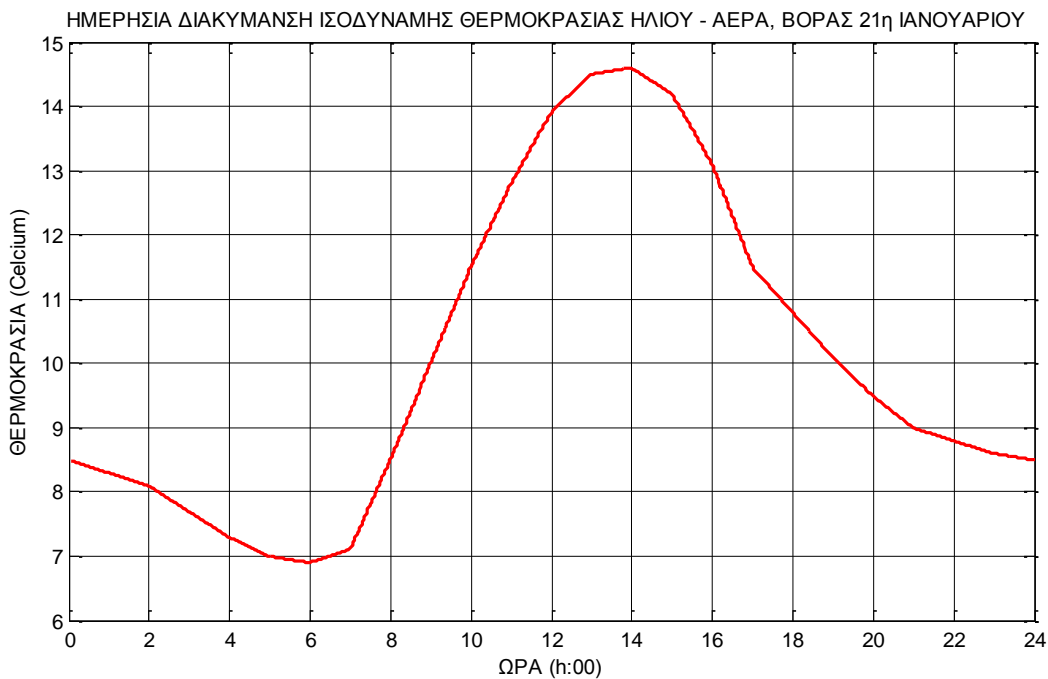
Εικόνα 4.3.1-2: Διάγραμμα διακύμανσης της ισοδύναμης θερμοκρασίας ήλιου αέρος για ανατολικά προσανατολισμένο ανοιχτόχρωμο τοίχο¹⁵



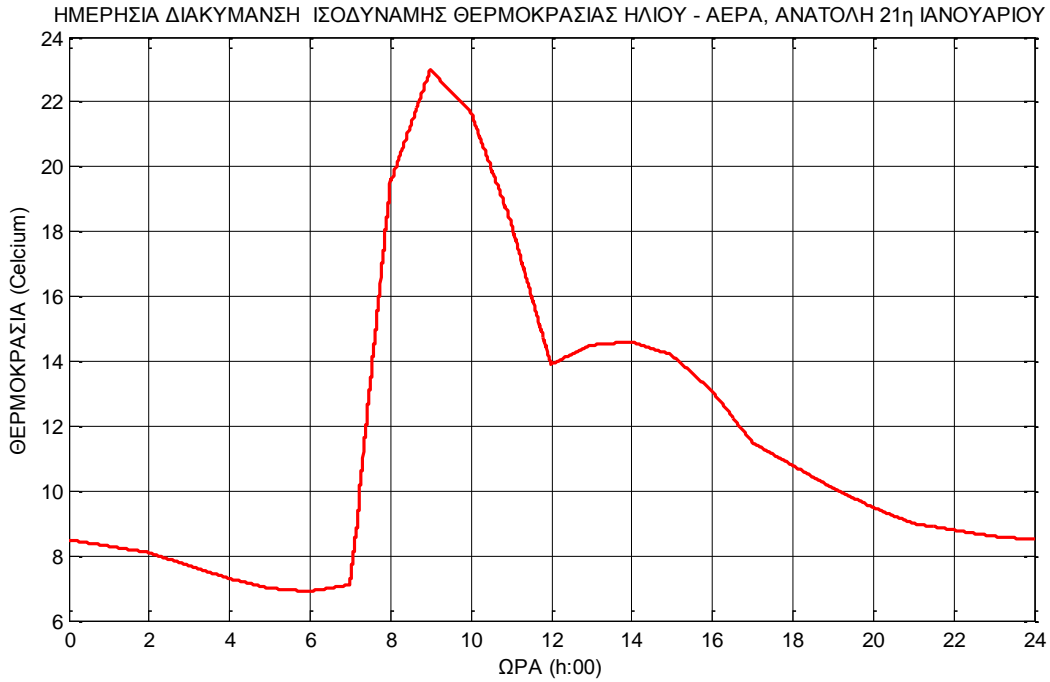
Εικόνα 4.3.1-3: Διάγραμμα διακύμανσης της ισοδύναμης θερμοκρασίας ήλιου αέρος για νότια προσανατολισμένο ανοιχτόχρωμο τοίχο¹⁵



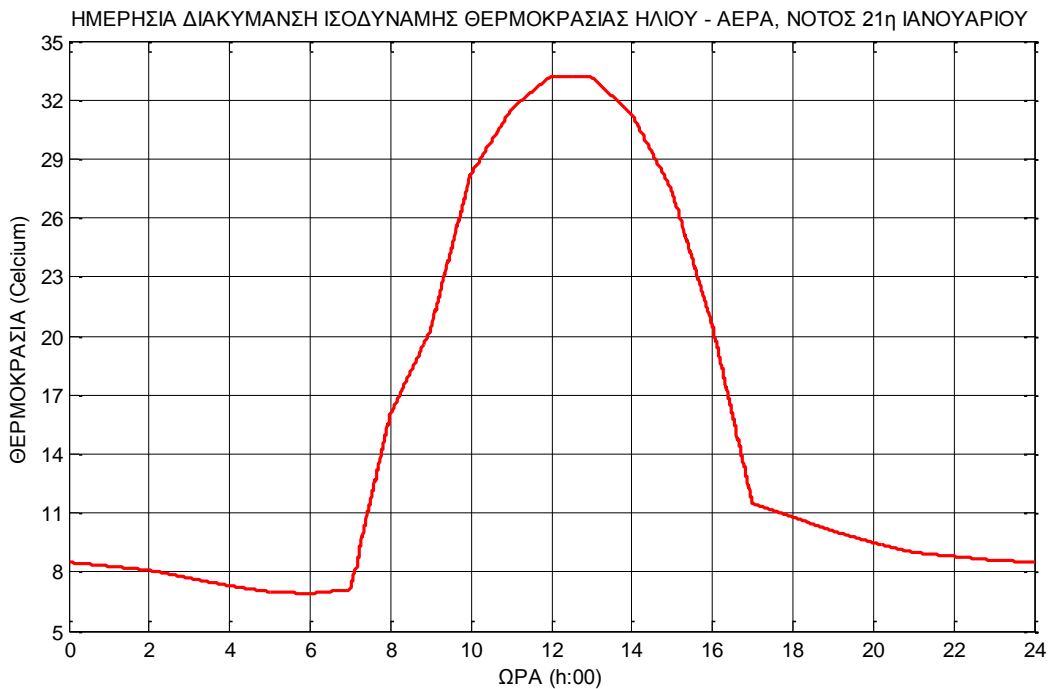
Εικόνα 4.3.1-4: Διάγραμμα διακύμανσης της ισοδύναμης θερμοκρασίας ήλιου αέρος για δυτικά προσανατολισμένο ανοιχτόχρωμο τοίχο¹⁵



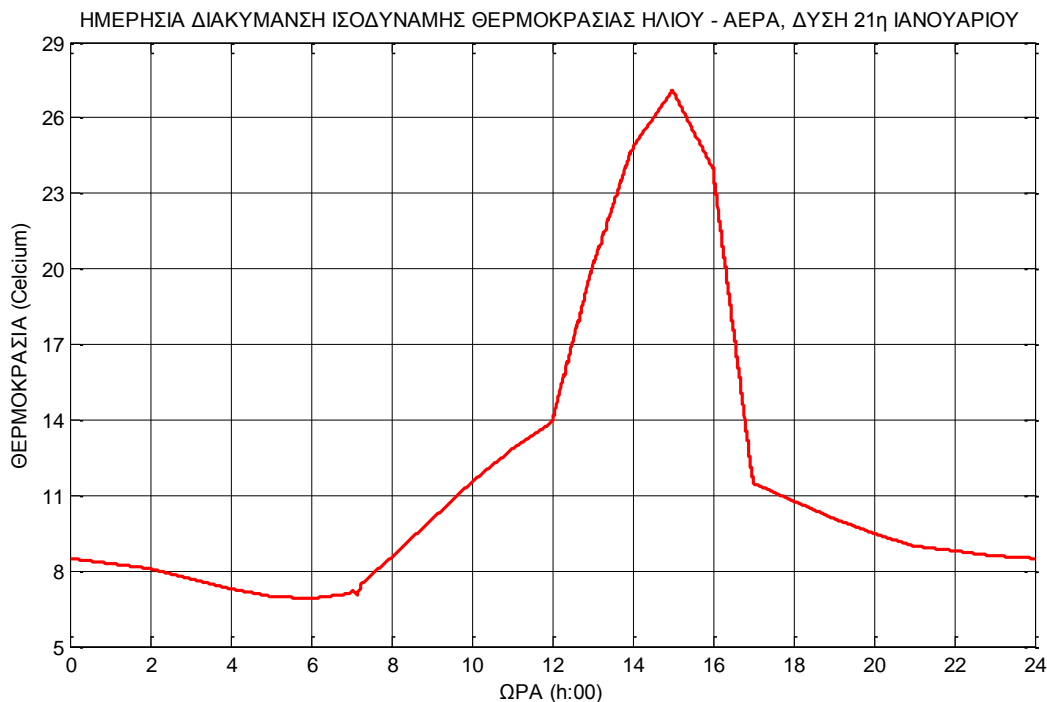
Εικόνα 4.3.1-5: Διάγραμμα διακύμανσης της ισοδύναμης θερμοκρασίας ήλιου αέρος για βόρεια προσανατολισμένο ανοιχτόχρωμο τοίχο¹⁵



Εικόνα 4.3.1-6: Διάγραμμα διακύμανσης της ισοδύναμης θερμοκρασίας ήλιου αέρος για ανατολικά προσανατολισμένο ανοιχτόχρωμο τοίχο¹⁵



Εικόνα 4.3.1-7: Διάγραμμα διακύμανσης της ισοδύναμης θερμοκρασίας ήλιου αέρος για νότια προσανατολισμένο ανοιχτόχρωμο τοίχο¹⁵



Εικόνα 4.3.1-8: Διάγραμμα διακύμανσης της ισοδύναμης θερμοκρασίας ήλιου αέρος για δυτικά προσανατολισμένο ανοιχτόχρωμο τοίχο¹⁵

Αντικαθιστώντας την ισοδύναμη θερμοκρασία $T_{e,orien}$ στην εξίσωση (4.3-3) όπου T_{out} , οι εξισώσεις πεπερασμένων διαφορών για το εξωτερικό όριο του πλέγματος είναι έτοιμες.

4.3.2α Εσωτερικές οριακές συνθήκες

Το ζητούμενο εδώ είναι ο υπολογισμός της θερμοκρασίας του αέρα εντός του κτιρίου T_{in} σε κάθε χρονική στιγμή του 24ώρου, με τον οποίο συναλλάσσει θερμότητα δια συναγωγής η εσωτερική επιφάνεια των εξωτερικών τοίχων. Για το σκοπό αυτό θα πρέπει να υπολογιστούν τα διάφορα θερμικά φορτία από τους παράγοντες που διαμορφώνουν τη θερμοκρασία του χώρου.

Ένας ακριβής υπολογισμός θα πρέπει να περιλαμβάνει τη μελέτη όλων εκείνων των παραμέτρων που επενεργούν λίγο ή πολύ στη διαμόρφωση της εσωτερικής θερμοκρασίας. Έτσι πέρα από τις θερμοροές μέσω των τοίχων, της οροφής και των υαλοπινάκων, θα πρέπει να υπολογιστούν και όλα τα θερμικά κέρδη από τις μαγειρικές συσκευές, το φωτισμό, τα άτομα που βρίσκονται εντός του χώρου κτλ. Μια τέτοια ανάλυση όμως, θα ήταν ιδιαίτερα πολύπλοκη λόγω του ότι δεν μπορούμε να καθορίσουμε την χρήση του κτιρίου. Έτσι κάνοντας την παραδοχή ότι τα φορτία αυτά υπό φυσιολογικές συνθήκες δεν προκαλούν θεαματικές μεταβολές στη

θερμοκρασία του χώρου, στη παρούσα μελέτη αμελούνται. Έτσι η εξέταση της θερμικής συμπεριφοράς του κτιρίου επικεντρώνεται στα θερμικά κέρδη των τεσσάρων πλαϊνών τοίχων, της οροφής, των υαλοπινάκων, της διείσδυσης του αέρα μέσω των ανοιγμάτων και της εσωτερικής τοιχοποιίας.

Ανεξάρτητα επομένως από το εάν οι εξωτερικοί τοίχοι είναι απλή ή με μόνωση ισχύει:

A. ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΠΟ ΟΡΟΦΗ

Η εξωτερική επιφάνεια της οροφής συναλλάσσει θερμότητα με τον αέρα περιβάλλοντος θερμοκρασίας T_0 και υπόκειται και στην ηλιακή ακτινοβολία I_t . Η θερμοκρασία του αέρα που συνάγει θερμότητα με την επιφάνεια της οροφής και η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία είναι τα αντίστοιχα μεγέθη στα γραφήματα (3.1-1) και (3.1-2). Στους υπολογισμούς όμως της εισερχόμενης θερμοροής από τη οροφή πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι ένα μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας ανακλάται καθώς επίσης και κάποιους άλλους συντελεστές.

Μπορούμε και σε αυτή την περίπτωση να χρησιμοποιήσουμε την αντίστοιχη ισοδύναμη θερμοκρασία ήλιου αέρα, κατά τα πρότυπα της ASHRAE στην οποία συνυπολογίζονται όλες οι παραμέτροι που διαμορφώνουν την εισερχόμενη θερμοροή:

$$T_e = T_0 + \frac{a}{h_{\text{roof}}} I_t - \frac{\varepsilon \Delta R}{h_{\text{roof}}} \quad [\text{K}] \quad (4.3.2 - 1)$$

Όπου

T_e → Ισοδύναμη θερμοκρασία ήλιου αέρα

$h_{\text{roof}} = 16,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ → Συντελεστής συναγωγής αέρα περιβάλλοντος – οροφής

$a = 0,42$ → Ηλιακή απορροφητικότητα οροφής

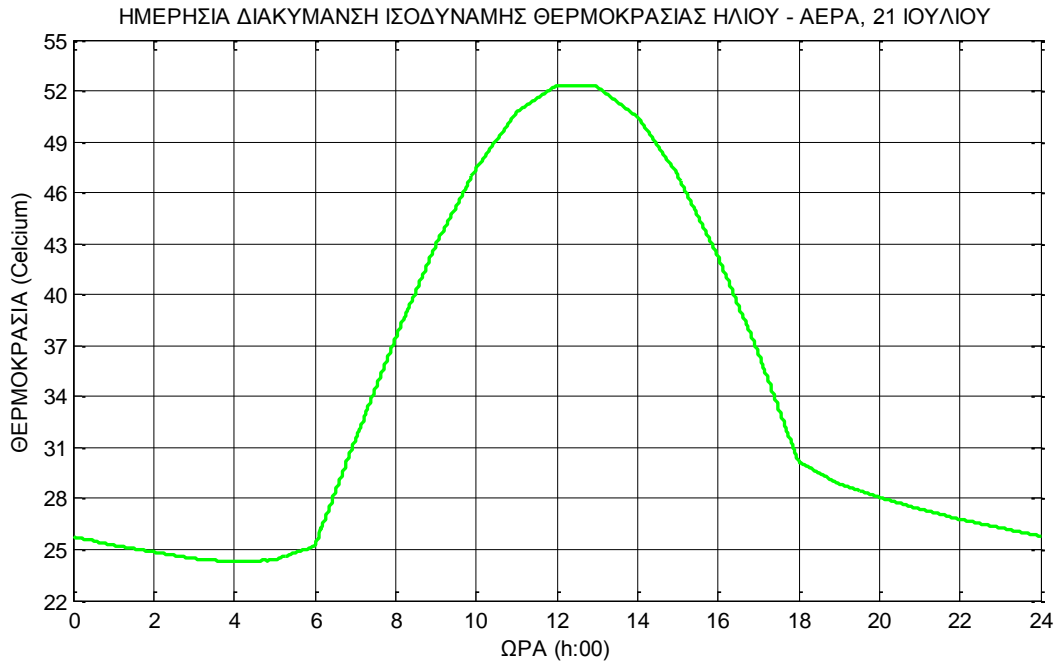
I_t → Ολική ακτινοβολία που προσπίπτει στην οροφή

$\varepsilon \Delta R = 63 \text{ W/m}^2$ → Διορθωτικός συντελεστής για ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος για οριζόντιες επιφάνειες

Έτσι η εξωτερική επιφάνεια της οροφής συνάγει θερμότητα με την αντίστοιχη ισοδύναμη θερμοκρασία ήλιου-αέρος και έχουμε:

$$\dot{q}_{0-r} = h_{\text{roof}}(T_e - T_r) \quad (4.3.2 - 2)$$

Με βάση την εξίσωση (4.3.1-7):



Εικόνα 4.3.2-1: Διάγραμμα ημερήσιας διακύμανσης ισοδύναμης θερμοκρασίας ήλιου-αέρα οριζοντίας επιφάνειας την 21 Ιουλίου¹⁵



Σχήμα 4.3.2-2: Διάγραμμα ημερησίας διακύμανσης ισοδύναμης θερμοκρασίας ήλιου-αέρα οριζόντιας επιφάνειας την 21 Ιανουαρίου¹⁵

Για τον υπολογισμό της θερμοροής μέσω της οροφής, θα εφαρμοσθεί και εδώ η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών για μεταβατική μονοδιάστατη αγωγή θερμότητας. Έτσι δουλεύοντας κατ' αντίστοιχο τρόπο με την περίπτωση των εξωτερικών τοίχων θα χρησιμοποιηθούν οι σχέσεις (4.2-9) και (4.3-3) όπου:

Πίνακας 4.3.2-1: Πληροφορίες διακριτοποίησης οροφής

	ΟΡΟΦΗ
T_{out}	T_e
$h_{in} (W/m^2K)$	$h_{in,r} = 7,7$
$h_{out} (W/m^2K)$	$h_{out,r} = 16,3$
Πάχος κατασκευής L (m)	0,28
Αρ. Κόμβων N	250
Απόσταση γειτονικών κόμβων δx (m)	0,00112

Αφού επιλυθεί το πιο πάνω σύστημα πεπερασμένων διαφορών και υπολογιστεί η θερμοκρασία στον εξωτερικό κόμβο του υπολογιστικού πλέγματος, βρίσκουμε τη θερμοροή μέσω της οροφής από και προς τον εσωτερικό χώρο:

$$\dot{q}_{r-in} = h_{in}(T_N - T_{in}) \quad [W/m^2] \quad (4.3.2 - 3)$$

Αντίστοιχα το θερμικό φορτίο:

$$Q_{roof} = \dot{q}_{r-in} A_{roof} \quad [W] \quad (4.3.2 - 4)$$

Με το εμβαδό της επιφάνειας της οροφής να ισούται:

$$A_{roof} = Le W \quad [m^2] \quad (4.3.2 - 5)$$

Όπου: $L_e \rightarrow$ μήκος κτιρίου

$W \rightarrow$ πλάτος κτιρίου

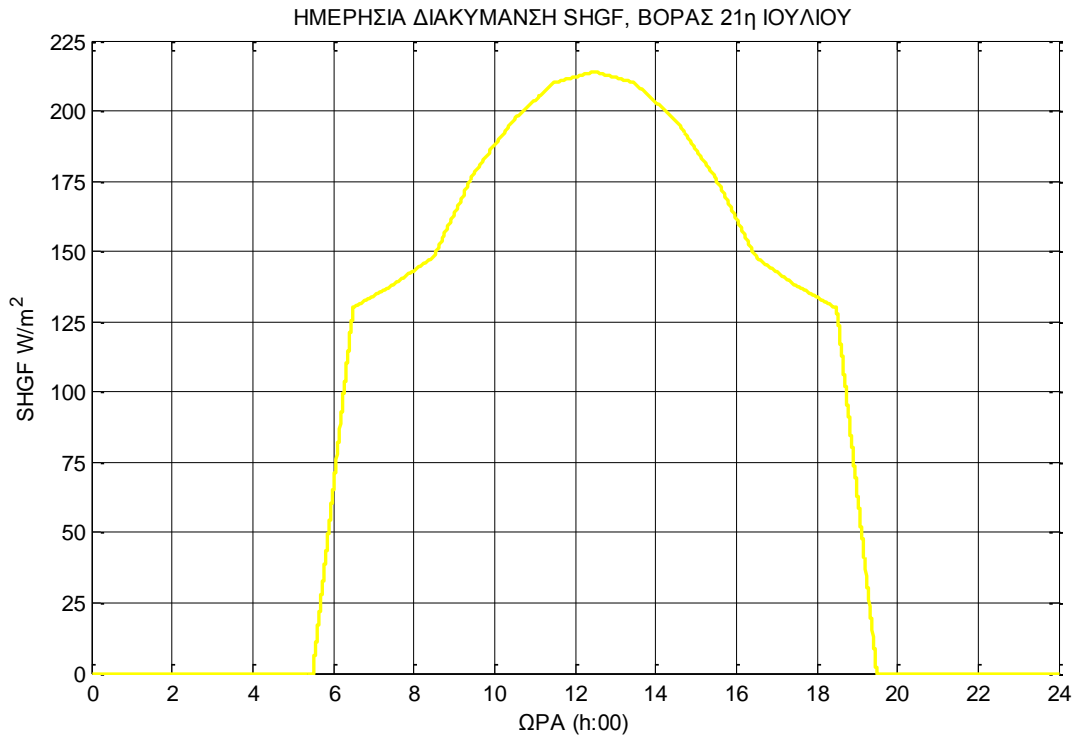
B. ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΠΟ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΕΣ

Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε ένα υαλοπίνακα διασκορπίζεται, με ένα μέρος της να ανακλάται πίσω στο εξωτερικό περιβάλλον, ένα άλλο μέρος να απορροφάται από τον υαλοπίνακα και το υπόλοιπο να διέρχεται από τον υαλοπίνακα κατευθείαν στον εσωτερικό χώρο.

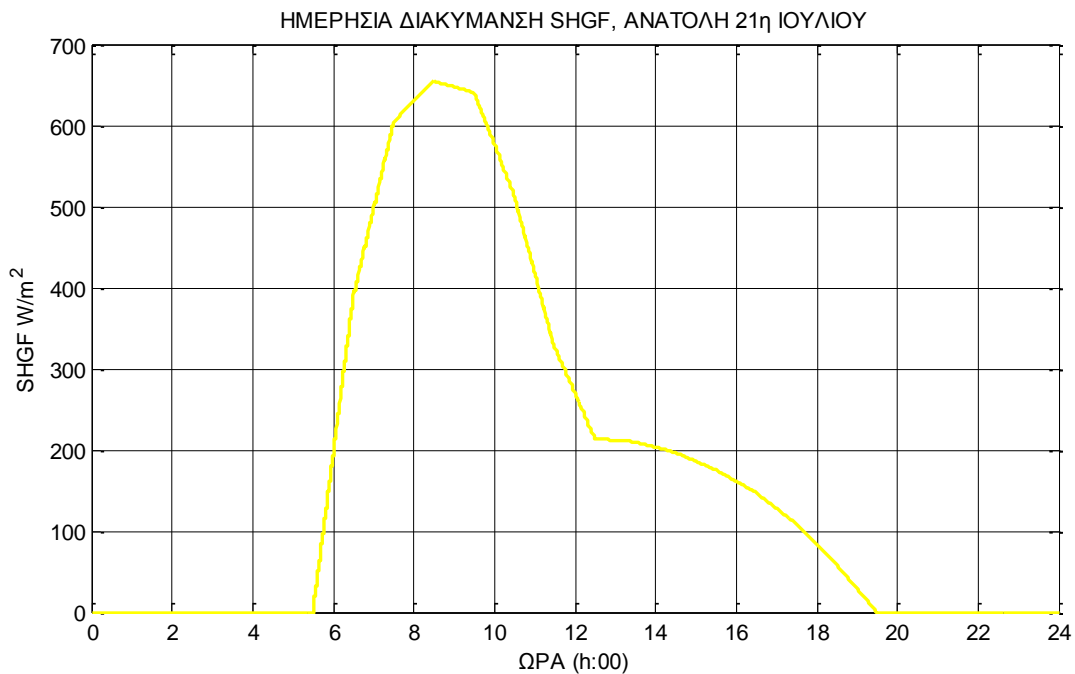
Το συνολικό θερμικό κέρδος χώρου μέσω ενός υαλοπίνακα ισούτε με το άθροισμα της διερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας διά του υαλοπίνακος, της ροής της απορροφούμενης από τον υαλοπίνακα ηλιακής ακτινοβολίας προς το εσωτερικό και της θερμοροής λόγω διαφοράς εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας.

Για τον υπολογισμό του ηλιακού θερμικού κέρδους από τους υαλοπίνακες χρησιμοποιούμε το Συντελεστή Ηλιακού Θερμικού Κέρδους SHGF (Solar Heat Gain Factor) σε W/m^2 , μέγεθος που αντιπροσωπεύει το κέρδος από υαλοπίνακα αναφοράς DSA(οπτική διαπερατότητα 86%, ανακλαστικότητα 8% και απορροφητικότητα καθέτου πρόσπτωσης 6%). Η ASHRAE έχει δημοσιεύσει πίνακες τυποποιημένων τιμών του SHGF ανά ώρα για κάθε 8° του βόρειου γεωγραφικού πλάτους από 0° μέχρι 64° , για την 21^η μέρα κάθε μήνα και για 16 διαφορετικούς προσανατολισμούς.

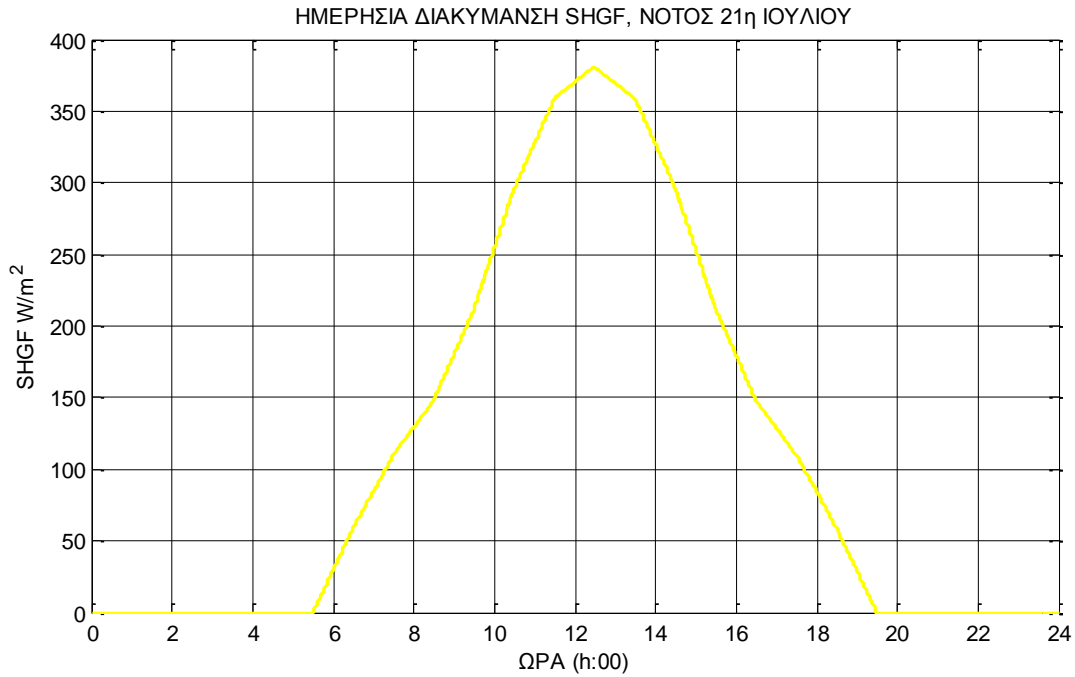
Η 24ωρη διακύμανση του SHGF κατά την 21^η Ιουλίου και την 21^η Ιανουαρίου στην αθήνα για τους τέσσερις προσανατολισμούς του κτιρίου, απεικονίζονται στα πιο κάτω διαγράμματα:



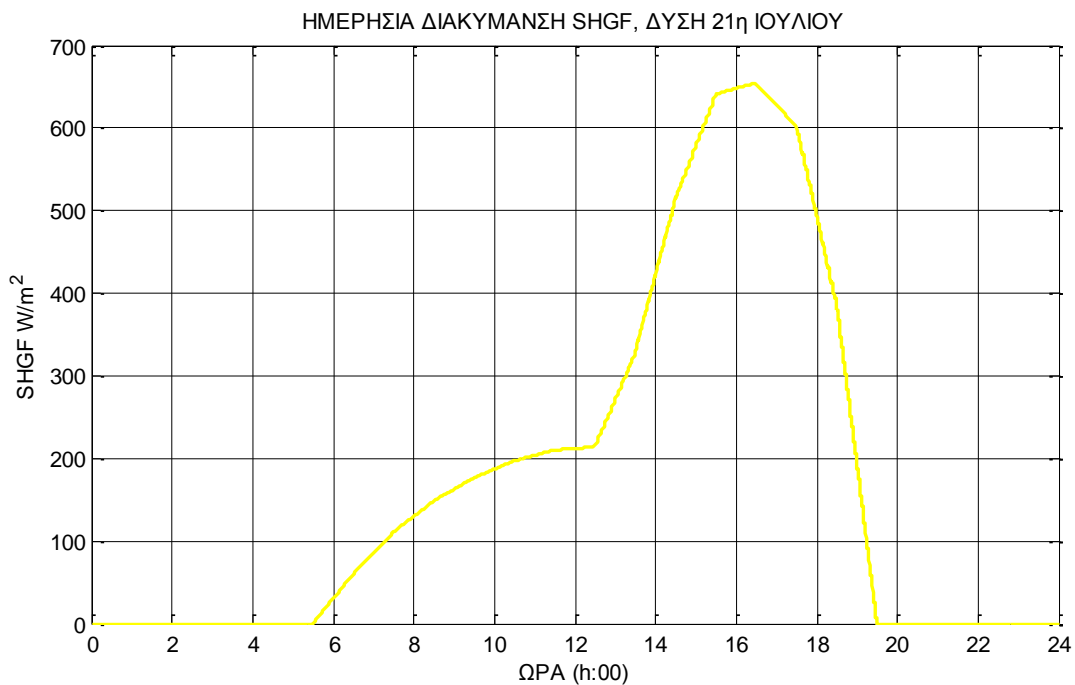
Εικόνα 4.3.2-3: Διάγραμμα διακύμανσης SHGF για βόρεια προσανατολισμένο υαλοπίνακα την 21^η Ιουλίου¹⁵



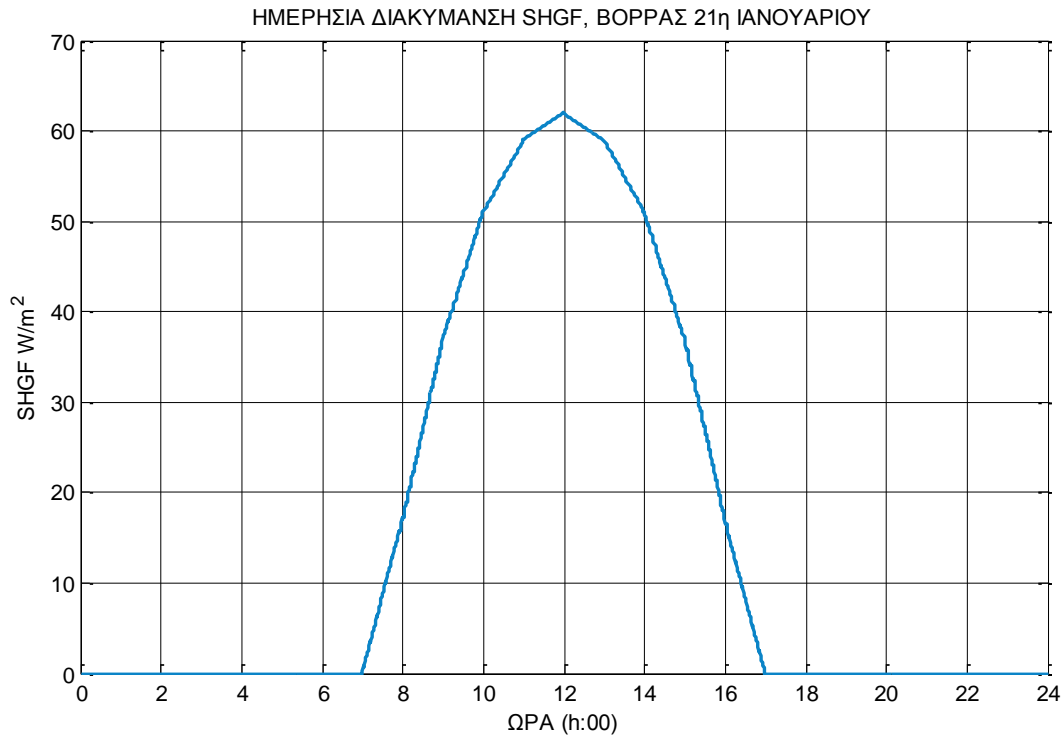
Εικόνα 4.3.2-4: Διάγραμμα διακύμανσης SHGF για ανατολικά προσανατολισμένο υαλοπίνακα την 21^η Ιουλίου¹⁵



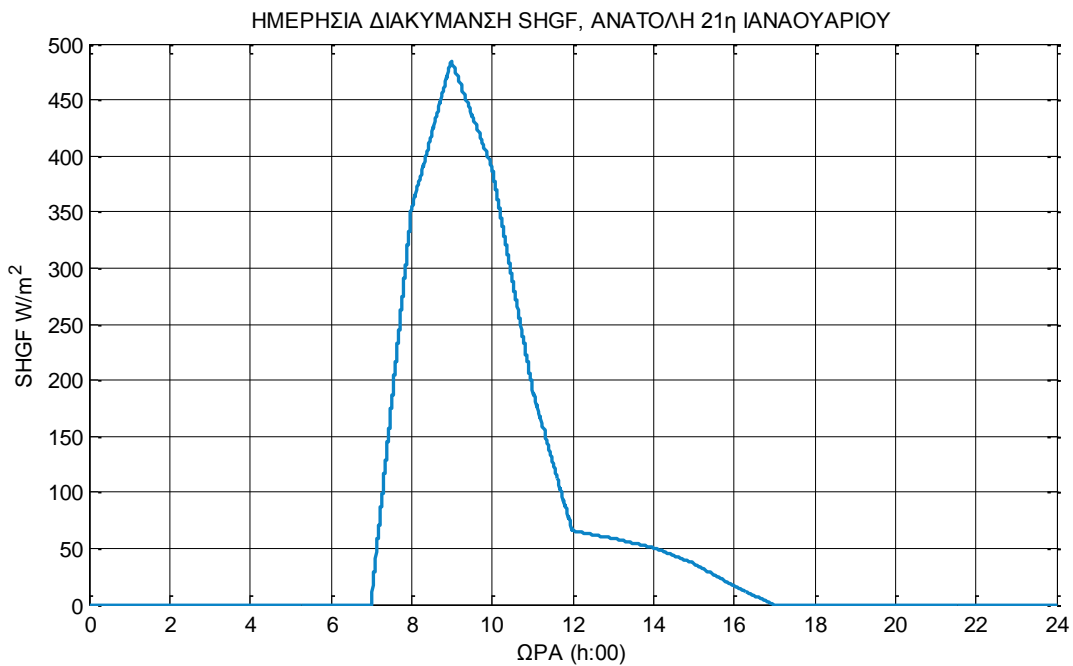
Εικόνα 4.3.2-5: Διάγραμμα διακύμανσης SHGF για νότια προσανατολισμένο υαλοπίνακα την 21^η Ιουλίου¹⁵



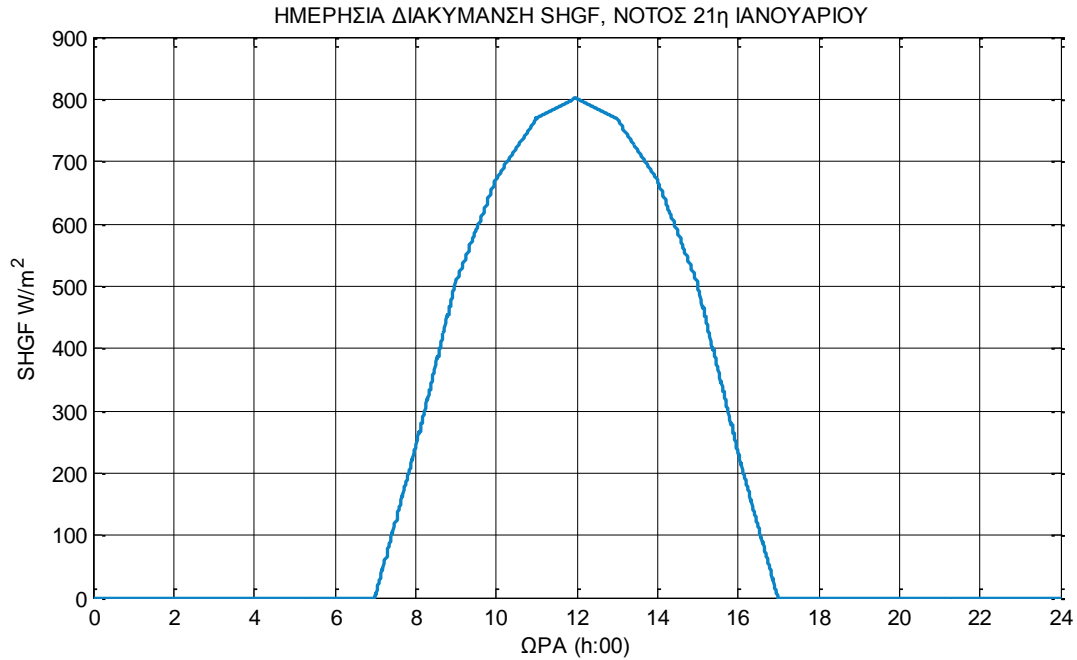
Εικόνα 4.3.2-6: Διάγραμμα διακύμανσης SHGF για δυτικά προσανατολισμένο υαλοπίνακα την 21^η Ιουλίου¹⁵



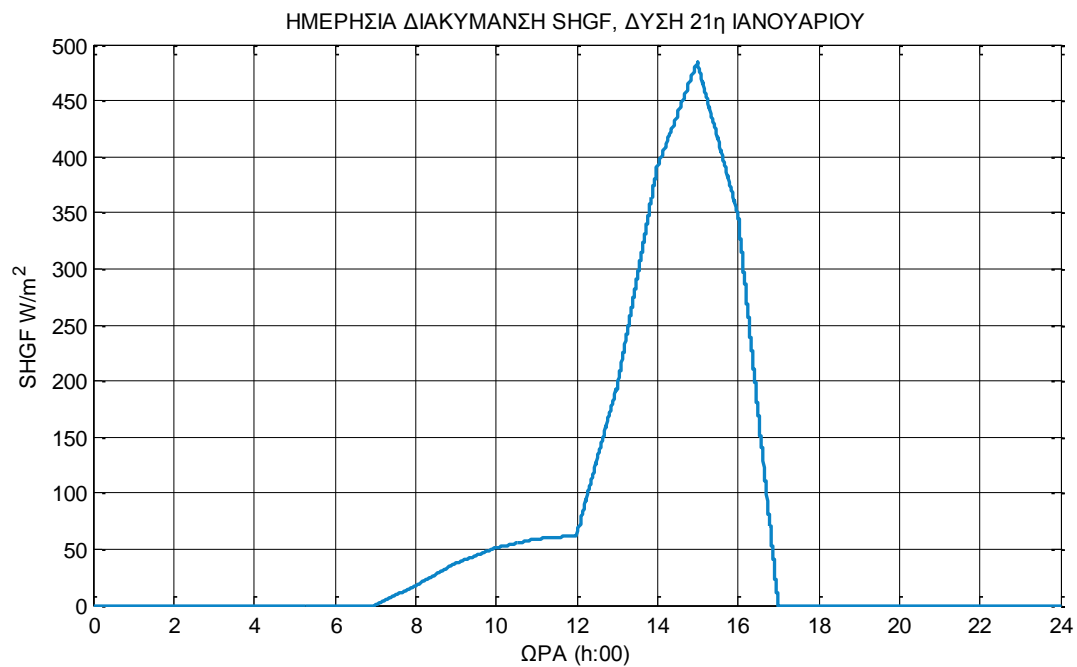
Σχήμα 4.3.2-7: Διάγραμμα διακύμανσης SHGF για βόρεια προσανατολισμένο υαλοπίνακα την 21^η Ιανουαρίου¹⁵



Σχήμα 4.3.2-8: Διάγραμμα διακύμανσης SHGF για ανατολικά προσανατολισμένο υαλοπίνακα την 21^η Ιανουαρίου¹⁵



Σχήμα 4.3.2-9: Διάγραμμα διακύμανσης SHGF για νότια προσανατολισμένο υαλοπίνακα την 21^η Ιανουαρίου¹⁵



Σχήμα 4.3.2-10: Διάγραμμα διακύμανσης SHGF για δυτικά προσανατολισμένο υαλοπίνακα την 21^η Ιανουαρίου¹⁵

Ο υπολογισμός του θερμικού κέρδους εξαρτάται επίσης και από το συντελεστή σκίασης SC (Shading Coefficient) που είναι ο λόγος του ηλιακού θερμικού κέρδους μέσω ενός δεδομένου υαλοπίνακα υπό δεδομένες συνθήκες, προς το ηλιακό θερμικό κέρδος μέσω του υαλοπίνακος αναφοράς, DSA, υπό τις ίδιες συνθήκες. Οι υαλοπίνακες του κτιρίου είναι διπλοί μοωτικοί με άσπρα αδαφανή ρολά σκίασης. Άρα από τους πίνακες της ASHRAE SC=0.35

Πίνακας 4.3.2-2: Συντελεστες σκίασης, SC, για μονωτικούς διπλούς υαλοπίνακες με εσωτερικά ενετικά στορ ή ρολά σκίασης.¹⁴

Type of Glass	Nominal Thickness, Each Light	Solar Transmittance ^a		Type of Shading				
				Venetian Blinds ^b		Roller Shade		Translucent
				Outer Pane	Inner Pane	Medium	Light	
Clear out	2.4, 3 mm	0.87	0.87	0.62 ^e	0.58 ^c	0.71	0.35	0.40
Clear in				(0.63) ^d	(0.58) ^d			
Clear in	6 mm	0.80	0.80					
Heat-absorbing ^a out	6 mm	0.46	0.80	0.39	0.36	0.40	0.22	0.30
Clear in								
Reflective coated glass	SC = 0.20 ^f			0.19	0.18			
	= 0.30			0.27	0.26			
	= 0.40			0.34	0.33			

Όσο αφορά το θερμικό κέρδος λόγω της θερμοκρασιακής διαφοράς του εξωτερικού αέρα περιβάλλοντος με τον αέρα εντός του κτιρίου, αυτό καθορίζεται από την ολική θερμική διαπερατότητα U (W/m²K) του υαλοπίνακα. Για διπλούς υαλοπίνακες με διάκενο 6,4mm μεταξύ των δύο τζαμιών εφαρμοσμένους με αλουμίνιο, από τους πίνακες της ASHRAE έχουμε U=3.19W/m²K.

Πίνακας 4.3.2-3: Ολική θερμική διαπερατότητα U για εξωτερικούς κατακόρυφους υαλοπίνακες.¹⁴

Product Type Frame Type ID Glazing Type	Glass Only Center of Glass Edge of Glass		Vertical Installation											
			Operable (including sliding and swinging glass doors)					Fixed						
			Aluminum without Thermal Break	Aluminum with Thermal Break	Reinforced Vinyl/ Aluminum Clad	Wood/ Vinyl	Insulated Fiberglass/ Vinyl	Aluminum without Thermal Break	Aluminum with Thermal Break	Reinforced Vinyl/ Aluminum Clad	Wood/ Vinyl	Insulated Fiberglass/ Vinyl		
Single Glazing														
1 3.2 mm glass	5.91	5.91	7.24	6.12	5.14	5.05	4.61	6.42	6.07	5.55	5.55	5.35		
2 6.4 mm acrylic/polycarb	5.00	5.00	6.49	5.43	4.51	4.42	4.01	5.60	5.25	4.75	4.75	4.58		
3 3.2 mm acrylic/polycarb	5.45	5.45	6.87	5.77	4.82	4.73	4.31	6.01	5.66	5.15	5.15	4.97		
Double Glazing														
4 6.4 mm airspace	3.12	3.63	4.93	3.70	3.25	3.13	2.77	3.94	3.56	3.19	3.17	3.04		
5 12.7 mm airspace	2.73	3.36	4.62	3.42	3.00	2.87	2.53	3.61	3.22	2.86	2.84	2.72		
6 6.4 mm argon space	2.90	3.48	4.75	3.54	3.11	2.98	2.63	3.75	3.37	3.00	2.98	2.85		
7 12.7 mm argon space	2.56	3.24	4.49	3.30	2.89	2.76	2.42	3.47	3.08	2.73	2.70	2.58		
Double Glazing, ε = 0.60 on surface 2 or 3														
8 6.4 mm airspace	2.95	3.52	4.80	3.58	3.14	3.02	2.67	3.80	3.41	3.05	3.03	2.90		
9 12.7 mm airspace	2.50	3.20	4.45	3.26	2.85	2.73	2.39	3.42	3.03	2.68	2.66	2.54		
10 6.4 mm argon space	2.67	3.32	4.58	3.38	2.96	2.84	2.49	3.56	3.17	2.82	2.80	2.67		
11 12.7 mm argon space	2.33	3.08	4.31	3.13	2.74	2.62	2.28	3.28	2.89	2.54	2.52	2.40		
Double Glazing, ε = 0.40 on surface 2 or 3														
12 6.4 mm airspace	2.78	3.40	4.66	3.46	3.03	2.91	2.56	3.66	3.27	2.91	2.89	2.76		
13 12.7 mm airspace	2.27	3.04	4.27	3.09	2.70	2.58	2.25	3.23	2.84	2.49	2.47	2.35		
14 6.4 mm argon space	2.44	3.16	4.40	3.21	2.81	2.69	2.35	3.37	2.98	2.63	2.61	2.49		
15 12.7 mm argon space	2.04	2.88	4.09	2.93	2.55	2.43	2.10	3.04	2.65	2.31	2.29	2.17		
Double Glazing, ε = 0.20 on surface 2 or 3														
16 6.4 mm airspace	2.56	3.24	4.49	3.30	2.89	2.76	2.42	3.47	3.08	2.73	2.70	2.58		
17 12.7 mm airspace	1.99	2.83	4.05	2.89	2.52	2.39	2.07	2.99	2.60	2.26	2.24	2.13		
18 6.4 mm argon space	2.16	2.96	4.18	3.01	2.63	2.51	2.17	3.13	2.74	2.40	2.38	2.26		
19 12.7 mm argon space	1.70	2.62	3.83	2.68	2.33	2.21	1.89	2.75	2.36	2.03	2.01	1.90		

Συνοψίζοντας, η θερμοροή μέσω του κάθε υαλοπίνακα από και προς τον εσωτερικό χώρο ισούτε με:

$$\dot{q}_{\text{orien, glass-in}} = (\text{SC})\text{SHGF}_{\text{orien, glass}} + U(T_{\text{out}} - T_{\text{in}}) \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] \quad (4.3.2 - 6)$$

Και η θερμότητα που αποδίδει ο κάθε υαλοπίνακας στο εσωτερικό του κτιρίου:

$$Q_{\text{orien, glass}} = q_{\text{orien, glass-in}} A_{\text{orienglass}} \quad [\text{W}] \quad (4.3.2 - 7)$$

Από την παράγραφο 3.2 το ολικό εμβαδό της επιφάνειας κάθε υαλοπίνακα σε κάθε κατεύθυνση είναι:

$$A_{\text{northglass}} = 16\text{m}^2$$

$$A_{\text{southglass}} = 8\text{m}^2$$

$$A_{\text{eastglass}} = A_{\text{westglass}} = 6\text{m}^2$$

Συνολικά:

$$Q_{\text{glass}} = Q_{\text{northglass}} + Q_{\text{eastglass}} + Q_{\text{southglass}} + Q_{\text{westglass}} \quad [\text{W}] \quad (4.3.2 - 8)$$

Γ. ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΑΕΡΑ

Ο αέρας που εισέρχεται στο χώρο από τα διάφορα ανοίγματα παίζει σημαντικό ρόλο στο ισοζύγιο του αέρα εντός του κτιρίου. λόγω του ότι ο παράγοντας αυτός είναι αρκετά περίπλοκος, θα προσεγγιστεί κάνοντας κάποιες παραδοχές.

Κατ' αρχάς, θεωρούμε ότι η υγρασία του αέρα περιβάλλοντος είναι πρακτικά ίση με την υγρασία του εσωτερικού αέρα. Η παραδοχή αυτή γίνεται για να απαλείψουμε τον παράγοντα του λανθάνοντος ψυκτικού φορτίου, ώστε να μην περιπλακεί περαιτέρω το πρόβλημά μας με ενθαλπίες και ψυχομετρικούς χάρτες. Ούτως η άλλως η επιρροή του λανθάνοντος φορτίου προς το ολικό είναι μικρή σε σχέση με το αισθητό. Επομένως, το ολικό ψυκτικό φοτίο λόγω ανανέωσης και διεύθυνσης του αέρα παραδεχόμαστε ότι είναι ίσο με το αισθητό φορτίο:

$$Q_{\text{air}} = 1,23Q(T_{\text{out}} - T_{\text{in}}) \quad [\text{W}] \quad (54.3.2 - 9)$$

Όπου:

$$Q = \frac{1000}{3600} V_{\text{build}} \text{ACH} \quad [1/\text{s}] \quad (4.3.2 - 10)$$

η απαιτούμενη ποσότητα ανανέωσης του εσωτερικού αέρα με εξωτερικό.

Ο παράγοντας ACH αντιπροσωπεύει την ωριαία ανανέωση αέρα (Air Change per Hour). Στην περίπτωση μας, όπου το κτίριο βρίσκεται σε μια αραιοκατοικημένη περιοχή με λίγες πολυκατοικίες στα περίξ, θέτουμε $\text{ACH}=1,5\text{h}^{-1}$. Όσο αφορά τον όγκο V_{build} του κτιρίου υπολογίζεται:

$$V_{\text{build}} = L_e \cdot W \cdot H \quad [m^3] \quad (4.3.2 - 11)$$

Όπου:

$L_e = 16\text{m}$	Μήκος κτιρίου
$W = 13\text{m}$	Πλάτος κτιρίου
$H = 3,3\text{m}$	Ύψος κτιρίου

Δ. ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΠΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ

Ισχύει ότι ακριβώς και στην περίπτωση της απλής εξωτερικής τοιχοποιίας με τα εξής δεδομένα:

Πίνακας 4.3.2-4: Πληροφορίες διακριτοποίησης εσωτερικών τοίχων

ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΤΟΙΧΟΣ	
T_{out}	T_{in}
$h_{in}(W/m^2K)$	$h_{inwall} = 7,7$
$h_{out}(W/m^2K)$	$h_{inwall} = 7,7$
Πάχος κατασκευής L (m)	0,15
Αρ. Κόμβων N	150
Απόσταση γειτονικών κόμβων	0,001

Αφού υπολογιστεί η ταχύτητα της θερμικής ροής μέσω των εσωτερικών τοίχων $q_{intwall}$ υπολογίζεται η συνολική θερμική ισχύς

$$Q_{intwall} = q_{intwall} H L e_{intwall} \quad [W] \quad (4.3.2 - 12)$$

Όπου:

$L e_{intwall}=80$ m Συνολικό μήκος εσωτερικών τοίχων.

Με γνωστά πλέον τα θερμικά φορτία από τους εξωτερικούς και εσωτερικούς τοίχους, την οροφή, τους υαλοπίνακες, και τη διείσδυση του αέρα για κάθε χρονική στιγμή, υπολογίζεται το συνολικό φορτίο:

$$Q_{tot} = Q_{walls} + Q_{roof} + Q_{glass} + Q_{air} + Q_{intwall} \quad [W] \quad (4.3.2 - 13)$$

Όπου Q_{walls} το θεμικό κέρδος που αποδίδεται από τους εξωτερικούς τοίχους από και προς τον εσωτερικό χώρο (αναφορά στο επόμενο εδάφιο).

Ενώ η Δ.Ε. που δίνει τη μεταβολή της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα:

$$\frac{dT_{in}}{dt} = \frac{Q_{tot}}{C_{tot}} \quad (4.3.2 - 14)$$

Όπου C_{tot} η ισοδύναμη θερμοχωρητικότητα του εσωτερικού χώρου και υπολογίζεται:

$$C_{tot} = (\rho c_p)_{air} V_{in,build} \left[\frac{J}{K} \right] \quad (4.3.2 - 15)$$

Με τον όγκο του εσωτερικού χώρου $V_{in,build}$ να είναι ίσος:

$$V_{in,build} = V_{build} - (L_{eintwall} H L_{intwall}) \quad [m^3] \quad (4.3.2 - 16)$$

Όπου

$$L_{intwall} = 0.15m \rightarrow \text{Πάχος εσωτερικών τοίχων}$$

Έτσι, αν επανέλθουμε στη Δ.Ε.(4.3.2-11), ξ θερμοκρασία T_{in} του αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου, υπολογίζεται σε κάθε χρονική στιγμή $t+\Delta t$:

$$T_{in} = \frac{Q_{tot}}{C_{tot}} \Delta t + T_{in}^0 \quad [^\circ K] \quad (4.3.2 - 17)$$

4.3.2β Μετάδοση θερμότητας από την εσωτερική επιφάνεια των εξωτερικών τοίχων στο εσωτερικό

Η ταχύτητα της θερμικής ροής από και προς την εσωτερική επιφάνεια του κάθε τοίχου υπολογίζεται:

$$\dot{q}_{orien,wall-in} = h_{in,wall} (T_{N,orienwall} - T_{in}) \quad \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (4.3.2 - 18)$$

Όπου $T_{N,orienwall}$ η θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας του κάθε τοίχου (κόμβος N του αντίστοιχου υπολογιστικού πλέγματος). Επομένως, η ολική θερμότητα που αποδίδει ο κάθε τοίχος στο εσωτερικό του κτιρίου:

$$Q_{\text{orien,wall}} = \dot{q}_{\text{orien,wall-in}} A_{\text{orien,wall}} \quad [\text{W}] \quad (4.3.2 - 19)$$

Από την παραγραφο 3.2 το εμβαδό της επιφάνειας κάθε τοίχου είναι:

$$A_{\text{north,wall}} = 34.4 \text{m}^2$$

$$A_{\text{south,wall}} = 44.8 \text{m}^2$$

$$A_{\text{east,wall}} = A_{\text{west,wall}} = 36.9 \text{m}^2$$

Συνολικά:

$$Q_{\text{walls}} = Q_{\text{northwall}} + Q_{\text{southwall}} + Q_{\text{eastwall}} + Q_{\text{westwall}} \quad [\text{W}] \quad (4.3.2 - 20)$$

Προσαρμόζοντας την εξίσωση (4.3.3) στο εσωτερικό όριο του υπολογιστικού πλέγματος και εισάγοντας την θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα T_{in} και το συντελεστή συναγωγής $h_{\text{in}} = 10 \text{ W/m}^2\text{K}$, η εξίσωση πεπερασμένων διαφορών στο εσωτερικό όριο του πλέγματος (κόμβος N) είναι έτοιμη.

4.4 Τελική διαμόρφωση συστήματος

Συνοψίζοντας, οι εξισώσεις που συνθέτουν το σύστημα, του οποίου η επίλυση θα μας δώσει τις θερμοκρασίες $T_i (i=1 \dots N)$ στους N κόμβους του υπολογιστικού πλέγματος είναι:

➤ **N-2 εξισώσεις για τους εσωτερικούς κόμβους, όπου $i=2 \dots (N-1)$:**

$$A_i T_i = \frac{A_{i-1}}{2} (T_{i-1} + T_{i-1}^0) + \frac{A_{i+1}}{2} (T_{i+1} + T_{i+1}^0) + T_i^0 \left(A_i^0 - \frac{A_{i-1}}{2} - \frac{A_{i+1}}{2} \right) \quad (4.4 - 1)$$

Όπου:

$$A_{i-1} = \frac{k_{i-1}}{\delta x}$$

$$A_{i+1} = \frac{k_{i+1}}{\delta x}$$

$$A_i^0 = \frac{(\rho c)_i \Delta x}{\Delta t}$$

$$A_i = A_i^0 + \frac{A_{i-1}}{2} + \frac{A_{i+1}}{2}$$

➤ **Εξίσωση στο εξωτερικό όριο, όπου $i=1$:**

$$A_1 T_1 = \frac{A_2}{2} (T_2 + T_2^0) + \frac{h_{\text{out}}}{2} (T_{\text{out}} + T_{\text{out}}^0) + T_1^0 \left(A_1^0 - \frac{A_2}{2} - \frac{h_{\text{out}}}{2} \right) \quad (4.4 - 2)$$

Όπου:

$$A_2 = \frac{k_2}{\delta x}$$

$$A_1^0 = \frac{(\rho c)_1 \Delta x}{2 \Delta t}$$

$$A_1 = A_1^0 + \frac{A_2}{2} + \frac{h_{\text{out}}}{2}$$

$$h_{\text{out}} = h_{\text{ex,wall}} = 16.3 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$T_{\text{out}} = T_{\text{e,orien}} - \text{εξίσωση (4.3.1-5)}$$

➤ **Εξίσωση στο εσωτερικό όριο, όπου $i=N$:**

$$A_N T_N = \frac{A_{N-1}}{2} (T_{N-1} + T_{N-1}^0) + \frac{h_{\text{in}}}{2} (T_{\text{in}} + T_{\text{in}}^0) + T_N^0 \left(A_N^0 - \frac{A_{N-1}}{2} - \frac{h_{\text{in}}}{2} \right) \quad (4.4 - 3)$$

Όπου:

$$A_{N-1} = \frac{k_{N-1}}{\delta x}$$

$$A_N^0 = \frac{(\rho c)_N \Delta x}{2 \Delta t}$$

$$A_N = A_N^0 + \frac{A_{N-1}}{2} + \frac{h_{\text{in}}}{2}$$

$$h_{\text{in}} = 7.8 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Εδώ εισάγονται στο σύστημα άλλα δύο <<υποσυστήματα>> Ν εξισώσεων πεπερασμένων διαφορών για την επίλυση της οροφής και των εσωτερικών τοίχων, με βάση τα δεδομένα που παρουσιάζονται στους πίνακες (4.3.2-1) και (4.3.2-4) αντίστοιχα.

Παρατηρούμε ότι έχουμε ένα σύστημα με $4N_{\text{wall}}$ (εξωτερικοί τοίχοι) + N_{roof} (οροφή) + N_{intwall} (εσωτερικοί τοίχοι) + 2 εξισώσεις με ισάριθμους + 1 αγνώστους. Για να μπορέσουμε να λύσουμε το σύστημα, θα πρέπει να εισάγουμε κάποιες αρχικές υποθετικές τιμές για τις άγνωστες οριακές συνθήκες για το καλοκαίρι και το χειμώνα αντίστοιχα:

Πίνακας 4.4-1α: Αρχικές τιμές συστήματος εξωτερικών τοίχων, 21 Ιουλίου

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΑΡΧΙΚΗ ΤΙΜΗ
Θερμοκρασία εξωτερικού αέρα T_e (°K)	308°K
Θερμοκρασία εσωτερικού αέρα T_{in} (°K)	302°K

Πίνακας 4.4-1β: Αρχικές τιμές συστήματος εξωτερικών τοίχων, 21 Ιανουαρίου

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΑΡΧΙΚΗ ΤΙΜΗ
Θερμοκρασία εξωτερικού αέρα T_e (°K)	290°K
Θερμοκρασία εσωτερικού αέρα T_{in} (°K)	295°K

Για τον υπολογισμό των αρχικών θερμοκρασιών T_i ($i = 1 \dots N$) στους κόμβους του πλέγματος των τοίχων και της οροφής, ανάγουμε αρχικά το πρόβλημα σε μόνιμο. Η Δ.Ε. που περιγράφει το πρόβλημα γίνεται:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) = 0 \quad (4.4 - 4)$$

Η εφαρμογή και επίλυση της πιο πάνω Δ.Ε. στην περίπτωση μας γίνεται ακριβώς με τον ίδιο τρόπο που έχει παρουσιαστεί προηγουμένως με τη διαφορά ότι οι εξισώσεις μετατρέπονται σε:

$$A_i T_i = A_{i-1} T_{i-1} + A_{i+1} T_{i+1} \quad (4.4 - 5)$$

$$A_1 T_1 = A_2 T_2 + h_{\text{out}} T_{\text{out}} \quad (4.4 - 6)$$

$$A_N T_N = A_{N-1} T_{N-1} + h_{\text{in}} T_{\text{in}} \quad (4.4 - 7)$$

Όπου:

$$A_i = A_{i-1} + A_{i+1}$$

$$A_1 = A_2 + h_{out}$$

$$A_N = A_{N-1} + h_{in}$$

Επομένως:

➤ **Για $t = t_0$**

Με αρχικές οριακές συνθήκες αυτές που παρουσιάζονται στους πίνακες (4.4-1α) και (4.4-1β) για καλοκαίρι και χειμώνα αντίστοιχα επιλύεται το πρόβλημα ως μόνιμο -εξισώσεις (4.4-5 έως -7)- και υπολογίζονται οι αρχικές θερμοκρασίες στους κόμβους του πλέγματος των τοίχων και τη οροφής.

➤ **Για $t = t_0 + \Delta t \dots t_{ολικό}$**

Γίνεται επίλυση του συστήματος εξισώσεων πεπερασμένων διαφορών (4.4-1), (4.4-2) και (4.4-3) με εξωτερικές οριακές συνθήκες αυτές που σε κάθε χρονικό βήμα δίνονται από την εξίσωση (4.3.1-5) και εσωτερική θερμοκρασία αυτή που προσδιορίζεται από την εξίσωση (4.3.2-17), έχοντας υπολογίσει στη συγκεκριμένη χρονική στιγμή τα διάφορα φορτία.

Μετά το τέλος των υπολογισμών για ολόκληρο το 24ωρο, γίνεται αντικατάσταση των θερμοκρασιών της χρονικής στιγμής $t = t_{ολικό}$ (ώρα 24:00) στις αντίστοιχες θερμοκρασίες για $t = t_0$ (ώρα 00:00). Επαναλαμβάνουμε έτσι τη διαδικασία υπολογισμών με νέες τιμές εκκίνησης πιο κοντά στις πραγματικές αυτή τη φορά. Αυτό γίνεται μέχρι η διαφορά των θερμοκρασιών για $t = t_{ολικό}$ να είναι ελάχιστη από τις αντίστοιχες για $t = t_0$.

4.5 Επίλυση συστήματος

Για την επίλυση του συστήματος φέρνουμε τις εξισώσεις πεπερασμένων διαφορών (4.4-1), (4.4-2), (4.4-3), (4.4-5), (4.4-6) και (4.4-7) και τις αντιστοιχες της οροφής και των εσωτερικών τοίχων στη μορφή:

$$a_{j,i} T_i = a_{j,i+1} T_{i+1} + a_{j,i-1} T_{i-1} + b_{j,i} \quad (4.5 - 1)$$

Όπου a ο συντελεστής των θερμοκρασιών και b μια ανεξάρτητη από τις θερμοκρασίες τιμή, που προκύπτουν κάνοντας τις πράξεις στην αντίστοιχη εξίσωση πεπερασμένων διαφορών. Οι δείκτες:

$i \rightarrow$ αντιπροσωπεύει τον κόμβο

$j \rightarrow$ υποδεικνύει σε ποιο κόμβο γίνεται ο ισολογισμός, ισούτε δηλαδή πάντα με i

Κατά τον ισολογισμό για παράδειγμα στον κόμβο 2, με βάσει την εξίσωση (4.4-1), η εξίσωση (4.5-1), παίρνει τη μορφή:

$$a_{2,2}T_2 = a_{2,3}T_3 + a_{2,1}T_1 + b_{2,2} \quad (4.5 - 2)$$

Όπου:

$$a_{2,2} = A_2$$

$$a_{2,3} = \frac{A_3}{2}$$

$$a_{2,1} = \frac{A_1}{2}$$

$$b_{2,2} = \frac{A_1}{2}T_1^0 + \frac{A_3}{2}T_3^0 + \left(A_2^0 + \frac{A_1}{2} + \frac{A_1}{2}\right)T_2^0$$

Εφαρμόζοντας επομένως την εξίσωση (4.5-1) σε κάθε κόμβο $i=1\dots N$, όπου $a_{N,N+1} = a_{1,0} = 0$, προκύπτει ένα συστημα γραμμικών εξισώσεων για την επίλυση του οποίου καταστρώνεται ο $N \times N$ πίνακας $[a]$ με τις γνωστές τιμές $a_{j,i}$:

$$[a] = \begin{bmatrix} -a_{1,1} & a_{1,2} & 0 & \dots & \dots & 0 \\ a_{2,1} & -a_{2,2} & a_{2,3} & 0 & \dots & \vdots \\ 0 & a_{2,3} & -a_{3,3} & a_{3,4} & 0 & \vdots \\ \vdots & 0 & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ \vdots & \dots & \ddots & \ddots & \ddots & a_{N-1,N} \\ 0 & \dots & \dots & 0 & a_{N,N+1} & -a_{N,N} \end{bmatrix}$$

Ο πιο πάνω πίνακας είναι τριδιαγώνιας μορφής TDMA (TriDiagonal Matrix Algorithm), δηλαδή οι μη μηδενικοί συντελεστές του πίνακα κείνται απί τριών διαδοχικών διαγωνίων.

Καταστρώνεται επίσης ο $N \times 1$ πίνακας $[T]$ με τις άγνωστες θερμοκρασίες στους κόμβους T_i :

$$[T] = \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ \vdots \\ T_{N-1} \\ T_N \end{bmatrix}$$

και ο $N \times 1$ πίνακας $[b]$ με τους γνωστούς όρου $b_{j,i}$:

$$[b] = \begin{bmatrix} -b_1 \\ -b_2 \\ \vdots \\ -b_{N-1} \\ -b_N \end{bmatrix}$$

Όπου ισχύει:

$$[a] \times [T] = [b] \quad (4.5 - 3)$$

Με τον πίνακα θερμοκρασιών να υπολογίζεται:

$$[T] = [a]^{-1}[b] \quad (4.5 - 4)$$

Κάνοντας τη διαδικασία αυτή σε κάθε χρονική στιγμή, υπολογίζουμε τις θερμοκρασίες στους κόμβους του υπολογιστικού πλέγματος για κάθε περίπτωση καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου.

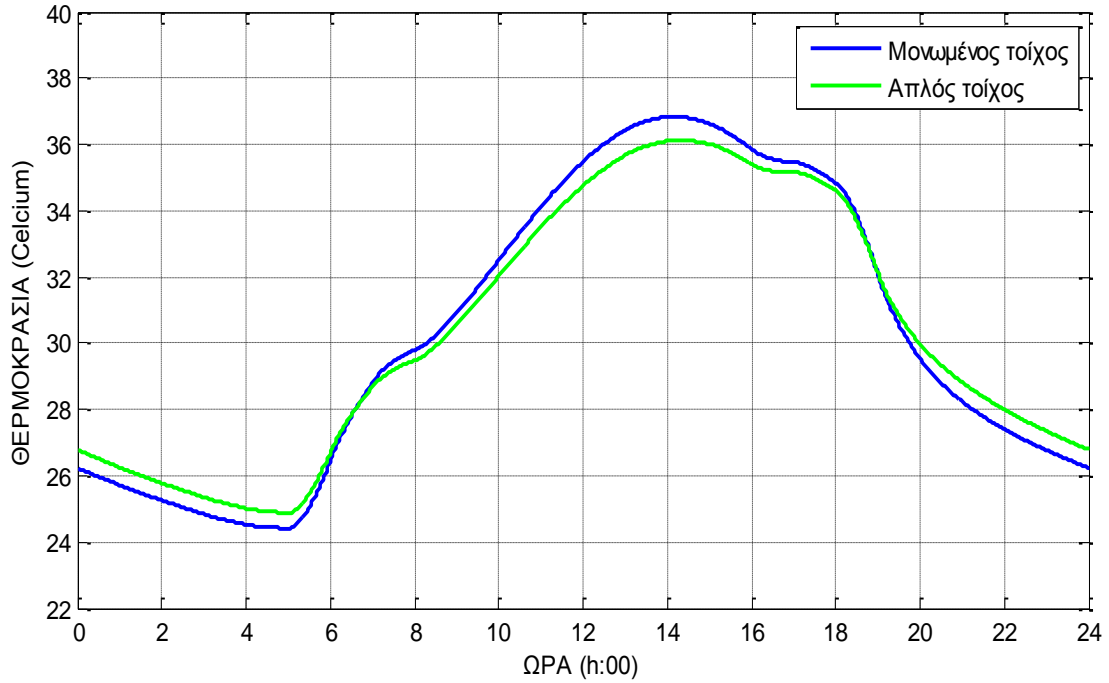
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η αναπαράσταση της συμπεριφοράς του κτιρίου με απλή εξωτερική τοιχοποιία καθώς και του κτιρίου με εξωτερική τοιχοποιία με προστατευτικό περίβλημα, επιτυγχάνεται σε ικανοποιητικό βαθμό εκτελώντας τον κώδικα υπολογισμού της παραγράφου 4.4 σε Matlab. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δυο περιπτώσεων εξάγονται κάποια χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την αποτελεσματικότητα της εφαρμογής αυτής. Ο κώδικας έχει εκτελεσθεί δύο φορές, τη μια με εξωτερικές συνθήκες από τους πίνακες της ASHRAE για την 21^η Ιουλίου και την άλλη με εξωτερικές συνθήκες από τους πίνακες της ASHRAE για την 21^η Ιανουαρίου.

5.1. Καλοκαιρινή περίοδος

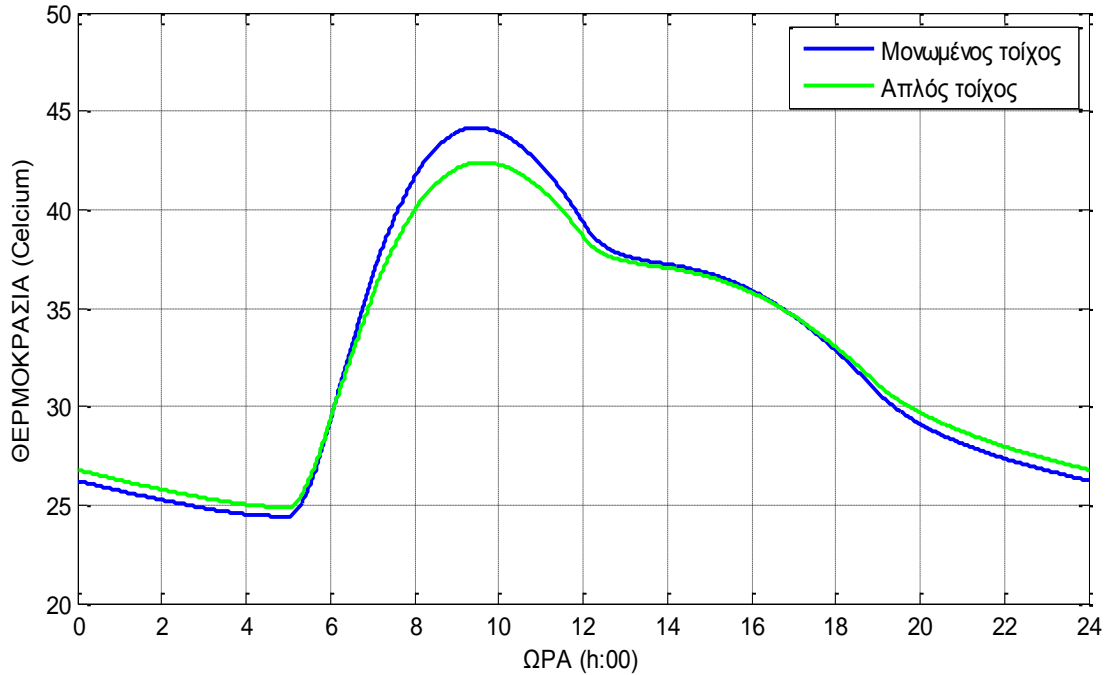
- Στις εικόνες 5.1.1α έως 5.1.1δ φαίνεται η ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας των εξωτερικών επιφανειών του κτιρίου κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Παρατηρούμε ότι και στις δύο περιπτώσεις η θερμοκρασία είναι σχεδόν ίδια, κάτι το οποίο αναμέναμε καθώς οι εξωτερικές επιφάνειες, τόσο του απλού όσο και του μονωμένου τοίχου, οι οποίες βρίσκονται σε άμεση επαφή με την εξωτερική θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι κατασκευασμένες από το ίδιο υλικό.

ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΒΟΡΕΙΟΥ ΤΟΙΧΟΥ - 21η ΙΟΥΛΙΟΥ

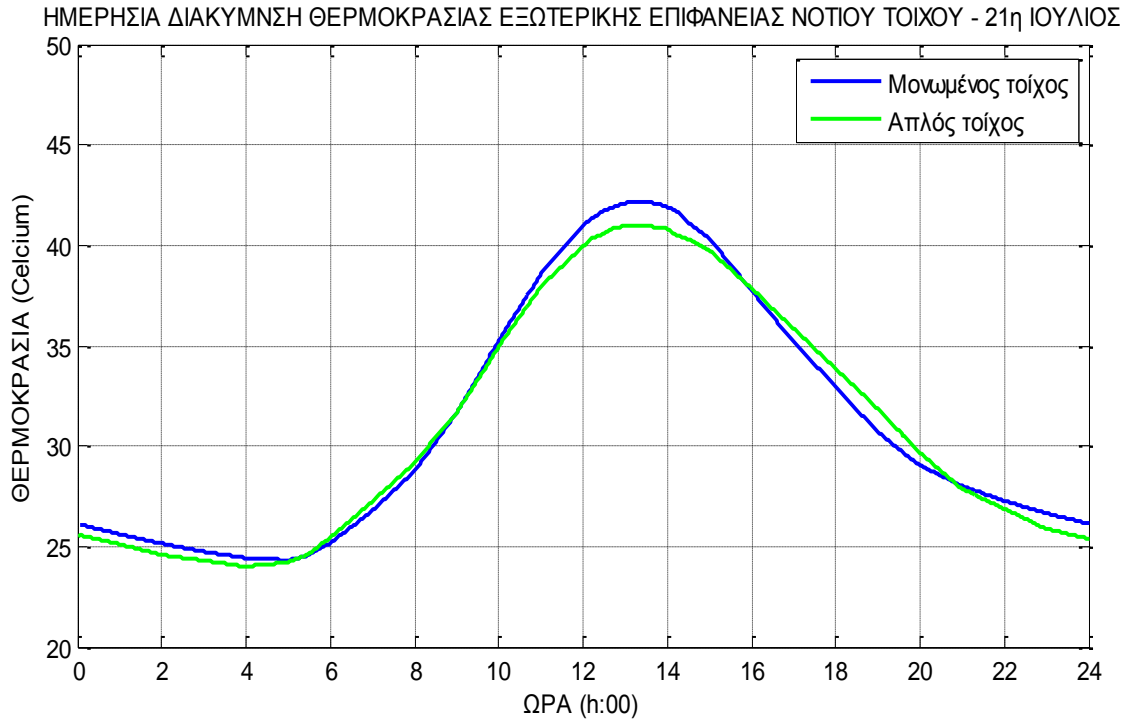


Εικόνα 5.1.1α: Συγκριτικό διάγραμμα ημερήσιας διακύμανσης θερμοκρασίας βόρειας εξωτερικής επιφάνειας της κατασκευής με μονωμένο και απλό τοίχο την 21^η Ιουλίου.

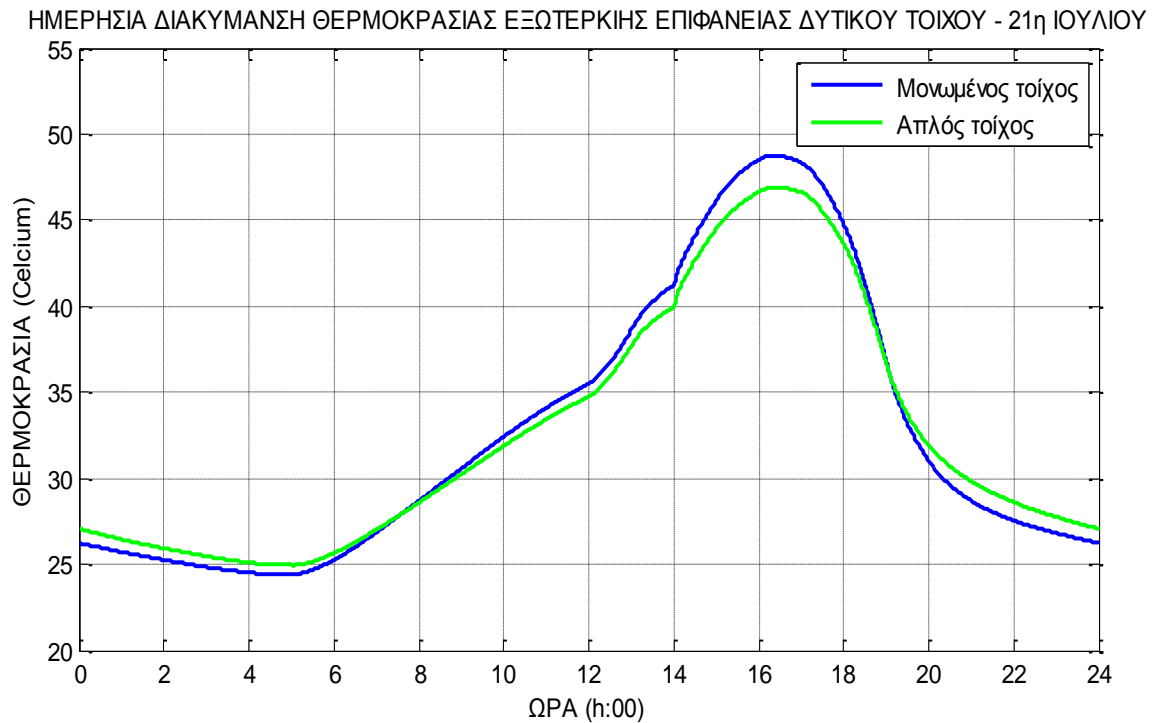
ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΥ ΤΟΙΧΟΥ - 21η ΙΟΥΛΙΟΥ



Εικόνα 5.1.1β: Συγκριτικό διάγραμμα ημερήσιας διακύμανσης θερμοκρασίας ανατολικής εξωτερικής επιφάνειας της κατασκευής με μονωμένο και απλό τοίχο την 21^η Ιουλίου.

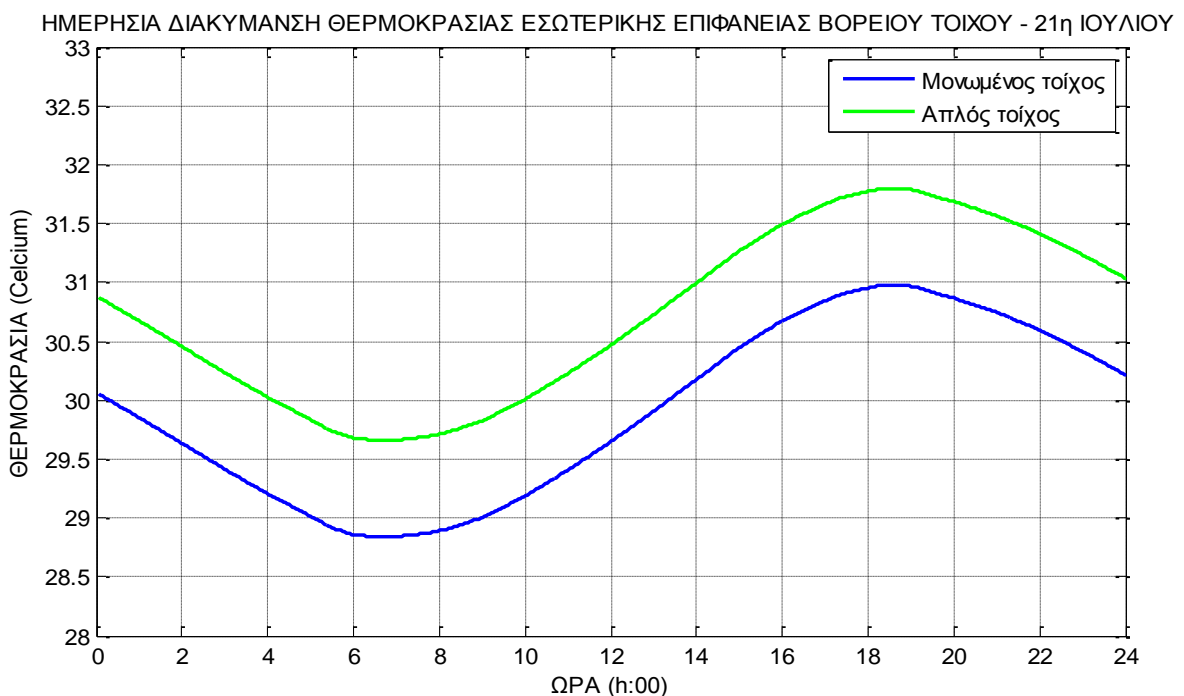


Εικόνα 5.1.1γ: Συγκριτικό διάγραμμα ημερήσιας διακύμανσης θερμοκρασίας νότιας εξωτερικής επιφάνειας της κατασκευής με μονωμένο και απλό τοίχο την 21^η Ιουλίου.

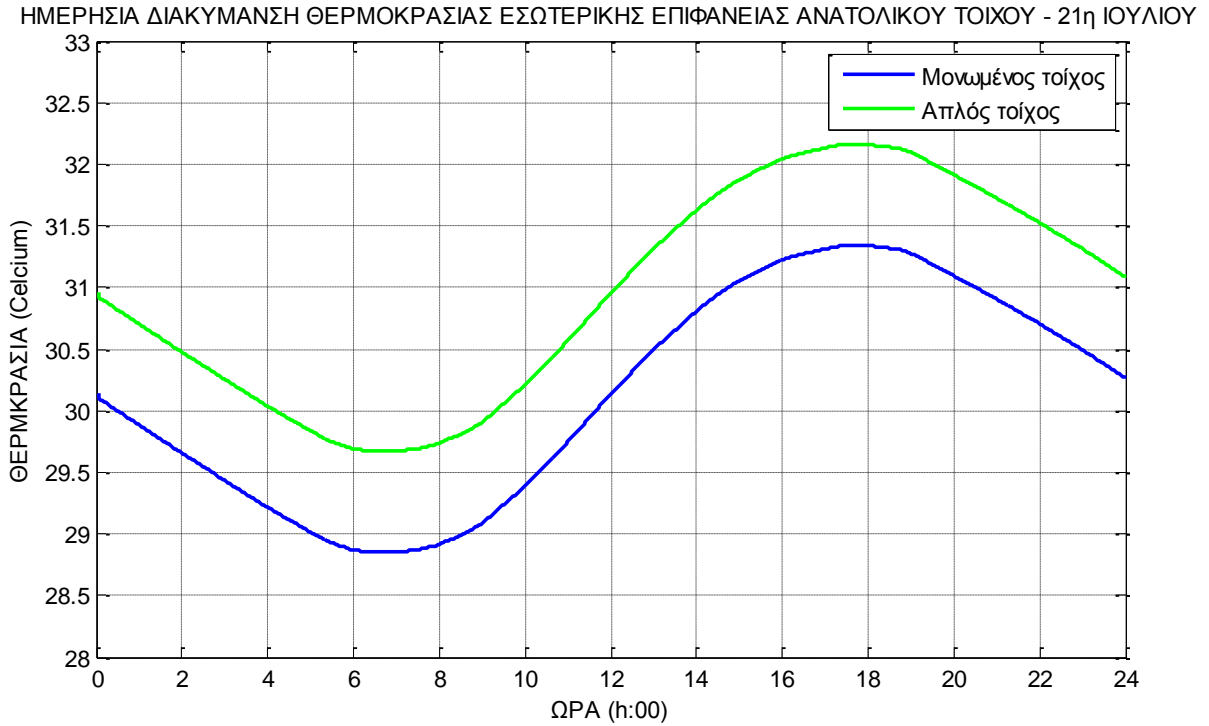


Εικόνα 5.1.1δ: Συγκριτικό διάγραμμα ημερήσιας διακύμανσης θερμοκρασίας δυτικής εξωτερικής επιφάνειας της κατασκευής με μονωμένο και απλό τοίχο την 21^η Ιουλίου.

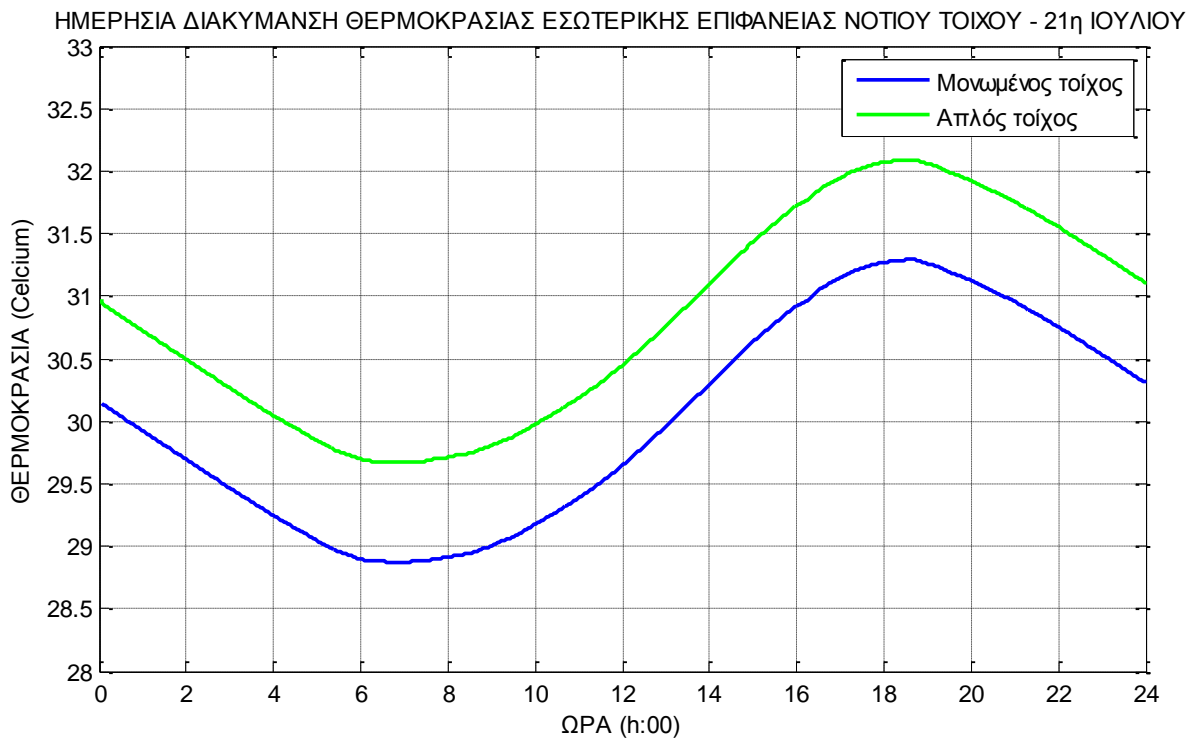
- Στις εικόνες 5.1.2α έως 5.1.2δ βλέπουμε τη θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας στους μονωμένους και τους απλούς τοίχους. Με βάση τις εικόνες αυτές, παρατηρούμε μείωση της θερμοκρασίας περίπου $0,85^{\circ}\text{C}$ καθόλη τη διάρκεια του 24ώρου, στην επιφάνεια του μονωμένου σε σχέση με τον απλό τοίχο και στους τέσσερις προσανατολισμούς. Επίσης παρατηρούμε ότι το εύρος των τιμών της θερμοκρασίας στις εσωτερικές επιφάνειες μειώνεται αισθητά σε σχέση με το εύρος των τιμών στις εξωτερικές επιφάνειες των τοίχων.



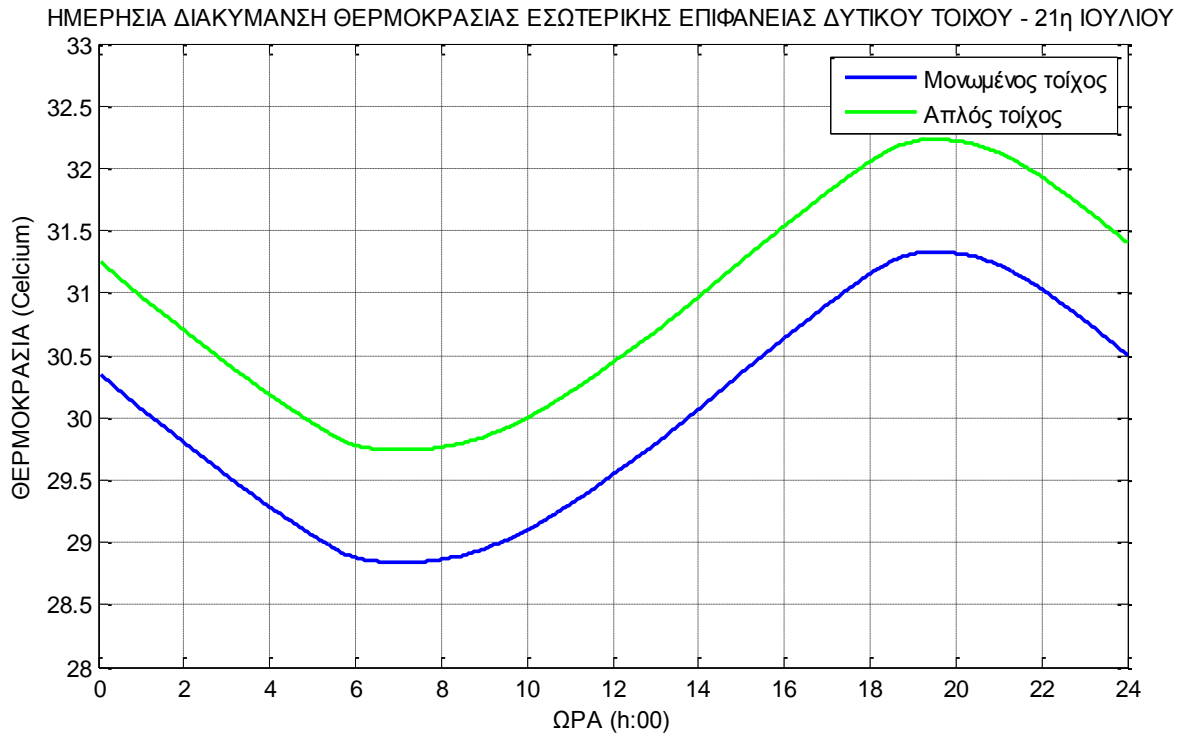
Εικόνα 5.1.2α: Συγκριτικό διάγραμμα ημερήσιας διακύμανσης θερμοκρασίας βόρειας εσωτερικής επιφάνειας της κατασκευής με μονωμένο και απλό τοίχο την 21^η Ιουλίου.



Εικόνα 5.1.2β: Συγκριτικό διάγραμμα ημερήσιας διακύμανσης θερμοκρασίας ανατολικής εσωτερικής επιφάνειας της κατασκευής με μονωμένο και απλό τοίχο την 21^η Ιουλίου.



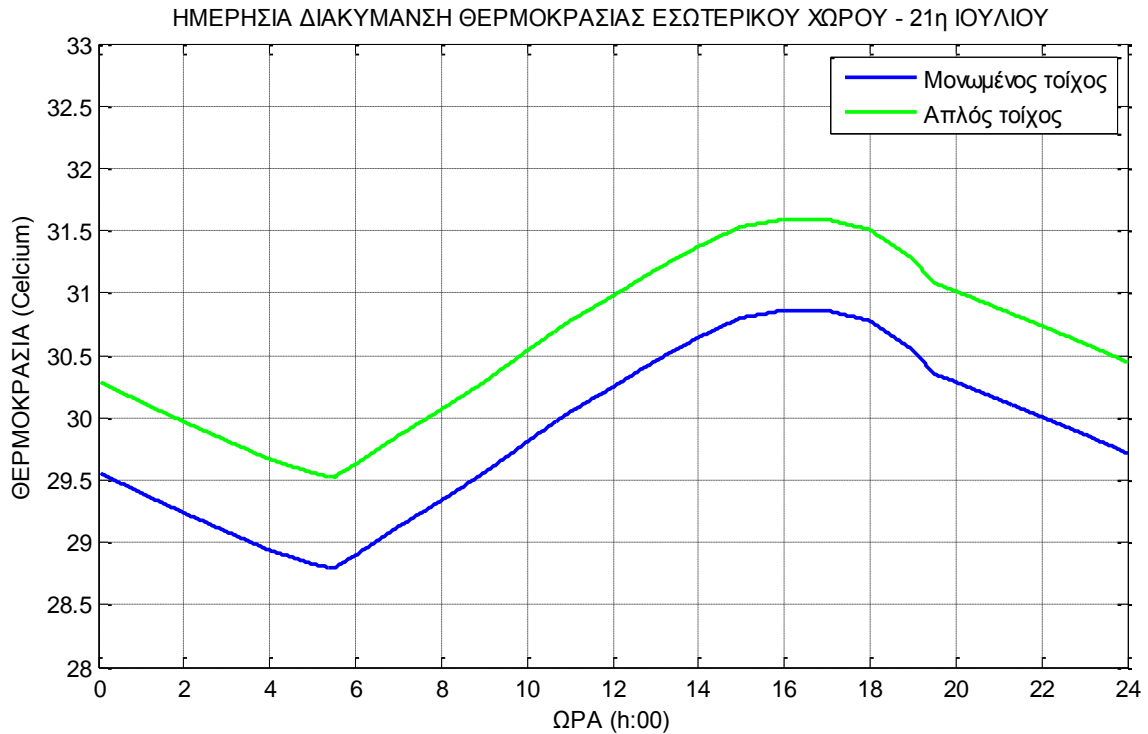
Εικόνα 5.1.2γ: Συγκριτικό διάγραμμα ημερήσιας διακύμανσης θερμοκρασίας νότιας εσωτερικής επιφάνειας της κατασκευής με μονωμένο και απλό τοίχο την 21^η Ιουλίου.



Εικόνα 5.1.2δ: Συγκριτικό διάγραμμα ημερήσιας διακύμανσης θερμοκρασίας δυτικής εσωτερικής επιφάνειας της κατασκευής με μονωμένο και απλό τοίχο την 21^η Ιουλίου.

Παρατηρώντας αυτή τη διαφορά, αρχικά συμπεραίνουμε ότι η εξωτερική θερμομόνωση λειτουργεί κατά την καλοκαιρινή περίοδο κάτι το οποίο επιβεβαιώνεται από το συγκριτικό διάγραμμα της διαφοράς της θερμοκρασίας του εσωτερικού χώρου για τις δύο περιπτώσεις.

- Στην εικόνα 5.1.3 βλέπουμε τη διαφορά της εσωτερικής θερμοκρασίας του κτιρίου για τις δύο περιπτώσεις. Παρατηρούμε ότι στο εσωτερικό του κτιρίου με τους μονωμένους τοίχους η θερμοκρασία είναι $0,75^{\circ}\text{C}$ χαμηλότερη από ότι στο εσωτερικό του κτιρίου με τους απλούς τοίχους.



Εικόνα 5.1.3: Συγκριτικό διάγραμμα ημερήσιας διακύμανσης θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου

- Σαν αποτέλεσμα της μείωσης της θερμοκρασίας στο κτίριο με τους μονωμένους τοίχους κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, μειώνεται αντίστοιχα και ο χρόνος λειτουργίας των κλιματιστικών συσκευών που είναι εγκατεστημένες στο κτίριο. Για να υπολογίσουμε το χρόνο λειτουργίας των κλιματιστικών συσκευών υποθέτουμε ότι η συνολική τους ισχύς είναι $Q_{ac}=9000W$ και ότι η συσκευή ενεργοποιούνται με θερμοστάτη όταν η θερμοκρασία στον εσωτερικό χώρο του κτιρίου είναι πάνω από $25^{\circ}C$. Προσθέτωντας επομένως την παρακάτω συσθήκη που αφορά την εξίσωση (4.3.2-17), εκτελείται άλλη μια φορά ο κώδικας υπολογισμού.

$$T_{in} = \frac{Q_{tot}}{C_{tot}} \Delta t + T_{in}^0 \quad [^{\circ}K] \quad (4.3.2 - 17)$$

$$\text{Όπου} \rightarrow T_{in} > 299,5^{\circ}K \rightarrow Q_{tot} = Q_{tot} - 9000$$

$$\rightarrow T_{in} < 299,5^{\circ}K \rightarrow Q_{tot} = Q_{tot}$$

Η ισχύς προστίθεται με αρνητικό πρόσημο γιατί χρησιμοποιείται για ψύξη του εσωτερικού αέρα.

Στον πιο κάτω πίνακα φαίνεται ο χρόνος λειτουργίας των κλιματιστικών συσκευών για τις δυο περιπτώσεις. Για κάθε χρονική στιγμή που η θερμοκρασία $T_{in} > 299,5^{\circ}\text{K}$, κατά την οποία ενεργοποιείτε το κλιματιστικό, προστίθεται στον ολικό χρόνο λειτουργίας του το Δt .

Πίνακας 5.1.1: Συνολικός χρόνος λειτουργίας κλιματιστικών συσκευών σε κατοικίες με μονωμένη και απλή τοιχοποιία.

	Μονωμένοι τοίχοι	Απλοί τοίχοι
Χρόνος λειτουργίας κλιματιστικών συσκευών → time_{ac} [h]	6,9867	7,6388

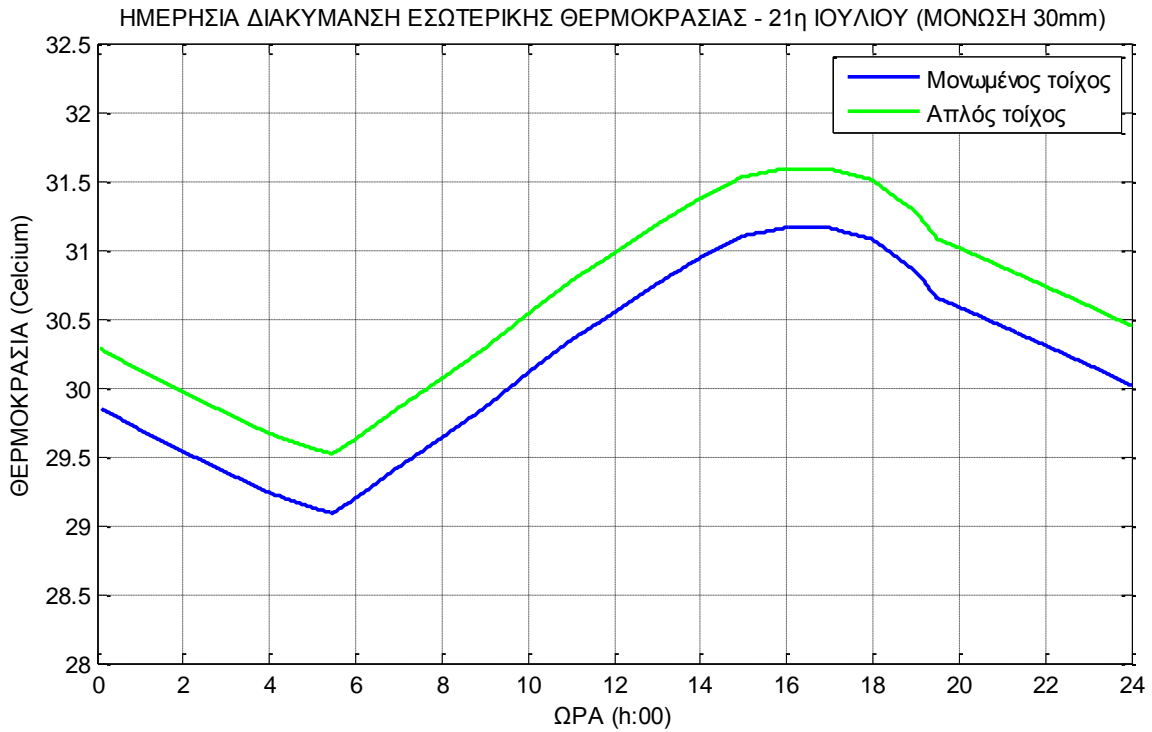
- Σαν αποτέλεσμα της μείωσης του χρόνου λειτουργίας των κλιματιστικών συσκευών, μειώνεται αντίστοιχα και η ολική ενέργεια που καταναλώνεται για την επίτευξη συνθηκών θερμικής άνεσης στους εσωτερικούς χώρους του κτιρίου E_{ac} . Χρησιμοποιώντας την εξίσωση (5.1.1) υπολογίζετε η ολική ενέργεια που καταναλώνετε, οι τιμές της οποίας φαίνονται στον πίνακα (5.1.2).

$$E_{ac} = \text{time}_{ac} Q_{ac} \quad (5.1.1)$$

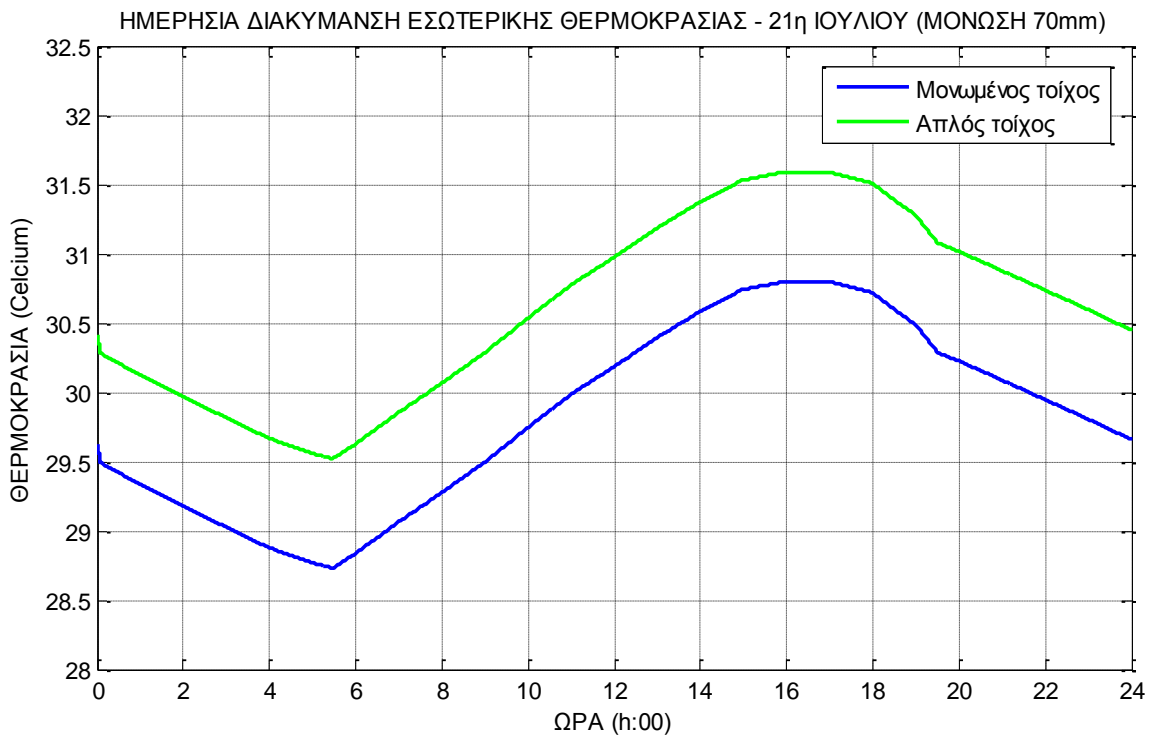
Πίνακας 5.1.2: Ολική ενέργεια που καταναλώνεται από τις κλιματιστικές συσκευές σε κατοικίες με μονωμένη και απλή τοιχοποιία

	Μονωμένοι τοίχοι	Απλοί τοίχοι
Ολική ενέργεια που καταναλώνεται από τις κλιματιστικές συσκευές → E_{ac} [KWh]	62,8803	68,7492

Στην παρούσα εργασία η εξηλασμένη πολυστερίνη που χρησιμοποιείται για τη μόνωση των εξωτερικών τοίχων είναι πάχους 50mm. Στην αγορά εκτός από εξηλασμένη πολυστερίνη του μεγέθους αυτού βρίσκουμε επίσης 30mm και 70mm. Εισάγοντας αυτά τα δεδομένα στο πρόγραμμα μας εκτελούμε τον κώδικα ακόμα μία φορά για την κάθε τιμή και λαμβάνουμε τα παρακάτω συγκριτικά διαγράμματα αντίστοιχα.



Εικόνα 5.1.4: Συγκριτικό διάγραμμα ημερήσιας διακύμανσης θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου – Μόνωση 30mm



Εικόνα 5.1.5: Συγκριτικό διάγραμμα ημερήσιας διακύμανσης θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου – Μόνωση 70mm

Σύμφωνα με τα συγκριτικό διάγραμμα 5.1.4, αν για τη θερμομόνωση χρησιμοποιηθεί εξηλασμένη πολυστερίνη πάχους 30mm η διαφορά εσωτερικής θερμοκρασίας μεταξύ του κτιρίου με μονωμένους και του κτιρίου με απλούς τοίχους είναι 0,45°C. Δηλαδή, μειώνεται σε μεγάλο βαθμό η διαφορά της θερμοκρασίας ανάμεσα στα δύο είδη τοιχοποιίας σε σχέση με τη διαφορά της θερμοκρασίας αν η μόνωση γίνει με εξηλασμένη πολυστερίνη πάχους 50mm.

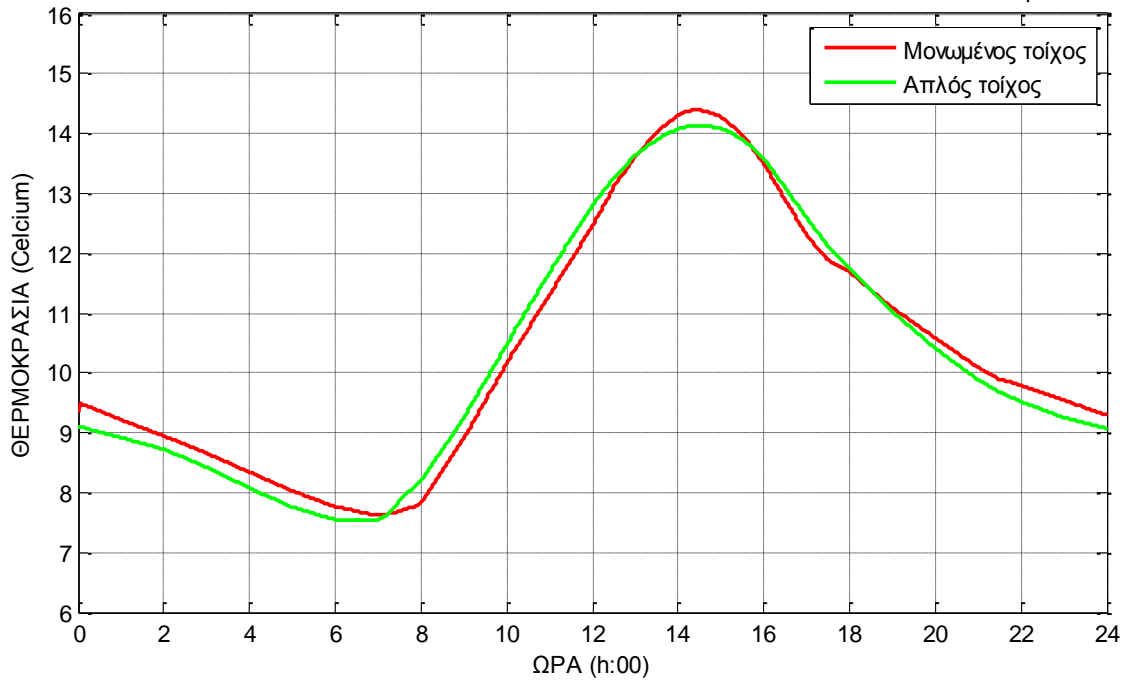
Παρατηρώντας το συγκριτικό διάγραμμα 5.1.5, αν η θερμομόνωση γίνει με εξηλασμένη πολυστερίνη πάχους 70mm η διαφορά εσωτερικής θερμοκρασίας μεταξύ του κτιρίου με μονωμένους και του κτιρίου με απλούς τοίχους είναι 0,8°C. Δηλαδή η διαφορά θερμοκρασίας σε αυτή την περίπτωση σε σχέση με την διαφορά θερμοκρασίας μονωμένου τοίχου με πολυστερίνη πάχους 50mm είναι ελάχιστη, έτσι δεν αξίζει το επιπλέον κόστος για την χρησιμοποίηση χοντρότερης πολυστερίνης.

Επομένως, το καταλληλότερο πάχος εξηλασμένης πολυστερίνης για την εξωτερική θερμομόνωση των τοίχων είναι 50mm.

5.2.Χειμερινή περίοδος

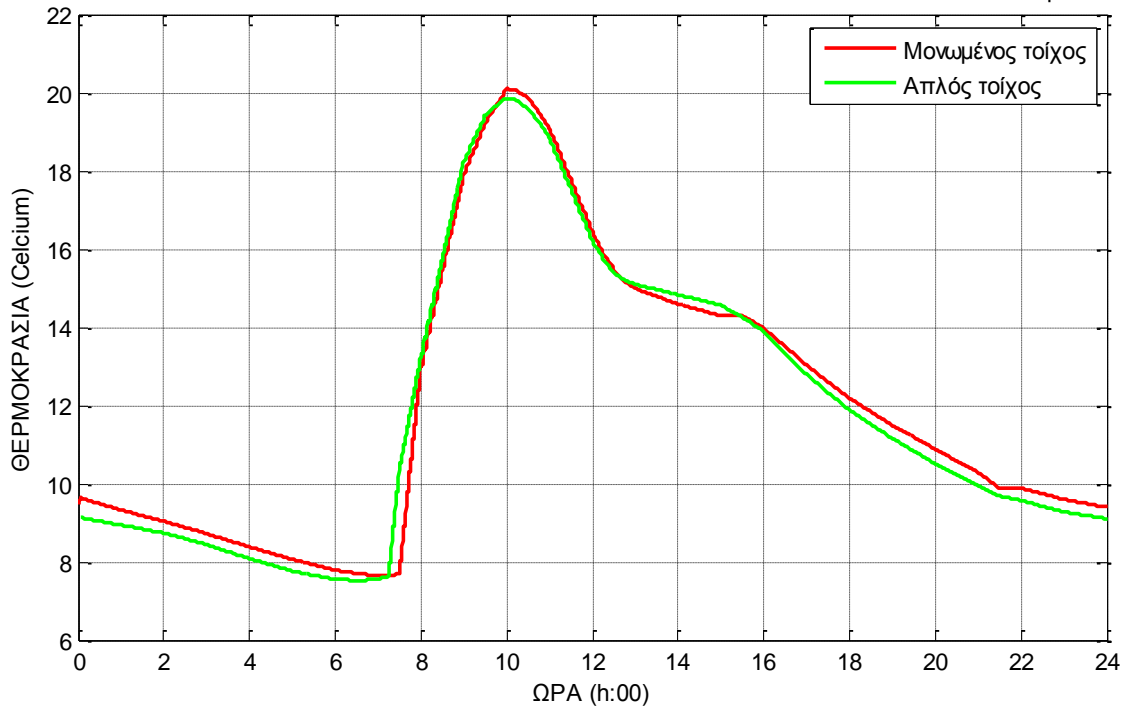
- Στις εικόνες 5.2.1α έως 5.2.1δ βλέπουμε τη διακύμανση της θερμοκρασίας της εξωτερικής επιφάνειας των τοίχων για τις δύο περιπτώσεις. Όπως και στην καλοκαιρινή περίοδο έτσι και στη χειμερινή περίοδο η θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας των απλών και των μονωμένων τοίχων είναι σχεδόν η ίδια.

ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΒΟΡΕΙΟΥ ΤΟΙΧΟΥ - 21η ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ



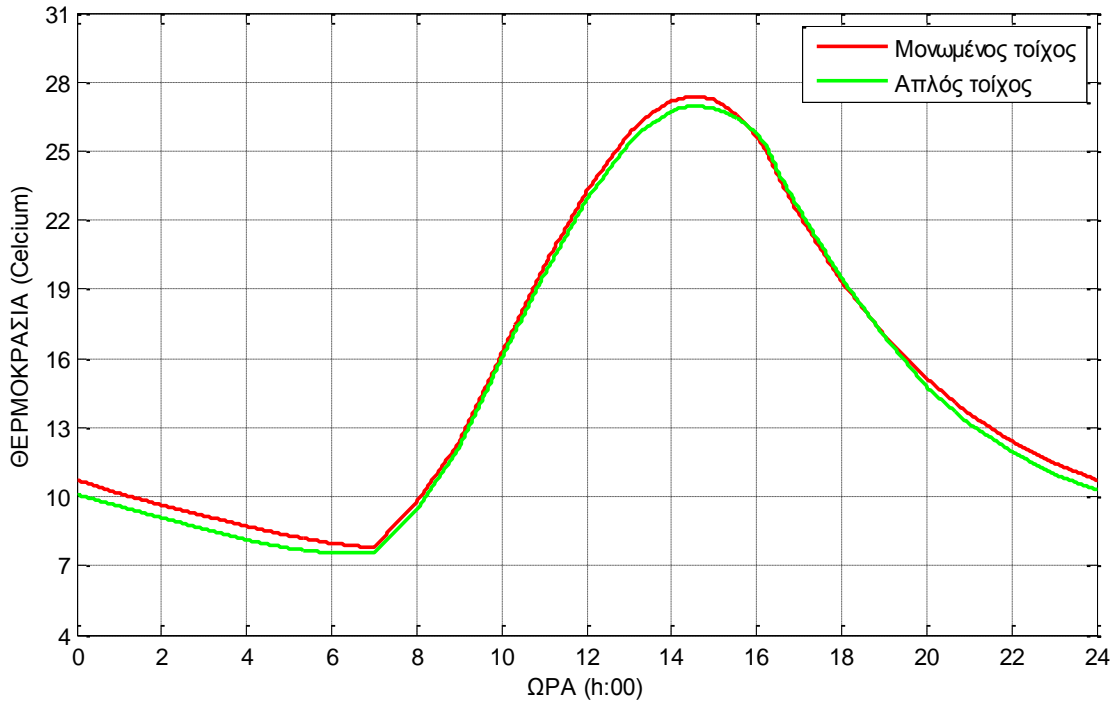
Εικόνα 5.2.1α: Συγκριτικό διάγραμμα ημερήσιας διακύμανσης θερμοκρασίας βόρειας εξωτερικής επιφάνειας της κατασκευής με μονωμένο και απλό τοίχο την 21^η Ιουλίου.

ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΥ ΤΟΙΧΟΥ - 21η ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ



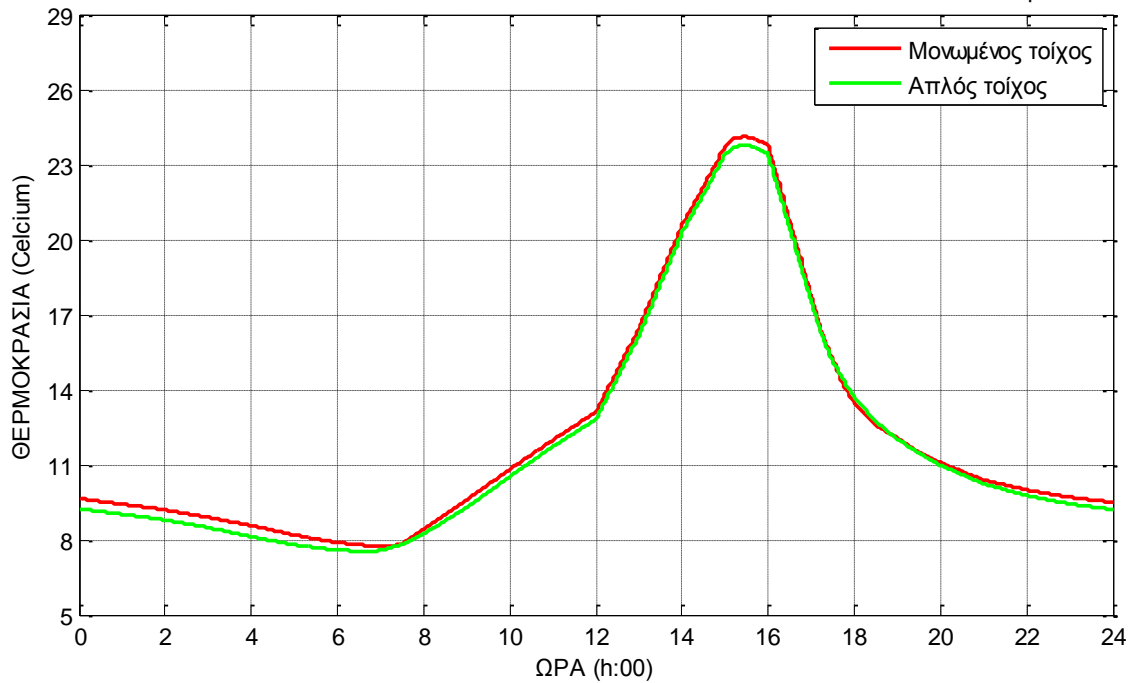
Εικόνα 5.2.1β: Συγκριτικό διάγραμμα ημερήσιας διακύμανσης θερμοκρασίας ανατολικής εξωτερικής επιφάνειας της κατασκευής με μονωμένο και απλό τοίχο την 21^η Ιουλίου.

ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΝΟΤΙΟΥ ΤΟΙΧΟΥ - 21 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ



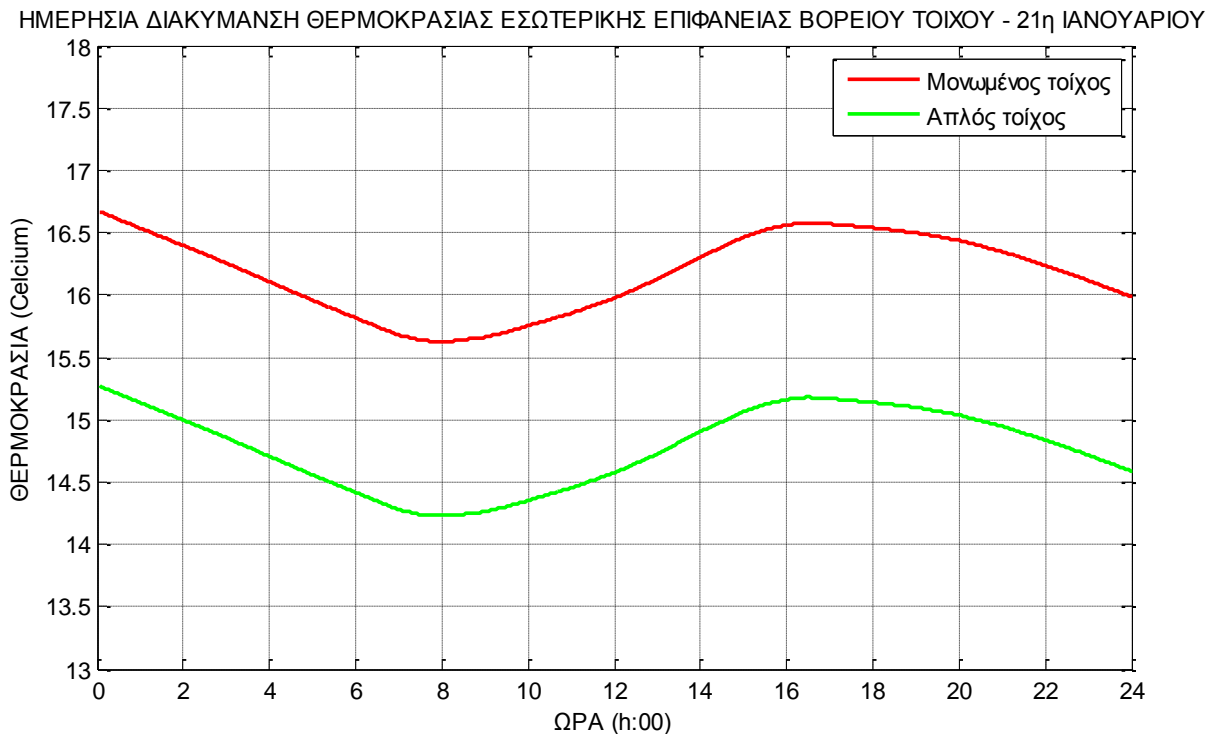
Εικόνα 5.2.1γ: Συγκριτικό διάγραμμα ημερήσιας διακύμανσης θερμοκρασίας νότιας εξωτερικής επιφάνειας της κατασκευής με μονωμένο και απλό τοίχο την 21^η Ιουλίου.

ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΔΥΤΙΚΟΥ ΤΟΙΧΟΥ - 21η ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ



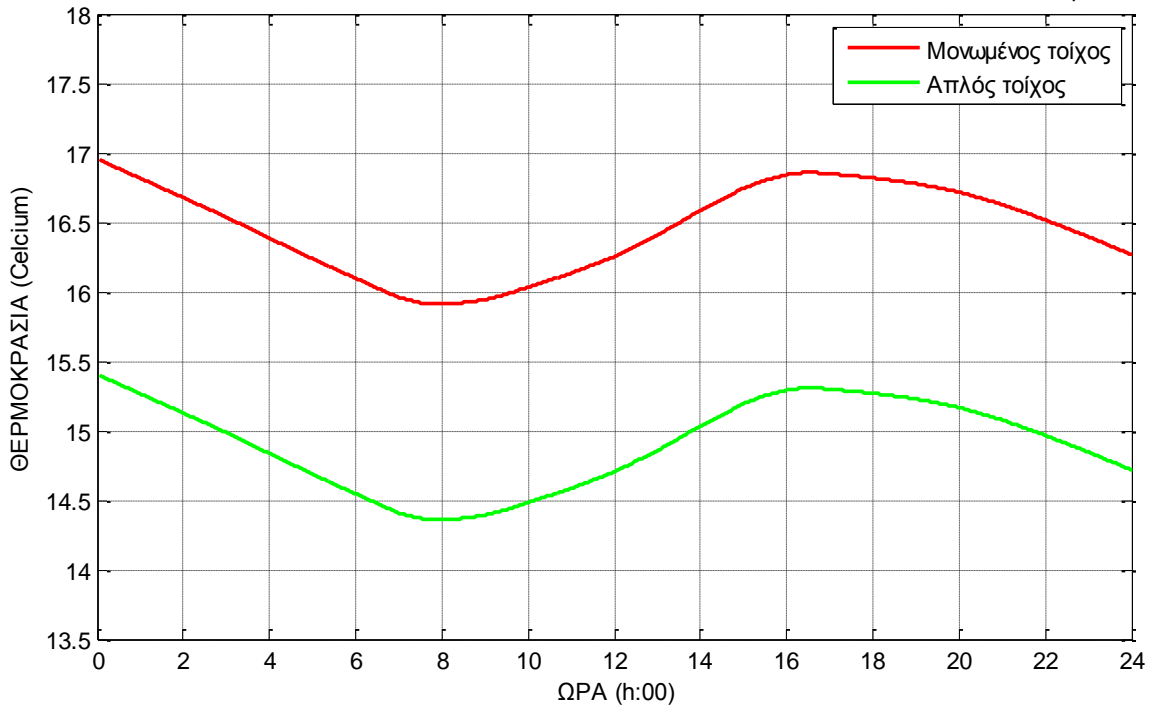
Εικόνα 5.2.1δ: Συγκριτικό διάγραμμα ημερήσιας διακύμανσης θερμοκρασίας δυτικής εξωτερικής επιφάνειας της κατασκευής με μονωμένο και απλό τοίχο την 21^η Ιουλίου.

- Παρατηρώντας τις εικόνες 5.2.2α έως 5.2.2δ βλέπουμε ότι η εσωτερική επιφάνεια του μονωμένου τοίχου είναι περίπου 1.3°C θερμότερη από την εσωτερική επιφάνεια του απλού τοίχου καθόλη τη διάρκεια του 24ώρου. Επίσης όπως και στην καλοκαιρινή περίοδο έτσι και τον χειμώνα το εύρος των τιμών της θερμοκρασίας των εσωτερικών επιφανειών είναι πολύ μικρό σε σύγκριση με το εύρος των τιμών στις εξωτερικές επιφάνειες.



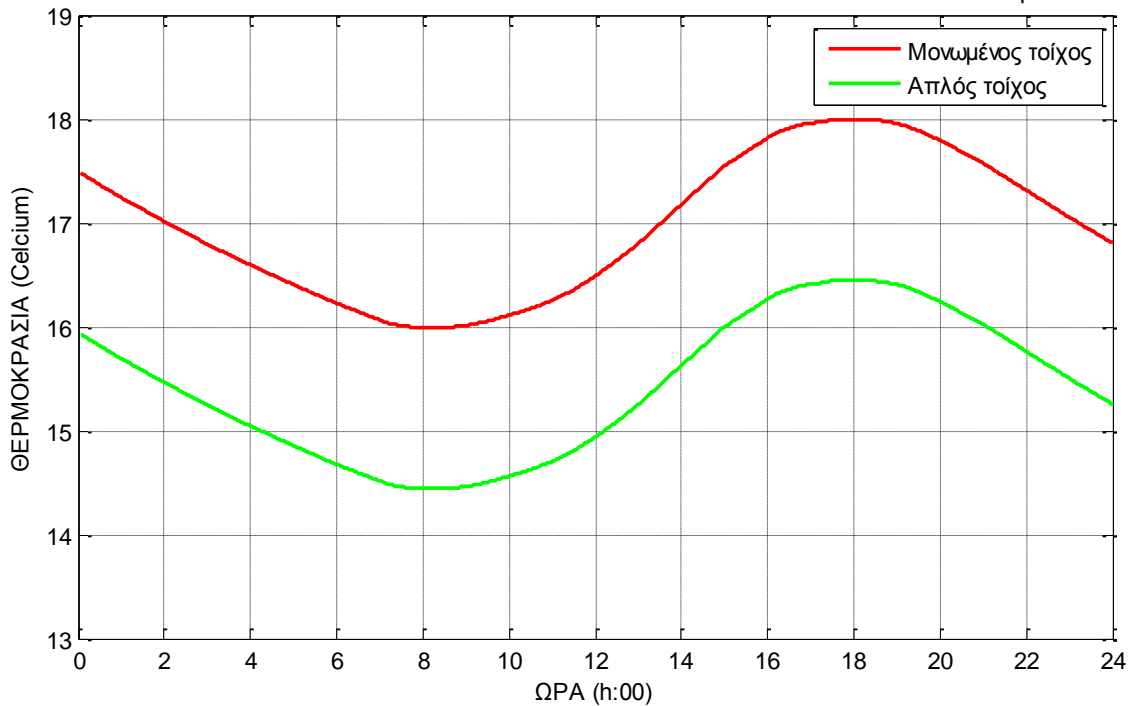
Εικόνα 5.2.2α: Συγκριτικό διάγραμμα ημερήσιας διακύμανσης θερμοκρασίας βόρειας εσωτερικής επιφάνειας της κατασκευής με μονωμένο και απλό τοίχο την 21^η Ιουλίου.

ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΥ ΤΟΙΧΟΥ - 21η ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ

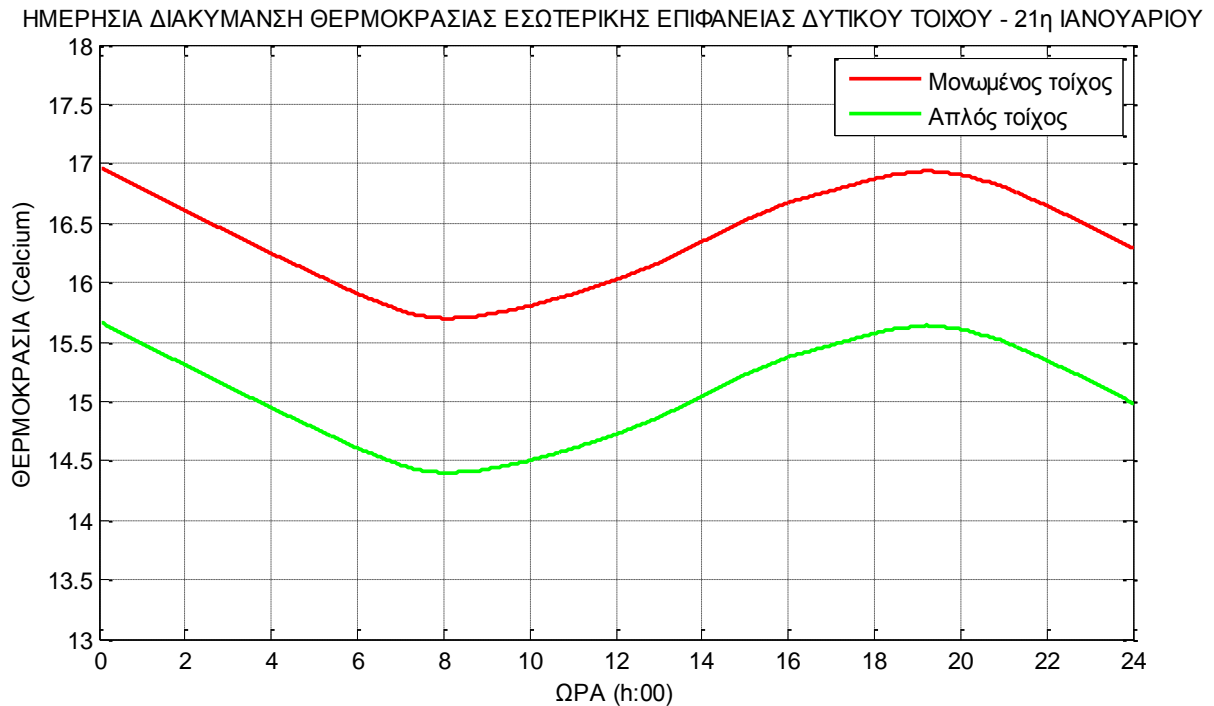


Εικόνα 5.2.2β: Συγκριτικό διάγραμμα ημερήσιας διακύμανσης θερμοκρασίας ανατολικής εσωτερικής επιφάνειας της κατασκευής με μονωμένο και απλό τοίχο την 21^η Ιουλίου.

ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΝΟΤΙΟΥ ΤΟΙΧΟΥ - 21η ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ



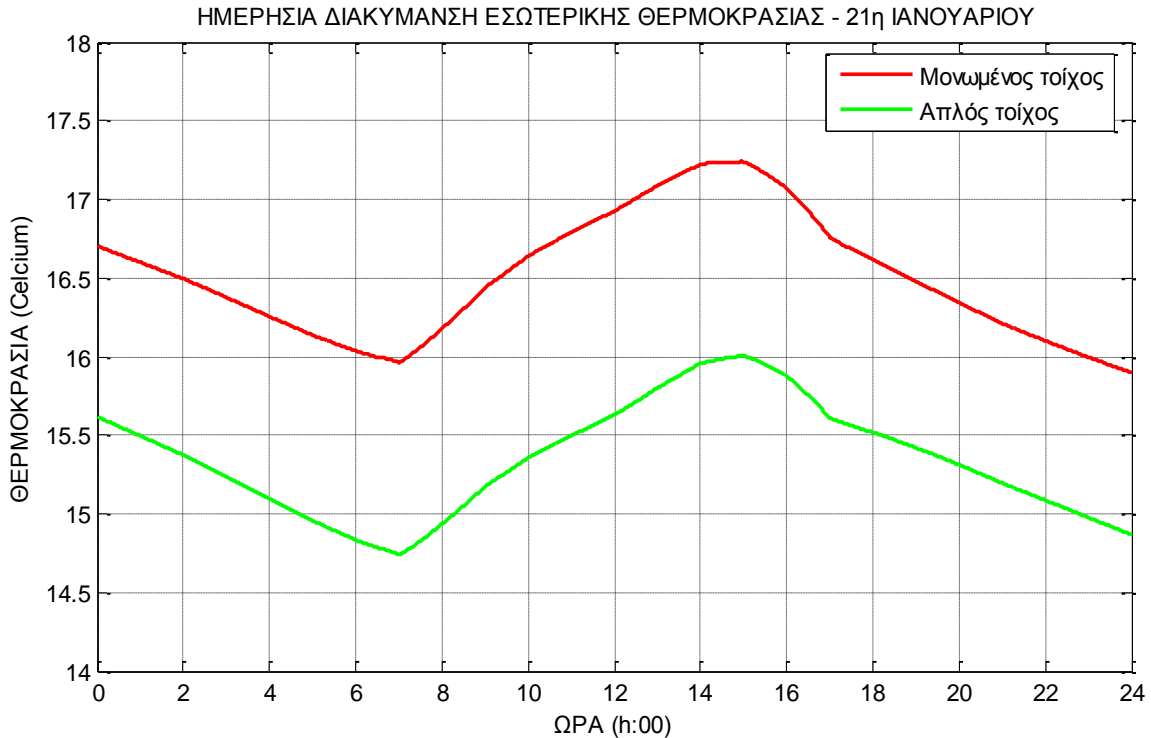
Εικόνα 5.2.2γ: Συγκριτικό διάγραμμα ημερήσιας διακύμανσης θερμοκρασίας νότιας εσωτερικής επιφάνειας της κατασκευής με μονωμένο και απλό τοίχο την 21^η Ιουλίου.



Εικόνα 5.2.2δ: Συγκριτικό διάγραμμα ημερήσιας διακύμανσης θερμοκρασίας δυτικής εσωτερικής επιφάνειας της κατασκευής με μονωμένο και απλό τοίχο την 21^η Ιουλίου.

Επομένως, συμπεραίνουμε ότι και κατά την χειμερινή περίοδο το σύστημα της εξωτερικής θερμομόνωσης λειτουργεί. Για επιβεβαίωση των παραπάνω θα παρατηρήσουμε στη συνέχεια το συγκριτικό διάγραμμα της εσωτερικής θερμοκρασίας του χώρου μεταξύ απλής και μονωμένης τοιχοποιίας.

- Όπως σωστά υποθέσαμε, ως συνέχεια του αποτελέσματος των εικόνων 5.2.2α – 5.2.2δ προκύπτει η εικόνα 5.2.3 στην οποία φαίνεται η διαφορά της εσωτερικής θερμοκρασίας μεταξύ των δύο περιπτώσεων κατασκευής των τοίχων του κτιρίου (απλοί τοίχοι και τοίχοι με μόνωση). Παρατηρούμε μια σταθερή διαφορά της εσωτερικής θερμοκρασίας γύρω στον 1,2°C καθόλη τη διάρκεια της μέρας.



Εικόνα 5.2.3: Συγκριτικό διάγραμμα ημερήσιας διακύμανσης του αέρα στον εσωτερικό χώρο του κτιρίου

- Η αύξηση της θερμοκρασίας του εσωτερικού χώρου του κτιρίου με τους μονωμένους τοίχους μειώνει και το χρόνο λειτουργίας της κεντρικής θέρμανσης που είναι εγκατεστημένη στο κτίριο. Για τον υπολογισμό του χρόνου αυτού υποθέτουμε ότι η συνολική ισχύς της θέρμανσης είναι 11000W και ενεργοποιείται με θερμοστάτη όταν η θερμοκρασία στο εσωτερικό του κτιρίου είναι κάτω από 22° C. Προσθέτοντας επομένως την παρακάτω συσθήκη που αφορά την εξίσωση (4.3.2-17), εκτελείται άλλη μια φορά ο κώδικας υπολογισμού.

$$T_{in} = \frac{Q_{tot}}{C_{tot}} \Delta t + T_{in}^0 \quad [^{\circ}K] \quad (4.3.2 - 17)$$

$$\text{Όπου} \rightarrow T_{in} < 295^{\circ}K \rightarrow Q_{tot} = Q_{tot} + 11000$$

$$\rightarrow T_{in} < 295^{\circ}K \rightarrow Q_{tot} = Q_{tot}$$

Στον πιο κάτω πίνακα φαίνεται ο χρόνος λειτουργίας της κεντρικής θέρμανσης για τις δυο περιπτώσεις. Για κάθε χρονική στιγμή που η θερμοκρασία $T_{in} < 295^{\circ}K$, κατά την οποία ενεργοποιείτε η θέρμανση, προστίθεται στον ολικό χρόνο λειτουργίας του το Δt .

Πίνακας 5.2.1: Συνολικός χρόνος λειτουργίας κλιματιστικών συσκευών σε κατοικίες με μονωμένη και απλή τοιχοποιία.

	Μονωμένοι τοίχοι	Απλοί τοίχοι
Χρόνος λειτουργίας κεντρικής θέρμανσης → time _h [h]	7,0912	8,1032

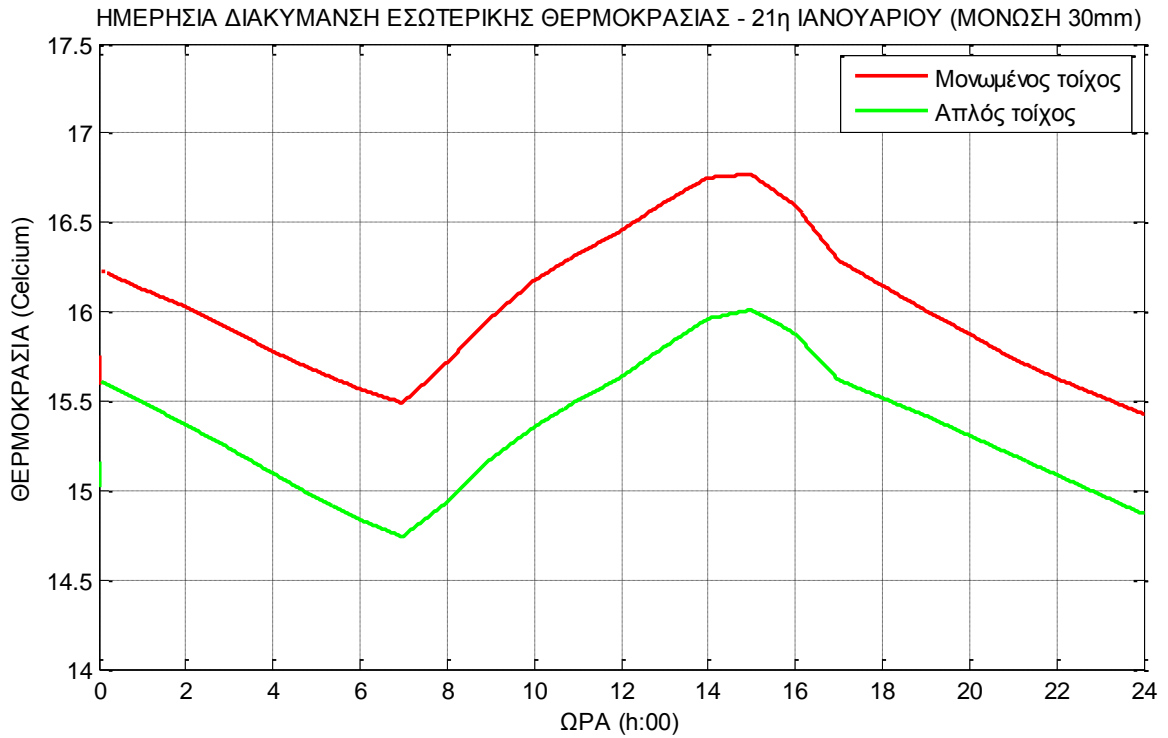
- Σαν αποτέλεσμα της μείωσης του χρόνου λειτουργίας της κεντρικής θέρμανσης, μειώνεται αντίστοιχα και η ολική ενέργεια που καταναλώνεται για την επίτευξη συνθηκών θερμικής άνεσης στους εσωτερικούς χώρους του κτιρίου E_h. Χρησιμοποιώντας την εξίσωση (5.2.1) υπολογίζετε η ολική ενέργεια που καταναλώνετε, οι τιμές της οποίας φαίνονται στον πίνακα (5.2.2).

$$E_h = \text{time}_h Q_h \quad (5.2.1)$$

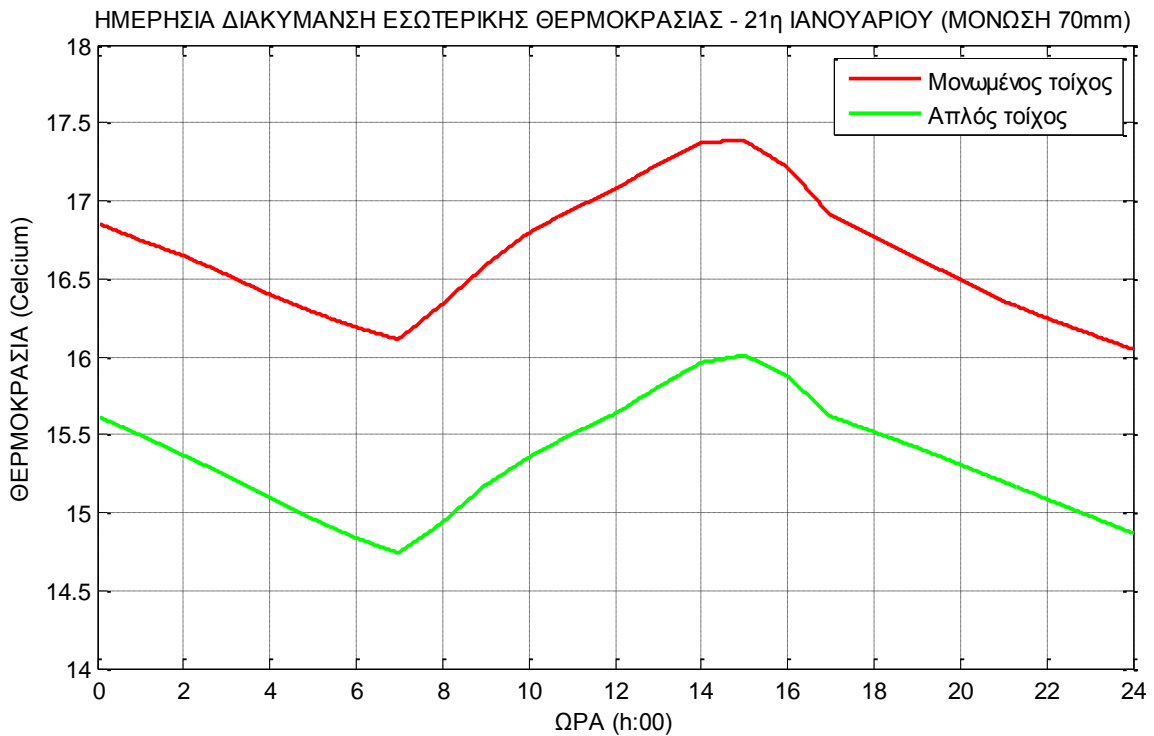
Πίνακας 5.2.2: Ολική ενέργεια που καταναλώνεται από τις κλιματιστικές συσκευές σε κατοικίες με μονωμένη και απλή τοιχοποιία

	Μονωμένοι τοίχοι	Απλοί τοίχοι
Ολική ενέργεια που καταναλώνεται από την κεντρική θέρμανση → E _h [KWh]	78,0032	89,1352

Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 5.1., στην παρούσα εργασία η εξηλασμένη πολυστερίνη που χρησιμοποιείται για τη μόνωση των εξωτερικών τοίχων είναι πάχους 50mm. Στην αγορά εκτός από εξηλασμένη πολυστερίνη του μεγέθους αυτού βρίσκουμε επίσης 30mm και 70mm. Εισάγοντας αυτά τα δεδομένα στο πρόγραμμα μας εκτελούμε τον κώδικα ακόμα μία φορά για την κάθε τιμή και λαμβάνουμε τα παρακάτω συγκριτικά διαγράμματα αντίστοιχα.



Εικόνα 5.1.4: Συγκριτικό διάγραμμα ημερήσιας διακύμανσης θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου – Μόνωση 30mm



Εικόνα 5.2.5: Συγκριτικό διάγραμμα ημερήσιας διακύμανσης θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου – Μόνωση 70mm

Σύμφωνα με τα συγκριτικό διάγραμμα 5.2.4, αν για τη θερμομόνωση χρησιμοποιηθεί εξηλασμένη πολυστερίνη πάχους 30mm η διαφορά εσωτερικής θερμοκρασίας μεταξύ του κτιρίου με μονωμένους και του κτιρίου με απλούς τοίχους είναι 0,7°C. Δηλαδή, μειώνεται σε μεγάλο βαθμό η διαφορά της θερμοκρασίας ανάμεσα στα δύο είδη τοιχοποιίας σε σχέση με τη διαφορά της θερμοκρασίας αν η μόνωση γίνει με εξηλασμένη πολυστερίνη πάχους 50mm.

Παρατηρώντας το συγκριτικό διάγραμμα 5.2.5, αν η θερμομόνωση γίνει με εξηλασμένη πολυστερίνη πάχους 70mm η διαφορά εσωτερικής θερμοκρασίας μεταξύ του κτιρίου με μονωμένους και του κτιρίου με απλούς τοίχους είναι 1,4°C. Δηλαδή η διαφορά θερμοκρασίας σε αυτή την περίπτωση σε σχέση με την διαφορά θερμοκρασίας μονωμένου τοίχου με πολυστερίνη πάχους 50mm είναι ελάχιστη, έτσι δεν αξίζει το επιπλέον κόστος για την χρησιμοποίηση χοντρότερης πολυστερίνης.

Επομένως, όπως και για την καλοκαιρινή περίοδο έτσι και για την χειμερινή περίοδο, το καταλληλότερο πάχος εξηλασμένης πολυστερίνης για την εξωτερική θερμομόνωση των τοίχων είναι 50mm.

Συνοψίζοντας, στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε μια προσέγγιση της μεταβολής της θερμικής συμπεριφοράς ενός κτιρίου στο οποίο γίνεται εγκατάσταση προστατευτικής επίστρωσης εξωτερικών τοίχων σε σχέση με τους απλούς τοίχους. Από τα αποτελέσματα των γραφικών παραστάσεων του κεφαλαίου αυτού, με την εφαρμογή της τεχνικής αυτής, φαίνεται να επιβεβαιώνονται τα διάφορα οφέλη που παρουσιάζονται στην παράγραφο 2.8. τα οποία αναφέρονται και στη διεθνή βιβλιογραφία (θερμική άνεση στο εσωτερικό του κτιρίου, μείωση της ανάγκης θέρμανσης ή ψύξης του εσωτερικού χώρου). Με βάση τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο κεφάλαιο αυτό, τα πιο πάνω οφέλη δεν φαίνεται να είναι ιδιαίτερα σημαντικά. Ωστόσο, θεωρητικά, στην πράξη τα οφέλη αυτά είναι περισσότερα αφού στη διαμόρφωση των εσωτερικών συνθηκών συντείνουν κι άλλοι παράγοντες οι οποίοι δεν λήφθησαν υπόψη στη συγκεκριμένη εργασία, όπως για παράδειγμα η υγρασία της ατμόσφαιρας.

Εν κατακλείδι, το γενικό συμπέρασμα της μελέτης αυτής είναι ότι η εγκατάσταση της θερμομόνωσης στους εξωτερικούς τοίχους είναι σημαντική και ιδιαίτερα αναγκαία αφού οι θερμικές απώλειες του κελύφους των κτιρίων καθορίζουν την κατανάλωση ενέργειας για τη διατήρηση των επιθυμητών συνθηκών άνεσης μέσα σε αυτά. Επομένως, η εφαρμογή αυτή μπορεί να προσφέρει σημαντικά ενεργειακά και περιβαλλοντικά οφέλη.

Φυσικά η θερμομόνωση των εξωτερικών τοίχων μπορεί να γίνει και με άλλα υλικά όπως είχαμε αναφέρει και στην παράγραφο 2.8 όπως η διογκωμένη πολυστερίνη, ο φελλός και ο πετροβάμβακας ή ακόμα και με άλλες τεχνικές όπως ο θερμομονωτικός σοβάς ή ο αφρός πολυουρεθάνης. Στην παρούσα εργασία εξετάσαμε την περίπτωση της εξωτερικής θερμομόνωσης με εξηλασμένη πολυστερίνη που είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος την περίοδο αυτή.

Τα προαναφερθέντα υλικά έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά με την εξηλασμένη πολυστερίνη, έχοντας όμως το καθένα τις δικές του ξεχωριστές ιδιότητες. Διαφορετικός είναι και ο τρόπος εφαρμογής των περισσοτέρων υλικών καθώς και τουλικό κατασκευής του κτιρίου στο οποίο θα γίνει η εφαρμογή. Επίσης διαφορετικό είναι και το κόστος της κάθε εφαρμογής κάτι που είναι πολύ σημαντικό για τον κάθε χρήστη.

Μια σύγκριση των παραπάνω θα μπορούσε να γίνει θέμα προς επεξεργασία το οποίο θα έδειχνε την δυνατότητα σε κάθε ενδιαφερόμενο να βρει τον πιο κατάλληλο τρόπο εξωτερικής θερμομόνωσης για τον ίδιο.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Κώδικας επίλυσης

Για την επίλυση του συστήματος, γράφεται κατάλληλος κώδικας **MATLAB** στην έκδοση 2008Rb. Για μεγαλύτερη ακρίβεια αλλά και για να επιτευχθεί ευστάθεια στους υπολογισμούς ορίζουμε πολύ μικρό χρονικό βήμα της τάξεως του $\Delta t= 6\text{sec}$. Λοιπά δεδομένα εισόδου έχουν οριστεί στις προηγούμενες παραγράφους, ενώ τιμές θερμοκρασίας, ηλιακής ακτινοβολίας και SHGF εισάγονται από το αρχείο **'July 21st.xls'** και **'January 21st.xls'** της Microsoft Excel για τον Ιούλιο και τον Ιανουάριο αντίστοιχα.

```
function thermal_insulation_external_wall

clc
clear all
format long

%%%%%   ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ   %%%%%

% συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK)
kepix=0.87;      % sovas(eswteriko kai ekswteriko epixrisma)
ktouv=0.4;      % touvlo
kmon=0.029;     % thermomonwtiko uliko
kdiak=0.22;     % teliko diakosmitiko epixrisma
kasfp=0.19;     % asfaltopano
kscrd=1.35;     % screed rusewn
kskur=2.03;     % oplismeno skurodema

% ειδική θερμοχωτικότητα c (J/KgK)
cepix=1000;     % sovas(eswteriko kai ekswteriko epixrisma)
ctouv=840;      % touvlo
cmon=1000;      % thermomonwtiko uliko
cdiak=1000;     % teliko diakosmitiko epixrisma
casfp=1800;     % asfaltopano
cscrd=840;      % screed rusewn
cskur=880;      % oplismeno skurodema
cair=1003;      % aeras

% πυκνότητα ρ (kg/m^3)
pepix=1800;     % sovas(eswteriko kai ekswteriko epixrisma)
ptouv=1000;     % touvlo
```

```

pmon=50;           % thermomonwtiko uliko
pdiak=600;        % teliko diakosmitiko epixrisma
pasfp=1100;       % asfaltopano
pscrd=1200;       % screed rusewn
pskur=2300;       % oplismeno skurodema
pair=1.15;        % aeras

% συντελεστής συναγωγής h (W/m^2K)
hin=7.7;          % eswterikos aeras - eswterikh epifaneia toixwn h
orofhs
hout=16.3;        % ekswterikos aeras - ekswterikh epifaneia toixwn h
orofhs

% εξωτερικές συνθήκες - eisagwgh apo arxeio excel (ana 5 lepta)
Tout5=xlsread('July 21st.xls','C4:C291'); % thermokrasia
eksoterikou aera (K)
Iout5=xlsread('July 21st.xls','D4:D291'); % hmerisia diakumansh
hliakhs aktinovoliias (W/m^2K)
Teqno5=xlsread('July 21st.xls','I4:I291'); % isodynamh thermokrasia
hliou - aera North (C)
Teqea5=xlsread('July 21st.xls','J4:J291'); % isodynamh thermokrasia
hliou - aera East (C)
Teqso5=xlsread('July 21st.xls','K4:K291'); % isodynamh thermokrasia
hliou - aera South (C)
Teqwe5=xlsread('July 21st.xls','L4:L291'); % isodynamh thermokrasia
hliou - aera West (C)
Teqroof5=xlsread('July 21st.xls','M4:M291'); % isodynamh
thermokrasia hliou - aera orofi (C)
SHGFno5=xlsread('July 21st.xls','P4:P291'); % SHGF North (W/m^2)
SHGFea5=xlsread('July 21st.xls','Q4:Q291'); % SHGF East (W/m^2)
SHGFso5=xlsread('July 21st.xls','R4:R291'); % SHGF South (W/m^2)
SHGFwe5=xlsread('July 21st.xls','S4:S291'); % SHGF West (W/m^2)

% πάχος διαστρωμάτωσης τοίχων και οροφής L(m)
Lepix=0.025;      % sovas(eswteriko kai ekswteriko epixrisma)
Ltouv=0.2;        % touvlo
Lmon=0.05;        % thermomonwtiko uliko
Ldiak=0.002;      % teliko diakosmitiko epixrisma
Lasfp=0.005;      % asfaltopano
Lscrd=0.05;       % screed rusewn
Lskur=0.15;       % oplismeno skurodema
Lintouv=0.1;      % touvlo eswterikhs toixopoias

% διαστάσεις κτιρίου (m)
mhkos=13;
platos=16;
ypsos=3.3;

% ανοίγματα - χαρακτηριστικά υαλοπινάκων
yalopno=16;       % parathyra vorra (m^2)
yalopea=6;        % parathyra anapolis (m^2)
yalopso=8;        % parathyra notou (m^2)
yalopwe=6;        % parathyra dysis (m^2)
SC=0.35;          % syntelesths skiashs
U=3.19;           % olikh thermikh diaperatothta (W/m^2K)

```

```

% λοιπά δεδομένα
dtlepta=1/10; % xroniko vhma se lepta
dt=dtlepta*60; % xroniko vhma se seconds
ACH=1.5; % ananewsh aera xwrou (1/h)
Qac=-9000; % isxys klimatistikwn

% επεξεργασία δεδομένων
Lwall=Lepix*2+Ltouv; % oliko paxos aplhs ekswterikis
toixopoiiias
Nwall=250; % komvoi aplhs ekswterikhs
toixopoiiias
dxwall=Lwall/(Nwall-1); % vhma aplhs akswterikhs
toixopoiiias
Lprot=Lepix*2+Ltouv+Lmon; % oliko paxos monwmenhs ekswterikhw
toixopoiiias
Nprot=300; % komvoi monwmenhs ekswterikhs
toixopoiiias
dxprot=Lprot/(Nprot-1); % vhma monwmenhs ekswterikhs
toixopoiiias
Lroof=Lasfp+Lscrd+Lmon+Lskur+Lepix; % oliko paxos orofhs
Nroof=260; % komvoi orofhs
dz=Lroof/(Nroof-1); % vhma orofhs
Linwall=Lepix*2+Lintouv; % oliko paxos eswrikhs toixopoiiias
Ninwall=150; % komvoi eswterikhs toixopoiiias
dxin=Linwall/(Ninwall-1); % vhma eswterikhs toixopoiiias
f=0.5; % diatypwsh Crank-Nikolson

% υπολογισμός ισοδύναμης θερμοχωρητικότητας εσωτερικού χώρου Ctot (J/K)
Lengthinwall=80; % oliko mhkos eswterikwn toixwn (m)
Ctot=cair*pair*(mhkos*platos*ypsos-(Lengthinwall*ypsos*Linwall)); %
isodynamh thermoxwrhtikothta (J/K)

% αναγωγή των εισαγωμενων ανά 5λεπτο δεδομένων σε τιμές ανά λεπτο με
% γραμμική παρεμβολή

Tout1(1)=0.2*Tout5(1)+0.8*Tout5(288);
Tout1(2)=0.4*Tout5(1)+0.6*Tout5(288);
Tout1(3)=0.6*Tout5(1)+0.4*Tout5(288);
Tout1(4)=0.8*Tout5(1)+0.2*Tout5(288);

Iout1(1)=0.2*Iout5(1)+0.8*Iout5(288);
Iout1(2)=0.4*Iout5(1)+0.6*Iout5(288);
Iout1(3)=0.6*Iout5(1)+0.4*Iout5(288);
Iout1(4)=0.8*Iout5(1)+0.2*Iout5(288);

Teqno1(1)=0.2*Teqno5(1)+0.8*Teqno5(288);
Teqno1(2)=0.4*Teqno5(1)+0.6*Teqno5(288);
Teqno1(3)=0.6*Teqno5(1)+0.4*Teqno5(288);
Teqno1(4)=0.8*Teqno5(1)+0.2*Teqno5(288);

Teqea1(1)=0.2*Teqea5(1)+0.8*Teqea5(288);
Teqea1(2)=0.4*Teqea5(1)+0.6*Teqea5(288);
Teqea1(3)=0.6*Teqea5(1)+0.4*Teqea5(288);
Teqea1(4)=0.8*Teqea5(1)+0.2*Teqea5(288);

```

```

Teqso1 (1)=0.2*Teqso5 (1)+0.8*Teqso5 (288) ;
Teqso1 (2)=0.4*Teqso5 (1)+0.6*Teqso5 (288) ;
Teqso1 (3)=0.6*Teqso5 (1)+0.4*Teqso5 (288) ;
Teqso1 (4)=0.8*Teqso5 (1)+0.2*Teqso5 (288) ;

Teqwe1 (1)=0.2*Teqwe5 (1)+0.8*Teqwe5 (288) ;
Teqwe1 (2)=0.4*Teqwe5 (1)+0.6*Teqwe5 (288) ;
Teqwe1 (3)=0.6*Teqwe5 (1)+0.4*Teqwe5 (288) ;
Teqwe1 (4)=0.8*Teqwe5 (1)+0.2*Teqwe5 (288) ;

Teqroof1 (1)=0.2*Teqroof5 (1)+0.8*Teqroof5 (288) ;
Teqroof1 (2)=0.4*Teqroof5 (1)+0.6*Teqroof5 (288) ;
Teqroof1 (3)=0.6*Teqroof5 (1)+0.4*Teqroof5 (288) ;
Teqroof1 (4)=0.8*Teqroof5 (1)+0.2*Teqroof5 (288) ;

SHGFno1 (1)=0.2*SHGFno5 (1)+0.8*SHGFno5 (288) ;
SHGFno1 (2)=0.4*SHGFno5 (1)+0.6*SHGFno5 (288) ;
SHGFno1 (3)=0.6*SHGFno5 (1)+0.4*SHGFno5 (288) ;
SHGFno1 (4)=0.8*SHGFno5 (1)+0.2*SHGFno5 (288) ;

SHGFea1 (1)=0.2*SHGFea5 (1)+0.8*SHGFea5 (288) ;
SHGFea1 (2)=0.4*SHGFea5 (1)+0.6*SHGFea5 (288) ;
SHGFea1 (3)=0.6*SHGFea5 (1)+0.4*SHGFea5 (288) ;
SHGFea1 (4)=0.8*SHGFea5 (1)+0.2*SHGFea5 (288) ;

SHGFso1 (1)=0.2*SHGFso5 (1)+0.8*SHGFso5 (288) ;
SHGFso1 (2)=0.4*SHGFso5 (1)+0.6*SHGFso5 (288) ;
SHGFso1 (3)=0.6*SHGFso5 (1)+0.4*SHGFso5 (288) ;
SHGFso1 (4)=0.8*SHGFso5 (1)+0.2*SHGFso5 (288) ;

SHGFwe1 (1)=0.2*SHGFwe5 (1)+0.8*SHGFwe5 (288) ;
SHGFwe1 (2)=0.4*SHGFwe5 (1)+0.6*SHGFwe5 (288) ;
SHGFwe1 (3)=0.6*SHGFwe5 (1)+0.4*SHGFwe5 (288) ;
SHGFwe1 (4)=0.8*SHGFwe5 (1)+0.2*SHGFwe5 (288) ;

for t1=2:(24*60/5)
    Tout1 ((t1-1)*5)=Tout5 (t1-1) ;
    Tout1 ((t1-1)*5+1)=0.8*Tout5 (t1-1)+0.2*Tout5 (t1) ;
    Tout1 ((t1-1)*5+2)=0.6*Tout5 (t1-1)+0.4*Tout5 (t1) ;
    Tout1 ((t1-1)*5+3)=0.4*Tout5 (t1-1)+0.6*Tout5 (t1) ;
    Tout1 ((t1-1)*5+4)=0.2*Tout5 (t1-1)+0.8*Tout5 (t1) ;
    Tout1 ((t1-1)*5+5)=Tout5 (t1) ;

    Iout1 ((t1-1)*5)=Iout5 (t1-1) ;
    Iout1 ((t1-1)*5+1)=0.8*Iout5 (t1-1)+0.2*Iout5 (t1) ;
    Iout1 ((t1-1)*5+2)=0.6*Iout5 (t1-1)+0.4*Iout5 (t1) ;
    Iout1 ((t1-1)*5+3)=0.4*Iout5 (t1-1)+0.6*Iout5 (t1) ;
    Iout1 ((t1-1)*5+4)=0.2*Iout5 (t1-1)+0.8*Iout5 (t1) ;
    Iout1 ((t1-1)*5+5)=Iout5 (t1) ;

    Teqno1 ((t1-1)*5)=Teqno5 (t1-1) ;
    Teqno1 ((t1-1)*5+1)=0.8*Teqno5 (t1-1)+0.2*Teqno5 (t1) ;
    Teqno1 ((t1-1)*5+2)=0.6*Teqno5 (t1-1)+0.4*Teqno5 (t1) ;
    Teqno1 ((t1-1)*5+3)=0.4*Teqno5 (t1-1)+0.6*Teqno5 (t1) ;

```

```

Teqno1 ((t1-1)*5+4)=0.2*Teqno5 (t1-1)+0.8*Teqno5 (t1) ;
Teqno1 ((t1-1)*5+5)=Teqno5 (t1) ;

Teqea1 ((t1-1)*5)=Teqea5 (t1-1) ;
Teqea1 ((t1-1)*5+1)=0.8*Teqea5 (t1-1)+0.2*Teqea5 (t1) ;
Teqea1 ((t1-1)*5+2)=0.6*Teqea5 (t1-1)+0.4*Teqea5 (t1) ;
Teqea1 ((t1-1)*5+3)=0.4*Teqea5 (t1-1)+0.6*Teqea5 (t1) ;
Teqea1 ((t1-1)*5+4)=0.2*Teqea5 (t1-1)+0.8*Teqea5 (t1) ;
Teqea1 ((t1-1)*5+5)=Teqea5 (t1) ;

Teqso1 ((t1-1)*5)=Teqso5 (t1-1) ;
Teqso1 ((t1-1)*5+1)=0.8*Teqso5 (t1-1)+0.2*Teqso5 (t1) ;
Teqso1 ((t1-1)*5+2)=0.6*Teqso5 (t1-1)+0.4*Teqso5 (t1) ;
Teqso1 ((t1-1)*5+3)=0.4*Teqso5 (t1-1)+0.6*Teqso5 (t1) ;
Teqso1 ((t1-1)*5+4)=0.2*Teqso5 (t1-1)+0.8*Teqso5 (t1) ;
Teqso1 ((t1-1)*5+5)=Teqso5 (t1) ;

Teqwe1 ((t1-1)*5)=Teqwe5 (t1-1) ;
Teqwe1 ((t1-1)*5+1)=0.8*Teqwe5 (t1-1)+0.2*Teqwe5 (t1) ;
Teqwe1 ((t1-1)*5+2)=0.6*Teqwe5 (t1-1)+0.4*Teqwe5 (t1) ;
Teqwe1 ((t1-1)*5+3)=0.4*Teqwe5 (t1-1)+0.6*Teqwe5 (t1) ;
Teqwe1 ((t1-1)*5+4)=0.2*Teqwe5 (t1-1)+0.8*Teqwe5 (t1) ;
Teqwe1 ((t1-1)*5+5)=Teqwe5 (t1) ;

Teqroof1 ((t1-1)*5)=Teqroof5 (t1-1) ;
Teqroof1 ((t1-1)*5+1)=0.8*Teqroof5 (t1-1)+0.2*Teqroof5 (t1) ;
Teqroof1 ((t1-1)*5+2)=0.6*Teqroof5 (t1-1)+0.4*Teqroof5 (t1) ;
Teqroof1 ((t1-1)*5+3)=0.4*Teqroof5 (t1-1)+0.6*Teqroof5 (t1) ;
Teqroof1 ((t1-1)*5+4)=0.2*Teqroof5 (t1-1)+0.8*Teqroof5 (t1) ;
Teqroof1 ((t1-1)*5+5)=Teqroof5 (t1) ;

SHGFno1 ((t1-1)*5)=SHGFno5 (t1-1) ;
SHGFno1 ((t1-1)*5+1)=0.8*SHGFno5 (t1-1)+0.2*SHGFno5 (t1) ;
SHGFno1 ((t1-1)*5+2)=0.6*SHGFno5 (t1-1)+0.4*SHGFno5 (t1) ;
SHGFno1 ((t1-1)*5+3)=0.4*SHGFno5 (t1-1)+0.6*SHGFno5 (t1) ;
SHGFno1 ((t1-1)*5+4)=0.2*SHGFno5 (t1-1)+0.8*SHGFno5 (t1) ;
SHGFno1 ((t1-1)*5+5)=SHGFno5 (t1) ;

SHGFea1 ((t1-1)*5)=SHGFea5 (t1-1) ;
SHGFea1 ((t1-1)*5+1)=0.8*SHGFea5 (t1-1)+0.2*SHGFea5 (t1) ;
SHGFea1 ((t1-1)*5+2)=0.6*SHGFea5 (t1-1)+0.4*SHGFea5 (t1) ;
SHGFea1 ((t1-1)*5+3)=0.4*SHGFea5 (t1-1)+0.6*SHGFea5 (t1) ;
SHGFea1 ((t1-1)*5+4)=0.2*SHGFea5 (t1-1)+0.8*SHGFea5 (t1) ;
SHGFea1 ((t1-1)*5+5)=SHGFea5 (t1) ;

SHGFso1 ((t1-1)*5)=SHGFso5 (t1-1) ;
SHGFso1 ((t1-1)*5+1)=0.8*SHGFso5 (t1-1)+0.2*SHGFso5 (t1) ;
SHGFso1 ((t1-1)*5+2)=0.6*SHGFso5 (t1-1)+0.4*SHGFso5 (t1) ;
SHGFso1 ((t1-1)*5+3)=0.4*SHGFso5 (t1-1)+0.6*SHGFso5 (t1) ;
SHGFso1 ((t1-1)*5+4)=0.2*SHGFso5 (t1-1)+0.8*SHGFso5 (t1) ;
SHGFso1 ((t1-1)*5+5)=SHGFso5 (t1) ;

SHGFwe1 ((t1-1)*5)=SHGFwe5 (t1-1) ;
SHGFwe1 ((t1-1)*5+1)=0.8*SHGFwe5 (t1-1)+0.2*SHGFwe5 (t1) ;
SHGFwe1 ((t1-1)*5+2)=0.6*SHGFwe5 (t1-1)+0.4*SHGFwe5 (t1) ;

```



```

SHGFwe1((t1-1)*5+3)=0.4*SHGFwe5(t1-1)+0.6*SHGFwe5(t1);
SHGFwe1((t1-1)*5+4)=0.2*SHGFwe5(t1-1)+0.8*SHGFwe5(t1);
SHGFwe1((t1-1)*5+5)=SHGFwe5(t1);

end

for t2=1:(24*60)           % anagwgh dedomenwn se times ana dt

    for t3=(60/dt-1):-1:0

        Tout(t2*(60/dt)-t3)=Tout1(t2);
        Iout(t2*(60/dt)-t3)=Iout1(t2);

        Teqno(t2*(60/dt)-t3)=Teqno1(t2);
        Teqea(t2*(60/dt)-t3)=Teqea1(t2);
        Teqso(t2*(60/dt)-t3)=Teqso1(t2);
        Teqwe(t2*(60/dt)-t3)=Teqwe1(t2);
        Teqroof(t2*(60/dt)-t3)=Teqroof1(t2);

        SHGFno(t2*(60/dt)-t3)=SHGFno1(t2);
        SHGFea(t2*(60/dt)-t3)=SHGFea1(t2);
        SHGFso(t2*(60/dt)-t3)=SHGFso1(t2);
        SHGFwe(t2*(60/dt)-t3)=SHGFwe1(t2);

    end

end

%%%%%  ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΙ ΤΟΙΧΟΙ ΜΕ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΟ ΠΕΡΙΜΒΛΗΜΑ (ΜΟΝΩΣΗ)  %%%%%

%Σε πρώτη φάση γίνεται εξέταση του προλήματος σε MONIMO πεδίο ώστε να
%δοθούν κάποιες αρχικές τιμές θερμοκρασίας στους κόμβους του πλέγματος

t=1;           % xronikh stigmh t=0 - wra 00:00:06

% orizoume arxikes oriakes synthikes (times ekinishs)
Tin=302;       % thermokrasia eswterikou aera

%i=1 prwtos komvos

% Vorios (North) toixos
kprot(1)=kepix;
Lprot(1)=0;
Tfactorwanop(1,1)=hout+kprot(1)/dxprot; % paragontas a1,1
Tfactorwanop(1,2)=-kprot(1)/dxprot;    % paragontas a1,2
Cfactorwanop(1)=hout*Teqno(t);         % paragontas b1

% Anatolikos (East) toixos
Tfactorwaeap(1,1)=hout+kprot(1)/dxprot;
Tfactorwaeap(1,2)=-kprot(1)/dxprot;
Cfactorwaeap(1)=hout*Teqea(t);

% Notios (South) toixos

```

```

Tfactorwasop(1,1)=hout+kprot(1)/dxprot;
Tfactorwasop(1,2)=-kprot(1)/dxprot;
Cfactorwasop(1)=hout*Teqso(t);

% Dytikos (West) toixos
Tfactorwawep(1,1)=hout+kprot(1)/dxprot;
Tfactorwawep(1,2)=-kprot(1)/dxprot;
Cfactorwawep(1)=hout*Teqwe(t);

% orofh
kroof(1)=kasfp;
Lroof(1)=0;
Tfactorroof(1,1)=hout+kroof(1)/dz;
Tfactorroof(1,2)=-kroof(1)/dz;
Cfactorroof(1)=hout*Teqroof(t);

% Eswterikos (indoor) toixos
kinwall(1)=kepix;
Linwall(1)=0;
Tfactorwain(1,1)=hin+kinwall(1)/dxin;
Tfactorwain(1,2)=-kinwall(1)/dxin;
Cfactorwain(1)=hin*Tin(t);

for i=2:(Nprot-1)           % eswtrikoi komvoi ekswterikwn toixwn

Lprot(i)=Lprot(i-1)+dxprot;

if (Lprot(i)<=Lepix)           ,kprot(i)=kepix;
                               cprot(i)=cepix;
                               pprot(i)=pepix;
elseif (Lprot(i)<=Lepix+Lmon)   ,kprot(i)=kmon;
                               cprot(i)=cmon;
                               pprot(i)=pmon;
elseif (Lprot(i)<=Lepix+Lmon+Ltouv) ,kprot(i)=ktouv;
                               cprot(i)=ctouv;
                               pprot(i)=ptouv;
elseif (Lprot(i)<=Lepix*2+Ltouv+Lmon) ,kprot(i)=kepix;
                               cprot(i)=cepix;
                               pprot(i)=pepix;

end

% Vorios (North) toixos
Tfactorwanop(i,i-1)=kprot(i-1)/dxprot;
Tfactorwanop(i,i)=-kprot(i-1)/dxprot-kprot(i)/dxprot;
Tfactorwanop(i,i+1)=kprot(i)/dxprot;
Cfactorwanop(i)=0;

% Anatolikos (East) toixos
Tfactorwaeap(i,i-1)=kprot(i-1)/dxprot;
Tfactorwaeap(i,i)=-kprot(i-1)/dxprot-kprot(i)/dxprot;
Tfactorwaeap(i,i+1)=kprot(i)/dxprot;
Cfactorwaeap(i)=0;

% Notios (South) toixos

```

```

Tfactorwasop(i,i-1)=kprot(i-1)/dxprot;
Tfactorwasop(i,i)=-kprot(i-1)/dxprot-kprot(i)/dxprot;
Tfactorwasop(i,i+1)=kprot(i)/dxprot;
Cfactorwasop(i)=0;

% Dytikos (West) toixos
Tfactorwawep(i,i-1)=kprot(i-1)/dxprot;
Tfactorwawep(i,i)=-kprot(i-1)/dxprot-kprot(i)/dxprot;
Tfactorwawep(i,i+1)=kprot(i)/dxprot;
Cfactorwawep(i)=0;

end

for i=2:(Nroof-1)      % Orofh

Lroof(i)=Lroof(i-1)+dz;

if (Lroof(i)<=Lasfp)      ,kroof(i)=kasfp;
                        croof(i)=casfp;
                        proof(i)=pasfp;
elseif (Lroof(i)<=Lasfp+Lscrd) ,kroof(i)=kscrd;
                        croof(i)=cscrd;
                        proof(i)=pscrd;
elseif (Lroof(i)<=Lasfp+Lscrd+Lmon) ,kroof(i)=kmon;
                        croof(i)=cmon;
                        proof(i)=pmon;
elseif (Lroof(i)<=Lasfp+Lscrd+Lmon+Lskur) ,kroof(i)=kskur;
                        croof(i)=cskur;
                        proof(i)=pskur;
elseif (Lroof(i)<=Lasfp+Lscrd+Lmon+Lskur+Lepix) ,kroof(i)=kepix;
                        croof(i)=cepix;
                        proof(i)=pepix;

end

Tfactorroof(i,i-1)=kroof(i-1)/dz;
Tfactorroof(i,i)=-kroof(i-1)/dz-kroof(i)/dz;
Tfactorroof(i,i+1)=kroof(i)/dz;
Cfactorroof(i)=0;

end

for i=2:(Ninwall-1)      % eswterikoi toixoi

Linwall(i)=Linwall(i-1)+dxin;

if (Linwall(i)<=Lepix) ,kinwall(i)=kepix;
                      cinwall(i)=cepix;
                      pinwall(i)=pepix;
elseif (Linwall(i)<=Lepix+Lintouv) ,kinwall(i)=ktouv;
                      cinwall(i)=ctouv;
                      pinwall(i)=ptouv;
elseif (Linwall(i)<=Lepix*2+Lintouv) ,kinwall(i)=kepix;
                      cinwall(i)=cepix;

```

```

                                                                    pinwall(i)=pepix;

    end

    Tfactorwain(i,i-1)=kinwall(i-1)/dxin;
    Tfactorwain(i,i)=-kinwall(i-1)/dxin-kinwall(i)/dxin;
    Tfactorwain(i,i+1)=kinwall(i)/dxin;
    Cfactorwain(i)=0;

    end

% i=N komvos N

% Vorios (North) toixos
kprot(Nprot)=kepix;
Tfactorwanop(Nprot,Nprot-1)=kprot(Nprot-1)/dxprot;
Tfactorwanop(Nprot,Nprot)=-kprot(Nprot-1)/dxprot-hin;
Cfactorwanop(Nprot)=-hin*Tin(t);

Cfactorlwanop(1:Nprot,1)=Cfactorwanop;
Tnwanop=inv(Tfactorwanop)*Cfactorlwanop;
Tvano(1:Nprot,t)=Tnwanop; % katagrafh thermokrasiwn
stous N komvous th xronikh stigmh t

% Anatolikos (East) toixos
Tfactorwaeap(Nprot,Nprot-1)=kprot(Nprot-1)/dxprot;
Tfactorwaeap(Nprot,Nprot)=-kprot(Nprot-1)/dxprot-hin;
Cfactorwaeap(Nprot)=-hin*Tin(t);

Cfactorlwaeap(1:Nprot,1)=Cfactorwaeap;
Tnwaeap=inv(Tfactorwaeap)*Cfactorlwaeap;
Twaea(1:Nprot,t)=Tnwaeap; % katagrafh thermokrasiwn
stous N komvous th xronikh stigmh t

% Notios (South) toixos
Tfactorwasop(Nprot,Nprot-1)=kprot(Nprot-1)/dxprot;
Tfactorwasop(Nprot,Nprot)=-kprot(Nprot-1)/dxprot-hin;
Cfactorwasop(Nprot)=-hin*Tin(t);

Cfactorlwasop(1:Nprot,1)=Cfactorwasop;
Tnwasop=inv(Tfactorwasop)*Cfactorlwasop;
Twaso(1:Nprot,t)=Tnwasop; % katagrafh thermokrasiwn
stous N komvous th xronikh stigmh t

% Dytikos (West) toixos
Tfactorwawep(Nprot,Nprot-1)=kprot(Nprot-1)/dxprot;
Tfactorwawep(Nprot,Nprot)=-kprot(Nprot-1)/dxprot-hin;
Cfactorwawep(Nprot)=-hin*Tin(t);

Cfactorlwawep(1:Nprot,1)=Cfactorwawep;
Tnwawep=inv(Tfactorwawep)*Cfactorlwawep;
Twawe(1:Nprot,t)=Tnwawep; % katagrafh thermokrasiwn
stous N komvous th xronikh stigmh t

% Orofh

```

```

kroof(Nroof)=kepix;
Tfactorroof(Nroof,Nroof-1)=kroof(Nroof-1)/dz;
Tfactorroof(Nroof,Nroof)=-kroof(Nroof-1)/dz-hin;
Cfactorroof(Nroof)=-hin*Tin(t);

Cfactorlroof(1:Nroof,1)=Cfactorroof;
Tnroof=inv(Tfactorroof)*Cfactorlroof;
Troof(1:Nroof,t)=Tnroof;           % katagrafh thermokrasiwn stous
N komvous th xronikh stigmh t

% eswterikoi toixoi
kinwall(Ninwall)=kepix;
Tfactorwain(Ninwall,Ninwall-1)=kinwall(Ninwall-1)/dxin;
Tfactorwain(Ninwall,Ninwall)=-kinwall(Ninwall-1)/dxin-hin;
Cfactorwain(Ninwall)=-hin*Tin(t);

Cfactorlwain(1:Ninwall,1)=Cfactorwain;
Tnwain=inv(Tfactorwain)*Cfactorlwain;
Twain(1:Ninwall,t)=Tnwain;        % katagrafh thermokrasiwn stous
N komvous th xronikh stigmh t

j=0;    % Me bash tis times T(1:N) pou ypologisthkan pio panw gia t=t0
(wra 00:00:06) ginontai mia fora oi ypologismoι gia t=2...toliko. Sto
telos ths diadikasias dinoume sthn t=t0 tis thermokrasies gia t=toliko
(wra 24:00:00) pou einai pio realistikes apo tis arxikes kai
epanalambanetai ksana h diadikasia. Auto ginetai 4 fores gia megalyterh
akribeia. Apothhkeuontai oi times pou pairnoume th teleutaia fora.

while (j<6)

    timeprot=0;

    t=1;

    % Vorios (North) toixos
    qiwanop(t)=hin*(Twano(Nprot,t)-Tin(t));
    Qwanop(t)=qiwanop(t)*(platos*ypsos-yalopno);

    % Anatolikos (East) toixos
    qiwaep(t)=hin*(Twaea(Nprot,t)-Tin(t));
    Qwaep(t)=qiwaep(t)*(mhkos*ypsos-yalopea);

    % Notios (South) toixos
    qiwasp(t)=hin*(Twaso(Nprot,t)-Tin(t));
    Qwasp(t)=qiwasp(t)*(platos*ypsos-yalopso);

    % Dytikos (West) toixos
    qiawep(t)=hin*(Twawep(Nprot,t)-Tin(t));
    Qwawep(t)=qiawep(t)*(mhkos*ypsos-yalopwe);

    % Oroofh
    qiroof(t)=hin*(Troof(Nroof,t)-Tin(t));
    Qroof(t)=qiroof(t)*mhkos*platos;

```

```

% Eswterikoi toixoi
qiwain(t)=hin*(Twain(Ninwall,t)-Tin(t));
Qwain(t)=qiwain(t)*Lengthinwall*ypsos;

% Vorioi (North) yalopinakes
qiglno(t)=SC*SHGFno(t)+U*(Tout(t)-Tin(t));
Qglno(t)=qiglno(t)*yalopno;

% Anatolikoi (East) yalopinakes
qiglea(t)=SC*SHGFea(t)+U*(Tout(t)-Tin(t));
Qglea(t)=qiglea(t)*yalopea;

% Notioi (South) yalopinakes
qiglso(t)=SC*SHGFso(t)+U*(Tout(t)-Tin(t));
Qglso(t)=qiglso(t)*yalopso;

% Dytikoi (West) yalopinakes
qiglwe(t)=SC*SHGFwe(t)+U*(Tout(t)-Tin(t));
Qglwe(t)=qiglwe(t)*yalopwe;

% Ananewsh aera
Paroxhair(t)=ACH*platos*mhkos*ypsos*1000/3600;
Qanan(t)=Paroxhair(t)*1.23*(Tout(t)-Tin(t));

Qtot(t)=Qwanop(t)+Qwaeap(t)+Qwasop(t)+Qwawep(t)+Qroof(t)+2*Qwain(t)+Qglno(t)+Qglea(t)+Qglso(t)+Qglwe(t)+Qanan(t);

Tin(t+1)=dt*Qtot(t)/Ctot+Tin(t); % Diamorfwsh neas eswterikhsh thermokrasias gia epomeno xroniko vhma

for t=2:(24*60/dtlepta) % ana 5lepto apo 00:05 mexri 24:00

    i=1; % prwtos komvos

    % Vorios (North) toixos
    kprot(1)=kdiak;
    cprot(i)=cdiak;
    pprot(i)=pdiak;
    A2wanop=kprot(i+1)/dxprot;
    A1wanop=pprot(i)*cprot(i)*dxprot/(dt*2);
    Alwanop=f*hout+f*A2wanop+A1wanop;
    Tfactorwanop(1,1)=-A1wanop;
    Tfactorwanop(1,2)=A2wanop*f;
    Cfactorwanop(1)=-hout*(f*Teqno(t)+(1-f)*Teqno(t-1))-A2wanop*(1-f)*Twano(i+1,t-1)-Twano(i,t-1)*(A1wanop-(1-f)*A2wanop-(1-f)*hout);

    % Anatolikos (East) toixos
    A2waeap=kprot(i+1)/dxprot;
    A1waeap=pprot(i)*cprot(i)*dxprot/(dt*2);
    Alwaeap=f*hout+f*A2waeap+A1waeap;
    Tfactorwaeap(1,1)=-A1waeap;
    Tfactorwaeap(1,2)=A2waeap*f;

```

```

Cfactorwaeap(1)=-hout*(f*Teqea(t)+(1-f)*Teqea(t-1))-A2waeap*(1-
f)*Twaea(i+1,t-1)-Twaea(i,t-1)*(Alowaeap-(1-f)*A2waeap-(1-f)*hout);

% Notios (South) toixos
A2wasop=kprot(i+1)/dxprot;
Alowasop=pprot(i)*cprot(i)*dxprot/(dt*2);
Alwasop=f*hout+f*A2wasop+Alowasop;
Tfactorwasop(1,1)=-Alwasop;
Tfactorwasop(1,2)=A2wasop*f;
Cfactorwasop(1)=-hout*(f*Teqso(t)+(1-f)*Teqso(t-1))-A2wasop*(1-
f)*Twaso(i+1,t-1)-Twaso(i,t-1)*(Alowasop-(1-f)*A2wasop-(1-f)*hout);

% Dytikos (West) toixos
A2wawep=kprot(i+1)/dxprot;
Alowawep=pprot(i)*cprot(i)*dxprot/(dt*2);
Alwawep=f*hout+f*A2wawep+Alowawep;
Tfactorwawep(1,1)=-Alwawep;
Tfactorwawep(1,2)=A2wawep*f;
Cfactorwawep(1)=-hout*(f*Teqwe(t)+(1-f)*Teqwe(t-1))-A2wawep*(1-
f)*Twawe(i+1,t-1)-Twawe(i,t-1)*(Alowawep-(1-f)*A2wawep-(1-f)*hout);

% eswterikoi toixoi
A2wain=kinwall(i+1)/dxin;
Alowain=pinwall(i)*cinwall(i)*dxin/(dt*2);
Alwain=f*hin+f*A2wain+Alowain;
Tfactorwain(1,1)=-Alwain;
Tfactorwain(1,2)=A2wain*f;
Cfactorwain(1)=-hin*(f*Tin(t)+(1-f)*Tin(t-1))-A2wain*(1-
f)*Twain(i+1,t-1)-Twain(i,t-1)*(Alowain-(1-f)*A2wain-(1-f)*hin);

% Oroofh
kroof(i)=kasfp;
croof(i)=casfp;
proof(i)=pasfp;
A2roof=kroof(i+1)/dz;
Alorooof=proof(i)*croof(i)*dz/(dt*2);
Alroof=f*hout+f*A2roof+Alorooof;
Tfactorroof(i,i)=-Alroof;
Tfactorroof(i,i+1)=A2roof*f;
Cfactorroof(i)=-hout*(f*Teqroof(t)+(1-f)*Teqroof(t-1))-
A2roof*(1-f)*Troof(i+1,t-1)-Troof(i,t-1)*(Alorooof-(1-f)*A2roof-(1-
f)*hout);

for i=2:(Nprot-1) % ekswterikoi toixoi

Lprot(i)=Lprot(i-1)+dxprot;

if (Lprot(i)<=Ldiak) ,kprot(i)=kdiak;
                    cprot(i)=cdiak;
                    pprot(i)=pdiak;
elseif (Lprot(i)<=Ldiak+Lepix) ,kprot(i)=kepix;
                    cprot(i)=cepix;
                    pprot(i)=pepix;
elseif (Lprot(i)<=Ldiak+Lepix+Lmon) ,kprot(i)=kmon;
                    cprot(i)=cmon;

```

```

                                pprot(i)=pmon;
elseif (Lprot(i)<=Ldiak+Lepix+Lmon+Ltouv)
, kprot(i)=ktouv;
                                cprot(i)=ctouv;
                                pprot(i)=ptouv;
elseif (Lprot(i)<=Ldiak+Lepix*2+Ltouv+Lmon)
, kprot(i)=kepix;
                                cprot(i)=cepix;
                                pprot(i)=pepix;

end

% Vorios (North) toixos
A1wanop=kprot(i-1)/dxprot;
A3wanop=kprot(i+1)/dxprot;
A2owanop=pprot(i)*cprot(i)*dxprot/dt;
A2wanop=f*A1wanop+f*A3wanop+A2owanop;
Tfactorwanop(i,i-1)=A1wanop*f;
Tfactorwanop(i,i)=-A2wanop;
Tfactorwanop(i,i+1)=+A3wanop*f;
Cfactorwanop(i)=-A1wanop*(1-f)*Twano(i-1,t-1)-A3wanop*(1-
f)*Twano(i+1,t-1)-Twano(i,t-1)*(A2owanop-(1-f)*A1wanop-(1-f)*A3wanop);

% Anatolikos (East) toixos
A1waeap=kprot(i-1)/dxprot;
A3waeap=kprot(i+1)/dxprot;
A2owaeap=pprot(i)*cprot(i)*dxprot/dt;
A2waeap=f*A1waeap+f*A3waeap+A2owaeap;
Tfactorwaeap(i,i-1)=A1waeap*f;
Tfactorwaeap(i,i)=-A2waeap;
Tfactorwaeap(i,i+1)=+A3waeap*f;
Cfactorwaeap(i)=-A1waeap*(1-f)*Twaea(i-1,t-1)-A3waeap*(1-
f)*Twaea(i+1,t-1)-Twaea(i,t-1)*(A2owaeap-(1-f)*A1waeap-(1-f)*A3waeap);

% Notios (South) toixos
A1wasop=kprot(i-1)/dxprot;
A3wasop=kprot(i+1)/dxprot;
A2owasop=pprot(i)*cprot(i)*dxprot/dt;
A2wasop=f*A1wasop+f*A3wasop+A2owasop;
Tfactorwasop(i,i-1)=A1wasop*f;
Tfactorwasop(i,i)=-A2wasop;
Tfactorwasop(i,i+1)=+A3wasop*f;
Cfactorwasop(i)=-A1wasop*(1-f)*Twaso(i-1,t-1)-A3wasop*(1-
f)*Twaso(i+1,t-1)-Twaso(i,t-1)*(A2owasop-(1-f)*A1wasop-(1-f)*A3wasop);

% Dytikos (West) toixos
A1wawep=kprot(i-1)/dxprot;
A3wawep=kprot(i+1)/dxprot;
A2owawep=pprot(i)*cprot(i)*dxprot/dt;
A2wawep=f*A1wawep+f*A3wawep+A2owawep;
Tfactorwawep(i,i-1)=A1wawep*f;
Tfactorwawep(i,i)=-A2wawep;
Tfactorwawep(i,i+1)=+A3wawep*f;
Cfactorwawep(i)=-A1wawep*(1-f)*Twawe(i-1,t-1)-A3wawep*(1-
f)*Twawe(i+1,t-1)-Twawe(i,t-1)*(A2owawep-(1-f)*A1wawep-(1-f)*A3wawep);

```



```

        end

for i=2:(Nroof-1)           % Orofh

    Lroof(i)=Lroof(i-1)+dz;

    if (Lroof(i)<=Lasfp)     , kroof(i)=kasfp;
                           croof(i)=casfp;
                           proof(i)=pasfp;
    elseif (Lroof(i)<=Lasfp+Lscrd) , kroof(i)=kscrd;
                                                croof(i)=cscrd;
                                                proof(i)=pscrd;
    elseif (Lroof(i)<=Lasfp+Lscrd+Lmon) , kroof(i)=kmon;
                                                croof(i)=cmon;
                                                proof(i)=pmon;
    elseif (Lroof(i)<=Lasfp+Lscrd+Lmon+Lskur)
, kroof(i)=kskur;

croof(i)=cskur;

proof(i)=pskur;
    elseif (Lroof(i)<=Lasfp+Lscrd+Lmon+Lskur+Lepix)
, kroof(i)=kepix;

croof(i)=cepix;

proof(i)=pepix;

        end

    A1roof=kroof(i-1)/dz;
    A3roof=kroof(i+1)/dz;
    A2orooof=proof(i)*croof(i)*dz/dt;
    A2roof=f*A1roof+f*A3roof+A2orooof;
    Tfactorroof(i,i-1)=A1roof*f;
    Tfactorroof(i,i)=-A2roof;
    Tfactorroof(i,i+1)=A3roof*f;
    Cfactorroof(i)=-A1roof*(1-f)*Troof(i-1,t-1)-A3roof*(1-
f)*Troof(i+1,t-1)-Troof(i,t-1)*(A2orooof-(1-f)*A1roof-(1-f)*A3roof);

end

for i=2:(Ninwall-1)       % eswterikoi toixoi

Linwall(i)=Linwall(i-1)+dxin;

if (Linwall(i)<=Lepix)     , kinwall(i)=kepix;
                           cinwall(i)=cepix;
                           pinwall(i)=pepix;
elseif (Linwall(i)<=Lepix+Lintouv) , kinwall(i)=ktouv;
                                                cinwall(i)=ctouv;
                                                pinwall(i)=ptouv;
elseif (Linwall(i)<=Lepix*2+Lintouv) , kinwall(i)=kepix;
                                                cinwall(i)=cepix;

```

```

pinwall(i)=pepix;

end

A1wain=kinwall(i-1)/dxin;
A3wain=kinwall(i+1)/dxin;
A2owain=pinwall(i)*cinwall(i)*dxin/dt;
A2wain=f*A1wain+f*A3wain+A2owain;
Tfactorwain(i,i-1)=A1wain*f;
Tfactorwain(i,i)=-A2wain;
Tfactorwain(i,i+1)=+A3wain*f;
Cfactorwain(i)=-A1wain*(1-f)*Twain(i-1,t-1)-A3wain*(1-
f)*Twain(i+1,t-1)-Twain(i,t-1)*(A2owain-(1-f)*A1wain-(1-f)*A3wain);

end

% i=N

% Vorios (North) toixos
i=Nprot;
A2wanop=kprot(i-1)/dxprot;
A3owanop=pprot(i-1)*cprot(i-1)*dxprot/dt/2;
A3wanop=f*hin+f*A2wanop+A3owanop;
Tfactorwanop(i,i-1)=f*A2wanop;
Tfactorwanop(i,i)=-A3wanop;
Cfactorwanop(i)=-hin*(f*Tin(t)+(1-f)*Tin(t-1))-A2wanop*(1-
f)*Twano(i-1,t-1)-Twano(i,t-1)*(A3owanop-(1-f)*A2wanop-(1-f)*hin);
Cfactor1wanop(1:Nprot,1)=Cfactorwanop;
Twnano=inv(Tfactorwanop)*Cfactor1wanop;
Twano(1:Nprot,t)=Twnano; %katagrafh thermokrasiwn
stous N kombous th xronikh stigmh t
qiwanop(t)=hin*(Twano(Nprot,t)-Tin(t));
Qwanop(t)=qiwanop(t)*(platos*ypsos-yalopno);

% Anatolikos (East) toixos
A2waeap=kprot(i-1)/dxprot;
A3owaeap=pprot(i-1)*cprot(i-1)*dxprot/dt/2;
A3waeap=f*hin+f*A2waeap+A3owaeap;
Tfactorwaeap(i,i-1)=f*A2waeap;
Tfactorwaeap(i,i)=-A3waeap;
Cfactorwaeap(i)=-hin*(f*Tin(t)+(1-f)*Tin(t-1))-A2waeap*(1-
f)*Twaea(i-1,t-1)-Twaea(i,t-1)*(A3owaeap-(1-f)*A2waeap-(1-f)*hin);
Cfactor1waeap(1:Nprot,1)=Cfactorwaeap;
Tnwaea=inv(Tfactorwaeap)*Cfactor1waeap;
Twaea(1:Nprot,t)=Tnwaea; %katagrafh thermokrasiwn
stous N kombous th xronikh stigmh t
qiwaeap(t)=hin*(Twaea(Nprot,t)-Tin(t));
Qwaeap(t)=qiwaeap(t)*(platos*ypsos-yalopea);

% Notios (South) toixos
A2wasop=kprot(i-1)/dxprot;
A3owasop=pprot(i-1)*cprot(i-1)*dxprot/dt/2;
A3wasop=f*hin+f*A2wasop+A3owasop;
Tfactorwasop(i,i-1)=f*A2wasop;
Tfactorwasop(i,i)=-A3wasop;

```

```

Cfactorwasop(i)=-hin*(f*Tin(t)+(1-f)*Tin(t-1))-A2wasop*(1-
f)*Twaso(i-1,t-1)-Twaso(i,t-1)*(A3owasop-(1-f)*A2wasop-(1-f)*hin);
Cfactorlwasop(1:Nprot,1)=Cfactorwasop;
Tnwaso=inv(Tfactorwasop)*Cfactorlwasop;
Twaso(1:Nprot,t)=Tnwaso; %katagrafh thermokrasiwn
stous N kombous th xronikh stigmh t
qiwaso(t)=hin*(Twaso(Nprot,t)-Tin(t));
Qwasop(t)=qiwaso(t)*(platos*yposos-yalopso);

% Dytikos (West) toixos
A2wawep=kprot(i-1)/dxprot;
A3owawep=pprot(i-1)*cprot(i-1)*dxwall/dt/2;
A3wawep=f*hin+f*A2wawep+A3owawep;
Tfactorwawep(i,i-1)=f*A2wawep;
Tfactorwawep(i,i)=-A3wawep;
Cfactorwawep(i)=-hin*(f*Tin(t)+(1-f)*Tin(t-1))-A2wawep*(1-
f)*Twawe(i-1,t-1)-Twawe(i,t-1)*(A3owawep-(1-f)*A2wawep-(1-f)*hin);
Cfactorlwawep(1:Nprot,1)=Cfactorwawep;
Tnwawe=inv(Tfactorwawep)*Cfactorlwawep;
Twawe(1:Nprot,t)=Tnwawe; %katagrafh thermokrasiwn
stous N kombous th xronikh stigmh t
qiwawep(t)=hin*(Twawe(Nprot,t)-Tin(t));
Qwawep(t)=qiwawep(t)*(platos*yposos-yalopwe);

% Oroofh
i=Nroof;
A2roof=kroof(i-1)/dz;
A3orooft=proof(i-1)*croof(i-1)*dz/dt/2;
A3roof=f*hin+f*A2roof+A3orooft;
Tfactorroof(i,i-1)=f*A2roof;
Tfactorroof(i,i)=-A3roof;
Cfactorroof(i)=-hin*(f*Tin(t)+(1-f)*Tin(t-1))-A2roof*(1-
f)*Troof(i-1,t-1)-Troof(i,t-1)*(A3orooft-(1-f)*A2roof-(1-f)*hin);
Cfactorlroof(1:Nroof,1)=Cfactorroof;
Tnroof=inv(Tfactorroof)*Cfactorlroof;
Troof(1:Nroof,t)=Tnroof; %katagrafh thermokrasiwn
stous N kombous th xronikh stigmh t
qiroof(t)=hin*(Troof(Nroof,t)-Tin(t));
Qroof(t)=qiroof(t)*mhkos*platos;

% eswterikoi toixoi
i=Ninwall;
A2wain=kinwall(i-1)/dxin;
A3owain=pinwall(i-1)*cinwall(i-1)*dxin/dt/2;
A3wain=f*hin+f*A2wain+A3owain;
Tfactorwain(i,i-1)=f*A2wain;
Tfactorwain(i,i)=-A3wain;
Cfactorwain(i)=-hin*(f*Tin(t)+(1-f)*Tin(t-1))-A2wain*(1-
f)*Twain(i-1,t-1)-Twain(i,t-1)*(A3owain-(1-f)*A2wain-(1-f)*hin);
Cfactorlwain(1:Ninwall,1)=Cfactorwain;
Tnwain=inv(Tfactorwain)*Cfactorlwain;
Twain(1:Ninwall,t)=Tnwain; %katagrafh thermokrasiwn
stous N kombous th xronikh stigmh t
qiwain(t)=hin*(Twain(Ninwall,t)-Tin(t));
Qwain(t)=qiwain(t)*Lengthinwall*yposos;

```

```

% Vorioi (North) yalopinakes
qiglno(t)=SC*SHGFno(t)+U*(Tout(t)-Tin(t));
Qglno(t)=qiglno(t)*yalopno;

% Anatolikoi (East) yalopinakes
qiglea(t)=SC*SHGFea(t)+U*(Tout(t)-Tin(t));
Qglea(t)=qiglea(t)*yalopea;

% Notioi (South) yalopinakes
qiglso(t)=SC*SHGFso(t)+U*(Tout(t)-Tin(t));
Qglso(t)=qiglso(t)*yalopso;

% Dytikoi (West) yalopinakes
qiglwe(t)=SC*SHGFwe(t)+U*(Tout(t)-Tin(t));
Qglwe(t)=qiglwe(t)*yalopwe;

% Ananewsh aera
Paroxhair(t)=ACH*platos*mhkos*ypsos*1000/3600;
Qanan(t)=Paroxhair(t)*1.23*(Tout(t)-Tin(t));

if (t<(24*60/dtlepta))

Qtot(t)=Qroof(t)+1*(Qglno(t)+Qglso(t)+Qglwe(t)+Qglea(t))+Qwanop(t)+Qwas
op(t)+Qwawep(t)+Qwaeap(t)+2*Qwain(t)+Qanan(t);

    if Tin(t-1)>299.5
        Qtotalprot=Qtot(t)+Qac;
        timeprot=timeprot+dt;
    else Qtotalprot=Qtot(t);
    end
    Qtotalprot=Qtot(t);
    Tin(t+1)=dt*(Qtotalprot)/Ctot+Tin(t);

elseif (j<5)

Qtot(t)=Qroof(t)+1*(Qglno(t)+Qglso(t)+Qglwe(t)+Qglea(t))+Qwanop(t)+Qwas
op(t)+Qwawep(t)+Qwaeap(t)+2*Qwain(t)+Qanan(t);

        Tin(1)=Tin(24*60/dtlepta);
    else

Qtot(t)=Qroof(t)+1*(Qglno(t)+Qglso(t)+Qglwe(t)+Qglea(t))+Qwanop(t)+Qwas
op(t)+Qwawep(t)+Qwaeap(t)+2*Qwain(t)+Qanan(t);

    end

end

if (j<5)
    Twano(1:Nprot,1)=Twano(1:Nprot,24*60/dtlepta);
    Twaso(1:Nprot,1)=Twaso(1:Nprot,24*60/dtlepta);
    Twawe(1:Nprot,1)=Twawe(1:Nprot,24*60/dtlepta);
    Twaea(1:Nprot,1)=Twaea(1:Nprot,24*60/dtlepta);

```

```

Troof(1:Nroof,1)=Troof(1:Nroof,24*60/dtlepta); %
Twain(1:Ninwall,1)=Twain(1:Ninwall,24*60/dtlepta); %

else Twano(1:Nprot,1)=Twano(1:Nprot,1); %
Twaso(1:Nprot,1)=Twaso(1:Nprot,1); %
Twawe(1:Nprot,1)=Twawe(1:Nprot,1); %
Twaea(1:Nprot,1)=Twaea(1:Nprot,1); %
Troof(1:Nroof,1)=Troof(1:Nroof,1); %
Twain(1:Ninwall,1)=Twain(1:Ninwall,1); %

end

j=j+1;

end

Qtotwanop=0;
Qtotwaeap=0;
Qtotwasop=0;
Qtotwawep=0;
Qtotroof=0;
Qtotglno=0;
Qtotglso=0;
Qtotglwe=0;
Qtotglea=0;

for t=1:(24*60/dtlepta)

    Qtotwanop=Qtotwanop+Qwanop(t);
    Qtotwasop=Qtotwasop+Qwasop(t);
    Qtotwawep=Qtotwawep+Qwawep(t);
    Qtotwaeap=Qtotwaeap+Qwaeap(t); % ypologismos synolikwn fortiwn
24wrou
    Qtotroof=Qtotroof+Qroof(t);
    Qtotglno=Qtotglno+Qglno(t);
    Qtotglso=Qtotglso+Qglso(t);
    Qtotglwe=Qtotglwe+Qglwe(t);
    Qtotglea=Qtotglea+Qglea(t);

    Qtotprot(t)=Qwanop(t)+Qwasop(t)+Qwawep(t)+Qwaeap(t)+Qroof(t)+Qglno(t)+Q
glso(t)+Qglwe(t)+Qglea(t);

    Tin_prot(t)=Tin(t)-273; %anagwgh eswterikhs thermokrasias se
Celcium
    qiwanop(t)=hin*(Twano(Nprot,t)-Tin(t));
    qiwaeap(t)=hin*(Twaea(Nprot,t)-Tin(t));
    qiwasop(t)=hin*(Twaso(Nprot,t)-Tin(t));
    qiwawep(t)=hin*(Twawe(Nprot,t)-Tin(t));
    qiprot(t)= qiwanop(t)+qiwaeap(t)+qiwasop(t)+qiwawep(t); %thermoroh
apo ekswterikous toixous pros eswteriko ktiriou

    T1wanop(t)=Twano(1,t)-273; %

```

```

Tlwasop(t)=Twaso(1,t)-273; % thermokrasia ekswterikhhs
Tlwawep(t)=Twawe(1,t)-273; % epifaneias toixwn
Tlwaeap(t)=Twaea(1,t)-273; %

TNwanop(t)=Twano(Nprot,t)-273; %
TNwasop(t)=Twaso(Nprot,t)-273; % thermokrasia eswterikhhs
TNwawep(t)=Twawe(Nprot,t)-273; % epifaneias toixwn
TNwaeap(t)=Twaea(Nprot,t)-273; %

end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

t=1; % xronikh stigmh t=0 - wra 00:00:06

Tin(t)=302;

%i=1 prwtos komvos

% Vorios (North) toixos
kwall(1)=kepix;
Lwall(1)=0;
Tfactorwano(1,1)=hout+kwall(1)/dxwall;
Tfactorwano(1,2)=-kwall(1)/dxwall;
Cfactorwano(1)=hout*Teqno(t);

% Anatolikos (East) toixos
Tfactorwaea(1,1)=hout+kwall(1)/dxwall;
Tfactorwaea(1,2)=-kwall(1)/dxwall;
Cfactorwaea(1)=hout*Teqea(t);

% Notios (South) toixos
Tfactorwaso(1,1)=hout+kwall(1)/dxwall;
Tfactorwaso(1,2)=-kwall(1)/dxwall;
Cfactorwaso(1)=hout*Teqso(t);

% Dytikos (West) toixos
Tfactorwawe(1,1)=hout+kwall(1)/dxwall;
Tfactorwawe(1,2)=-kwall(1)/dxwall;
Cfactorwawe(1)=hout*Teqwe(t);

% orofh
kroof(1)=kasfp;
Lroof(1)=0;
Tfactorroof(1,1)=hout+kroof(1)/dz;
Tfactorroof(1,2)=-kroof(1)/dz;
Cfactorroof(1)=hout*Teqroof(t);

% Eswterikos (indoor) toixos
kinwall(1)=kepix;
Linwall(1)=0;
Tfactorwain(1,1)=hin+kinwall(1)/dxin;

```

```

Tfactorwain(1,2)=-kinwall(1)/dxin;
Cfactorwain(1)=hin*Tin(t);

for i=2:(Nwall-1)           % ekswterikoi toixoi

Lwall(i)=Lwall(i-1)+dxwall;

if (Lwall(i)<=Lepix)        ,kwall(i)=kepix;
                           cwall(i)=cepix;
                           pwall(i)=pepix;
elseif (Lwall(i)<=Lepix+Ltouv) ,kwall(i)=ktouv;
                           cwall(i)=ctouv;
                           pwall(i)=ptouv;
elseif (Lwall(i)<=Lepix*2+Ltouv) ,kwall(i)=kepix;
                           cwall(i)=cepix;
                           pwall(i)=pepix;

end

% Vorios (North) toixos
Tfactorwano(i,i-1)=kwall(i-1)/dxwall;
Tfactorwano(i,i)=-kwall(i-1)/dxwall-kwall(i)/dxwall;
Tfactorwano(i,i+1)=kwall(i)/dxwall;
Cfactorwano(i)=0;

% Anatolikos (East) toixos
Tfactorwaea(i,i-1)=kwall(i-1)/dxwall;
Tfactorwaea(i,i)=-kwall(i-1)/dxwall-kwall(i)/dxwall;
Tfactorwaea(i,i+1)=kwall(i)/dxwall;
Cfactorwaea(i)=0;

% Notios (South) toixos
Tfactorwaso(i,i-1)=kwall(i-1)/dxwall;
Tfactorwaso(i,i)=-kwall(i-1)/dxwall-kwall(i)/dxwall;
Tfactorwaso(i,i+1)=kwall(i)/dxwall;
Cfactorwaso(i)=0;

% Dytikos (West) toixos
Tfactorwawe(i,i-1)=kwall(i-1)/dxwall;
Tfactorwawe(i,i)=-kwall(i-1)/dxwall-kwall(i)/dxwall;
Tfactorwawe(i,i+1)=kwall(i)/dxwall;
Cfactorwawe(i)=0;

end

for i=2:(Nroof-1)         % Oroofh

Lroof(i)=Lroof(i-1)+dz;

if (Lroof(i)<=Lasfp)      ,kroof(i)=kasfp;
                          croof(i)=casfp;
                          proof(i)=pasfp;
elseif (Lroof(i)<=Lasfp+Lscrd) ,kroof(i)=kscrd;
                          croof(i)=cscrd;
                          proof(i)=pscrd;

```

```

elseif (Lroof(i)<=Lasfp+Lscrd+Lmon) , kroof(i)=kmon;
                                croof(i)=cmon;
                                proof(i)=pmon;
elseif (Lroof(i)<=Lasfp+Lscrd+Lmon+Lskur) , kroof(i)=kskur;
                                croof(i)=cskur;
                                proof(i)=pskur;
elseif (Lroof(i)<=Lasfp+Lscrd+Lmon+Lskur+Lepix) , kroof(i)=kepix;
                                croof(i)=cepix;
                                proof(i)=pepix;

end

Tfactorroof(i,i-1)=kroof(i-1)/dz;
Tfactorroof(i,i)=-kroof(i-1)/dz-kroof(i)/dz;
Tfactorroof(i,i+1)=kroof(i)/dz;
Cfactorroof(i)=0;

end

for i=2:(Ninwall-1)           % eswterikoi toixoi

Linwall(i)=Linwall(i-1)+dxin;

if (Linwall(i)<=Lepix) , kinwall(i)=kepix;
                    cinwall(i)=cepix;
                    pinwall(i)=pepix;
elseif (Linwall(i)<=Lepix+Lintouv) , kinwall(i)=ktouv;
                    cinwall(i)=ctouv;
                    pinwall(i)=ptouv;
elseif (Linwall(i)<=Lepix*2+Lintouv) , kinwall(i)=kepix;
                    cinwall(i)=cepix;
                    pinwall(i)=pepix;

end

Tfactorwain(i,i-1)=kinwall(i-1)/dxin;
Tfactorwain(i,i)=-kinwall(i-1)/dxin-kinwall(i)/dxin;
Tfactorwain(i,i+1)=kinwall(i)/dxin;
Cfactorwain(i)=0;

end

% i=N komvos N

% Vorios (North) toixos
kwall(Nwall)=kepix;
Tfactorwano(Nwall,Nwall-1)=kwall(Nwall-1)/dxwall;
Tfactorwano(Nwall,Nwall)=-kwall(Nwall-1)/dxwall-hin;
Cfactorwano(Nwall)=-hin*Tin(t);
Cfactorlwano(1:Nwall,1)=Cfactorwano;
Tnwano=inv(Tfactorwano)*Cfactorlwano;
Twno(1:Nwall,t)=Tnwano;           % katagrafh thermokrasiwn stous
N komvous th xronikh stigmh t

% Anatolikos (East) toixos
Tfactorwaea(Nwall,Nwall-1)=kwall(Nwall-1)/dxwall;
Tfactorwaea(Nwall,Nwall)=-kwall(Nwall-1)/dxwall-hin;

```



```

Cfactorwaea (Nwall)=-hin*Tin (t) ;
Cfactorlwaea (1:Nwall,1)=Cfactorwaea;
Tnwaea=inv (Tfactorwaea) *Cfactorlwaea;
Twaea (1:Nwall,t)=Tnwaea; % katagrafh thermokrasiwn stous
N komvous th xronikh stigmh t

% Notios (South) toixos
Tfactorwaso (Nwall,Nwall-1)=kwall (Nwall-1) /dxwall;
Tfactorwaso (Nwall,Nwall)=-kwall (Nwall-1) /dxwall-hin;
Cfactorwaso (Nwall)=-hin*Tin (t) ;
Cfactorlwaso (1:Nwall,1)=Cfactorwaso;
Tnwaso=inv (Tfactorwaso) *Cfactorlwaso;
Twaso (1:Nwall,t)=Tnwaso; % katagrafh thermokrasiwn stous
N komvous th xronikh stigmh t

% Dytikos (West) toixos
Tfactorwawe (Nwall,Nwall-1)=kwall (Nwall-1) /dxwall;
Tfactorwawe (Nwall,Nwall)=-kwall (Nwall-1) /dxwall-hin;
Cfactorwawe (Nwall)=-hin*Tin (t) ;
Cfactorlwawe (1:Nwall,1)=Cfactorwawe;
Tnwawe=inv (Tfactorwawe) *Cfactorlwawe;
Twawe (1:Nwall,t)=Tnwawe; % katagrafh thermokrasiwn stous
N komvous th xronikh stigmh t

% eswterikoi toixoi
kinwall (Ninwall)=kepix;
Tfactorwain (Ninwall,Ninwall-1)=kinwall (Ninwall-1) /dxin;
Tfactorwain (Ninwall,Ninwall)=-kinwall (Ninwall-1) /dxin-hin;
Cfactorwain (Ninwall)=-hin*Tin (t) ;
Cfactorlwain (1:Ninwall,1)=Cfactorwain;
Tnwain=inv (Tfactorwain) *Cfactorlwain;
Twain (1:Ninwall,t)=Tnwain; % katagrafh thermokrasiwn stous
N komvous th xronikh stigmh t

% Orofh
kroof (Nroof)=kepix;
Tfactorroof (Nroof,Nroof-1)=kroof (Nroof-1) /dz;
Tfactorroof (Nroof,Nroof)=-kroof (Nroof-1) /dz-hin;
Cfactorroof (Nroof)=-hin*Tin (t) ;
Cfactorlroof (1:Nroof,1)=Cfactorroof;
Tnroof=inv (Tfactorroof) *Cfactorlroof;
Troof (1:Nroof,t)=Tnroof; % katagrafh thermokrasiwn stous
N komvous th xronikh stigmh t

j=0; % Me bash tis times T(1:N) pou ypologisthkan pio panw gia t=t0
(wra 00:00:10) ginontai mia fora oi ypologismoi gia t=2...toliko. Sto
telos ths diadikasias dinoume sthn t=t0 tis thermokrasies gia t=toliko
(wra 24:00:00) pou einai pio realistikes apo tis arxikes kai
epanalambanetai ksana h diadikasias. Auto ginetai 4 fores gia megalyterh
akrubeia. Apothhkeuontai oi times pou pairnoume th teleutaia fora.

while (j<6)

    timeaplis=0;

```

```

t=1;

% Vorios (North) toixos
qiwano(t)=hin*(Twano(Nwall,t)-Tin(t));
Qwano(t)=qiwano(t)*(platos*ypsos-yalopno);

% Anatolikos (East) toixos
qiwaea(t)=hin*(Twaea(Nwall,t)-Tin(t));
Qwaea(t)=qiwaea(t)*(mhkos*ypsos-yalopea);

% Notios (South) toixos
qiwaso(t)=hin*(Twaso(Nwall,t)-Tin(t));
Qwaso(t)=qiwaso(t)*(platos*ypsos-yalopso);

% Dytikos (West) toixos
qiwawe(t)=hin*(Twawe(Nwall,t)-Tin(t));
Qwawe(t)=qiwawe(t)*(mhkos*ypsos-yalopwe);

% Orofh
qiroof(t)=hin*(Troof(Nroof,t)-Tin(t));
Qroof(t)=qiroof(t)*mhkos*platos;

% Eswterikoi toixoi
qiwain(t)=hin*(Twain(Ninwall,t)-Tin(t));
Qwain(t)=qiwain(t)*Lengthinwall*ypsos;

% Vorioi (North) yalopinakes
qiglno(t)=SC*SHGFno(t)+U*(Tout(t)-Tin(t));
Qglno(t)=qiglno(t)*yalopno;

% Anatolikoi (East) yalopinakes
qiglea(t)=SC*SHGFea(t)+U*(Tout(t)-Tin(t));
Qglea(t)=qiglea(t)*yalopea;

% Notioi (South) yalopinakes
qiglso(t)=SC*SHGFso(t)+U*(Tout(t)-Tin(t));
Qglso(t)=qiglso(t)*yalopso;

% Dytikoi (West) yalopinakes
qiglwe(t)=SC*SHGFwe(t)+U*(Tout(t)-Tin(t));
Qglwe(t)=qiglwe(t)*yalopwe;

% Ananewsh aera
Paroxhair(t)=ACH*platos*mhkos*ypsos*1000/3600;
Qanan(t)=Paroxhair(t)*1.23*(Tout(t)-Tin(t));

Qtot(t)=Qwano(t)+Qwaea(t)+Qwaso(t)+Qwawe(t)+Qroof(t)+2*Qwain(t)+1*(Qgln
o(t)+Qglea(t)+Qglso(t)+Qglwe(t))+1*Qanan(t);

Tin(t+1)=dt*Qtot(t)/Ctot+Tin(t);

for t=2:(24*60/dtlepta) % ana 5lepto apo 00:05 mexri 24:00

```

```

i=1;      % prwtos komvos

% Vorios (North) toixos
kwall(1)=kepix;
cwall(i)=cepix;
pwall(i)=pepix;
A2wano=kwall(i+1)/dxwall;
Alowano=pwall(i)*cwall(i)*dxwall/(dt*2);
Alwano=f*hout+f*A2wano+Alowano;
Tfactorwano(1,1)=-Alwano;
Tfactorwano(1,2)=A2wano*f;
Cfactorwano(1)=-hout*(f*Teqno(t)+(1-f)*Teqno(t-1))-A2wano*(1-
f)*Twano(i+1,t-1)-Twano(i,t-1)*(Alowano-(1-f)*A2wano-(1-f)*hout);

% Anatolikos (East) toixos
A2waea=kwall(i+1)/dxwall;
Alowaea=pwall(i)*cwall(i)*dxwall/(dt*2);
Alwaea=f*hout+f*A2waea+Alowaea;
Tfactorwaea(1,1)=-Alwaea;
Tfactorwaea(1,2)=A2waea*f;
Cfactorwaea(1)=-hout*(f*Teqea(t)+(1-f)*Teqea(t-1))-A2waea*(1-
f)*Twaea(i+1,t-1)-Twaea(i,t-1)*(Alowaea-(1-f)*A2waea-(1-f)*hout);

% Notios (South) toixos
A2waso=kwall(i+1)/dxwall;
Alowaso=pwall(i)*cwall(i)*dxwall/(dt*2);
Alwaso=f*hout+f*A2waso+Alowaso;
Tfactorwaso(1,1)=-Alwaso;
Tfactorwaso(1,2)=A2waso*f;
Cfactorwaso(1)=-hout*(f*Teqso(t)+(1-f)*Teqso(t-1))-A2waso*(1-
f)*Twaso(i+1,t-1)-Twaso(i,t-1)*(Alowaso-(1-f)*A2waso-(1-f)*hout);

% Dytikos (West) toixos
A2wawe=kwall(i+1)/dxwall;
Alowawe=pwall(i)*cwall(i)*dxwall/(dt*2);
Alwawe=f*hout+f*A2wawe+Alowawe;
Tfactorwawe(1,1)=-Alwawe;
Tfactorwawe(1,2)=A2wawe*f;
Cfactorwawe(1)=-hout*(f*Teqwe(t)+(1-f)*Teqwe(t-1))-A2wawe*(1-
f)*Twawe(i+1,t-1)-Twawe(i,t-1)*(Alowawe-(1-f)*A2wawe-(1-f)*hout);

% eswterikos toixos
A2wain=kinwall(i+1)/dxin;
Alowain=pinwall(i)*cinwall(i)*dxin/(dt*2);
Alwain=f*hin+f*A2wain+Alowain;
Tfactorwain(1,1)=-Alwain;
Tfactorwain(1,2)=A2wain*f;
Cfactorwain(1)=-hin*(f*Tin(t)+(1-f)*Tin(t-1))-A2wain*(1-
f)*Twain(i+1,t-1)-Twain(i,t-1)*(Alowain-(1-f)*A2wain-(1-f)*hin);

% Oroofh
kroof(i)=kasfp;
croof(i)=casfp;
proof(i)=pasfp;
A2roof=kroof(i+1)/dz;

```

```

A1orroof=proof(i)*croof(i)*dz/(dt*2);
A1roof=f*hout+f*A2roof+A1orroof;
Tfactorroof(i,i)=-A1roof;
Tfactorroof(i,i+1)=A2roof*f;
Cfactorroof(i)=-hout*(f*Tegroof(t)+(1-f)*Tegroof(t-1))-
A2roof*(1-f)*Troof(i+1,t-1)-Troof(i,t-1)*(A1orroof-(1-f)*A2roof-(1-
f)*hout);

for i=2:(Nwall-1)    % ekswterikoi toixoi

    Lwall(i)=Lwall(i-1)+dxwall;

    if (Lwall(i)<=Lepix)    ,kwall(i)=kepix;
                        cwall(i)=cepix;
                        pwall(i)=pepix;
    elseif (Lwall(i)<=Lepix+Ltouv)    ,kwall(i)=ktouv;
                        cwall(i)=ctouv;
                        pwall(i)=ptouv;
    elseif (Lwall(i)<=Lepix*2+Ltouv)    ,kwall(i)=kepix;
                        cwall(i)=cepix;
                        pwall(i)=pepix;

    end

    % Vorios (North) toixos
    Alwano=kwall(i-1)/dxwall;
    A3wano=kwall(i+1)/dxwall;
    A2owano=pwall(i)*cwall(i)*dxwall/dt;
    A2wano=f*Alwano+f*A3wano+A2owano;
    Tfactorwano(i,i-1)=Alwano*f;
    Tfactorwano(i,i)=-A2wano;
    Tfactorwano(i,i+1)=+A3wano*f;
    Cfactorwano(i)=-Alwano*(1-f)*Twano(i-1,t-1)-A3wano*(1-
f)*Twano(i+1,t-1)-Twano(i,t-1)*(A2owano-(1-f)*Alwano-(1-f)*A3wano);

    % Anatolikos (East) toixos
    Alwaea=kwall(i-1)/dxwall;
    A3waea=kwall(i+1)/dxwall;
    A2owaea=pwall(i)*cwall(i)*dxwall/dt;
    A2waea=f*Alwaea+f*A3waea+A2owaea;
    Tfactorwaea(i,i-1)=Alwaea*f;
    Tfactorwaea(i,i)=-A2waea;
    Tfactorwaea(i,i+1)=+A3waea*f;
    Cfactorwaea(i)=-Alwaea*(1-f)*Twaea(i-1,t-1)-A3waea*(1-
f)*Twaea(i+1,t-1)-Twaea(i,t-1)*(A2owaea-(1-f)*Alwaea-(1-f)*A3waea);

    % Notios (South) toixos
    Alwaso=kwall(i-1)/dxwall;
    A3waso=kwall(i+1)/dxwall;
    A2owaso=pwall(i)*cwall(i)*dxwall/dt;
    A2waso=f*Alwaso+f*A3waso+A2owaso;
    Tfactorwaso(i,i-1)=Alwaso*f;
    Tfactorwaso(i,i)=-A2waso;
    Tfactorwaso(i,i+1)=+A3waso*f;

```

```

Cfactorwaso(i)=-A1waso*(1-f)*Twaso(i-1,t-1)-A3waso*(1-
f)*Twaso(i+1,t-1)-Twaso(i,t-1)*(A2owaso-(1-f)*A1waso-(1-f)*A3waso);

% Dytikos (West) toixos
A1wawe=kwall(i-1)/dxwall;
A3wawe=kwall(i+1)/dxwall;
A2owawe=pwall(i)*cwall(i)*dxwall/dt;
A2wawe=f*A1wawe+f*A3wawe+A2owawe;
Tfactorwawe(i,i-1)=A1wawe*f;
Tfactorwawe(i,i)=-A2wawe;
Tfactorwawe(i,i+1)=+A3wawe*f;
Cfactorwawe(i)=-A1wawe*(1-f)*Twawe(i-1,t-1)-A3wawe*(1-
f)*Twawe(i+1,t-1)-Twawe(i,t-1)*(A2owawe-(1-f)*A1wawe-(1-f)*A3wawe);

end

for i=2:(Nroof-1) % Oroofh

Lroof(i)=Lroof(i-1)+dz;

if (Lroof(i)<=Lasfp) ,kroof(i)=kasfp;
croof(i)=casfp;
proof(i)=pasfp;
elseif (Lroof(i)<=Lasfp+Lscrd) ,kroof(i)=kscrd;
croof(i)=cscrd;
proof(i)=pscrd;
elseif (Lroof(i)<=Lasfp+Lscrd+Lmon) ,kroof(i)=kmon;
croof(i)=cmon;
proof(i)=pmon;
elseif (Lroof(i)<=Lasfp+Lscrd+Lmon+Lskur)
,kroof(i)=kskur;
croof(i)=cskur;
proof(i)=pskur;
elseif (Lroof(i)<=Lasfp+Lscrd+Lmon+Lskur+Lepix)
,kroof(i)=kepix;
croof(i)=cepix;
proof(i)=pepix;

end

A1roof=kroof(i-1)/dz;
A3roof=kroof(i+1)/dz;
A2orooof=proof(i)*croof(i)*dz/dt;
A2roof=f*A1roof+f*A3roof+A2orooof;
Tfactorrooof(i,i-1)=A1roof*f;
Tfactorrooof(i,i)=-A2roof;
Tfactorrooof(i,i+1)=A3roof*f;
Cfactorrooof(i)=-A1roof*(1-f)*Trooof(i-1,t-1)-A3roof*(1-
f)*Trooof(i+1,t-1)-Trooof(i,t-1)*(A2orooof-(1-f)*A1roof-(1-f)*A3roof);

end

```

```

for i=2:(Ninwall-1)           % eswterikoi toixoi

Linwall(i)=Linwall(i-1)+dxin;

if (Linwall(i)<=Lepix)      , kinwall(i)=kepix;
                           cinwall(i)=cepix;
                           pinwall(i)=pepix;
elseif (Linwall(i)<=Lepix+Lintouv)  , kinwall(i)=ktouv;
                                       cinwall(i)=ctouv;
                                       pinwall(i)=ptouv;
elseif (Linwall(i)<=Lepix*2+Lintouv)  , kinwall(i)=kepix;
                                       cinwall(i)=cepix;
                                       pinwall(i)=pepix;

end

Alwain=kinwall(i-1)/dxin;
A3wain=kinwall(i+1)/dxin;
A2owain=pinwall(i)*cinwall(i)*dxin/dt;
A2wain=f*Alwain+f*A3wain+A2owain;
Tfactorwain(i,i-1)=Alwain*f;
Tfactorwain(i,i)=-A2wain;
Tfactorwain(i,i+1)=+A3wain*f;
Cfactorwain(i)=-Alwain*(1-f)*Twain(i-1,t-1)-A3wain*(1-
f)*Twain(i+1,t-1)-Twain(i,t-1)*(A2owain-(1-f)*Alwain-(1-f)*A3wain);

end

% i=N

% Vorios (North) toixos
i=Nwall;
A2wano=kwall(i-1)/dxwall;
A3owano=pwall(i-1)*cwall(i-1)*dxwall/dt/2;
A3wano=f*hin+f*A2wano+A3owano;
Tfactorwano(i,i-1)=f*A2wano;
Tfactorwano(i,i)=-A3wano;
Cfactorwano(i)=-hin*(f*Tin(t)+(1-f)*Tin(t-1))-A2wano*(1-
f)*Twano(i-1,t-1)-Twano(i,t-1)*(A3owano-(1-f)*A2wano-(1-f)*hin);
Cfactorlwano(1:Nwall,1)=Cfactorwano;
Tnwano=inv(Tfactorwano)*Cfactorlwano;
Twano(1:Nwall,t)=Tnwano;           %katagrafh thermokrasiwn
stous N kombous th xronikh stigmh t
qiwano(t)=hin*(Twano(Nwall,t)-Tin(t));
Qwano(t)=qiwano(t)*(platos*ypsos-yalopno);

% Anatolikos (East) toixos
A2waea=kwall(i-1)/dxwall;
A3owaea=pwall(i-1)*cwall(i-1)*dxwall/dt/2;
A3waea=f*hin+f*A2waea+A3owaea;
Tfactorwaea(i,i-1)=f*A2waea;
Tfactorwaea(i,i)=-A3waea;
Cfactorwaea(i)=-hin*(f*Tin(t)+(1-f)*Tin(t-1))-A2waea*(1-
f)*Twaea(i-1,t-1)-Twaea(i,t-1)*(A3owaea-(1-f)*A2waea-(1-f)*hin);

```

```

Cfactor1waea(1:Nwall,1)=Cfactorwaea;
Tnwaea=inv(Tfactorwaea)*Cfactor1waea;
Twaea(1:Nwall,t)=Tnwaea; %katagrafh thermokrasiwn
stous N kombous th xronikh stigmh t
qiwaea(t)=hin*(Twaea(Nwall,t)-Tin(t));
Qwaea(t)=qiwaea(t)*(platos*yposos-yalopea);

% Notios (South) toixos
A2waso=kwall(i-1)/dxwall;
A3owaso=pwall(i-1)*cwall(i-1)*dxwall/dt/2;
A3waso=f*hin+f*A2waso+A3owaso;
Tfactorwaso(i,i-1)=f*A2waso;
Tfactorwaso(i,i)=-A3waso;
Cfactorwaso(i)=-hin*(f*Tin(t)+(1-f)*Tin(t-1))-A2waso*(1-
f)*Twaso(i-1,t-1)-Twaso(i,t-1)*(A3owaso-(1-f)*A2waso-(1-f)*hin);
Cfactor1waso(1:Nwall,1)=Cfactorwaso;
Tnwaso=inv(Tfactorwaso)*Cfactor1waso;
Twaso(1:Nwall,t)=Tnwaso; %katagrafh thermokrasiwn
stous N kombous th xronikh stigmh t
qiwaso(t)=hin*(Twaso(Nwall,t)-Tin(t));
Qwaso(t)=qiwaso(t)*(platos*yposos-yalopso);

% Dytikos (West) toixos
A2wawe=kwall(i-1)/dxwall;
A3owawe=pwall(i-1)*cwall(i-1)*dxwall/dt/2;
A3wawe=f*hin+f*A2wawe+A3owawe;
Tfactorwawe(i,i-1)=f*A2wawe;
Tfactorwawe(i,i)=-A3wawe;
Cfactorwawe(i)=-hin*(f*Tin(t)+(1-f)*Tin(t-1))-A2wawe*(1-
f)*Twawe(i-1,t-1)-Twawe(i,t-1)*(A3owawe-(1-f)*A2wawe-(1-f)*hin);
Cfactor1wawe(1:Nwall,1)=Cfactorwawe;
Tnwawe=inv(Tfactorwawe)*Cfactor1wawe;
Twawe(1:Nwall,t)=Tnwawe; %katagrafh thermokrasiwn
stous N kombous th xronikh stigmh t
qiwawe(t)=hin*(Twawe(Nwall,t)-Tin(t));
Qwawe(t)=qiwawe(t)*(platos*yposos-yalopwe);

% Orofh
i=Nroof;
A2roof=kroof(i-1)/dz;
A3orooof=proof(i-1)*croof(i-1)*dz/dt/2;
A3roof=f*hin+f*A2roof+A3orooof;
Tfactorroof(i,i-1)=f*A2roof;
Tfactorroof(i,i)=-A3roof;
Cfactorroof(i)=-hin*(f*Tin(t)+(1-f)*Tin(t-1))-A2roof*(1-
f)*Troof(i-1,t-1)-Troof(i,t-1)*(A3orooof-(1-f)*A2roof-(1-f)*hin);
Cfactor1roof(1:Nroof,1)=Cfactorroof;
Tnroof=inv(Tfactorroof)*Cfactor1roof;
Troof(1:Nroof,t)=Tnroof; %katagrafh thermokrasiwn
stous N kombous th xronikh stigmh t
qiroof(t)=hin*(Troof(Nroof,t)-Tin(t));
Qroof(t)=qiroof(t)*mhkos*platos;

% eswterikoi toixoi
i=Ninwall;
A2wain=kinwall(i-1)/dxin;

```

```

A3owain=pinwall(i-1)*cinwall(i-1)*dxin/dt/2;
A3wain=f*hin+f*A2wain+A3owain;
Tfactorwain(i,i-1)=f*A2wain;
Tfactorwain(i,i)=-A3wain;
Cfactorwain(i)=-hin*(f*Tin(t)+(1-f)*Tin(t-1))-A2wain*(1-
f)*Twain(i-1,t-1)-Twain(i,t-1)*(A3owain-(1-f)*A2wain-(1-f)*hin);
Cfactorlwain(1:Ninwall,1)=Cfactorwain;
Tnwain=inv(Tfactorwain)*Cfactorlwain;
Twain(1:Ninwall,t)=Tnwain;           %katagrafh thermokrasiwn
stous N kombous th xronikh stigmh t
qiwain(t)=hin*(Twain(Ninwall,t)-Tin(t));
Qwain(t)=qiwain(t)*Lengthinwall*yposos;

% Vorioi (North) yalopinakes
qiglno(t)=SC*SHGFno(t)+U*(Tout(t)-Tin(t));
Qglno(t)=qiglno(t)*yalopno;

% Anatolikoi (East) yalopinakes
qiglea(t)=SC*SHGFea(t)+U*(Tout(t)-Tin(t));
Qglea(t)=qiglea(t)*yalopea;

% Notioi (South) yalopinakes
qiglso(t)=SC*SHGFso(t)+U*(Tout(t)-Tin(t));
Qglso(t)=qiglso(t)*yalopso;

% Dytikoi (West) yalopinakes
qiglwe(t)=SC*SHGFwe(t)+U*(Tout(t)-Tin(t));
Qglwe(t)=qiglwe(t)*yalopwe;

% Ananewsh aera
Paroxhair(t)=ACH*platos*mhkos*yposos*1000/3600;
Qanan(t)=Paroxhair(t)*1.23*(Tout(t)-Tin(t));

if (t<(24*60/dtlepta))

Qtot(t)=Qroof(t)+1*(Qglno(t)+Qglso(t)+Qglwe(t)+Qglea(t))+Qwano(t)+Qwaso
(t)+Qwawe(t)+Qwaea(t)+2*Qwain(t)+Qanan(t);

    if Tin(t-1)>299.5
        Qtotalaplis=Qtot(t)+Qac;
        timeaplis=timeaplis+dt;
    else Qtotalaplis=Qtot(t);
end
Qtotalaplis=Qtot(t);
Tin(t+1)=dt*(Qtotalaplis)/Ctot+Tin(t);

elseif (j<5)
    Tin(1)=Tin(24*60/dtlepta);

Qtot(t)=Qroof(t)+1*(Qglno(t)+Qglso(t)+Qglwe(t)+Qglea(t))+Qwano(t)+Qwaso
(t)+Qwawe(t)+Qwaea(t)+2*Qwain(t)+Qanan(t);

```



```

else
Qtot(t)=Qroof(t)+1*(Qglno(t)+Qglso(t)+Qglwe(t)+Qglea(t))+Qwano(t)+Qwaso
(t)+Qwawe(t)+Qwaea(t)+2*Qwain(t)+Qanan(t);

end

end

if      (j<5)                                     %
Troof(1:Nroof,1)=Troof(1:Nroof,24*60/dtlepta);   %
Twano(1:Nwall,1)=Twano(1:Nwall,24*60/dtlepta);   %
Twaso(1:Nwall,1)=Twaso(1:Nwall,24*60/dtlepta);   %
Twawe(1:Nwall,1)=Twawe(1:Nwall,24*60/dtlepta);   %
Twaea(1:Nwall,1)=Twaea(1:Nwall,24*60/dtlepta);   %
Twain(1:Ninwall,1)=Twain(1:Ninwall,24*60/dtlepta); %

else      Troof(1:Nroof,1)=Troof(1:Nroof,1);       %
Twano(1:Nwall,1)=Twano(1:Nwall,1);               %
Twaso(1:Nwall,1)=Twaso(1:Nwall,1);               %
Twawe(1:Nwall,1)=Twawe(1:Nwall,1);               %
Twaea(1:Nwall,1)=Twaea(1:Nwall,1);               %
Twain(1:Ninwall,1)=Twain(1:Ninwall,1);           %

end

j=j+1;

end

Qtotwano=0;
Qtotwaea=0;
Qtotwaso=0;
Qtotwawe=0;
Qtotwain=0;
Qtotroof=0;
Qtotglno=0;
Qtotglso=0;
Qtotglwe=0;
Qtotglea=0;

save timeprot.dat -ASCII timeprot
save timeaplis.dat -ASCII timeaplis
for t=1:(24*60/dtlepta)

    Qtotwano=Qtotwano+Qwano(t);
    Qtotwaso=Qtotwaso+Qwaso(t);
    Qtotwawe=Qtotwawe+Qwawe(t);
    Qtotwaea=Qtotwaea+Qwaea(t);
    Qtotwain=Qtotwain+Qwain(t);

    Qtotroof=Qtotroof+Qroof(t);

    Qtotglno=Qtotglno+Qglno(t);

```

```

Qtotglso=Qtotglso+Qglso (t) ;
Qtotglwe=Qtotglwe+Qglwe (t) ;
Qtotglea=Qtotglea+Qglea (t) ;

```

```

Qtotaplis (t) =Qwano (t) +Qwaso (t) +Qwawe (t) +Qwaea (t) +Qroof (t) +Qglno (t) +Qgls
o (t) +Qglwe (t) +Qglea (t) ;

```

```

treal (t) =t*dtlepta/60;
ToutC (t) =Tout (t) -273;
Ioutt (t) =Iout (t) ;
TeqnoC (t) =Teqno (t) -273;
TeqsoC (t) =Teqso (t) -273;
TeqweC (t) =Teqwe (t) -273;
TeqeaC (t) =Teqea (t) -273;
TeqroofC (t) =Teqroof (t) -273;
SHGFnor (t) =SHGFno (t) ;
SHGFfeas (t) =SHGFfea (t) ;
SHGFsou (t) =SHGFso (t) ;
SHGFwes (t) =SHGFwe (t) ;

```

```

Tin_aplis (t) =Tin (t) -273;
qiwano (t) =hin* (Twano (Nwall, t) -Tin (t) ) ;
qiwaea (t) =hin* (Twaea (Nwall, t) -Tin (t) ) ;
qiwaso (t) =hin* (Twaso (Nwall, t) -Tin (t) ) ;
qiwawe (t) =hin* (Twawe (Nwall, t) -Tin (t) ) ;
qiaplis (t) =qiwano (t) +qiwaea (t) +qiwaso (t) +qiwawe (t) ;

```

```

Tlwano (t) =Twano (1, t) -273;
Tlwaso (t) =Twaso (1, t) -273;
Tlwawe (t) =Twawe (1, t) -273;
Tlwaea (t) =Twaea (1, t) -273;

```

```

TNwano (t) =Twano (Nwall, t) -273;
TNwaso (t) =Twaso (Nwall, t) -273;
TNwawe (t) =Twawe (Nwall, t) -273;
TNwaea (t) =Twaea (Nwall, t) -273;

```

```

Tin_protp (t) =Tin_prot (t) ;
qiwanopp (t) =qiwanop (t) ;
qiwaeapp (t) =qiwaeap (t) ;
qiwasopp (t) =qiwasop (t) ;
qiwawepp (t) =qiwawep (t) ;
qiprotp (t) =qiprot (t) ;
Tlwanopp (t) =Tlwanop (t) ;
Tlwasopp (t) =Tlwasop (t) ;
Tlwawepp (t) =Tlwawep (t) ;
Tlwaeapp (t) =Tlwaeap (t) ;
TNwanopp (t) =TNwanop (t) ;
TNwasopp (t) =TNwasop (t) ;
TNwawepp (t) =TNwawep (t) ;
TNwaeapp (t) =TNwaeap (t) ;

```

```

figure (1) ;

```

```
x=treal;
y=Tin_protp;
z=Tin_aplis;
plot(x,y,'b',x,z,'g')
title('Inside Temperature')
xlabel('Time (h:00)')
ylabel('Temperature (Celcium)')
grid
legend('monomenos toixos','aplos toixos')

figure(2);
x=treal;
y=ToutC;
plot(x,y,'b')
title('outside temperature')
xlabel('Time (h:00)')
ylabel('Temperature (Celcium)')
grid

figure(3);
x=treal;
y=Tlwanopp;
z=Tlwano;
plot(x,y,'b',x,z,'g')
title('vorios toixos eksoterika')
xlabel('Time (h:00)')
ylabel('Temperature (Celcium)')
grid
legend('monomenos toixos','aplos toixos')

figure(4);
x=treal;
y=TeqnoC;
plot(x,y,'g')
title('vorios toixos')
xlabel('Time (h:00)')
ylabel('Temperature (Celcium)')
grid

figure(5);
x=treal;
y=Tlwasopp;
z=Tlwano;
plot(x,y,'b',x,z,'g')
title('notios toixos eksoterika')
xlabel('Time (h:00)')
ylabel('Temperature (Celcium)')
grid
legend('monomenos toixos','aplos toixos')

figure(6);
x=treal;
y=TeqsoC;
plot(x,y,'b')
title('notios toixosC')
xlabel('Time (h:00)')
```

```
ylabel('Temperature (Celcium)')
grid

figure(7);
x=treal;
y=Tlwawapp;
z=Tlwawe;
plot(x,y,'b',x,z,'g')
title('dytikos toixos eksoterika')
xlabel('Time (h:00)')
ylabel('Temperature (Celcium)')
grid
legend('monomenos toixos','aplos toixos')

figure(8);
x=treal;
y=TeqweC;
plot(x,y,'r')
title('dytikos toixosC')
xlabel('Time (h:00)')
ylabel('Temperature (Celcium)')
grid

figure(9);
x=treal;
y=Tlwaeapp;
z=Tlwaea;
plot(x,y,'b',x,z,'g')
title('anatolikos toixos eksoterika')
xlabel('Time (h:00)')
ylabel('Temperature (Celcium)')
grid
legend('monomenos toixos','aplos toixos')

figure(10);
x=treal;
y=TeqeaC;
plot(x,y,'g')
title('anatolikos toixosC')
xlabel('Time (h:00)')
ylabel('Temperature (Celcium)')
grid

figure(11);
x=treal;
y=TNwanopp;
z=TNwano;
plot(x,y,'b',x,z,'g')
title('vorios toixos eswterika')
xlabel('Time (h:00)')
ylabel('Temperature (Celcium)')
grid
legend('monwmenos toixos','aplos toixos')

figure(12);
```

```
x=treal;
y=TNwasopp;
z=TNwaso;
plot(x,y,'b',x,z,'g')
title('notios toixos eswterika')
xlabel('Time (h:00)')
ylabel('Temperature (Celcium)')
grid
legend('monwmenos toixos','aplos toixos')

figure(13);
x=treal;
y=TNwawapp;
z=TNwawe;
plot(x,y,'b',x,z,'g')
title('dytikos toixos eswterika')
xlabel('Time (h:00)')
ylabel('Temperature (Celcium)')
grid
legend('monwmenos toixos','aplos toixos')

figure(14);
x=treal;
y=TNwaeapp;
z=TNwaea;
plot(x,y,'b',x,z,'g')
title('anatolikos toixos eswterika')
xlabel('Time (h:00)')
ylabel('Temperature (Celcium)')
grid
legend('monwmenos toixos','aplos toixos')

figure(15);
x=treal;
y=SHGFnor;
plot(x,y,'g')
title('vorios yalopinakas')
xlabel('Time (h:00)')
ylabel('W/m^2')
grid

figure(16);
x=treal;
y=SHGFfeas;
plot(x,y,'g')
title('anatolikos yalopinakas')
xlabel('Time (h:00)')
ylabel('W/m^2')
grid

figure(17);
x=treal;
y=SHGFsou;
plot(x,y,'g')
title('notios yalopinakas')
xlabel('Time (h:00)')
```

```
ylabel('W/m^2')
grid

figure(18);
x=treal;
y=SHGFwes;
plot(x,y,'g')
title('dytikos yalopinakas')
xlabel('Time (h:00)')
ylabel('W/m^2')
grid

figure(19);
x=treal;
y=Ioutt;
plot(x,y,'g')
title('olikh aktinovolia')
xlabel('Time (h:00)')
ylabel('aktinovolia (W/m^2)')
grid

figure(20);
x=treal;
y=TeqroofC;
plot(x,y,'g')
title('vorios toixos')
xlabel('Time (h:00)')
ylabel('Temperature (Celcium)')
grid

figure(21)
x=treal;
y=qiaplis;
z=qiprotp;
plot(x,y,'b',x,z,'g')
title('Heat Gain')
xlabel('Time (h:00)')
ylabel('Heat flow (W/m^2)')
grid
legend('aplos toixos','monomenos')
```

end

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Α. ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

1. <http://epas-amarous.att.sch.gr/daidalosapospasmata.htm>
2. <http://www.energia.gr>
3. http://www.opec.org/opec_web/en
4. <http://el.wikipedia.org>
5. <http://www.forumagoraideon.gr>
6. <http://www.ktirio.gr>
7. http://www.cres.gr/kape/index_gr.htm
8. <http://www.buildings.gr>
9. <http://energy.eu>
10. http://www.energia.gr/article.asp?art_id=15296
11. http://www.energia.gr/article.asp?art_id=16104
12. <http://www.energypress.gr>
13. <http://safeworld.wordpress.com/2009/01/06>
14. http://www.buildings.gr/greek/eksoplismos/oikologika_ilika/thermomonomosi.htm
15. <http://www.scienceinschool.org/2006/issue1/fusion/greek>
16. http://library.tee.gr/digital/books_notee/book_60568/book_60568_lazari.pdf
17. <http://www.aparadektoi.gr/content/view/1750/432/>
18. <http://aix.meng.auth.gr/lhtee/education/IAxBE1.pdf>
19. http://www.buildings.gr/greek/aiforos/exikonomisi/m_santamouris.htm
20. <http://www.psem.gr/images/pdf/Building-green%20thermomonomosi.pdf>
21. <http://george.sekeris.org/diafora18.pdf>
22. <http://spitia.gr/greek/aiforos/exikonomisi/themata1.htm>
23. http://www.domika.gr/newSolutions/thermomonomosi/meleti_thermomonomosis.asp

B. ΑΡΘΡΑ – ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ

24. Masayuki Ichinose, Takashi Inoue, Yoshihito Sakamoto, “Long-term performance of high-reflectivity exterior panels”, Japan 2008
25. Ανθή Χαραλάμπους, “Το ενεργειακό πρόβλημα και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας” Φεβρουάριος 2009
26. ΚΑΠΕ, “Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε οικιστικά σύνολα”
27. ΚΑΠΕ, “Τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια”
28. M.T. Westra, S. Kuyvenhoven, “Energy Powering Your World”, FOM - institute for Plasma physics Rijnhuizen, the Netherlands, 2002
29. Μάνθος Σανταμούρης, “Ενεργειακή κατανάλωση κτιρίων και οι νέες τεχνικές για τη μείωσή της”
30. Jacques BARROT, Andris PIEBALGS, ‘The annual energy and transport review for 2004’-Global Insight, SA (Paris, France) and IWW (Karlsruhe, Germany), 2005
31. Υπουργείο Εμπορίου, Βιομηχανίας και Τουρισμού Κυπριακής Δημοκρατίας - Τομέας Ενέργειας, ‘‘Οδηγός Θερμομόνωσης Κτιρίων’’, Δεκέμβριος 2007
32. European Commission, “EU Energy and Transport in figures, Statistical Pocketbook 2009”
33. C.A. Balaras, K. Droutsas, A.A. Argiriou, D.N. Asimakopoulos, “Potential for energy conservation in apartment buildings”
34. ΘΟΜΟΠΟΛ ΛΤΔ, “Οδηγός Θερμομόνωσης κτιρίων (ΟΘΚ)”
35. Moustick product Ltd, “Ανώτερη ποιότητα με θερμομονωτικά προϊόντα αειφόρου δόμησης”, Περιοδικό Οικοενημέρωση, Σεπτέμβριος 2010

Γ. ΒΙΒΛΙΑ

36. Ashrae 1997 HVAC fundamentals Handbook
37. Κίμωνος Α. Αντωνόπουλου, “Κλιματισμός – Μέρος Πρώτο”, Αθήνα 2007
38. Κίμωνος Α. Αντωνόπουλου, “Υπολογιστικές Μεθόδους Φαινομένων Μεταφοράς – Μέρος Πρώτο” Αθήνα 2005
39. Ξενοφών Κ. Κακάτσιος, “Μετάδοση Θερμότητας”, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2002

40. Μιχάλης Α. Παπαδόπουλος, “θερμομόνωση Κτιρίων”, Εκδοτικός οίκος Α/φων
Κυριακίδη

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- ¹ <http://scitech.web.cern.ch/scitech/Schools/EFDA.pdf>
- ² European Commission, “EU Energy and Transport in figures, Statistical Pocketbook 2009”
- ³ http://www.buildings.gr/greek/aiforos/exikonomisi/m_santamouris.htm
- ⁴ <http://www.mcit.gov.cy/mcit/mcit.nsf/dmlperformancegr/dmlperformancegr?OpenDocument>
- ⁵ http://www.energia.gr/article.asp?art_id=15296
- ⁶ http://www.energia.gr/article.asp?art_id=16104
- ⁷ Εύη Τζανακάκη, “Αρχές και Τεχνολογίες Ενεργειακού Σχεδιασμού”
- ⁸ Cecile Marin, “Atlas Environnement du Monde Diplomatique, 2007”
- ⁹ <http://www.cie.org.cy/sxoliko.html#menu3-3>
- ¹⁰ http://www.buildings.gr/greek/eksoplismos/oikologika_ilika/thermomonosi.htm
- ¹¹ http://keilyfos.eu/pdf/Αναλυτικά_η_εξωτερική_θερμομόνωση
- ¹² <http://www.afoigourna.gr/SystimataEksoterikisThermomonosis.php>
- ¹³ Υπουργείο Εμπορίου, Βιομηχανίας και Τουρισμού Κυπριακής Δημοκρατίας - Τομέας Ενέργειας, “Οδηγός Θερμομόνωσης Κτιρίων”, Δεκέμβριος 2007.
- ¹⁴ Ashrae 1997 HVAC Fundamentals Handbook
- ¹⁵ Κίμωνος Α. Αντωνόπουλου. “Κλιματισμός – Μέρος πρώτο”, Αθήνα 2007.
- ¹⁶ Κίμωνος Α. Αντωνόπουλου, “Υπολογιστικές Μεθόδους Φαινομένων Μεταφοράς – Μέρος Πρώτο”, Αθήνα 2005
- ¹⁷ <http://www.meteo.ntua.gr>