



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΠΙΩΝ ΜΟΡΦΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Προσομοίωση του ηλιασμού εσωτερικών χώρων

Πτυχιακή Εργασία



Βίκτωρ Κωνσταντινόπουλος (Α.Μ. 2699)
Χρήστος Κιτσώνας (Α.Μ.2568)

Εισηγητής:
Δρ. Σωκράτης Καπλάνης, Καθηγητής



Πάτρα, Οκτώβριος 2004

| | |
|----------------------|------|
| ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ | 7102 |
|----------------------|------|

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εργασία αυτή, με θέμα "*Προσομοίωση του Ηλιασμού Εσωτερικών Χώρων*", καθώς και η εφαρμογή λογισμικού που στηρίζεται στη μέθοδο που αναπτύσσεται στην εργασία, για την πρόβλεψη και προσομοίωση του ηλιασμού εσωτερικών χώρων, εκπονήθηκαν στο Εργαστήριο Ήπιων Μορφών Ενέργειας του Τμήματος Μηχανολογίας του ΤΕΙ Πάτρας, υπό την επίβλεψη του Καθηγητή κ. Σωκράτη Καπλάνη.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον κ. Καπλάνη για την ευκαιρία που μας έδωσε να ασχοληθούμε με το θέμα των Παθητικών Ηλιακών Συστημάτων και τις ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις που μας έκανε κατά την ανάπτυξη του θέματος. Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον κ. Αχιλλέα Κωστούλα, εργαστηριακό συνεργάτη, για την πολύτιμη βοήθειά του και την παροχή βιβλιογραφίας. Τέλος, ευχαριστούμε το συμφοιτητή και φίλο Δημήτρη Σπυράκη για τη συνεργασία του, και όλους τους φίλους και τους συγγενείς για τη στήριξη και την υπομονή τους.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η ανάπτυξη μιας μεθόδου πρόβλεψης και προσομοίωσης του *Ηλιασμού Εσωτερικών Χώρων*, με σκοπό τη μελέτη των αποτελεσμάτων που προκύπτουν για τη χρήση τους σε εφαρμογές *Παθητικών Ηλιακών Συστημάτων*.

Τα νέα δεδομένα για το επικείμενο τέλος των αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων -που στις μέρες μας αποτελούν τη βασική πηγή ενέργειας- αλλά και η από ετών διαπιστωμένη -και ολοένα αυξανόμενη- οικολογική επιβάρυνση που προκαλεί η χρήση τους, δημιουργούν ένα ανανεωμένο ενδιαφέρον για τη χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας.

Μια σημαντική εφαρμογή των ήπιων μορφών ενέργειας στον τομέα του ενεργειακού σχεδιασμού κτιρίων είναι τα Παθητικά Ηλιακά Συστήματα, που εκμεταλλεύονται άμεσα τη διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια για τη θέρμανση και το φωτισμό των εσωτερικών χώρων.

Το κύριο πρόβλημα στην εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας είναι η έντονα μεταβλητή διαθεσιμότητά της μέσα στο χρόνο. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα αυτό, είναι απαραίτητη η ανάπτυξη εργαλείων και μεθόδων πρόβλεψης της διαθεσιμότητας.

Η εργασία αυτή αποσκοπεί στην κατεύθυνση αυτή, αναπτύσσοντας μία γεωμετρική μέθοδο πρόβλεψης του ηλιασμού εσωτερικών χώρων που στηρίζεται στις τριγωνομετρικές σχέσεις της Ηλιακής Γεωμετρίας και την αναλυτική γεωμετρία.

Η επεξεργασία του θέματος ξεκινάει με την παρουσίαση των αρχών των Παθητικών Ηλιακών Συστημάτων στο Κεφάλαιο 1, όπου αναλύεται η σημασία της εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας στα κτίρια, οι παράμετροι που την επηρεάζουν και οι πρακτικές που ακολουθούνται για την καλύτερη αξιοποίησή της.

Στη συνέχεια, στο Κεφάλαιο 2 αναλύονται τα βασικά στοιχεία της Ηλιακής Μηχανικής, που επιτρέπουν τη μαθηματική προσέγγιση της πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας σε κάποιο σύστημα στην επιφάνεια της γης.

Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται το μαθηματικό μοντέλο προσομοίωσης του ηλιασμού εσωτερικών χώρων, που στηρίζεται στις σχέσεις της Ηλιακής Γεωμετρίας και την αναλυτική γεωμετρία, ενώ τέλος στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται η εφαρμογή λογισμικού *INSOLATION 1.0*, που δημιουργήθηκε με βάση το παραπάνω μοντέλο προσομοίωσης για την πρόβλεψη και τη μελέτη του Ηλιασμού Εσωτερικών Χώρων.

Καταλήγοντας, με την εκπόνηση αυτής της εργασίας διαπιστώσαμε ότι, η απλότητα στην εφαρμογή των Παθητικών Ηλιακών Συστημάτων, η φιλική προς το περιβάλλον

φύση τους και τα οφέλη που προσφέρουν, όπως η εξοικονόμηση φυσικών πόρων και το υγιεινό και ευχάριστο εσωτερικό μικροκλίμα, τα αναγάγουν σε έναν ιδιαίτερα σημαντικό τομέα του ενεργειακού αρχιτεκτονικού σχεδιασμού. Ως εκ τούτου, η περαιτέρω μελέτη και εξέλιξη των τεχνικών, των μεθόδων και των βοηθητικών εργαλείων εφαρμογής τους, κρίνεται τόσο σκόπιμη, όσο και αναγκαία.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|--|-----------|
| <i>Πρόλογος</i> | <i>i</i> |
| <i>Εισαγωγή</i> | <i>ii</i> |
| <i>Περιεχόμενα</i> | <i>iv</i> |
| Κεφάλαιο 1 Παθητικά Ηλιακά Συστήματα | 1 |
| 1.1 Εισαγωγή | 1 |
| 1.2 Συστήματα εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας..... | 2 |
| 1.3 Απαραίτητα στοιχεία μελέτης για τα Παθητικά Ηλιακά Συστήματα | 3 |
| 1.3.1 Ηλιακή διαθεσιμότητα | 3 |
| 1.3.2 Φυσικοί μηχανισμοί μετάδοσης της θερμότητας – Ιδιότητες των υλικών | 4 |
| 1.3.3 Στοιχεία θερμικής και οπτικής άνεσης..... | 7 |
| 1.4 Τύποι παθητικών ηλιακών συστημάτων..... | 8 |
| 1.4.1 Συστήματα έμμεσου ηλιακού κέρδους | 9 |
| 1.4.2 Σύστημα άμεσου ηλιακού κέρδους..... | 10 |
| 1.4.3 Μηχανισμός λειτουργίας του συστήματος άμεσου κέρδους..... | 10 |
| 1.4.4 Σχεδιασμός συστημάτων άμεσου κέρδους | 11 |
| 1.5 Προβλήματα στη χρήση των παθητικών ηλιακών συστημάτων | 19 |
| Κεφάλαιο 2 Στοιχεία Ηλιακής Μηχανικής | 21 |
| 2.1 Το Σύστημα Γη - Ήλιος..... | 21 |
| 2.2 Σχετική θέση Γης-Ήλιου | 22 |
| 2.2.1 Αύξων αριθμός ημέρας (n) | 22 |
| 2.2.2 Ηλιακή απόκλιση | 23 |
| 2.3 Η θέση ενός τόπου στην επιφάνεια της Γης..... | 25 |
| 2.4 Η θέση του ήλιου ως προς το γήινο παρατηρητή | 26 |
| 2.4.1 Φαινόμενη τροχιά του ήλιου..... | 26 |
| 2.4.2 Σχέση μεταξύ ηλιακής και τοπικής ώρας..... | 27 |
| 2.4.3 Η θέση του ήλιου ως προς το γήινο παρατηρητή..... | 31 |
| 2.5 Πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας σε μια επιφάνεια | 35 |
| 2.5.1 Σχέση μεταξύ ήλιου-επιφάνειας..... | 35 |
| 2.6 Ηλιακά διαγράμματα | 37 |
| 2.6.1 Αρχές ηλιακών διαγραμμάτων..... | 37 |
| 2.6.2 Μορφές ηλιακών διαγραμμάτων | 38 |
| 2.6.3 Χρήσεις των ηλιακών διαγραμμάτων | 42 |
| 2.7 Ήλιος και ηλιακή ακτινοβολία | 44 |

| | | |
|---|--|-----------|
| 2.7.1 | Γενικά | 44 |
| 2.7.2 | Ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας..... | 47 |
| 2.7.3 | Μορφές της ηλιακής ακτινοβολίας..... | 47 |
| Κεφάλαιο 3 Πρόβλεψη και Προσομοίωση Ηλιασμού Εσωτερικών Χώρων..... | | 49 |
| 3.1 | Γενικά..... | 49 |
| 3.2 | Ηλιασμός εσωτερικών χώρων..... | 49 |
| 3.3 | Εξαγόμενες εξισώσεις για τον ηλιασμό και τη σκίαση επιφανειών..... | 50 |
| 3.3.1 | Ανάλυση | 51 |
| 3.3.2 | Εξισώσεις..... | 53 |
| 3.4 | Διερεύνηση..... | 54 |
| 3.4.1 | Προβολή ίχνους σε ένα επίπεδο..... | 56 |
| 3.4.2 | Προβολή ίχνους σε περισσότερα επίπεδα..... | 61 |
| 3.4.3 | Σκίαση..... | 66 |
| 3.5 | Υπολογισμός εμβαδού φωτεινού ίχνους | 74 |
| Κεφάλαιο 4 Παρουσίαση της Εφαρμογής Λογισμικού INSOLATION 1.0..... | | 76 |
| 4.1 | Εισαγωγή | 76 |
| 4.2 | Γενική περιγραφή..... | 77 |
| 4.3 | Το περιβάλλον της εφαρμογής | 80 |
| 4.3.1 | Εισαγωγή των δεδομένων..... | 81 |
| 4.3.2 | Τα μενού και η βασική γραμμή εργαλείων..... | 86 |
| 4.3.3 | Οι φόρμες των αποτελεσμάτων | 86 |
| 4.3.4 | Η φόρμα του Ηλιακού χάρτη..... | 89 |
| 4.4 | Μελλοντικοί στόχοι..... | 90 |
| Παράρτημα..... | | 91 |
| Βιβλιογραφία | | 93 |

1.1 Εισαγωγή

Ο σχεδιασμός, η μελέτη και η κατασκευή των σπιτιών, επηρεάζονταν ανέκαθεν από τις κλιματολογικές συνθήκες και ιδιαίτερα από την ηλιοφάνεια κάθε τόπου. Βασισμένες στα παραπάνω, οι κτιριακές κατασκευές που δημιουργούνταν έτειναν να εναρμονίζονται με το φυσικό περιβάλλον και ήταν έτσι σχεδιασμένες, ώστε να επωφελούνται από τις εκάστοτε κλιματολογικές συνθήκες, βελτιώνοντας τις συνθήκες διαβίωσης των ενοίκων.

Η σύγχρονη ανάπτυξη, μετά τη Βιομηχανική Επανάσταση, στήριξε τον ενεργειακό σχεδιασμό των κτιρίων, τόσο για την επίτευξη των επιθυμητών συνθηκών θέρμανσης, ψύξης και φωτισμού όσο και κάθε άλλη ενεργειακή ανάγκη, στην ενέργεια των ορυκτών καυσίμων, πηγές που αρχικά θεωρούνταν ανεξάντλητες και ικανές να λύσουν κάθε ενεργειακό πρόβλημα. Όπως όμως απέδειξε και συνεχίζει να αποδεικνύει η καθημερινή πρακτική, οι συγκεκριμένες πηγές ενέργειας, όχι μόνο δεν είναι ανεξάντλητες, αλλά επιπλέον η χρήση τους είναι εξαιρετικά επικίνδυνη και επιβαρυντική για το περιβάλλον, τις οικολογικές ισορροπίες και τον ίδιο τον άνθρωπο.

Ταυτόχρονα, εστιάζοντας στην ενέργεια των ορυκτών καυσίμων, υποτιμήθηκαν η σοφία και ο πλούτος των παραδοσιακών ενεργειακών τεχνικών στην αρχιτεκτονική που στηρίζονταν στη φυσική ροή της ενέργειας στο περιβάλλον, καθώς θεωρήθηκαν οπισθοδρομικές και απορρίφθηκαν ως αναχρονιστικές.

Από την περίοδο 1976-1978, με την πρώτη πετρελαϊκή κρίση, παρουσιάστηκε ενδιαφέρον για τη θέρμανση κτιρίων με χρήση παθητικών ηλιακών συστημάτων και αναγνωρίστηκε ότι ο τρόπος αυτός χρησιμοποίησης της ηλιακής ενέργειας, είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός και πρακτικός, σε συνδυασμό με την απλότητα και το χαμηλό κόστος κατασκευής.

Η βιοκλιματική αρχιτεκτονική, τομέας της οποίας είναι τα Παθητικά Ηλιακά Συστήματα, επιχειρεί να επαναπροσδιορίσει σε μια δυναμική αρμονική αλληλεπίδραση τη σχέση του κτιρίου με τα στοιχεία της φύσης και τον τοπικό φυσικό χώρο. Η έννοια του σύγχρονου βιοκλιματικού σχεδιασμού, περιγράφει μια αρχιτεκτονική προσαρμοσμένη στο περιβάλλον, με οικολογική σύνεση και προβλεπτικότητα, με τη βοήθεια της τεχνολογίας για την καλύτερη εξεύρεση λύσεων που θα ικανοποιούν τις πραγματικές ανάγκες των χρηστών των χώρων, αποφεύγοντας την αλόγιστη σπατάλη των πηγών.

Ο άμεσος στόχος της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής είναι να προσφέρει στους χρήστες των κτιρίων άνετο εσωτερικό θερμικό κλίμα με ικανοποιητικές συνθήκες φωτισμού, αξιοποιώντας τα ευνοϊκά στοιχεία του τοπικού φυσικού κλίματος και ρυθμίζοντας το κέλυφος της κατασκευής έτσι, ώστε να απαιτείται η ελάχιστη δυνατή συμπληρωματική ενέργεια.

Για την επίτευξη αυτού του αποτελέσματος απαιτείται ο ακριβής υπολογισμός των ενεργειακών αναγκών των κτιρίων και η ανάπτυξη μεθόδων εκμετάλλευσης των φυσικών πηγών ενέργειας, και ιδιαίτερα της ηλιακής η οποία αποτελεί την πιο άφθονα παρεχόμενη και άμεσα εκμεταλλεύσιμη πηγή.

Πιο συγκεκριμένα, προκειμένου να δημιουργηθεί ένα αποτελεσματικό σύστημα εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας για τις ενεργειακές ανάγκες των κτιρίων είναι ανάγκη να διερευνηθούν και να μελετηθούν:

- Οι ανάγκες των χρηστών των κτιριακών χώρων
- Τα κλιματικά και φυσικά φαινόμενα που σχετίζονται με τα κτίρια και τη ροή της ενέργειας γύρω από αυτά
- Η συμπεριφορά των κτιρίων στο χώρο τους
- Οι ιδιότητες των δομικών υλικών
- Οι κατασκευαστικές μέθοδοι, οι αρχιτεκτονικοί και πολεοδομικοί τύποι που βελτιώνουν την ποιότητα του δομημένου χώρου
- Η ηλιακή διαθεσιμότητα τόσο στον περιβάλλοντα χώρο των κτιρίων όσο και στο εσωτερικό τους

1.2 Συστήματα εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας

Για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας στη θέρμανση και δροσισμό των κτιρίων, έχουν αναπτυχθεί δύο κυρίως τεχνολογικά συστήματα, τα *ενεργητικά* και τα *παθητικά ηλιακά συστήματα*. Συνδυασμός των δύο συστημάτων, δίνει ένα τρίτο, τα υβριδικά.

- **Παθητικά ηλιακά συστήματα:** Όταν σε ένα κτίριο η ροή της ηλιακής ενέργειας από και προς το εσωτερικό του γίνεται με φυσικούς τρόπους, δηλαδή χωρίς τη χρήση πρόσθετου ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού και συνεισφέρει πάνω από το μισό της ολικής ανάγκης που απαιτείται για τη θέρμανση, τότε το κτίριο θεωρείται παθητική ηλιακή κατασκευή.

Με δεδομένο ότι η θέρμανση είναι η πιο πρόδηλη πλευρά της ηλιακής ενέργειας, η μελετημένη επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας σε μια αρχιτεκτονική κατασκευή

δίνει τη δυνατότητα δραστηκής ελάττωσης της πρόσθετης ενέργειας για θέρμανση και δροσισμό των κτιρίων. Το παθητικό ηλιακό σύστημα είναι το πλέον απλό και οικονομικό, γιατί δεν απαιτεί μηχανικά μέσα (συλλέκτες, αντλίες, ανεμιστήρες κλπ.), αλλά βασίζεται στο ίδιο το κέλυφος της κατασκευής. Εκμεταλλευόμενοι τις ιδιότητες των κατασκευαστικών υλικών και με τον κατάλληλο σχεδιασμό, αφήνεται στη φύση να κάνει τα υπόλοιπα.

Η λειτουργία του βασίζεται στη δέσμευση του μεγαλύτερου μέρος της διαθέσιμης ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό του κτιρίου από τα μεσημβρινά παράθυρα, όπου απορροφάται και αποταμιεύεται από τα δομικά στοιχεία της κατασκευής, μετατρέπεται σε θερμότητα και επανεκπέμπεται όταν η θερμοκρασία του χώρου ελαττωθεί.

- **Ενεργητικά ηλιακά συστήματα:** Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα βασίζονται επίσης στην ηλιακή ακτινοβολία για την κάλυψη των θερμικών αναγκών του κτιρίου, αλλά η συλλογή, αποταμίευση και διανομή της ενέργειας, γίνεται με τη βοήθεια ειδικού ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, όπως ηλιακοί συλλέκτες, αντλίες, ανεμιστήρες, εναλλάκτες θερμότητας κλπ.
- **Υβριδικά συστήματα:** Τα υβριδικά συστήματα συνδυάζουν τη φυσική και τη μηχανική θερμική ροή. Η προσθήκη για παράδειγμα ενός ανεμιστήρα, σε ένα παθητικό σύστημα, για την πιο αποτελεσματική διανομή της θερμότητας στο χώρο, μετατρέπουν ένα παθητικό σύστημα σε υβριδικό.

1.3 Απαραίτητα στοιχεία μελέτης για τα Παθητικά Ηλιακά Συστήματα

Για το σωστό σχεδιασμό ενός παθητικού ηλιακού συστήματος απαιτείται η γνώση και η μελέτη της ηλιακής διαθεσιμότητας, των φυσικών μηχανισμών μετάδοσης της ενέργειας, των ιδιοτήτων των υλικών, καθώς και των αναγκών των χρηστών των κτιριακών χώρων ως προς τη θερμική και οπτική άνεση.

1.3.1 Ηλιακή διαθεσιμότητα

Η ηλιακή επίδραση στο κτίριο εξαρτάται από την εποχή και την ώρα της ημέρας, τη θέση της κτιριακής κατασκευής ως προς τη διεύθυνση της ηλιακής ακτινοβολίας και την πιθανή παρεμπόδιση της ακτινοβολίας προς το κτίριο από στοιχεία του περιβάλλοντος χώρου (λόφοι, γειτονικά κτίρια, δέντρα κλπ). Όλα τα παραπάνω μπορούν να μελετηθούν με βάση τις σχέσεις που δίνει η Ηλιακή Γεωμετρία και εξετάζονται σε επόμενο κεφάλαιο.

Επιπλέον, η διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια εξαρτάται από τις συνθήκες νεφοκάλυψης και την καθαρότητα της ατμόσφαιρας. Η μελέτη και η πρόβλεψη των παραγόντων αυτών γίνονται με βάση στοιχεία από πειραματικές μετρήσεις επί σειρά ετών για κάθε περιοχή.

Ένα στοιχείο που πρέπει να αξιολογηθεί και να συνυπολογισθεί με την εκάστοτε διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία, είναι ότι λόγω της συσσώρευσης της θερμότητας στο έδαφος, την ατμόσφαιρα και τη θάλασσα, παρουσιάζεται μια χρονική μετατόπιση ανάμεσα στη στιγμή που η ολική ακτινοβολία φθάνει στο μέγιστό της και τη στιγμή που εμφανίζονται οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες στον τόπο. Αυτό συμβαίνει τόσο σε ημερήσια βάση (3-4 ώρες) όσο και σε ετήσια (1-2 μήνες).

1.3.2 Φυσικοί μηχανισμοί μετάδοσης της θερμότητας – Ιδιότητες των υλικών

1.3.2.1 Μετάδοση της θερμότητας

Είναι γνωστό, ότι η μετάδοση της θερμότητας πραγματοποιείται με τρεις τρόπους: με *αγωγή*, με *μεταφορά* και με *ακτινοβολία*. Η μετάδοση της θερμότητας από το εξωτερικό περιβάλλον ενός κτιριακού χώρου προς το εσωτερικό του -και το αντίθετο- πραγματοποιείται και με τους τρεις τρόπους:

- Με **αγωγή** μέσω των εξωτερικών δομικών του στοιχείων, όπως οι τοίχοι, τα κουφώματα των παραθύρων, τα υαλοστάσια, οι πόρτες κλπ.
- Με **μεταφορά** από χαραμάδες, ακάλυπτα ανοίγματα ή θυρίδες εξαερισμού
- Με **ακτινοβολία** μέσω ακάλυπτων ανοιγμάτων ή καλυμμένων με διαφανή υλικά όπως τα υαλοστάσια

Στις παθητικές ηλιακές κατασκευές η θέρμανση επιτυγχάνεται με ακτινοβολία και αγωγή.

1.3.2.2 Ροή της θερμότητας

Η ροή θερμότητας ανάμεσα σε δύο σώματα ή χώρους διαφορετικής θερμοκρασίας, έχει την κατεύθυνση που τείνει να εξισώσει τις θερμοκρασίες, δηλαδή από το θερμότερο προς το ψυχρότερο. Επιπλέον, ενώ η ροή θερμότητας είναι ανάλογη της διαφοράς θερμοκρασίας τους, ο ρυθμός της ροής εξαρτάται από την αντίσταση που παρεμβάλλεται στη ροή αυτή, δηλαδή από τη *θερμοχωρητικότητα* και τη *θερμική διαπερατότητα* των υλικών.

- **Θερμοχωρητικότητα** είναι το ποσό της θερμότητας που απαιτείται για να αυξηθεί η θερμοκρασία ενός κυβικού μέτρου του υλικού κατά 1°C. Εξαρτάται από την ειδική θερμότητα του υλικού και από την πυκνότητά του. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοχωρητικότητα ενός υλικού, τόσο μεγαλύτερη είναι η ικανότητά του να απορροφά και να αποθηκεύει θερμότητα ανά μονάδα όγκου.
- **Θερμική διαπερατότητα (λ)** είναι η ποσότητα της θερμότητας που διαπερνάει 1m² επιφάνειας πάχους d του στοιχείου ανά ώρα, με διαφορά θερμοκρασίας 1°C

μεταξύ των επιφανειών του. Υλικά με μικρή θερμική διαπερατότητα είναι κατάλληλα για μονωτικά.

Επιπλέον, η αποταμίευση της θερμότητας γίνεται με ταχύτερο ρυθμό όταν το υλικό θερμαίνεται με άμεση ακτινοβολία, παρά αν θερμαίνεται έμμεσα. Γενικά, απαιτείται 4 φορές περισσότερη θερμική μάζα για να αποθηκεύσει το ίδιο ποσό θερμότητας αν αυτή θερμαίνεται έμμεσα από τον αέρα, απ' ότι αν θερμαίνεται άμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία.

Στον Πίνακα 1.1 δίνονται οι τιμές της θερμοχωρητικότητας και της θερμικής διαπερατότητας μερικών συνήθων δομικών υλικών

Πίνακας 1.1: Συντελεστές θερμοχωρητικότητας και θερμικής διαπερατότητας διαφόρων υλικών σε θερμοκρασία δωματίου

| Υλικό | Θερμοχωρητικότητα [kJ/m ³ °C] | Θερμική διαπερατότητα [W/m °C] |
|-----------------------------------|---|-----------------------------------|
| Μπετόν στεγνό | 1,89 | 1,10 |
| Μπετόν 10% υγρασία | 1,87 | 1,21 |
| Πλίνθοι στεγνοί | 1,49 | 0,45 |
| Πλίνθοι 10% υγρασία | 1,49 | 0,80 |
| Πλίνθοι με προσθήκη μαγνησίου | 1,61 | 2,50 |
| Πλίνθοι από ηηλό ψημένο στον ήλιο | 1,70 | 0,52 |

1.3.2.3 Απορρόφηση και εκπομπή θερμότητας

Όταν η ακτινοβολία προσπίπτει σε μια επιφάνεια, ένα ποσοστό ανακλάται και το υπόλοιπο (25-97%) απορροφάται από αυτήν. Το ποσό που απορροφάται μετατρέπεται σε θερμότητα με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος που τη δέχεται.

Η ικανότητα των επιφανειών των δομικών στοιχείων κατασκευής να απορροφούν (ή να ανακλούν) και να εκπέμπουν θερμότητα, παίζει σπουδαίο ρόλο στο σχεδιασμό μιας παθητικής ηλιακής κατασκευής.

Στη συνέχεια ορίζονται οι συντελεστές που περιγράφουν τις ιδιότητες αυτές των επιφανειών, και εξαρτώνται κυρίως από το χρώμα και την υφή τους.

- Η **θερμοαπορροφητικότητα (α)** μιας επιφάνειας είναι το μέτρο της ικανότητάς της να απορροφά την ηλιακή ενέργεια. Εκφράζει το ποσοστό της έντασης της ακτινοβολίας που απορροφάται από την επιφάνεια ως προς το σύνολο της ακτινοβολίας που προσπίπτει σε αυτήν. Εξαρτάται τόσο από το χρώμα και την υφή της επιφάνειας όσο και από τη θερμοκρασία στην οποία βρίσκεται το σώμα (όσο μικρότερη είναι η θερμοκρασία του, τόσο μεγαλύτερη η τάση του να απορροφήσει θερμότητα).

- Η **ανακλαστικότητα (ρ)** είναι το μέτρο της ικανότητάς της επιφάνειας να ανακλά τη θερμική ακτινοβολία. Είναι το αντίστροφο κλάσμα της θερμοαπορροφητικότητας.
- Ο **συντελεστής εκπομπής (ϵ)** είναι το μέτρο της ικανότητας της επιφάνειας να εκπέμπει θερμική ακτινοβολία.

Οι επιφάνειες με μικρή τιμή του λόγου α/ϵ , όπως οι λευκές και λείες επιφάνειες, είναι κατάλληλες για τα δυτικά τοιχώματα που είναι εκτεθειμένα για μεγάλο διάστημα στο ζεστό απογευματινό ήλιο του καλοκαιριού. Αντίθετα, επιφάνειες με μεγάλη τιμή του α και ιδιαίτερα του α/ϵ , όπως οι σκούρες και άγριες επιφάνειες είναι κατάλληλες για τις μεσημβρινές όψεις του κτιρίου που δέχονται το χειμερινό εκτίθενται περισσότερο στο χειμερινό ήλιο ιδιαίτερα τις μεσημβρινές ώρες, λόγω του χαμηλού ύψους του ήλιου το χειμώνα.

Ο Πίνακας 1.2 δίνει τιμές των α , ϵ , α/ϵ , καθώς και της ανακλαστικότητας ρ διαφόρων υλικών.

Πίνακας 1.2: Συντελεστές θερμοαπορροφητικότητας (α), εκπομπής (ϵ) και ανακλαστικότητας (ρ) διαφόρων υλικών

| Υλικό | Θερμοαπορροφητικότητα (α) | Συντελεστής εκπομπής (ϵ) | Λόγος α/ϵ | Ανακλαστικότητα (ρ) |
|------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Λευκός σοβάς | 0,07 | 0,91 | 0,08 | 0,93 |
| Λευκό χρώμα | 0,20 | 0,91 | 0,22 | 0,80 |
| Μπετόν | 0,60 | 0,98 | 0,068 | - |
| Μπετόν άγριο | 0,60 | 0,88 | 0,0,08 | 0,40 |
| Τούβλο κόκκινο | 0,55 | 0,92 | 0,60 | 0,45 |
| Μάρμαρο | 0,5-0,6 | 0,90 | 0,61 | - |
| Μαύρο χρώμα ματ | 0,96 | 0,88 | 10,9 | 0,04 |
| Μαύρο χρώμα γυαλιστερό | 0,90 | 0,90 | 1,00 | - |
| Κόκκινο χρώμα | 0,74 | 0,90 | 0,82 | 0,26 |
| Πράσινο χρώμα | 0,50 | 0,90 | 0,56 | 0,50 |
| Λαμαρίνα γαλβαν. | 0,65 | 0,13 | 5,00 | 0,35 |
| Αλουμίνιο φύλλο | 0,15 | 0,05 | 3,00 | 0,85 |
| Γρασίδι | 0,68 | 0,90 | 0,76 | - |
| Νερό | 0,94 | 0,95-0,96 | 0,98 | - |

1.3.2.4 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

Το "φαινόμενο του θερμοκηπίου" αναφέρεται στη δέσμευση της ηλιακής ενέργειας σε ένα χώρο με τη βοήθεια υαλοστασίων. Στηρίζεται στην ιδιότητα του τζαμιού και

άλλων διαφανών υλικών να είναι διαπερατά για την ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος 0,38-0,7μm (ορατή ηλιακή ακτινοβολία), και σχεδόν αδιαπέραστο για τη μεγάλου μήκους κύματος θερμική ακτινοβολία (0,7-100μm).

Έτσι, η ηλιακή ακτινοβολία εισέρχεται στο χώρο μέσω της γυάλινης επιφάνειας και απορροφάται από τα δομικά στοιχεία του χώρου. Στη συνέχεια, τα δομικά στοιχεία επανεκπέμπουν την ενέργεια που έχουν απορροφήσει με τη μορφή θερμικής ακτινοβολίας (ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος), η οποία δεν μπορεί να διαπεράσει τη γυάλινη επιφάνεια και παγιδεύεται μέσα στο χώρο.

Με αυτόν τον τρόπο, η εσωτερική θερμότητα μπορεί να διοχετευτεί στο εξωτερικό περιβάλλον μόνο με αγωγή μέσω των εξωτερικών δομικών στοιχείων, αυξάνοντας ιδιαίτερα το χρόνο παραμονής της μέσα στο χώρο. Είναι φανερό ότι για να μειωθεί ακόμα περισσότερο ο ρυθμός απώλειας της θερμότητας σημαντικό ρόλο παίζει η καλή μόνωση και η αποφυγή απώλειας με μεταφορά από χαραμάδες.

1.3.3 Στοιχεία θερμικής και οπτικής άνεσης

Ένα θέμα θεμελιώδους σημασίας στον ενεργειακό σχεδιασμό των κτιρίων είναι η επίτευξη συνθηκών θερμικής άνεσης για τους χρήστες των χώρων.

Η αίσθηση της θερμικής άνεσης κάθε ατόμου συνδέεται άμεσα με την κατάσταση της **θερμικής ουδετερότητας**, που είναι η αίσθηση του σώματος ότι δεν επιθυμεί να προσβάλει ή να αποβάλει θερμότητα. Το ανθρώπινο σώμα επιζητά θερμική ισορροπία, δηλαδή τη διατήρηση της εσωτερικής του θερμοκρασίας σε σταθερά επίπεδα. Για τη διατήρηση της θερμοκρασίας του κάνει καύσεις, με αποτέλεσμα την παραγωγή θερμότητας. Οι καύσεις, που αυξάνονται με το βαθμό δραστηριότητας, είναι δυνατόν να παράγουν πλεονάζουσα θερμότητα και αφού δεν υπάρχει κάποιος μηχανισμός αποθήκευσής της, όταν αυτή παράγεται πρέπει και να αποβάλλεται.

Η επίτευξη της θερμικής ουδετερότητας γίνεται με τη ρύθμιση της μέσης θερμοκρασίας του δωματίου ως προς τη διαφορά της από το ανθρώπινο σώμα, έτσι ώστε ο ρυθμός αποβολής θερμότητας από το σώμα να είναι ίσος με τον ρυθμό της εσωτερικής παραγωγής της.

Επιπλέον, είναι σημαντικό να αποφεύγονται παράγοντες που συντελούν στον τοπική έλλειψη άνεσης, όπως μεγάλες διακυμάνσεις θερμοκρασίας στο χώρο, που δημιουργούνται από πολύ γρήγορο ρυθμό της ροής της θερμότητας, και οι πηγές ασύμμετρης θερμικής ακτινοβολίας όπως πολύ θερμές ή πολύ ψυχρές επιφάνειες, καθώς και η άμεση έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία.

Ο **φυσικός φωτισμός** είναι επίσης ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που δεν πρέπει να παραμελείται κατά τον ενεργειακό σχεδιασμό των κτιρίων. Η εξασφάλιση φυσικού φωτισμού των χώρων, πέρα από την εξοικονόμηση ενέργειας που

προσφέρει, είναι αποδεδειγμένο ότι συμβάλλει θετικά στην ψυχολογική διάθεση των χρηστών του χώρου, που αποδέχονται τις συνθήκες φυσικού φωτισμού πολύ πιο ευχάριστα από αντίστοιχες συνθήκες τεχνητού φωτισμού. Η μελέτη του φυσικού φωτισμού πρέπει να είναι τέτοια ώστε να εξασφαλίζεται η απαιτούμενη ποσότητα φωτισμού (ένταση φωτισμού) ανάλογα με τις δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στο χώρο, εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα συνθήκες οπτικής άνεσης.

Συγκεκριμένα, πρέπει να αποφεύγεται η έντονη λαμπρότητα των επιφανειών και ιδιαίτερα των επιφανειών εργασίας. Αυτή μπορεί να είναι π.χ. η επιφάνεια του γραφείου στον εργασιακό χώρο μιας εταιρίας ή το δάπεδο σε μία αθλητική εγκατάσταση. Ταυτόχρονα, πρέπει να αποφεύγονται οι έντονες οπτικές αντιθέσεις, που ακόμα κι αν δεν είναι έντονης λαμπρότητας, προκαλούν επίσης αίσθημα θάμβωσης.

Γενικά, καλύτερες συνθήκες οπτικής άνεσης δημιουργούνται από το διάχυτο φωτισμό και τη διασπορά του στο σύνολο του χώρου. Το χρώμα και η υφή των επιφανειών επηρεάζουν τη διάχυση του φωτισμού και πρέπει να επιλέγονται προσεκτικά.

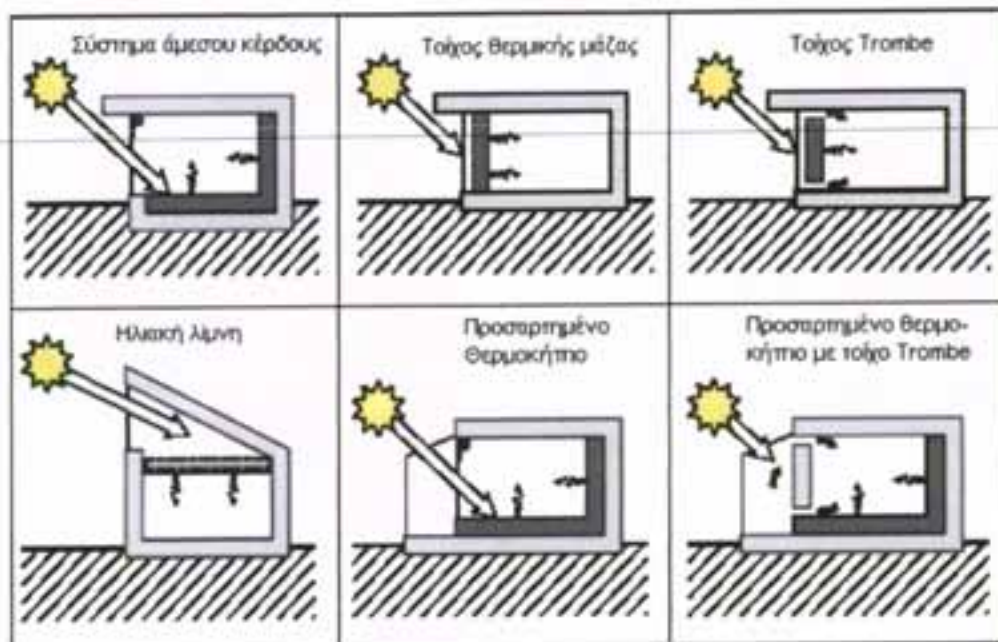
1.4 Τύποι παθητικών ηλιακών συστημάτων

Η κατάταξη των παθητικών ηλιακών συστημάτων γίνεται με βάση τη θερμική σχέση που υπάρχει ανάμεσα στο ηλιακό κέρδος, στο χώρο θερμικής αποθήκευσης και στο θερμαινόμενο χώρο. Κάτω από αυτό το πρίσμα διακρίνονται σε δύο συστήματα:

Σύστημα άμεσου ηλιακού κέρδους: Ο χώρος θερμαίνεται άμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία, η οποία εισρέει στο χώρο που πρόκειται να θερμανθεί από τα εξωτερικά του ανοίγματα και μετατρέπεται σε θερμότητα. Τα δομικά στοιχεία του χώρου είναι μεγάλης θερμικής μάζας και αποθηκεύουν τη θερμότητα αφού εκτίθενται στην άμεση ακτινοβολία και θερμαίνονται μέσω του θερμού αέρα. Η θερμότητα που αποθηκεύεται αποδίδεται και πάλι στο χώρο, όταν η θερμοκρασία του ελαττωθεί (σχ. 1.1).

Σύστημα έμμεσου ηλιακού κέρδους: Η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει σε κάποια επιφάνεια συλλογής, όπου δεσμεύεται και αποθηκεύεται σαν θερμότητα στη θερμική μάζα, πριν εισέλθει στο χώρο που πρόκειται να θερμανθεί. Η απόδοση της θερμότητας στο χώρο γίνεται με τη φυσική ροή της μέσω της μάζας αποθήκευσης και η χρονική καθυστέρηση της απόδοσης της θερμότητας στο χώρο από την ώρα πρόσπτωσης της ακτινοβολίας στην επιφάνεια συλλογής, εξαρτάται από τη θερμοχωρητικότητα της μάζας αποθήκευσης και το συγκεκριμένο σύστημα που χρησιμοποιείται. Η βαθμιαία απόδοση της θερμότητας στο χώρο, έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση των θερμοκρασιακών διακυμάνσεων και τη μείωση της υπερθέρμανσης από την άμεση ακτινοβολία. Χαρακτηριστικές εφαρμογές συστημάτων έμμεσου κέρδους, είναι ο τοίχος θερμικής αποθήκευσης και οι

παραλλαγές του, η ηλιακή λίμνη και το σύστημα του προσαρτημένου θερμοκηπίου (σχ. 1.1).



Σχήμα 1.1: Τύποι παθητικών ηλιακών συστημάτων

1.4.1 Συστήματα έμμεσου ηλιακού κέρδους

1.4.1.1 Τοίχος θερμικής αποθήκευσης

Ο τοίχος θερμικής αποθήκευσης κατασκευάζεται από κάποιο υλικό μεγάλης θερμοχωρητικότητας, όπως μπετόν, τούβλα ή και νερό (μέσα σε δοχεία). Έχει μεσημβρινό προσανατολισμό και είναι βαμμένος με σκούρο χρώμα στην εξωτερική του πλευρά, για τη μεγιστοποίηση της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας. Μπροστά από την εξωτερική του πλευρά και σε μικρή απόσταση από αυτόν, είναι τοποθετημένο ένα διπλό τζάμι, για τη μεγαλύτερη δέσμευση της ακτινοβολίας.

Η ενέργεια που απορροφάται, διαχέεται μέσα στη μάζα του και μετά από ένα χρονικό διάστημα που εξαρτάται από το υλικό και το πάχος του τοίχου, διαπερνάει τον τοίχο και εμφανίζεται στην εσωτερική του πλευρά, ανυψώνοντας τη θερμοκρασία της και στη συνέχεια τη θερμοκρασία του χώρου, με αγωγή και ακτινοβολία.

Ένα σύστημα κινητής μόνωσης είναι απαραίτητο και έχει διπλό ρόλο. Τη χειμερινή περίοδο η μόνωση χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια της νύχτας, για μείωση των θερμικών απωλειών, ενώ αφαιρείται κατά τη διάρκεια της ημέρας, για διευκόλυνση της ηλιακής πρόσληψης. Αντίθετα, τη θερινή περίοδο η μόνωση χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια της ημέρας ώστε να εμποδίζονται τα ηλιακά κέρδη, ενώ αφαιρείται

κατά τη διάρκεια της νύχτας ώστε να ακτινοβολείται στο περιβάλλον η θερμότητα του χώρου που απορροφήθηκε τη μέρα, συμβάλλοντας στο δροσισμό του χώρου.

1.4.1.2 Άλλα συστήματα έμμεσου κέρδους

Παραλλαγή του τοίχου θερμικής αποταμίευσης, είναι ο τοίχος Trombe, ο οποίος διαθέτει θυρίδες εξαερισμού στο άνω και κάτω μέρος του. Μέσω των θυρίδων δημιουργείται ένα κύκλωμα θερμού αέρα που βοηθά στην γρηγορότερη θέρμανση του χώρου.

Το σύστημα της ηλιακής λίμνης λειτουργεί με παρόμοιο τρόπο με τον τοίχο θερμικής αποθήκευσης και αποτελείται από δοχεία νερού τοποθετημένα στην οροφή του κτιρίου.

1.4.2 Σύστημα άμεσου ηλιακού κέρδους

Τα συστατικά στοιχεία ενός συστήματος άμεσου ηλιακού κέρδους είναι:

- Μια μεγάλη υαλόφρακτη επιφάνεια κατάλληλα προσανατολισμένη, μέσω της οποίας γίνεται η συλλογή της ενέργειας. Ο κατάλληλος προσανατολισμός αναφέρεται στη βασική αρχή ότι πρέπει να επιτρέπει μέγιστη συλλογή κατά τη χειμερινή περίοδο και ελάχιστη κατά τη θερινή. Ο μεσημβρινός προσανατολισμός με κατακόρυφο υαλοστάσιο, είναι ο καταλληλότερος, όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια.
- Σημαντική θερμική μάζα μεγάλης θερμοχωρητικότητας (μπετόν, πέτρα, συμπαγή τούβλα, κλπ.) στα εσωτερικά δομικά στοιχεία της κατασκευής, για τη συλλογή και αποταμίευση της θερμικής ενέργειας που εισρέει στο χώρο, προκειμένου να διατεθεί κατά τις νυκτερινές ώρες και τις ημέρες χωρίς ηλιοφάνεια.
- Εξωτερικά μονωμένη κατασκευή για τη μείωση των θερμικών απωλειών κατά την ψυχρή περίοδο, που ταυτόχρονα εξασφαλίζει και προστασία από την υπερθέρμανση κατά τη θερινή περίοδο, όταν η θερμότητα είναι ανεπιθύμητη.
- Συστήματα σκίασης για την ηλιοπροστασία των ανοιγμάτων και την αποφυγή της υπερθέρμανσης, τους θερινούς μήνες.

1.4.3 Μηχανισμός λειτουργίας του συστήματος άμεσου κέρδους

Η ηλιακή ενέργεια εισρέει στο κτίριο απ' ευθείας από τα παράθυρα και εμμέσως από τους τοίχους και την οροφή, απορροφάται από τον αέρα, το δάπεδο, τους τοίχους και τα έπιπλα και θερμαίνει πρώτα τον αέρα και κατόπιν τα υπόλοιπα στοιχεία του χώρου.

Εάν τα στοιχεία του χώρου αποκτήσουν τη θερμοκρασία του αέρα, ή δεν μπορούν να απορροφήσουν θερμότητα με αρκετά μεγάλο ρυθμό, ο αέρας εξακολουθεί να θερμαίνεται, η θερμοκρασία του χώρου ανεβαίνει και προκαλείται υπερθέρμανση.

Όταν παύσει να προσφέρεται θερμότητα από τον ήλιο (κατά τη νύχτα ή κατά τις ημέρες χωρίς ηλιοφάνεια), η θερμοκρασία του χώρου πέφτει και τα θερμά υλικά αρχίζουν να αποβάλλουν την αποταμιευμένη θερμότητα, αντικαθιστώντας αυτή που χάνεται, κρατώντας το χώρο ζεστό.

Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοχωρητικότητα των υλικών (Πίνακας 1.1), τόσο μικρότερος είναι ο κίνδυνος υπερθέρμανσης, ενώ παράλληλα αποταμιεύεται περισσότερη θερμότητα (αν, φυσικά, η μάζα είναι αρκετή).

Για να είναι αποτελεσματικός ο ρόλος της θερμικής μάζας απαιτείται πολύ καλή εξωτερική μόνωση της κατασκευής.

Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμική μάζα μιας κατασκευής (μεγάλη μάζα και μεγάλη θερμοχωρητικότητα), τόσο βραδύτερα ανταποκρίνεται η εσωτερική θερμοκρασία στις διακυμάνσεις της εξωτερικής θερμοκρασίας.

Ένα επιπλέον πλεονέκτημα είναι ότι μια βαριά κατασκευή με μεγάλη θερμική μάζα που επιβραδύνει την απώλεια θερμότητας το χειμώνα, επιβραδύνει επίσης τα θερμικά κέρδη το καλοκαίρι.

Αυτή ακριβώς η επιβράδυνση της ροής θερμότητας από μέσα προς τα έξω και το αντίθετο, μειώνει τη διακύμανση της θερμοκρασίας σε σχέση με αυτή του περιβάλλοντος και δημιουργεί τη βάση για σταθερές συνθήκες θερμικής άνεσης.

1.4.4 Σχεδιασμός συστημάτων άμεσου κέρδους

Το ηλιακό κτίριο πρέπει να σχεδιασθεί στην αρχή του ηλιακού συλλέκτη, που όταν λάμπει ο ήλιος χρησιμοποιεί για τη θέρμανσή του την ενέργεια που απαιτείται, ενώ την πλεονάζουσα τη συλλέγει και την αποθηκεύει για να χρησιμοποιηθεί όταν χρειάζεται. Τέλος, παύει να δουλεύει όταν δεν προσβάλλεται από τον ήλιο, ή όταν συλλέξει αρκετή ενέργεια. Έτσι το κτίριο πρέπει να αφήνει την ηλιακή ακτινοβολία να εισρέει σ' αυτό όταν χρειάζεται θερμότητα και να την εμποδίζει όταν δεν την χρειάζεται.

Αυτό επιτυγχάνεται με κατάλληλο προσανατολισμό, χρώμα, σχήμα, τοποθέτηση παραθύρων και μέσων ηλιοπροστασίας, έτσι ώστε να μεγιστοποιείται η συλλογή ενέργειας το χειμώνα και να ελαχιστοποιείται το καλοκαίρι.

Παράλληλα, η θερμομάζα του κτιρίου πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να συλλέγει και να αποταμιεύει τη θερμότητα που πλεονάζει, προκειμένου να την αποδεσμεύσει κατά τη διάρκεια της νύχτας, ή τις περιόδους που δεν υπάρχει ηλιοφάνεια. Συγχρόνως,

πρέπει να εμποδίζεται η θερμότητα να διαφύγει προς το περιβάλλον, με καλή μόνωση, αεροστεγή παράθυρα, κλείσιμο χαραμάδων, κλπ.

1.4.4.1 Παράγοντες που επηρεάζουν το ηλιακό κέρδος

Οι συνολικές ανάγκες του κτιρίου για θέρμανση μπορούν να εξυπηρετηθούν με τον κατάλληλο σχεδιασμό, έτσι ώστε:

- Το χειμώνα τα θερμικά κέρδη να αυξάνονται με τον ηλιασμό του και να περιορίζονται οι θερμικές απώλειες με τη θερμομόνωσή του.
- Το καλοκαίρι να αποφεύγεται η υπερθέρμανση με ηλιοπροστασία των ανοιγμάτων, θερμομόνωση και απορρόφηση της πλεονάζουσας θερμότητας από τα υλικά μεγάλης θερμοχωρητικότητας.

Ο σχεδιασμός αυτός περιλαμβάνει μελέτη και κατάλληλη ρύθμιση κάποιων παραμέτρων του κτιρίου ως προς:

- Τη χωροθέτησή του στο οικόπεδο, το σχήμα και τον προσανατολισμό του
- Τον προσανατολισμό και το μέγεθος των ανοιγμάτων του
- Τη λειτουργική διάρθρωση των εσωτερικών του χώρων
- Την επιλογή των υλικών κατασκευής, του χρώματος και της υφής των επιφανειών
- Τη θέση και την κατανομή των μαζών θερμικής αποθήκευσης
- Την ηλιοπροστασία των ανοιγμάτων του

Χωροθέτηση του κτιρίου

Η σημαντικότερη παράμετρος για ένα παθητικό ηλιακό κτίριο, είναι μα μπορεί να δεχτεί το χαμηλό χειμερινό ηλιασμό. Έτσι, η τοποθέτησή του στο βορειότερο ηλιαζόμενο τμήμα του οικοπέδου εξασφαλίζει επαρκή ηλιασμό για τα νότια ανοίγματα και μειώνει τις πιθανότητες σκίασης του κτιρίου από μελλοντικά κτίρια. Εργαλεία για την εκτίμηση της επισκίασης και την εύρεση της θέσης που να εξασφαλίζεται ο ηλιασμός αποτελούν οι **ηλιακοί χάρτες**.

Με τη χρήση του ηλιακού χάρτη καταγράφεται το ανάγλυφο του περιβάλλοντος χώρου και η επίδρασή του στον ηλιασμό της συγκεκριμένης περιοχής, δηλαδή η πιθανή επισκίαση από βουνά, λόφους, δέντρα, κτίρια κλπ. Αναλυτικά θα αναφερθούμε στη χρήση των ηλιακών χαρτών στο επόμενο κεφάλαιο.

Προσανατολισμός και σχήμα του κτιρίου

Τα θερμικά φορτία που δέχεται κάθε επιφάνεια ενός κτιριακού όγκου εξαρτώνται από τον προσανατολισμό της και κυρίως από τη γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας σε αυτήν, σε συνδυασμό με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας σε μια δεδομένη περίοδο.

Έτσι, για κάθε περιοχή του κελύφους του κτιρίου διαφέρουν τόσο ο κατάλληλος τρόπος αξιοποίησης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, όσο και τα αναγκαία μέσα ηλιοπροστασίας, ανάλογα με την εποχή και την τροχιά του ήλιου στον ουρανό.

Μελέτες που έχουν γίνει σχετικά με τον προσδιορισμό του άριστου σχήματος του κτιρίου ως προς τη βιοκλιματική του συμπεριφορά στηρίζονται:

- Στο θερμικό ισοζύγιο (θερμικά ηλιακά κέρδη-θερμικές απώλειες), για διάφορα σχήματα και προσανατολισμούς κτιρίων, τόσο για τη χειμερινή όσο και για τη θερινή περίοδο
- Στο δεδομένο ότι, άριστη αναλογία διαστάσεων θεωρείται εκείνη όπου παρουσιάζονται οι λιγότερες θερμικές απώλειες για το χειμώνα και τα ελάχιστα θερμικά κέρδη το καλοκαίρι.

Έρευνες και μετρήσεις καταλήγουν στο συμπέρασμα, ότι προκειμένου να δέχεται το κτίριο τη μέγιστη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας το χειμώνα και τη μικρότερη το καλοκαίρι, η άριστη μορφή είναι η επιμήκης κατά τον άξονα Α-Δ. Οι αναλογίες στις διαστάσεις εξαρτώνται από τις δεδομένες κλιματικές συνθήκες. Η μεγάλη πρόσοψη επιλέγεται να είναι προσανατολισμένη $\pm 25^\circ$ από τη μεσημβρία με προτίμηση στην πραγματική μεσημβρία ή με ελαφρά κλίση προς την Ανατολή, ώστε το κτίριο να επωφελείται περισσότερο από τον πρωινό χειμερινό ήλιο, οπότε και η θερμότητα είναι πιο αναγκαία, μετά από μια κρύα νύχτα.

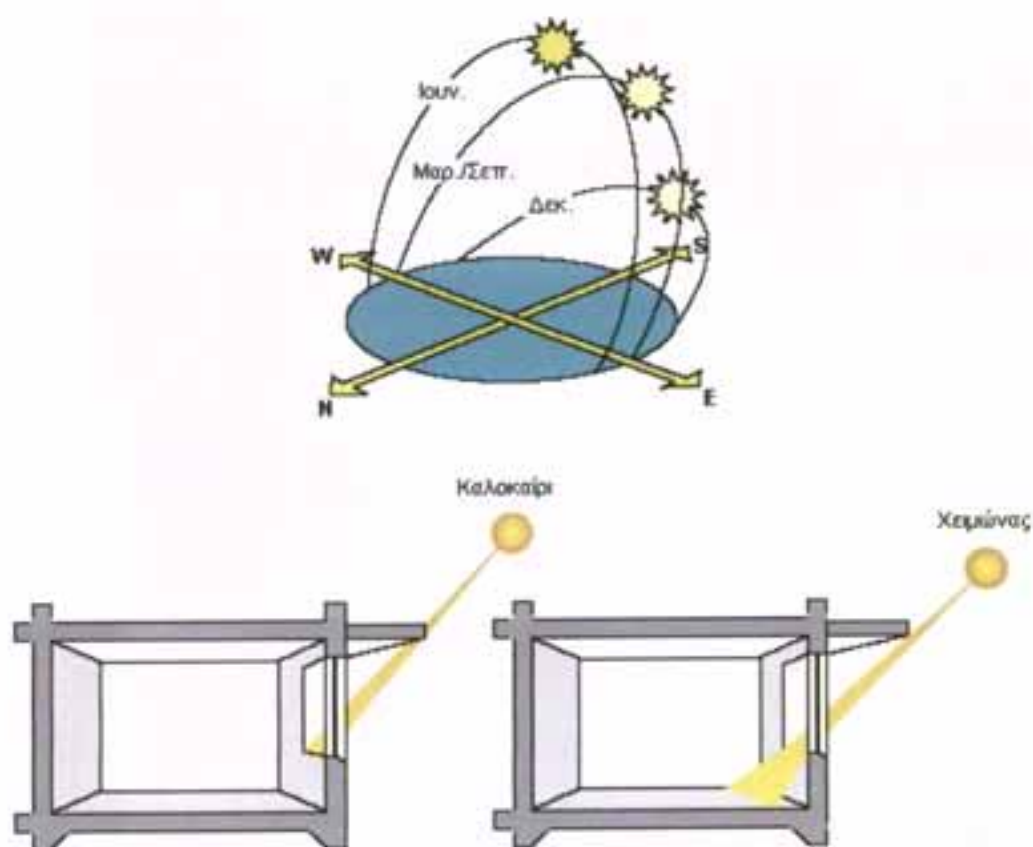
Τα παραπάνω στηρίζονται σε έρευνες που αποδεικνύουν ότι οι μεσημβρινές όψεις δέχονται έως και διπλάσια ηλιακή ακτινοβολία το χειμώνα ως προς το καλοκαίρι, ενώ η ανατολική και δυτική όψη δέχεται έως και 3 φορές περισσότερη ακτινοβολία από τη μεσημβρινή όψη κατά τη θερινή περίοδο.

Επιπλέον, το μικρό βάθος στη διεύθυνση Β-Ν ευνοεί την εισχώρηση της ακτινοβολίας σε μεγάλο σχετικό βάθος μέσα στο χώρο μέσω των μεσημβρινών παραθύρων, και ως εκ τούτου την καλύτερη διανομή της θερμότητας και του φωτός μέσα σε αυτόν.

Προσανατολισμός των ανοιγμάτων

Ο μεσημβρινός προσανατολισμός των ανοιγμάτων είναι ο πιο κατάλληλος, γιατί έτσι το σύστημα δέχεται έναν φυσικό εποχικό έλεγχο. Το χειμώνα που η θερμική ενέργεια είναι επιθυμητή, δέχεται τη μέγιστη ποσότητα ακτινοβολίας, καθώς ο ήλιος

βρίσκεται χαμηλά στον ορίζοντα, ώστε η γωνία πρόσπτωσης στην επιφάνεια να είναι μικρή και το βάθος εισχώρησης της ακτινοβολίας μεγάλο. Το καλοκαίρι που η θερμότητα δεν είναι επιθυμητή, ο ήλιος βρίσκεται ψηλά στον ουρανό, δίνοντας μεγάλη γωνία πρόσπτωσης και ελάχιστη εισχώρηση ακτινοβολίας, που μπορεί εύκολα να αποτραπεί εντελώς με χρήση οριζοντίων σταθερών σκιάστρων (σχ. 1.2).



Σχήμα 1.2: Θερινός και χειμερινός μεσημβρινός ηλιασμός

Χρώμα και υφή των επιφανειών

Όπως έχει ήδη αναλυθεί, το χρώμα και η υφή των επιφανειών παίζουν ρόλο στην τιμή τόσο της θερμοαπορροφητικότητας και της ανακλαστικότητας όσο και της θερμικής εκπομπής των δομικών στοιχείων. Η ανακλαστικότητα και η απορροφητικότητα είναι ουσιαστικής σημασίας για γη βέλτιστη εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας.

Όσον αφορά τις εξωτερικές επιφάνειες, το χρώμα και η υφή των επιφανειών παίζουν ιδιαίτερο ρόλο στα μη μονωμένα, ή ελαφρώς μονωμένα κτίρια, ενώ χάνουν τη σημασία τους όσο η μόνωση αυξάνεται. Στα ψυχρά κλίματα για εξωτερικές επιφάνειες πρέπει να χρησιμοποιούνται υλικά μεγάλης απορροφητικότητας ενώ στα θερμά οι εξωτερικοί τοίχοι βάφονται λευκοί με υλικά μεγάλης ανακλαστικότητας. Η

στέγη, που δέχεται το μεγαλύτερο ηλιασμό το καλοκαίρι με οξεία πρόσπτωση, πρέπει να είναι πάντοτε ανοιχτόχρωμη και από ανακλαστικά υλικά.

Ιδιαίτερα για τις εσωτερικές επιφάνειες που χρειάζεται γρήγορη απορρόφηση της θερμικής ενέργειας και αργή, σχετικά, εκπομπή, το χρώμα και η υφή των επιφανειών είναι σημαντικός παράγοντας που περιλαμβάνει ο κατάλληλος ηλιακός σχεδιασμός ενός κτιρίου.

Οι εσωτερικές επιφάνειες που δέχονται την άμεση ακτινοβολία μέσω των ανοιγμάτων, χρειάζονται γρήγορη απορρόφηση για αποφυγή της υπερθέρμανσης και πρέπει να είναι σκούρες, με προσοχή ώστε να μη δημιουργούνται πολύ σκοτεινές συνθήκες στο χώρο, με υλικά μεγάλης απορροφητικότητας. Ταυτόχρονα, πρέπει να έχουν χαμηλό συντελεστή θερμικής εκπομπής, ώστε η απόδοση της θερμότητας να είναι αργή και να αποφεύγονται οι έντονες διακυμάνσεις θερμοκρασίας.

Αποταμίευση της θερμότητας – Θερμική μάζα

Για να είναι αποτελεσματικό ένα παθητικό ηλιακό σύστημα, δεν αρκεί να μπορεί να συλλέγει την ηλιακή ενέργεια όταν αυτή είναι διαθέσιμη, αλλά να την αποταμιεύει για να τη χρησιμοποιήσει όταν δεν είναι διαθέσιμη, δηλαδή κατά τη νύχτα και της ημέρες χωρίς ηλιοφάνεια.

Η επίδραση που έχει πάνω στην ολική κατανάλωση ενέργειας η θερμική μάζα του κτιρίου είναι ιδιαίτερα σημαντική. Παρ' όλ' αυτά, στη σημερινή πρακτική της κατασκευής είναι μια παραμελημένη υπόθεση. Σπάνια κατασκευάζονται πια βαριές κατασκευές και η τάση είναι προς την ελαφριά οικοδομή με τα λιγότερα υλικά.

Όλα τα υλικά απορροφούν και αποταμιεύουν θερμότητα σε διαφορετικό βαθμό και με διαφορετικό ρυθμό. Στη συλλογή και αποταμίευση της ενέργειας βοηθά κυρίως η μάζα των δομικών στοιχείων του κτιρίου, δηλαδή το υλικό των τοίχων, του δαπέδου και της οροφής.

Μέτρο της δυνατότητας των υλικών να απορροφούν και να αποταμιεύουν θερμότητα είναι η **θερμοχωρητικότητά** τους (πιν. 1.1).

Τα βαριά υλικά όπως τα τούβλα, η πέτρα, το μπετόν, μπορούν να αποταμιεύουν μεγάλες ποσότητες θερμότητας για ορισμένη ανύψωση της θερμοκρασίας, χωρίς τα ίδια να γίνουν πολύ θερμά, και να την αποβάλουν όταν το περιβάλλον γίνει ψυχρότερο. Ελαφρότερα υλικά, όπως π.χ. το ξύλο, υπό τις ίδιες συνθήκες απορροφούν και αποταμιεύουν μικρότερη ποσότητα ενέργειας ανά μονάδα όγκου.

Θερμική άνεση και παθητικά ηλιακά συστήματα

Είναι σαφώς διαπιστωμένο ότι το σύστημα θέρμανσης που προσφέρει τη μεγαλύτερη θερμική άνεση είναι οι μεγάλες επιφάνειες ακτινοβολίας χαμηλής ροής θερμότητας (θερμοκρασίας), όπως το δάπεδο, οι τοίχοι και η οροφή.

Όταν η ροή της θερμότητας είναι σχετικά χαμηλή, δε δημιουργούνται μεγάλες διακυμάνσεις θερμοκρασίας μέσα στο χώρο και τα ρεύματα είναι μειωμένα.

Χρειάζεται προσοχή στα συστήματα άμεσου ηλιακού κέρδους, που πρέπει να προβλέπονται μονωτικές διατάξεις στα μεγάλα υαλόφρακτα ανοίγματα κατά τη διάρκεια της νύχτας, όταν οι επιφάνειες αυτές είναι ψυχρές και τείνουν να διώχνουν τη θερμότητα προς τα έξω, όπως βαριές κουρτίνες, εξωτερικά πατζούρια ή άλλα μέσα προστασίας.

Η ταχύτητα με την οποία διαχέεται η θερμότητα μέσα στη μάζα του τοίχου εξαρτάται από την αγωγιμότητα του υλικού, που όσο μεγαλύτερη είναι, τόσο πιο ομοιόμορφη είναι η διανομή της θερμότητας. Εξίσου βοηθάει και το μέγεθος της επιφάνειας του τοίχου που προσβάλλεται από την ηλιακή ακτινοβολία.

Τη μεγαλύτερη προσφορά στη συμπεριφορά των παθητικών ηλιακών συστημάτων δίνει η αγωγιμότητα της θερμομάζας (το μέγεθος, η κατάλληλη τοποθέτησή της στο χώρο ώστε να δέχεται μεγάλο μέρος της εισερχόμενης στο χώρο ακτινοβολίας κλπ.).

Με τη χρησιμοποίηση υλικού μεγαλύτερης αγωγιμότητας, μειώνεται η διακύμανση της θερμοκρασίας του αέρα του χώρου και επιτυγχάνεται ελάττωση του μέγιστου και αύξηση του ελάχιστου της θερμοκρασίας που επικρατεί στο χώρο.

Η ποσότητα της ακτινοβολίας που ανακλάται ή απορροφάται από αντικείμενα χωρίς σημαντική θερμική μάζα (έπιπλα κλπ.), δρα σαν πηγή θέρμανσης του αέρα του χώρου ανεβάζοντας τη θερμοκρασία και πρέπει να αποφεύγεται, ειδικά το καλοκαίρι.

Η κάλυψη των δαπέδων με χαλιά το χειμώνα εμποδίζει τη διαφυγή της θερμότητας προς το έδαφος, αλλά παράλληλα εμποδίζει την απορρόφησή της άμεσης ακτινοβολίας από τη θερμομάζα. Πρέπει, λοιπόν να γίνεται μελέτη και σωστή αξιολόγηση της πρόσπτωσης της άμεσης ακτινοβολίας στις επιφάνειες των εσωτερικών δομικών υλικών, ώστε να συνδυάζονται τα οφέλη των δύο τεχνικών.

1.4.4.2 Το παράθυρο

Ο σχεδιασμός των παραθύρων είναι ιδιαίτερα σημαντικός, αφού μέσω αυτών γίνεται δυνατή η είσοδος της ηλιακής ακτινοβολίας στο χώρο. Είναι σκόπιμο, λοιπόν, να έχουν αρκετά μεγάλη επιφάνεια συλλογής, που να μπορεί τη θερινή περίοδο να προστατευτεί από ένα εξωτερικό σύστημα ηλιοπροστασίας. Επιπλέον, όμως, κάνουν δυνατή τη διαφυγή της αποθηκευμένης θερμότητας προς τα έξω, όταν υπάρχει έλλειψη ηλιοφάνειας, λόγω της μικρής θερμοχωρητικότητας και της μεγάλης

θερμικής διαπερατότητας του τζαμιού. Έτσι, τα πολύ μεγάλα παράθυρα πρέπει να αποφεύγονται, ενώ θα πρέπει να προβλέπεται κάποιο σύστημα κινητής μόνωσης για τη διάρκεια της νύχτας, κυρίως το χειμώνα. Ιδανικά θεωρούνται τα εξωτερικά κινητά φύλλα (πατζούρια) και εσωτερικά οι βαριές κουρτίνες.

1.4.4.3 Ηλιοπροστασία

Ο ρόλος των συστημάτων ηλιοπροστασίας είναι κυρίως η ελαχιστοποίηση του ποσού της ηλιακής ακτινοβολίας που περνάει στο εσωτερικό του κτιρίου κατά τις θερμές περιόδους. Επιπλέον, όμως, μπορούν να παίξουν μονωτικό ρόλο για υαλοστάσια κατά τις ψυχρές περιόδους, καθώς και να συμβάλουν στην επίτευξη οπτικής άνεσης αλλάζοντας κατεύθυνση στην ηλιακή ακτινοβολία (στόρια), διαχέοντας την ακτινοβολία (κουρτίνες) κλπ, αποτρέποντας τις έντονες οπτικές αντιθέσεις στο επίπεδο εργασίας και τη θάμβωση.

Εξωτερική ηλιοπροστασία

Για την παρεμπόδιση της ηλιακής πρόσβασης στο εσωτερικό του κτιρίου, πιο αποτελεσματικές είναι οι διατάξεις εξωτερικής ηλιοπροστασίας.

(Δεν πρέπει να παρεμποδίζει εντελώς τη θέα και την οπτική επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον)

Μπορεί να επιτευχθεί κυρίως με:

- Αρχιτεκτονικές, σταθερές προεξοχές στο κέλυφος της κατασκευής
- Κινητά συστήματα σκίασης (τέντες, πατζούρια κλπ)
- Φυσικό σκiasμό με βλάστηση

Σταθερές αρχιτεκτονικές προεξοχές

Για την ηλιοπροστασία των μεσημβρινών ανοιγμάτων ενδείκνυνται τα οριζόντια σταθερά στοιχεία της κατασκευής, που εμποδίζουν την άμεση πρόσπτωση της ακτινοβολίας στα ανοίγματα το καλοκαίρι που ο ήλιος βρίσκεται ψηλά στον ουρανό, ενώ επιτρέπουν τον ηλιασμό από το χαμηλό χειμωνιάτικο ήλιο.

Πρακτικά, η πιο αποτελεσματική μορφή σταθερών σκιάστρων μεσημβρινής όψης είναι οι εξώστες του υπερκείμενου ορόφου και οι προεξοχές της στέγης, αρκεί να έχουν αρκετό μήκος και πλάτος ώστε να παρέχουν ικανοποιητική σκίαση κατά τις ημέρες και ώρες αιχμής.

Κινητά συστήματα σκίασης

Ένα από τα πιο διαδεδομένα και αποτελεσματικά συστήματα εξωτερικής ηλιοπροστασίας είναι οι τέντες. Είναι ελαφριές, πρόσθετες, σχετικά χαμηλού κόστους κατασκευές οριζόντιου άξονα, ρυθμιζόμενες ανάλογα με τις ανάγκες σκίασης κάθε χρονικής στιγμής.

Τα περιστρεφόμενα σκίαστρα κατακόρυφου άξονα (πατζούρια) και τα ρολά μπορούν να κλείνουν κατά τις ώρες αιχμής, αρκεί η κατασκευή τους να είναι τέτοια που να μην παρεμποδίζεται ο αερισμός και να μη στερούν τελείως το φυσικό φωτισμό από τον εσωτερικό χώρο. Προσφέρονται ιδιαίτερα για τα ανατολικά και δυτικά ανοίγματα που δέχονται την ηλιακή ακτινοβολία κατά τις ώρες αιχμής από χαμηλή πλάγια διεύθυνση. Επιπλέον εξυπηρετούν και άλλες ανάγκες, όπως ασφάλεια, ιδιωτικότητα και μόνωση κατά τις νυκτερινές ώρες.

Ο συνδυασμός οριζόντιων και κατακόρυφων περιστρεφόμενων σκιάστρων μπορεί να δώσει ένα εξαιρετικό σύστημα ηλιοπροστασίας.

Βλάστηση

Σημαντικότερος παράγοντας της εξωτερικής ηλιοπροστασίας είναι η βλάστηση

Η βλάστηση που συμβαδίζει με τις κλιματικές εποχές όπως η φυλλοβόλα βλάστηση (δέντρα, κληματαριές κλπ), είναι η καταλληλότερη γιατί προσφέρει σκίαση το καλοκαίρι, χωρίς να παρεμποδίζει την ηλιακή πρόσπτωση το χειμώνα.

Αν και η υψηλή βλάστηση δεν προσφέρει αποτελεσματική σκίαση στη μεσημβρινή όψη κατά τις καλοκαιρινές ώρες αιχμής, μιας και ο ήλιος βρίσκεται ψηλά δίνοντας μικρή σκιά, είναι ιδιαίτερα χρήσιμη γιατί σκιάζει το χώρο μπροστά στο κτίριο διατηρώντας χαμηλή θερμοκρασία και μειώνοντας την ανακλώμενη από το έδαφος ακτινοβολία.

Αποτελεσματικός σκιασμός και δροσισμός επιτυγχάνεται με αναρριχητικά φυτά σε κατασκευές καφασωτών και πέργκολας. Όλα τα φυτά, εκτός από τη σκίαση συμβάλλουν με τη διαπνοή τους και στο δροσισμό του κτιρίου.

Εσωτερική ηλιοπροστασία

Παρέχεται από εσωτερικές διατάξεις ηλιοπροστασίας όπως κουρτίνες, περσίδες, στόρια ή άλλου είδους προστατευτικά πετάσματα.

Αυτά εμποδίζουν την πρόσπτωση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας στα δομικά στοιχεία του χώρου, όχι όμως και τη θέρμανση του χώρου. Αφού θερμανθεί ο αέρας μεταξύ πετάσματος και τζαμιού, ρέει προς τα πάνω και ο δροσερός αέρας του χώρου

τον αντικαθιστά ερχόμενος από την κάτω πλευρά του πετάσματος. Με τη σειρά του θερμαίνεται κ.ο.κ.

Έτσι δημιουργείται ένα σταθερό κύκλωμα παραγωγής θερμού αέρα, που μετριάζεται μόνο με κατάλληλο αερισμό.

Έτσι, η εσωτερική ηλιοπροστασία:

- Δεν ενδείκνυται για τη διατήρηση χαμηλών εσωτερικών θερμοκρασιών αφού αφήνει τη θερμική ενέργεια να εισέλθει στο χώρο.
- Μετριάζει την απορρόφηση της θερμικής ακτινοβολίας από τα δομικά στοιχεία της κατασκευής.
- Χρησιμοποιείται κυρίως για να διαχέει την ακτινοβολία στο χώρο ή να αλλάζει την κατεύθυνση της μειώνοντας τις μεγάλες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις και τις συνθήκες θάμβωσης στο χώρο, που προκαλούνται από την άμεση ακτινοβολία, συμβάλλοντας έτσι στην επίτευξη συνθηκών οπτικής και θερμικής άνεσης. Επιπλέον, συνήθως παίζει και το ρόλο της μόνωσης των ανοιγμάτων κατά τη διάρκεια της νύχτας.

1.5 Προβλήματα στη χρήση των παθητικών ηλιακών συστημάτων

Συχνά αναφέρονται κάποια προβλήματα που μπορούν να προκύψουν από τη χρήση των παθητικών ηλιακών συστημάτων, και ιδιαίτερα από αυτό του άμεσου κέρδους. Η ολοκληρωμένη μελέτη τους, όμως, και σωστός σχεδιασμός τους μπορεί να ελαχιστοποιήσει τα όποια προβλήματα, έτσι ώστε να αποτελέσουν σημαντικό κομμάτι του ενεργειακού σχεδιασμού των κτιρίων προσφέροντας τα σημαντικά τους πλεονεκτήματα.

Ένας συνηθισμένος προβληματισμός που αναφέρεται είναι η δυσλειτουργία του συστήματος λόγω έλλειψης ηλιοφάνειας κατά τους χειμερινούς μήνες. Αντιμετωπίζεται με την επιλογή υλικών με μεγάλο χρόνο ανταπόκρισης, μεγάλη μάζα και εξωτερική μόνωση της κατασκευής για χαμηλό ολικό συντελεστή απωλειών θερμότητας. Ακόμα και κατά τις περιόδους χαμηλού επιπέδου ηλιακής ακτινοβολίας, επιτυγχάνεται ικανοποιητική συλλογή θερμότητας μέσω των υαλόφρακτων ανοιγμάτων (φαινόμενο του θερμοκηπίου) και διατήρησή της με εσωτερική κάλυψή τους τη νύχτα (π.χ. με βαριές κουρτίνες)

Η κακή ποιότητα φωτισμού και η πρόκληση θάμβωσης που μπορεί να προέλθει από την ανάγκη μεγάλης εισόδου της ηλιακής ακτινοβολίας στο χώρο, αντιμετωπίζεται με χρήση κατάλληλων συσκευών εσωτερικής σκίασης, διαθλαστικούς υαλοπίνακες ανακλαστές, κλπ, που κατευθύνουν την ακτινοβολία μακριά από τα επίπεδα εργασίας, προς τη θερμική μάζα αποθήκευσης του χώρου.

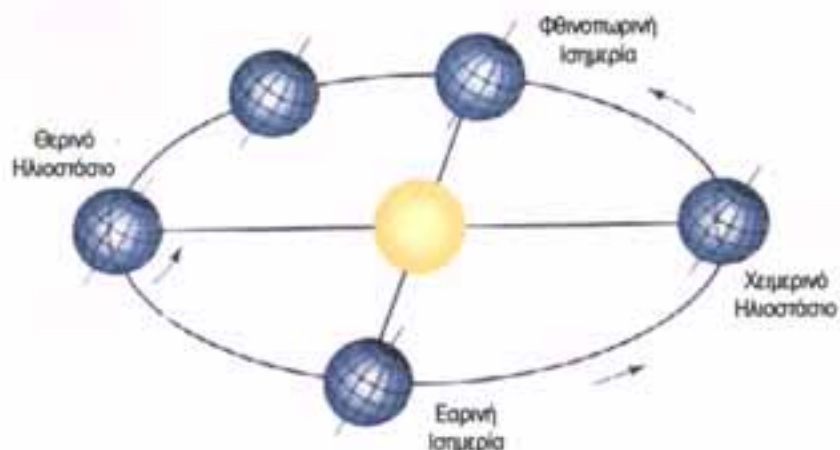
Τέλος, η διακύμανση της εσωτερικής θερμοκρασίας που μπορεί να φθάσει τους 5-7°C, οφείλεται στην ταχεία εισροή της θερμότητας στο χώρο και τη μη έγκαιρη και αποτελεσματική απορρόφησή της από τη μάζα του κτιρίου, με αποτέλεσμα να πλεονάζει για κάποιο χρόνο και να προκαλεί υπερθέρμανση. Η κατάλληλη επιλογή των υλικών, των χρωμάτων και της υφής, των επιφανειών και η κατάλληλη θέση και διάταξη των θερμικών μαζών που μπορεί να γίνει με τη μελέτη του εσωτερικού ηλιασμού του χώρου, προκαλούν την έγκαιρη απορρόφηση της θερμότητας που προσφέρεται, ενώ όταν αυτή πλεονάζει υπερβολικά οι κατάλληλα τοποθετημένες διατάξεις εξωτερικής σκίασης αποτρέπουν την περαιτέρω είσοδό της στο χώρο.

Φαίνεται, λοιπόν, ότι η πρόβλεψη του εσωτερικού ηλιασμού είναι ιδιαίτερα σημαντική για το σωστό σχεδιασμό των παθητικών ηλιακών συστημάτων.

2.1 Το Σύστημα Γη - Ήλιος

Η Γη έχει σχεδόν σφαιρικό σχήμα με διάμετρο 12.7×10^3 km. Συμπληρώνει μια ιδιοπεριστροφή με διάρκεια περίπου 24 ωρών, ενώ η περιστροφή της γύρω από τον Ήλιο έχει περίοδο 365,25 ημέρες (ηλιακό Έτος).

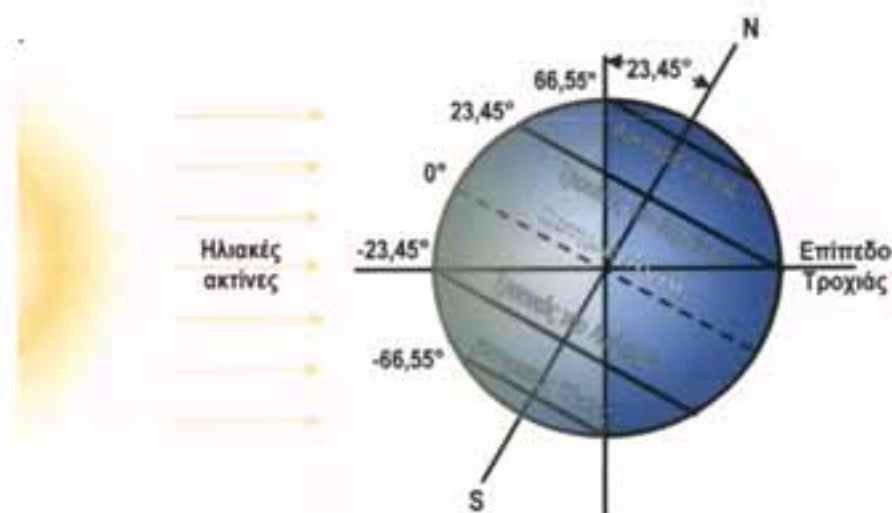
Στην κίνησή της γύρω από τον ήλιο, η Γη ακολουθεί μια ελλειπτική τροχιά μικρής εκκεντρότητας ($\epsilon=0,0167$), με τον Ήλιο τοποθετημένο στην εστία της έλλειψης. Αποτέλεσμα είναι η μεταβολή της απόστασής της από τον Ήλιο, που έχει μέση τιμή 1.5×10^8 km και είναι μικρότερη το χειμώνα και μεγαλύτερη το καλοκαίρι. Την 1^η Ιανουαρίου η Γη κατέχει την κοντινότερη θέση της στον Ήλιο (περιήλιο), ενώ στην πιο απομακρυσμένη θέση της βρίσκεται την 1^η Ιουνίου (αφήλιο). Για το λόγο αυτό, η Γη δέχεται τον Ιανουάριο 7% περισσότερη ακτινοβολία από ότι τον Ιούνιο. Παρ' όλ' αυτά, η θερινή περίοδος είναι θερμότερη. Αυτό οφείλεται στην κλίση του άξονα της Γης ως προς το επίπεδο περιστροφής της (εκλειπτική).



Σχήμα 2.1: Η τροχιά της Γης γύρω από τον Ήλιο

Το ισημερινό επίπεδο της Γης έχει κλίση $23,45^\circ$ ως προς την εκλειπτική (σχ. 2.2). Η κλίση αυτή ευθύνεται κυρίως για την αλλαγή των εποχών σε έναν τόπο, καθώς αλλάζει η γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας στον τόπο. Όσο πιο κάθετα προσπίπτει η ακτινοβολία στον τόπο, τόσο μεγαλύτερη είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται. Έτσι, το χειμώνα ενώ το μέτρο της ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερο λόγω της μικρότερης απόστασης από τον Ήλιο (στο βόρειο ημισφαίριο),

το κάθετο διάνυσμά της στον τόπο είναι μικρότερο με αποτέλεσμα τελικά να δέχεται μικρότερη ενέργεια.



Σχήμα 2.2: Η θέση της Γης σε σχέση με τις ακτίνες του Ήλιου κατά το χειμερινό ηλιοστάσιο

Κατά το χειμερινό ηλιοστάσιο (στις 21 Δεκεμβρίου), ο Βόρειος πόλος είναι απομακρυσμένος από τον ήλιο κατά $23,45^\circ$. Έτσι όλες οι περιοχές της Γης που έχουν γωνιακή απόσταση από το Βόρειο πόλο μικρότερη των $23,45^\circ$ (γεωγραφικό πλάτος $>66,55^\circ$) βρίσκονται στο σκοτάδι καθ' όλη την διάρκεια της μέρας, ενώ οι περιοχές με γωνιακή απόσταση από το Νότιο πόλο μικρότερη των $23,45^\circ$ (γεωγραφικό πλάτος $<-66,55^\circ$) έχουν συνεχή ηλιοφάνεια. Αντίθετα, κατά το θερινό ηλιοστάσιο (στις 21 Ιουνίου), η κατάσταση αντιστρέφεται. Κατά την διάρκεια των δύο ισημεριών (21 Μαρτίου και 21 Σεπτεμβρίου) και οι δύο πόλοι έχουν την ίδια σχέση με τις ηλιακές ακτίνες, οπότε όλες οι περιοχές της γης έχουν 12 ώρες ηλιοφάνεια και 12 ώρες σκοτάδι.

2.2 Σχετική θέσης Γης-Ήλιου

Η σχετική θέση των δύο ουράνιων σωμάτων, δηλαδή η απόστασή τους και η γωνιακή θέση του Ήλιου ως προς το ισημερινό επίπεδο της Γης (ηλιακή απόκλιση), εξαρτάται από τη θέση της Γης πάνω στην τροχιά της, η οποία λόγω της περιοδικότητας της περιφοράς της Γης, με περίοδο 1 Έτος, προσδιορίζεται με τον αύξοντα αριθμό της ημέρας του Έτους (n).

2.2.1 Αύξων αριθμός ημέρας (n)

Παρόλο που η κίνηση της Γης είναι συνεχής, για λόγους απλότητας και χωρίς σημαντικό σφάλμα στις συνήθεις εφαρμογές, δεχόμαστε ότι η Γη κατέχει την ίδια θέση ως προς τον Ήλιο για όλη τη διάρκεια μιας ημέρας. Ο *αύξων αριθμός ημέρας*

(n) προσδιορίζει τη θέση αυτή. Το n αντιστοιχίζεται στο πολιτικό ημερολογιακό έτος με $n=1$ την 1^η Ιανουαρίου και $n=365$ την 31^η Δεκεμβρίου ($1 \leq n \leq 365$). Στους υπολογισμούς όλα τα έτη θεωρούνται 365 ημερών χωρίς διάκριση δίσεκτων. Η αντιστοίχιση του n με την πολιτική ημερομηνία γίνεται με τη βοήθεια του Πίνακα 2.1:

Πίνακας 2.1:: Υπολογισμός αύξοντα αριθμού ημέρας n σε σχέση με την πολιτική ημερομηνία

| Μήνας | Αριθμός ημερών του μήνα | n (όπου i η ημέρα του μήνα) |
|-------------|-------------------------|------------------------------------|
| Ιανουάριος | 31 | i |
| Φεβρουάριος | 28 | $31 + i$ |
| Μάρτιος | 31 | $59 + i$ |
| Απρίλιος | 30 | $90 + i$ |
| Μάιος | 31 | $120 + i$ |
| Ιούνιος | 30 | $151 + i$ |
| Ιούλιος | 31 | $181 + i$ |
| Αύγουστος | 31 | $212 + i$ |
| Σεπτέμβριος | 30 | $243 + i$ |
| Οκτώβριος | 31 | $273 + i$ |
| Νοέμβριος | 30 | $304 + i$ |
| Δεκέμβριος | 31 | $334 + i$ |

Παράδειγμα 1.1

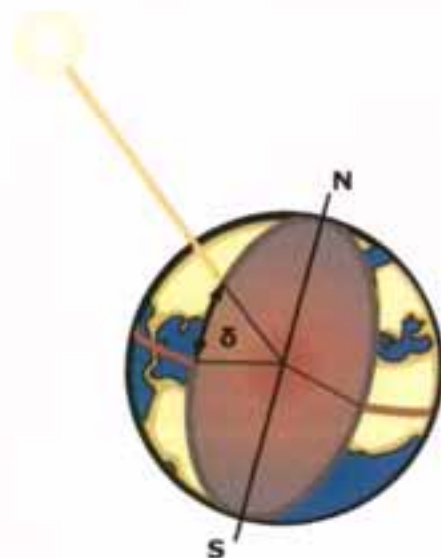
Σύμφωνα με τον Πίνακα 2.1:

Στις 15 Ιανουαρίου έχουμε: $n=15,$

ενώ στις 15 Αυγούστου έχουμε: $n=212+15=227.$

2.2.2 Ηλιακή απόκλιση

Η γωνιακή θέση του Ήλιου ως προς το ισημερινό επίπεδο της Γης ονομάζεται **ηλιακή απόκλιση (δ)**. Κυμαίνεται μεταξύ $-23,45^\circ$ (χειμερινό ηλιοστάσιο) και $23,45^\circ$ (θερινό ηλιοστάσιο) και λαμβάνεται θετική προς το βορά (σχ.2.3).



Σχήμα 2.3: Η ηλιακή απόκλιση δ είναι η γωνία που σχηματίζει το διάκεντρο Γης-Ήλιου με το ισημερινό επίπεδο

Υπολογίζεται (σε μοίρες) από την εξίσωση του Cooper, με βάση τον αύξοντα αριθμό ημέρας:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(\frac{360 \cdot (284 + n)}{365}\right) \quad (2.1)$$

Παράδειγμα 2.1: Υπολογισμός της απόκλισης δ

Στις 15 Ιανουαρίου, σύμφωνα με την Εξίσωση 2.1, η ηλιακή απόκλιση θα είναι:

$$\delta = 23,45^\circ \cdot \sin\left(\frac{360 \cdot (284 + 15)}{365}\right) \Rightarrow \delta = -21,27^\circ$$

Στον Πίνακα 2.2, παρουσιάζονται η τιμές της ηλιακής απόκλισης δ στις χαρακτηριστικές ημερομηνίες των ισημεριών και των ηλιοστασίων.

Πίνακας 2.2: Η απόκλιση δ στις χαρακτηριστικές ημερομηνίες

| Απόκλιση δ | Ημερομηνία |
|-------------------|-----------------------------|
| +23,45° | 21 Ιουνίου |
| 0 | 21 Μαρτίου – 21 Σεπτεμβρίου |
| -23,45° | 21 Δεκεμβρίου |

2.3 Η θέση ενός τόπου στην επιφάνεια της Γης

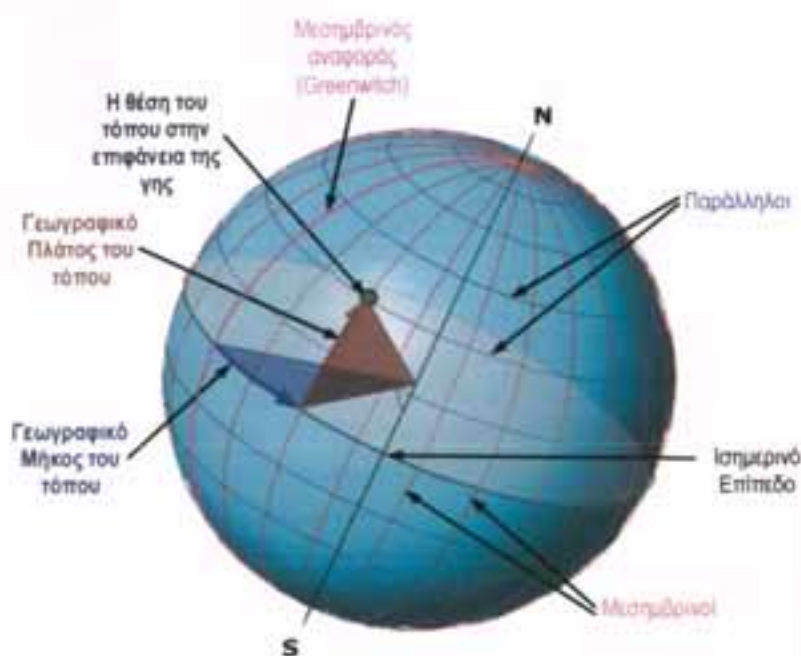
Ο καθορισμός της θέσης ενός τόπου πάνω στην επιφάνεια της γης γίνεται με βάση ένα σύστημα γωνιακών (σφαιρικών) συντεταγμένων, του *Γεωγραφικού Μήκους (Γ.Μ.)* και του *Γεωγραφικού Πλάτους (Γ.Π.)*

Παράλληλοι κύκλοι της Γης καλούνται οι κύκλοι στην επιφάνειά της που είναι κάθετοι προς τον άξονα περιστροφής της. Ο μέγιστος κύκλος από τους παράλληλους της Γης καλείται **Ισημερινός**, και το επίπεδο στο οποίο ανήκει ονομάζεται **ισημερινό επίπεδο**.

Γεωγραφικό πλάτος (φ) ενός τόπου είναι η γωνιακή θέση του ως προς το ισημερινό επίπεδο. Λαμβάνεται θετική προς το βορά και αρνητική προς το νότο ($-90 \leq \varphi \leq 90$). Κάθε Παράλληλος της Γης έχει σταθερό Γεωγραφικό Πλάτος.

Μεσημβρινοί κύκλοι της Γης καλούνται οι μέγιστοι κύκλοι στην επιφάνειά της που είναι κάθετοι στο ισημερινό επίπεδο.

Γεωγραφικό μήκος (L) ενός τόπου είναι η γωνιακή απόσταση του Μεσημβρινού του, δυτικά (αρνητικό) ή ανατολικά (θετικό) από το **μεσημβρινό αναφοράς** ($-180^\circ \leq L_{loc} \leq 180^\circ$). Ως μεσημβρινός αναφοράς με γεωγραφικό μήκος $L=0^\circ$ έχει τεθεί αυτός που περνάει από το αστεροσκοπείο του Greenwich της Μ. Βρετανίας.



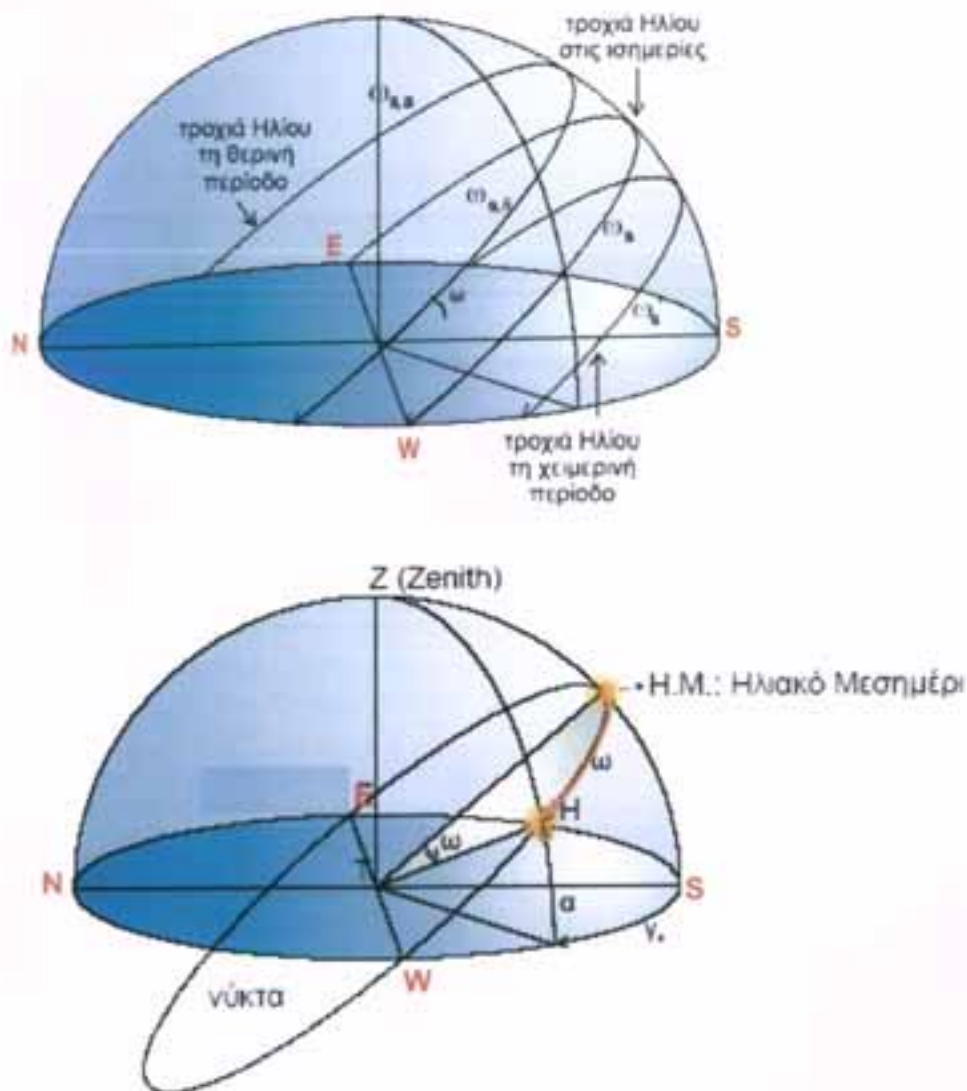
Σχήμα 2.4: Οι Μεσημβρινοί και η Παράλληλοι κύκλοι της γης, και ο προσδιορισμός της θέσης ενός τόπου στην επιφάνειά της με τη βοήθεια του Γεωγραφικού Μήκους και Πλάτους του

Στο Παράρτημα δίνονται τα γεωγραφικά μήκη και πλάτη των περισσότερων αστικών κέντρων της Ελλάδας.

2.4 Η θέση του ήλιου ως προς το γήινο παρατηρητή

2.4.1 Φαινόμενη τροχιά του ήλιου

Οι μεταβολή της θέσης του ήλιου στον ουρανό ενός τόπου, είναι συνέπεια της ημερήσιας περιστροφής της γης περί τον πολικό της άξονα, και της ετήσιας περιφοράς της γης περί τον ήλιο. Η αλληλουχία των θέσεων του ηλιακού δίσκου στον ουρανό ενός ορισμένου γεωγραφικού τόπου κατά τη διάρκεια μιας ημέρας, ονομάζεται *φαινόμενη τροχιά του ήλιου*. Είναι η κίνηση του ήλιου όπως την αντιλαμβάνεται ο ακίνητος γήινος παρατηρητής. Λόγω της κίνησης της Γης, η φαινόμενη τροχιά μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του έτους (σχ. 2.5)



Σχήμα 2.5: Φαινόμενες τροχιές του ήλιου σε σχέση με το γήινο παρατηρητή για διαφορετικές ημέρες του χρόνου και ωριαία γωνία

Η θέση του Ήλιου πάνω στη φαινόμενη τροχιά του, κάποια συγκεκριμένη ημέρα, προσδιορίζεται από την *Ωριαία Γωνία* (ω).

Ωριαία γωνία (ω) είναι η γωνιακή απόσταση του ηλιακού δίσκου ανατολικά ή δυτικά του τοπικού μεσημβρινού, στο επίπεδο της φαινόμενης τροχιάς, εξαιτίας της περιστροφής της γης περί τον άξονα της (σχ. 2.5). Λαμβάνεται αρνητική για τις προ μεσημβρίας ώρες και θετική για τις μετά μεσημβρία και κυμαίνεται μεταξύ -180° και 180° . Κατά τη μεσουράνηση του ήλιου, δηλαδή όταν ο ήλιος περνάει από το επίπεδο του τοπικού μεσημβρινού η ωριαία γωνία είναι μηδέν, οπότε λέμε ότι έχουμε **Ηλιακό Μεσημέρι**.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, η Γη συμπληρώνει έναν πλήρη κύκλο ιδιοπεριστροφής σε 1 Ημέρα, ή αντίστοιχα 360° ιδιοπεριστροφής σε 24 ώρες ή $24\text{h} \cdot 60 \frac{\text{min}}{\text{h}} = 1440$ λεπτά.

Έτσι σε κάθε μοίρα ιδιοπεριστροφής αντιστοιχούν $\frac{1440 \frac{\text{min}}{\text{ημέρα}}}{360 \frac{^\circ}{\text{ημέρα}}} = 4 \frac{\text{min}}{^\circ}$.

Με αυτόν τον τρόπο ορίζεται ο **Αληθής Ηλιακός Χρόνος (ΑΗΧ)** ή ηλιακή ώρα, που εκφράζει την ωριαία γωνία χρησιμοποιώντας την οικεία μορφή της ώρας. Η αντιστοίχιση του ΑΗΧ στην ωριαία γωνία γίνεται έτσι ώστε κατά το ηλιακό μεσημέρι να έχουμε ώρα ΑΗΧ 12:00. Στους υπολογισμούς ο ΑΗΧ εκφράζεται σε λεπτά

Έτσι, Η αντιστοίχιση της ωριαίας γωνίας ω με τον ΑΗΧ γίνεται με τη βοήθεια της σχέσης 1.2:

$$\omega = \frac{\text{ΑΗΧ} - 720 \text{ min}}{4 \frac{\text{min}}{^\circ}} \quad (2.2)$$

Παράδειγμα 2.2: Μετατροπή του ΑΗΧ σε ωριαία γωνία

| | |
|------------------------|---|
| Στις 13:20 ΑΗΧ έχουμε: | $\text{ΑΗΧ} = 13\text{h} \cdot 60 \frac{\text{min}}{\text{h}} + 20 \text{ min} \Rightarrow$ $\text{ΑΗΧ} = 800 \text{ min}$ $\omega = \frac{800 \text{ min} - 720 \text{ min}}{4 \frac{\text{min}}{^\circ}} \Rightarrow \omega = 20^\circ$ |
|------------------------|---|

2.4.2 Σχίσση μεταξύ ηλιακής και τοπικής ώρας

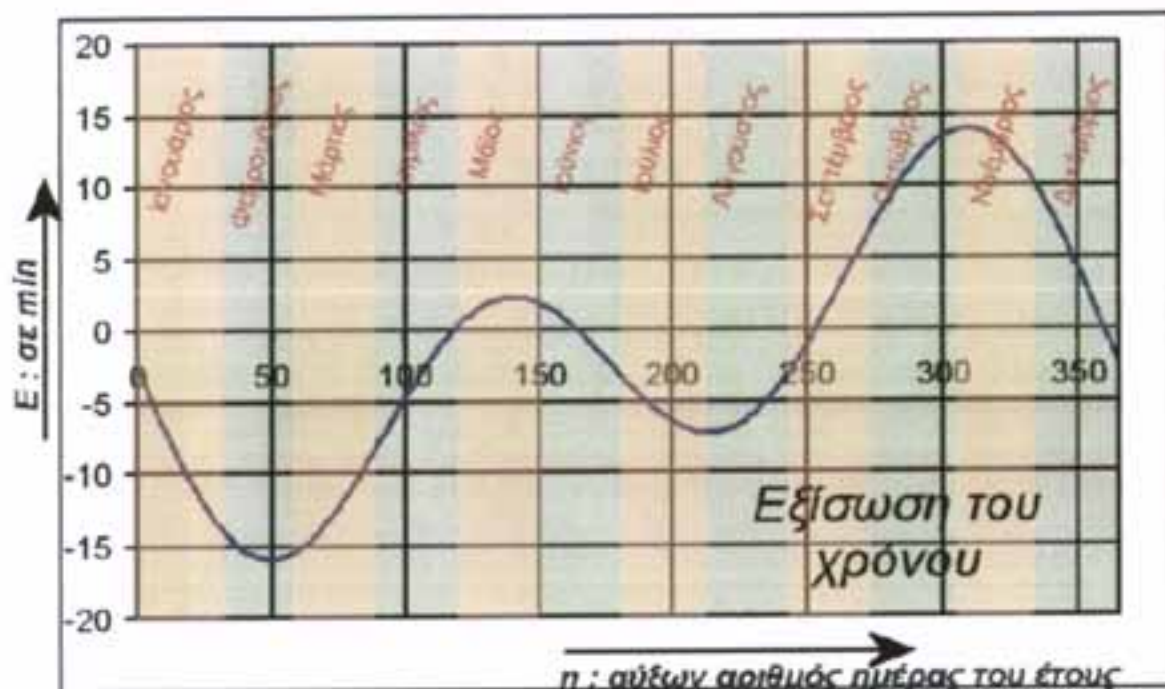
Η τοπική ώρα ή **Τοπικός Ωρολογιακός Χρόνος (ΤΩΧ)** είναι η συμβατική ωρολογιακή ώρα εκφρασμένη σε λεπτά.

Γενικά, ο Τοπικός Ωρολογιακός Χρόνος δεν συμπίπτει με τον Αληθνή Ηλιακό Χρόνο (ΑΗΧ), δηλαδή η ώρα που χρησιμοποιούμε στην καθημερινή ζωή, δεν συμπίπτει με την ηλιακή ώρα. Οι λόγοι για τους οποίους οι δύο χρόνοι δεν συμπίπτουν είναι οι εξής:

- Η ταχύτητα ιδιοπεριστροφής της Γης δεν είναι σταθερή κατά τη διάρκεια του χρόνου, με αποτέλεσμα τη διακύμανση της διάρκειας της ημέρας, την οποία αγνοούμε κατά τις συνήθεις καθημερινές ασχολίες. Όπως έχει αναφερθεί, η μέση διάρκεια της ημέρας, είναι 24 ώρες. Η **εξίσωση του χρόνου (E)**, δίνει τη διαφορά της διάρκειας της ημέρας από τη μέση τιμή, σε λεπτά, με βάση την ημέρα του χρόνου.

$$E = 9,87 \cdot \sin(2B) - 7,53 \cdot \cos(B) - 1,5 \cdot \sin(B)$$

όπου $B = \frac{360 \cdot (n - 81)}{364}$ (2.3)



Σχήμα 2.6: Η εξίσωση του χρόνου, συναρτήσει του αύξοντα αριθμού ημέρας

- Ο AHX , που όπως αναφέρθηκε αποτελεί μια έκφραση της ωριαίας γωνίας σε λεπτά, εξαρτάται από την θέση του ήλιου πάνω στη φαινόμενη τροχιά του ως προς το γήινο παρατηρητή. Ο AHX είναι λοιπόν συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους από το οποίο γίνεται η μέτρηση, οπότε οι διάφορες περιοχές μιας χώρας που έχουν διαφορετικό Γ.Π., έχουν την ίδια στιγμή διαφορετικό AHX . Για πρακτικούς λόγους, προκειμένου να διευκολυνθεί η συνεννόηση ως προς τη μέτρηση του χρόνου για τις καθημερινές ανάγκες, δημιουργήθηκε η έννοια της ώρας ζώνης (ΩZ). Έτσι ορίστηκαν 24 μεσημβρινοί αναφοράς, με τη βοήθεια των οποίων η γήινη σφαίρα χωρίστηκε σε 24 στράκτους 15° γεωγραφικού μήκους η καθεμιά, με τον αντίστοιχο μεσημβρινό αναφοράς να περνάει από το μέσον τους. Κάθε άτρακτος θεωρείται ως ενιαία χρονική ζώνη και ορίζεται γι' αυτήν η ώρα ζώνης. Αυτή αποτελεί την ηλιακή ώρα του μεσημβρινού αναφοράς της (σχ. 2.7).

Κάθε χρονική ζώνη διαφέρει από τις γειτονικές της κατά μια ώρα. Ο συμβολισμός των χρονικών ζωνών γίνεται με αναφορά στη διαφορά των ωρών από τη χρονική ζώνη με μεσημβρινό αναφοράς αυτών των 0° γεωγραφικού πλάτους, που συμβολίζεται με GMT (Greenwich Mean Time, αφού ο μεσημβρινός των 0° περνάει από το Greenwich της Μ. Βρετανίας). Προς την ανατολή προσθέτουμε ώρες καθώς διατρέχουμε τις ζώνες, ενώ προς τη δύση αφαιρούμε. Για παράδειγμα, η Ελλάδα ανήκει στη ζώνη GMT+2, δηλαδή στη δεύτερη ζώνη ανατολικά της ζώνης αναφοράς που προηγείται από αυτήν κατά 2 ώρες. Έτσι η ώρα κάθε τόπου καθορίζεται από τη χρονική ζώνη που θεωρείται ότι αυτός ανήκει (σχ. 2.7).



Σχήμα 2.7: Οι χρονικές ζώνες της Γης

Το Γεωγραφικό μήκος αναφοράς ($L_{στ}$) μιας ζώνης βρίσκεται αν πολλαπλασιάσουμε τις ώρες διαφοράς από το Greenwich επί 15°.

Παράδειγμα 2.3: Υπολογισμός του $L_{στ}$

Η Ελλάδα ανήκει στη ζώνη GMT+2. Το γεωγραφικό μήκος αναφοράς είναι $L_{στ} = 2 \times 15^\circ \Rightarrow L_{στ} = 30^\circ$

Ο υπολογισμός της διαφοράς του Αληθούς Ηλιακού Χρόνου (ΑΗΧ) σε έναν τόπο και της ώρας της ζώνης στην οποία ανήκει, γίνεται με βάση τη διαφορά του γεωγραφικού του μήκους L_{loc} από το γεωγραφικό μήκος αναφοράς $L_{στ}$ της ζώνης και είναι ίση με $4 \cdot (L_{στ} - L_{loc})$ min .

- Σε μερικές χώρες όπως και στην Ελλάδα, το καλοκαίρι για μεγαλύτερη εκμετάλλευση των ωρών ηλιοφάνειας, αυξάνουμε την ωρολογιακή ώρα κατά μια ώρα. Αυτή η διόρθωση είναι γνωστή ως "διόρθωση καλοκαιρινής ώρας" (Daylight

Saving Time). Στους χρονικούς υπολογισμούς η παράμετρος αυτή συμβολίζεται με DS όπου:

$$\left. \begin{aligned} DS &= 60 \text{ min, όταν έχουμε διόρθωση καλοκαιρινής ώρας} \\ DS &= 0 \text{ min, όταν δεν έχουμε} \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

Με βάση τα παραπάνω, ο Αληθής Ηλιακός Χρόνος AHX υπολογίζεται σε συνάρτηση με τη συμβατική ωρολογιακή ώρα, που εκφρασμένη σε λεπτά ονομάζεται **Τοπικός Ωρολογιακός Χρόνος (ΤΩΧ)** με βάση τη σχέση:

$$AHX = T\Omega X + E - 4 \text{ min} \cdot (L_{st} - L_{loc}) - DS \quad (2.5)$$

Όπου n η ημέρα του έτους, L_{st} και L_{loc} το γεωγραφικό μήκος της ζώνης αναφοράς και του τόπου σε μοίρες, E η εξίσωση του χρόνου σε min, και DS η διόρθωση καλοκαιρινής ώρας.

Παράδειγμα 2.4: Μετατροπή του ΤΩΧ σε ΑΗΧ

Για να υπολογίσουμε τον αληθή ηλιακό χρόνο στις **13:20**, στις **15 Ιανουαρίου** στην **Πάτρα** ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:

Υπολογίζουμε τον Τοπικό Ωρολογιακό Χρόνο σε λεπτά:

$$\begin{aligned} T\Omega X &= 13\text{h} \cdot 60 \text{ min/h} + 20 \text{ min} \Rightarrow \\ T\Omega X &= \mathbf{800 \text{ min}} \end{aligned}$$

το Γεωγραφικό μήκος της Πάτρας είναι $L_{loc} = \mathbf{21,73^\circ}$ (Παράρτημα),

Η Ελλάδα ανήκει στην ζώνη GMT+2h και άρα $L_{st} = \mathbf{30^\circ}$

Υπολογίζουμε την εξίσωση του χρόνου E σε λεπτά:

Από τον πίνακα 2.1 υπολογίζουμε τον αύξοντα αριθμό ημέρας:

$$\mathbf{n = 15}$$

Από την εξίσωση 2.3 έχουμε:

$$B = \frac{360 \cdot (15 - 81)}{364} \Rightarrow \mathbf{B = -65,096}$$

και:

$$\begin{aligned} E &= 9,87 \cdot \sin[2 \cdot (-65,096)] - 7,53 \cdot \cos(-65,096) - 1,5 \cdot \sin(-65,096) \Rightarrow \\ E &= \mathbf{-9,29 \text{ min}} \end{aligned}$$

Τον Ιανουάριο δεν έχουμε διόρθωση καλοκαιρινής ώρας και άρα (εξ. 2.4):

$$DS = 0$$

Τέλος, υπολογίζουμε τον Αληθή Ηλιακό Χρόνο (εξ. 2.5) σε λεπτά:

$$AHX = 800 \text{ min} - 4 \text{ min} \cdot (30^\circ - 21,73^\circ) - 9,29 \text{ min} - 0 \text{ min} \Rightarrow$$

$$AHX = 757,63 \text{ min}$$

2.4.3 Η θέση του ήλιου ως προς το γήινο παρατηρητή

Από τη σκοπιά του γήινου παρατηρητή ο χώρος μπορεί να οριστεί από το οριζόντιο επίπεδο του τόπου που βρίσκεται και τον ουράνιο θόλο, δηλαδή μια νοητή μοναδιαία σφαίρα που περιβάλλει παρατηρητή, με κέντρο τη θέση του παρατηρητή και πόλο το ζενίθ του τόπου. Με αυτή την θεώρηση ορίζεται ένα σύστημα γωνιακών συντεταγμένων που να καθορίζει τη θέση του ήλιου ως προς τον παρατηρητή, όμοιο με εκείνο του προσδιορισμού της θέσης ενός τόπου στην επιφάνεια της γης.

Με τη χρήση απλών τριγωνομετρικών τύπων μπορεί να προβλεφθεί η θέση του Ήλιου στον ουρανό οποιουδήποτε τόπου, αρκεί να γνωρίζουμε την ώρα της ημέρας, την ημέρα του έτους και τη γεωγραφική θέση του τόπου στην επιφάνεια της Γης.

Έτσι, η θέση του ήλιου ως προς έναν τόπο δεδομένου γεωγραφικού πλάτους μπορεί να περιγραφεί κάθε στιγμή από τις εξής γωνίες:

- Το **ηλιακό ύψος α** : είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της ευθείας που ενώνει έναν τόπο με τον ήλιο και της προβολής της στο οριζόντιο επίπεδο του τόπου (σχ.2.8). Το ηλιακό ύψος υπολογίζεται με τη βοήθεια της εξίσωσης:

$$\sin \alpha = \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \varphi \cdot \sin \delta \quad (2.6)$$

Όπου φ : το γεωγραφικό πλάτος του τόπου

δ : η ηλιακή απόκλιση

ω : η ωριαία γωνία

Η συμπληρωματική γωνία του ηλιακού ύψους, ονομάζεται **Ζενίθια γωνία (θ_z)** και είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της κάθετης στο οριζόντιο επίπεδο ενός τόπου και της ευθείας που ενώνει τον τόπο με τον ήλιο (σχ. 2.8). Η σχέση που συνδέει το ηλιακό ύψος με τη ζενίθια γωνία είναι:

$$\theta_z = 90^\circ - \alpha \quad (2.7)$$

Για $\alpha = 0^\circ$ προκύπτει από την εξ. (2.6) η ωριαία γωνία δύσης του ήλιου (ω_{ss}) για τη συγκεκριμένη ημέρα:

$$\begin{aligned} \cos \omega_{ss} &= \frac{-\sin \varphi \cdot \sin \delta}{\cos \varphi \cdot \cos \delta} \Rightarrow \\ \cos \omega_{ss} &= -\tan \varphi \cdot \tan \delta \end{aligned} \quad (2.8)$$

Έτσι, λόγω της συμμετρίας της φαινόμενης ηλιακής τροχιάς εκατέρωθεν της ηλιακής μεσημβρίας, η ωριαία γωνία ανατολής (ω_{sr}) θα είναι:

$$\omega_{sr} = -\omega_{ss} \quad (2.8a)$$

και ο αριθμός των ωρών ηλιοφάνειας κατά τη διάρκεια της μέρας είναι:

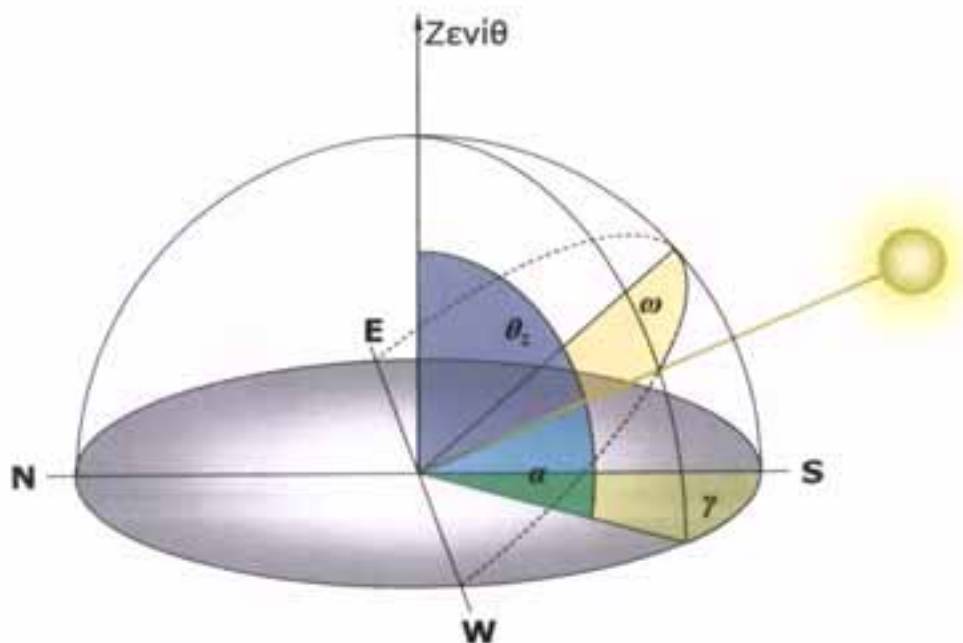
$$\bar{N} = \left(\frac{2}{15} \right) \cdot \cos^{-1}(-\tan \varphi \cdot \tan \delta) \quad (2.9)$$

- Το **ηλιακό αζιμούθιο γ_s** : είναι η γωνία που σχηματίζεται από την προβολή της ευθείας που ενώνει έναν τόπο με τον ήλιο με την διεύθυνση Βορά-Νότου, με $\gamma_s < 0^\circ$ ανατολικά, $\gamma_s > 0^\circ$ δυτικά του νότου και $-180^\circ \leq \gamma_s < 180^\circ$. Υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$\cos \gamma_s = \frac{\sin \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega - \cos \varphi \cdot \sin \delta}{\cos \sigma} \quad (2.10)$$

Σημείωση: Επειδή η γωνία γ_s υπολογίζεται από το συνημίτονό της, το αποτέλεσμα είναι πάντα θετικό και στο διάστημα $[0^\circ, 180^\circ)$. Για την απόδοση του σωστού προσήμου ελέγχουμε το πρόσημο της ωριαίας γωνίας ω_s . Λόγω της σύμβασης που έχουμε υιοθετήσει, Το πρόσημο των δύο γωνιών είναι το ίδιο.

Το Σχήμα 2.8 προσδιορίζει τις παραπάνω γωνίες. Το επίπεδο αναφοράς για το ηλιακό ύψος είναι το οριζόντιο επίπεδο, ενώ Το επίπεδο αναφοράς για το ηλιακό αζιμούθιο είναι το μεσημβρινό επίπεδο του τόπου.



2.8: Βασικές γωνίες ηλιακής γεωμετρίας

Σχήμα

Παράδειγμα 2.5: Υπολογισμός ωριαίας γωνίας, ηλιακού ύψους και ηλιακού αζιμούθιου

Για να υπολογίσουμε την ωριαία γωνία ω , το ύψος του ήλιου α και το ηλιακό αζιμούθιο γ , στις **13:00**, στις **15 Ιανουαρίου** στην **Πάτρα** έχουμε:

Η Πάτρα έχει γεωγραφικό πλάτος: $\phi = 38,25^\circ$

Η απόκλιση της Γης τη μέρα αυτή είναι (παράδειγμα 2.5): $\delta = -21,27^\circ$

Από το παράδειγμα 2.4 ξέρουμε ότι ο αληθής ηλιακός χρόνος είναι:

$$\text{ΑΗΧ} = 737,63 \text{min}$$

Η ωριαία γωνία υπολογίζεται από την 2.6:

$$\omega = \frac{737,63 - 720 \text{min}}{4 \text{min}^\circ} \Rightarrow$$

$$\omega = 4,41^\circ$$

Για το ηλιακό ύψος έχουμε (εξ. 2.7):

$$\sin \alpha = \cos(38,25^\circ) \cdot \cos(-21,27^\circ) \cdot \cos(4,41^\circ) + \sin(38,25^\circ) \cdot \sin(-21,27^\circ) \Rightarrow$$

$$\alpha = 30,34^\circ$$

Για το ηλιακό αζιμούθιο έχουμε (εξ. 1.9):

$$\cos \gamma_s = \frac{\sin(38,25^\circ) \cdot \cos(-21,27^\circ) \cdot \cos(4,41^\circ) - \cos(38,25^\circ) \cdot \sin(-21,27^\circ)}{\cos(30,34^\circ)} \Rightarrow$$

$$\gamma_s = 4,76^\circ$$

2.5 Πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας σε μια επιφάνεια

Απαραίτητα στοιχεία που πρέπει να γνωρίζουμε, προκειμένου να μελετήσουμε την πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας σε μία επιφάνεια είναι:

- η **κλίση (β)** της επιφάνειας ως προς το οριζόντιο επίπεδο ($0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$).
- η **Αζιμούθια γωνία της επιφάνειας (γ_0)** ή ο προσανατολισμός της επιφάνειας, που είναι η γωνία μεταξύ της οριζόντιας προβολής του κάθετου διανύσματος της επιφάνειας και της μεσημβρινής διεύθυνσης. Η συνθήκη για το πρόσημο της αζιμούθιας γωνίας μιας επιφάνειας είναι ίδια με αυτή που χρησιμοποιήσαμε για το ηλιακό αζιμούθιο, δηλαδή λαμβάνεται θετική προς τη δύση και αρνητική προς την ανατολή. Για τις οριζόντιες επιφάνειες δεν ορίζεται αζιμούθια γωνία.
- το **σχετικό Αζιμούθιο του ήλιου ως προς την επιφάνεια (γ_{sb})** που είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της οριζόντιας προβολής της διεύθυνσης των ηλιακών ακτίνων και της οριζόντιας προβολής του κάθετου διανύσματος της επιφάνειας. Η γ_{sb} δίνεται από τη σχέση:

$$\gamma_{sb} = \gamma_s - \gamma_0 \quad (2.11)$$

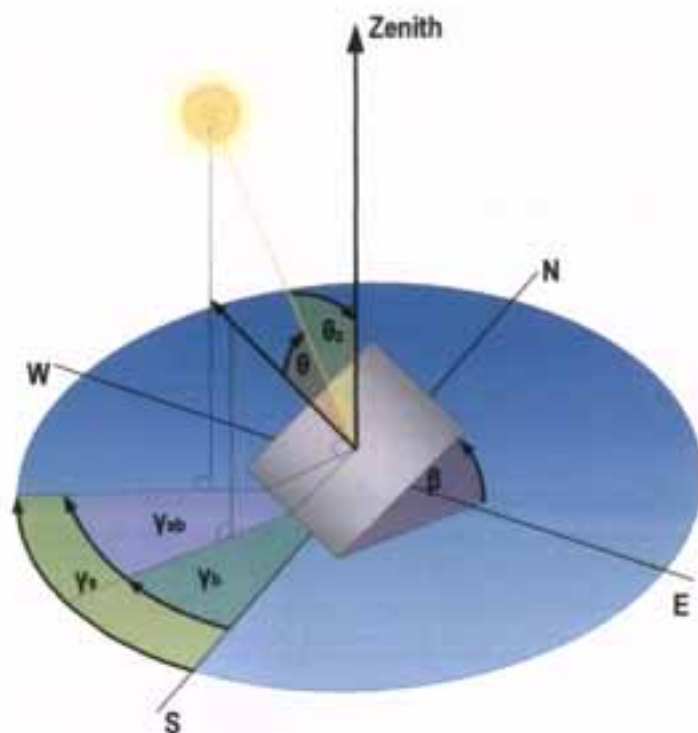
και κυμαίνεται μεταξύ -180° και 180°

Αν από την (2.11) προκύψει:

- $\gamma_{sb} > 180$, τότε $\gamma_{sb} = \gamma_{sb} - 360^\circ$
- $\gamma_{sb} < -180$, τότε $\gamma_{sb} = \gamma_{sb} + 360^\circ$

2.5.1 Σχέση μεταξύ ήλιου-επιφάνειας

Η **γωνία πρόσπτωσης (θ)** της ηλιακής ακτινοβολίας σε επιφάνεια κλίσης β είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της διεύθυνσης της ηλιακής ακτινοβολίας και της καθέτου στο επίπεδο και απεικονίζεται στο σχ. 2.12. Από τη γωνία πρόσπτωσης εξαρτάται η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται μία επιφάνεια καθώς και η μετάδοση της ακτινοβολίας, μέσα από διαφανή υλικά.



Σχήμα 2.9: Η αζιμούθια γωνία γ_b και η κλίση β μιας επιφάνειας, η γωνία πρόσπτωσης θ της ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο της επιφάνειας και το σχετικό αζιμούθιο του ήλιου ως προς την επιφάνεια γ_{sb} .

Η γωνία πρόσπτωσης θ δίνεται από τη σχέση:

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \beta - \\ & \sin \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \gamma_b + \\ & \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \beta \cdot \cos \omega + \\ & \cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma_b \cdot \cos \omega + \\ & \cos \delta \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma_b \cdot \sin \omega \end{aligned} \quad (2.12)$$

- Στις ηλιακές εφαρμογές είναι σημαντικό να γνωρίζουμε το χρονικό διάστημα κατά το οποίο η επιφάνεια δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία, πότε δηλαδή ο ήλιος βρίσκεται μπροστά από την επιφάνεια. Οι ωριαίες γωνίες "ανατολής" και "δύσης" του ήλιου ως προς την επιφάνεια μπορούν να προσδιοριστούν από τη λύση της εξ. (2.12) ως προς την ω , για $\theta=90^\circ \Rightarrow \cos \theta=0$:

$$\tan\left(\frac{\omega}{2}\right) = \frac{u \pm \sqrt{u^2 + v^2 - w^2}}{v^2 + w^2} \quad (2.13)$$

Όπου $u = \cos \delta \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma_b$

$v = \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \beta + \cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma_b$

και $w = \sin \delta \cdot \cos \varphi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma_b - \sin \delta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \beta$

Από τις σχέσεις (2.13), αυτή με το (-) δίνει την ωριαία γωνία έναρξης του ηλιασμού της επιφάνειας, ενώ αυτή με το (+) την ωριαία γωνία τέλους του. Εννοείται ότι αυτό ισχύει με την προϋπόθεση ότι οι παραπάνω γωνίες βρίσκονται ανάμεσα στο διάστημα ανατολής-δύσης του ήλιου ως προς το οριζόντιο επίπεδο του τόπου.

- Στις οριζόντιες επιφάνειες όπου $\beta=0$ και το γ_0 δεν ορίζεται, η θ συμπίπτει με τη ζενίθια γωνία θ_z η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$\cos \theta_z = \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \varphi \cdot \sin \delta \quad (2.14)$$

2.6 Ηλιακά διαγράμματα

Τα ηλιακά διαγράμματα είναι επίπεδοι χάρτες απεικόνισης του ουράνιου θόλου που απεικονίζουν τις φαινόμενες τροχιές του Ήλιου καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, όπως διαγράφονται σε κάποιον τόπο συγκεκριμένου γεωγραφικού πλάτους. Προσφέρουν μια γρήγορη εικόνα των ηλιακών κινήσεων στη διάρκεια του έτους και επιπλέον μπορούν να χρησιμοποιηθούν μαζί με παρόμοιες γραφικές μεθόδους στη μελέτη του ηλιασμού.

Στα διαγράμματα αυτά κάθε σημείο του ουράνιου θόλου αντιστοιχεί σε ζεύγος γωνιακών συντεταγμένων, όπως ακριβώς σε κάθε γεωγραφικό χάρτη. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να παρασταθούν όχι μόνο οι θέσεις του ήλιου αλλά και άλλα στοιχεία του χώρου, όπως για παράδειγμα μια βουνοκορφή ή οι κορυφές των πλευρών ενός γειτονικού κτιρίου, κάνοντας τα ηλιακά διαγράμματα ένα σημαντικό εργαλείο αξιολόγησης της επισκίασης.

2.6.1 Αρχές ηλιακών διαγραμμάτων

Ένα ηλιακό διάγραμμα αποτελεί γεωμετρικό μετασχηματισμό της ηλιακής τροχιάς από τον 3-διάστατο ουράνιο θόλο σε 2-διάστατο διάγραμμα. Αυτό γίνεται ως εξής:

- Επιλέγεται η μέθοδος προβολής για τη μεταφορά του σφαιρικού θόλου στο επίπεδο χαρτί (π.χ. σφαιρική ή κυλινδρική προβολή, κεντρική ή παράλληλη).
- Καθορίζεται το σύστημα συντεταγμένων που εκφράζουν το ηλιακό ύψος και το ηλιακό αζιμούθιο.
- Προσδιορίζονται οι θέσεις του ήλιου σε διαδοχικές στιγμές στη διάρκεια μιας ημέρας.
- Χαράσσεται η ημερήσια τροχιά ενώνοντας τις επιμέρους θέσεις.
- Η διαδικασία επαναλαμβάνεται και για άλλες ημέρες.
- Ενώνονται οι θέσεις του Ήλιου την ίδια ώρα σε διαφορετικές ημέρες.

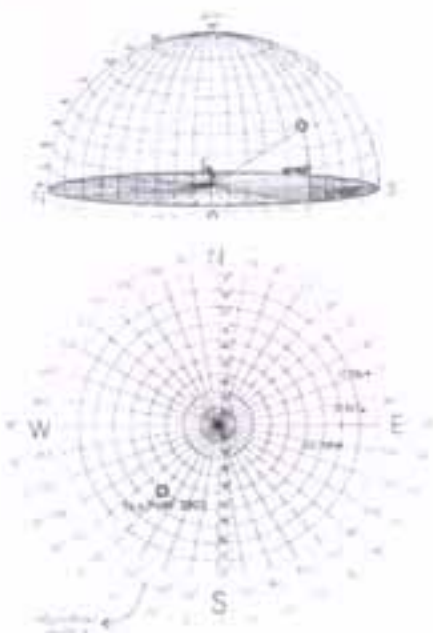
Οι ωριαίες γραμμές που καλύπτουν το διάγραμμα, μπορούν να δίνονται είτε σε ηλιακό είτε σε ωρολογιακό χρόνο και τέμνονται με τις γραμμές της ηλιακής τροχιάς για διάφορες ημερομηνίες (σχ. 2.10 και 2.11). Η μορφή των ωριαίων καμπυλών σε $T\Omega X$ αντικατοπτρίζει την *εξίσωση του χρόνου*.

Το τελικό αποτέλεσμα είναι η απεικόνιση των ηλιακών θέσεων με μορφή πλέγματος καμπυλών που δείχνουν τις ημερήσιες και ωριαίες κινήσεις του ήλιου. Η θέση του ήλιου σε κάθε στιγμή του έτους αντιστοιχεί σε ένα σημείο του πλέγματος. Οι συντεταγμένες του σημείου στο διάγραμμα, είναι οι αντίστοιχες ηλιακές γωνίες (ηλιακό αζιμούθιο–ηλιακό ύψος). Κάθε ημέρα του έτους (εκτός από τα ηλιοστάσια) έχει την ηλιακά συμμετρική της, με ίδια ηλιακή τροχιά, ενώ οι τροχιές των ηλιοστασιών αποτελούν το άνω και κάτω όριο του πλέγματος.

2.6.2 Μορφές ηλιακών διαγραμμάτων

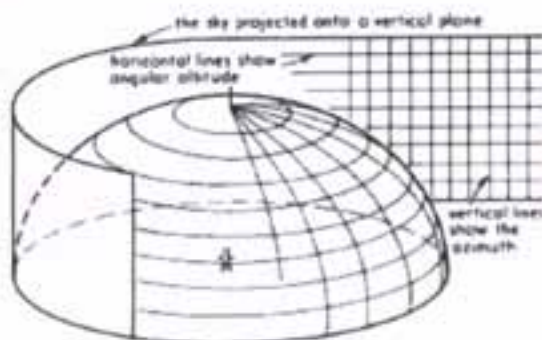
Οι χάρτες απεικόνισης του ουράνιου θόλου μπορούν να έχουν διάφορες μορφές, ανάλογα με την επιφάνεια προβολής και τη μέθοδο που γίνεται η προβολή. Δύο είναι οι βασικές κατηγορίες, ως προς την επιφάνεια προβολής:

- Η προβολή του θόλου στο οριζόντιο επίπεδο δίνει *πολικά διαγράμματα* κυκλικής μορφής, που απαρτίζονται από πλέγμα ομοκέντρων και ακτινωτών αξόνων, για γωνίες ύψους και αζιμουθίου αντίστοιχα (σχ. 2.10).



Σχήμα 2.10: Η προβολή του ουράνιου θόλου στο οριζόντιο επίπεδο δίνει τα πολικά ηλιακά διαγράμματα.

- Η προβολή του θόλου σε κατακόρυφη κυλινδρική επιφάνεια που περιβάλλει τον ορίζοντα, με άξονα την κατακόρυφο του τόπου, δίνει τα *κυλινδρικά διαγράμματα*, έναν καρτεσιανό τύπο διαγραμμάτων με πλέγμα οριζοντίων και κατακόρυφων αξόνων (σχ. 2.11).



Σχήμα 2.11: Τα κυλινδρικά ηλιακά διαγράμματα αποτελούν προβολή του ουράνιου θόλου σε κυλινδρική επιφάνεια

2.6.2.1 Πολικά ηλιακά διαγράμματα

Για την καλύτερη μελέτη της κίνησης του ήλιου στον ουράνιο θόλο χρησιμοποιούνται τα πολικά διαγράμματα, τα οποία αποδίδουν καλύτερα την αίσθηση του ουράνιου θόλου.

Στον πολικό χάρτη οι ομόκεντροι κύκλοι είναι οι κύκλοι που προσδιορίζουν το ύψος σ του ήλιου ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Η αζιμούθια γωνία γ , προσδιορίζεται στο χάρτη από την αντίστοιχη επίκεντρη γωνία.

Ως προς τη μέθοδο προβολής, οι πιο συνηθισμένες είναι η *ορθογραφική*, η *ισοδιάστατη* και η *στερεογραφική*.

Ορθογραφική προβολή

Στην ορθογραφική προβολή τα σημεία του ουράνιου θόλου προβάλλονται κάθετα στο επίπεδο της βάσης του, της οποίας το περίγραμμα παριστάνει τον ορίζοντα (σχ. 2.11 Β). Με αυτή τη μέθοδο οι χαμηλές θέσεις του ήλιου εμφανίζονται πυκνά κοντά στον ορίζοντα, μειώνοντας την ακρίβεια ανάγνωσης, ενώ οι υψηλές θέσεις στο κέντρο του διαγράμματος εμφανίζονται αραιά.

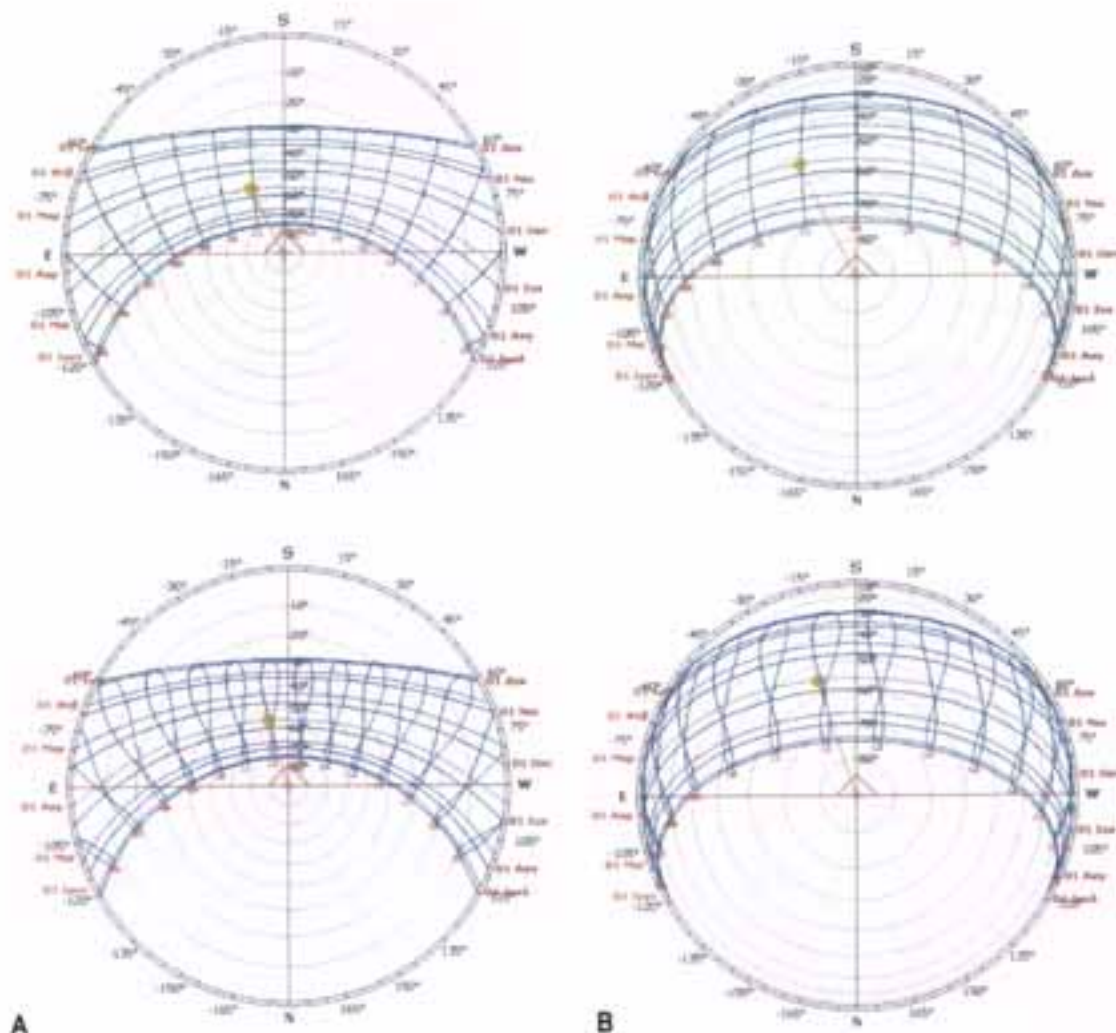
Η ορθογραφική προβολή δεν συνηθίζεται σε πλάτη μεγαλύτερα από 40° , στα οποία ο ήλιος κινείται σχετικά χαμηλά όλο το χρόνο.

Ισοδιάστατη προβολή

Η ισοδιάστατη προβολή είναι ειδική μέθοδος κεντρικής προβολής της οποίας το κέντρο κινείται κατακόρυφα κάτω από τον παρατηρητή, έτσι ώστε οι ισοϋψείς κύκλοι να προβάλλονται στη βάση του θόλου κατά κανονικές αποστάσεις. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κυρίως στις ΗΠΑ.

Στερεογραφική προβολή

Στη στερεογραφική προβολή, κέντρο προβολής είναι το ναδίρ του ουράνιου θόλου. Οι προβολές των ισοϋψών κύκλων πυκνώνουν προς το κέντρο και αραιώνουν προς τον ορίζοντα, βελτιώνοντας έτσι την ευκρίνεια για χαμηλές θέσεις του ήλιου (σχ. 2.11 Α).



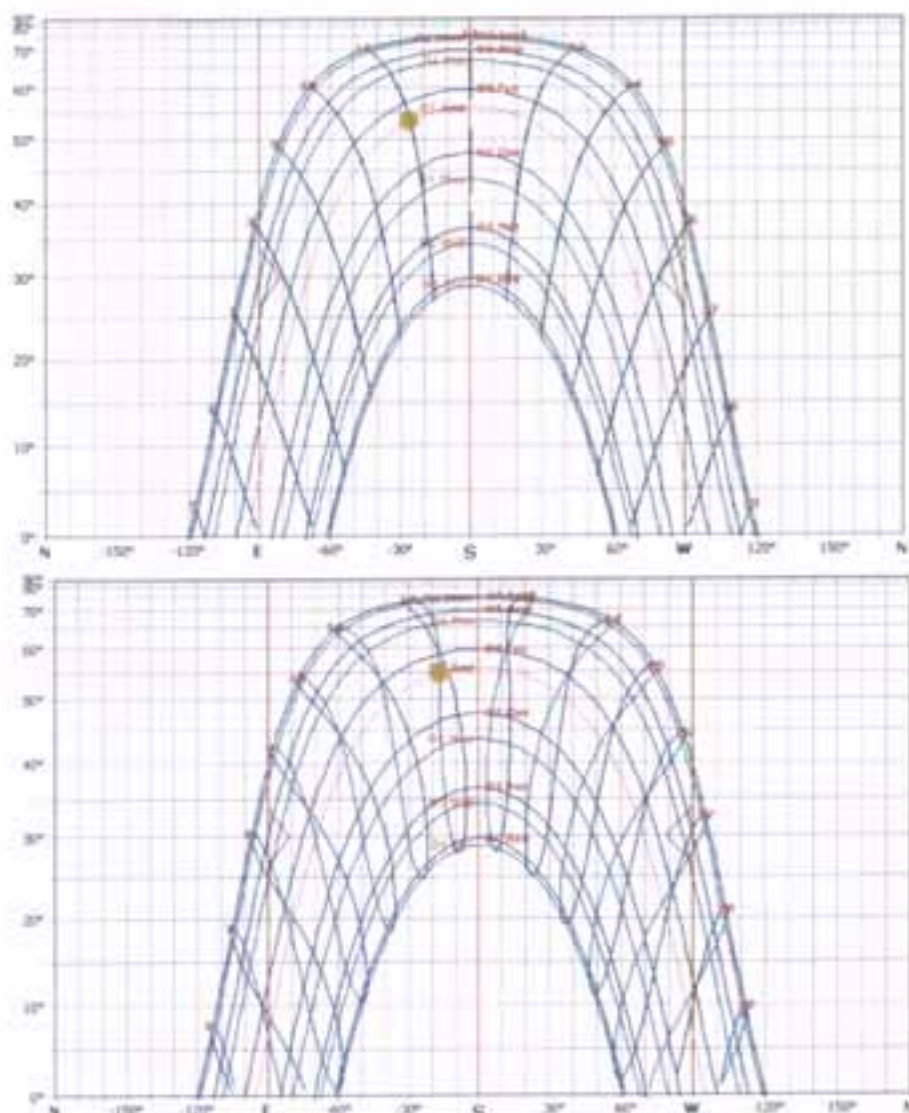
Σχήμα 2.12: Πολικό ηλιακό διάγραμμα στερεογραφικής (Α) και παράλληλης (Β) προβολής, για την περιοχή της Πάτρας (Γ.Π. 38,25), όπου φαίνεται η θέση του ήλιου την 1^η Απριλίου στις 11 το πρωί, σε ΑΗΧ και σε ΤΩΧ.

2.6.2.2 Διαγράμματα κυλινδρικής προβολής

Ενώ τα πολικά ηλιακά διαγράμματα παρουσιάζουν καλύτερα την ηλιακή γεωμετρία, τα κυλινδρικά διαγράμματα προσφέρονται καλύτερα για την αξιολόγηση της επισκίασης.

Τα διαγράμματα κυλινδρικής προβολής είναι ορθογώνια διαγράμματα καρτεσιανών συντεταγμένων αζιμουθίου-ύψους. Στον οριζόντιο άξονα τοποθετούνται οι γωνίες αζιμουθίου από -180° έως 180° , ενώ στον κατακόρυφο οι γωνίες ύψους από 0° έως 90° .

Πρέπει να σημειωθεί ότι όσο μεγαλώνει η γωνία του ύψους, τα κυλινδρικά διαγράμματα παρουσιάζουν έντονες παραμορφώσεις, ανάλογα με τη μέθοδο προβολής.



Σχήμα 2.13: Κυλινδρικό ηλιακό διάγραμμα παράλληλης προβολής, για την περιοχή της Πάτρας (Γ.Π. 38,25), όπου φαίνεται η θέση του ήλιου την 1^η Απριλίου στις 11 το πρωί, σε ΑΗΧ και σε ΤΩΧ.

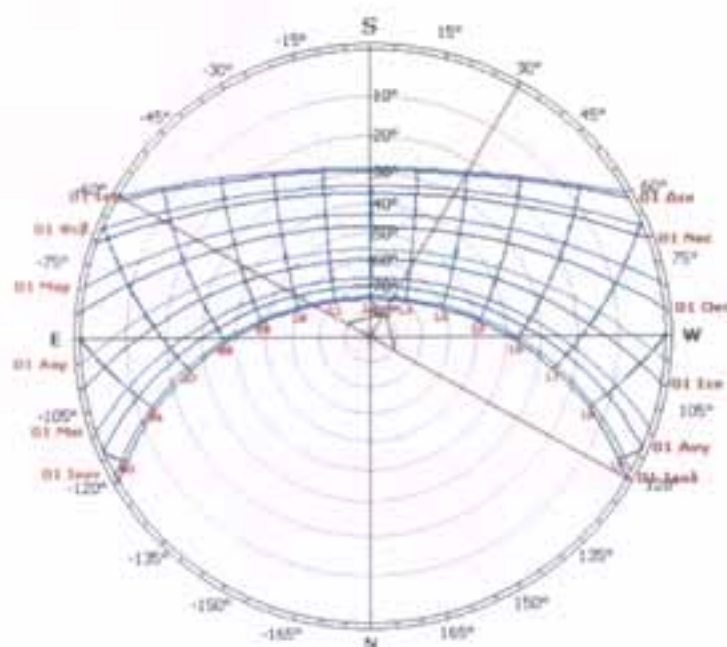
2.6.3 Χρήσεις των ηλιακών διαγραμμάτων

Τα ηλιακά διαγράμματα χρησιμοποιούνται κυρίως για τη μελέτη του ηλιασμού και της επισκίασης επιφανειών, με τις μεθόδους που περιγράφονται στη συνέχεια.

2.6.3.1 Ηλιακή πρόσβαση

Η ηλιακή πρόσβαση σε κατακόρυφο επίπεδο με δεδομένο προσανατολισμό μπορεί να μελετηθεί εύκολα μέσω ενός πολικού ηλιακού διαγράμματος. Το επίπεδο παριστάνεται ως διάμετρος του διαγράμματος σε διεύθυνση ανάλογη με τον προσανατολισμό του. Οι ημερήσιες ηλιακές τροχιές διαιρούνται έτσι σε δύο μέρη, δείχνοντας πότε ο ήλιος είναι μπροστά και πίσω από το επίπεδο (σχ 2.14). Η διάμετρος που παριστάνει το κατακόρυφο επίπεδο δεν είναι παρά η προβολή της τομής του με τον ουράνιο θόλο.

Αν το επίπεδο είναι κεκλιμένο τότε η τομή αυτή είναι ημικύκλιο που προβάλλεται ως καμπύλη, η εξίσωση της οποίας μπορεί να βρεθεί με τη χρήση τύπων της Σφαιρικής Τριγωνομετρίας.

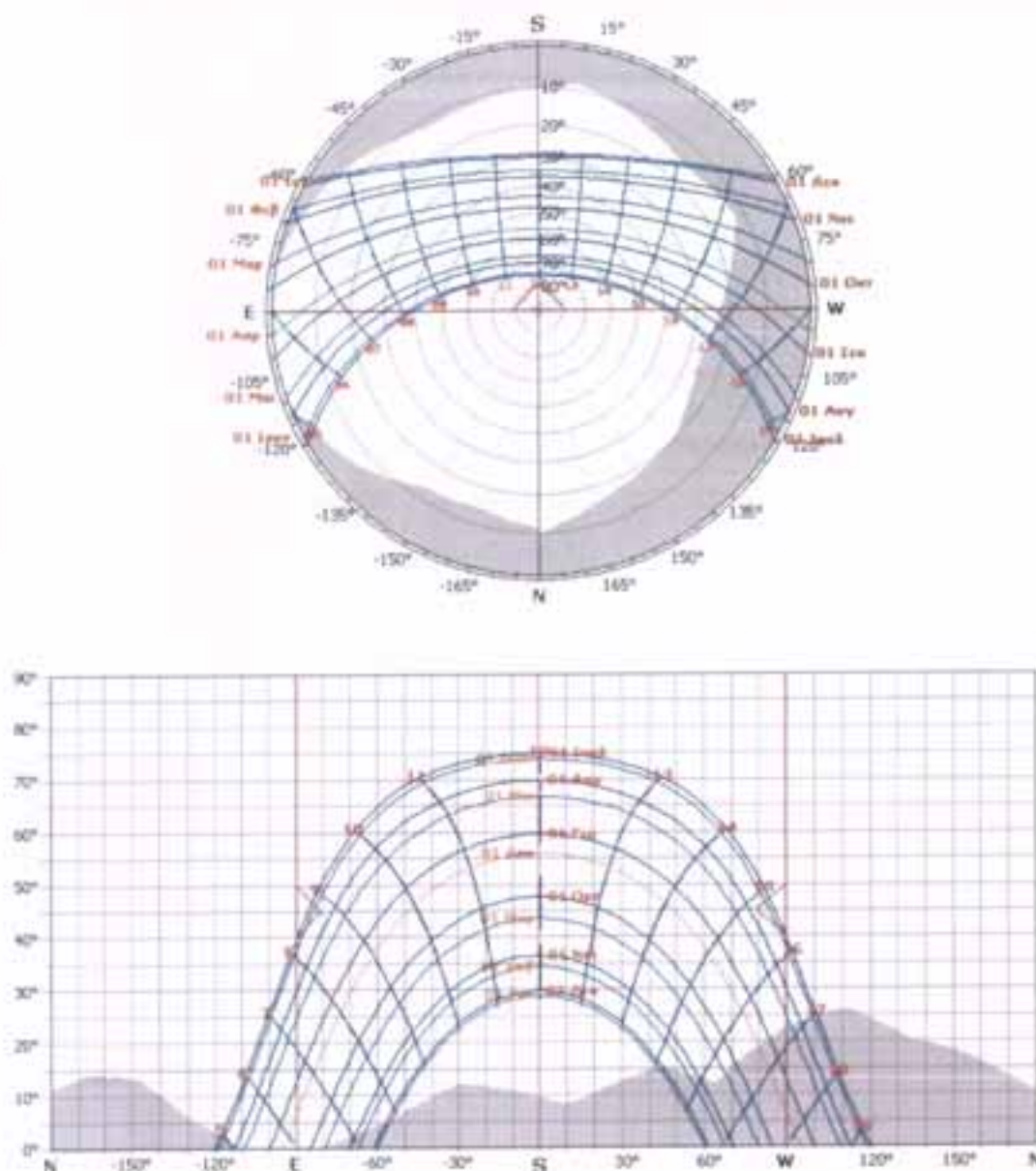


Σχήμα 2.14: Η κόκκινη διάμετρος παριστάνει την προβολή κατακόρυφης επιφάνειας με προσανατολισμό 30°Δ

2.6.3.2 Απεικόνιση του περιβάλλοντος

Η μέθοδος προβολής για την παράσταση της κίνησης του ήλιου μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τη παράσταση οποιουδήποτε σημείου του χώρου:

Ένα δεδομένο σημείο και το σημείο παρατήρησης ορίζουν μια οπτική ακτίνα που προσδιορίζεται όπως και οι ηλιακές ακτίνες, δηλαδή από τις γωνιακές συντεταγμένες της (αζιμούθιο και γωνιακό ύψος) ως προς το σημείο παρατήρησης. Έτσι, το περίγραμμα του πραγματικού ορίζοντα όπως φαίνεται από τη θέση του παρατηρητή μπορεί να σχεδιαστεί σε ένα ηλιακό διάγραμμα ως τεθλασμένη γραμμή που ορίζεται από σειρά σημείων με γνωστές γωνιακές συντεταγμένες (σχ. 2.15). Προφανώς δεν υπάρχει άμεση ηλιακή πρόσβαση όταν ο ήλιος βρίσκεται κάτω από αυτήν την τεθλασμένη.



Σχήμα 2.15: Απεικόνιση του ανάγλυφου του περιβάλλοντος σε πολικό και κυλινδρικό διάγραμμα

Παρεμφερής εφαρμογή είναι οι "μάσκες σκιασμού", η απεικόνιση δηλαδή του τμήματος του ουρανού που δεν είναι ορατό από το σημείο παρατήρησης γιατί παρεμβάλλεται κάποιο εμπόδιο.

2.6.3.3 Μάσκες σκιασμού

Μια μάσκα σκιασμού είναι η απεικόνιση της περιοχής του ουράνιου θόλου που δεν φαίνεται από ένα σημείο αναφοράς λόγω της παρουσίας κάποιου εμποδίου, π.χ. ενός στοιχείου ηλιοπροστασίας.

Η μάσκα σκιασμού δημιουργείται ως προς ένα σημείο αναφοράς και όχι ως προς επιφάνεια. Για το λόγο αυτό, για τη σωστή εκτίμηση της επισκίασης μιας επιφάνειας απαιτείται η διάκριση των αντικειμένων του χώρου σε κοντινά και απομακρυσμένα.

Απομακρυσμένα αντικείμενα

Απομακρυσμένα αντικείμενα από μια επιφάνεια αναφοράς θεωρούνται αυτά που έχουν τέτοιο μέγεθος και απόσταση από την επιφάνεια, που οι σχετικές γωνίες ύψους και αζιμουθίου οποιουδήποτε σημείου τους να είναι πρακτικά ίσες ως προς κάθε σημείο της επιφάνειας. Αυτό, πρακτικά, σημαίνει ότι η επιφάνεια είτε σκιάζεται εξ ολοκλήρου από το αντικείμενο είτε καθόλου, αποκλείοντας περίπτωση μερικής επισκίασης. Για τα αντικείμενα αυτά η μάσκα σκιασμού είναι ίδια ως προς οποιοδήποτε σημείο της επιφάνειας.

Κοντινά αντικείμενα

Είναι αυτά που βρίσκονται αρκετά κοντά και με μέγεθος τέτοιο ώστε να μπορούν να προκαλέσουν μερική επισκίαση της επιφάνειας. Για τα αντικείμενα αυτά η μάσκα σκιασμού διαφέρει από σημείο σε σημείο της επιφάνειας αναφοράς, ενώ η σχεδίασή της δεν προσφέρει σαφή στοιχεία ως προς τον ηλιασμό της επιφάνειας.

Για την εκτίμηση της επισκίασης από κοντινά εμπόδια θα αναπτύξουμε μια αναλυτική μέθοδο στο επόμενο κεφάλαιο

2.7 Ήλιος και ηλιακή ακτινοβολία

2.7.1 Γενικά

Ο Ήλιος είναι ο αστέρας του πλανητικού μας συστήματος. Έχει διάμετρο 1.392.000 km (συγκριτικά, η διάμετρος της Γης είναι 12.700 km) και η μέση απόστασή του από τη Γη είναι $1,5 \times 10^8$ km.

Ο ήλιος είναι ένας γιγαντιαίος αντιδραστήρας τήξεως που μετατρέπει αδιάλειπτα το υδρογόνο σε ήλιο, εκλύοντας τεράστιες ποσότητες ενέργειας. Η ενέργεια που

ακτινοβολεί προέρχεται από πυρηνικές αντιδράσεις σύντηξης στο εσωτερικό του, όπου επικρατούν ιδιαίτερα υψηλές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας.

Η ισχύς της ακτινοβολούμενης ηλιακής ενέργειας εκτιμάται ότι ανέρχεται στα $3,72 \times 10^{14}$ KW. Η ενέργεια αυτή ανεβάζει την επιφανειακή θερμοκρασία του ήλιου μεταξύ 5700-6000°C και εκπέμπει ακτινοβολία στο διάστημα που η έντασή της στην επιφάνειά του είναι της τάξης των 70 MW/m². Στο όριο της ατμόσφαιρας της Γης φθάνει ένα μικρό ποσοστό της παραπάνω ενέργειας της τάξης των $1,73 \times 10^{12}$ KW.

Η ηλιακή ακτινοβολία μεταδίδεται με ηλεκτρομαγνητικά κύματα στο φάσμα μεταξύ 0,29μm (υπεριώδης) έως και 4,75 μm (υπέρυθρη). Η ορατή περιοχή του φάσματος εκτείνεται από 0,38μm-0,70μm. Η περιοχή που εκπέμπεται η θερμική ακτινοβολία που περιλαμβάνει το ορατό φάσμα, εκτείνεται στην περιοχή 0,20μm-100μm. Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα του σχήματος 1-11, το μέγιστο ποσοστό της ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας είναι συγκεντρωμένο στην περιοχή της ορατής ακτινοβολίας (φως) και στην υπέρυθρη περιοχή.

Με την κίνηση της Γης γύρω από τον ήλιο, μεταβάλλεται και η απόστασή της από αυτόν και μαζί η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη Γη. Έτσι, στις αρχές Ιανουαρίου, στην κοντινότερη προς τον Ήλιο θέση της Γης (περιήλιο) ανέρχεται στα 1400 W/m², ενώ στις αρχές Ιουλίου, στην πιο απομακρυσμένη θέση της (αφήλιο), πέφτει στα 1310 W/m².

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στη μέση απόσταση Γης-Ήλιου ορίζεται ως *ηλιακή σταθερά* (G_{sc}). Η τιμή της ηλιακής σταθεράς που έχει προταθεί από τον Thekaekara και έχει αποδεχτεί η NASA είναι:

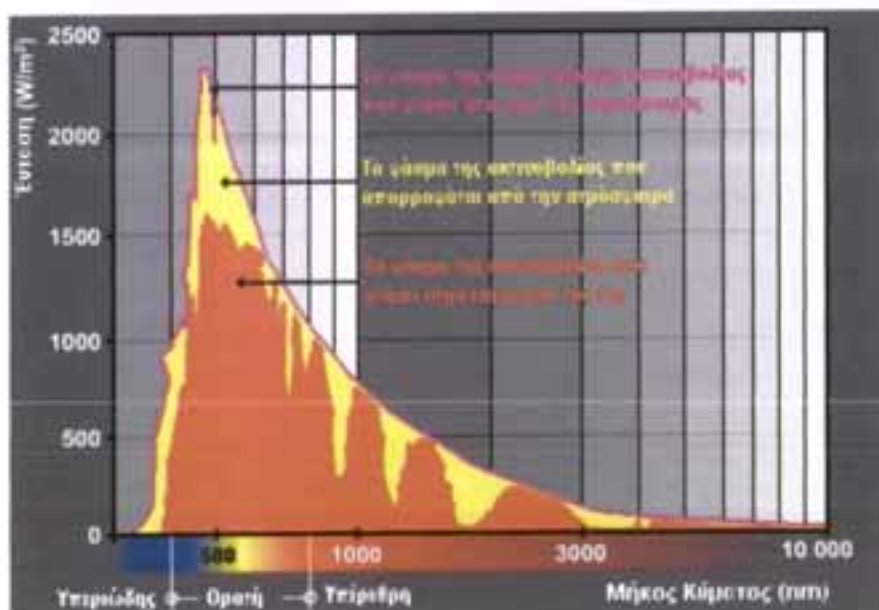
$$G_{sc} = 1353 \frac{W}{m^2} \quad (2.15)$$

Ανάλογα με τη γεωγραφική θέση μιας περιοχής, υπάρχει μια διακύμανση στην ακτινοβολία που δέχεται (στα όρια της ατμόσφαιρας) μεταξύ 1350 και 1440 W/m². Από το ποσό αυτό, ένα σημαντικό τμήμα απορροφάται από τα υπερκείμενα στρώματα αέρα ώστε τελικά να φτάνουν στο έδαφος περίπου 1000 W/m², όταν ο ήλιος βρίσκεται ακριβώς κατακόρυφα πάνω από την περιοχή.

Το 25% της ενέργειας που φθάνει στο όριο της γήινης ατμόσφαιρας ανακλάται πίσω στο διάστημα από τα ανώτερα στρώματά της. Ποσοστό της τάξης του 25% απορροφάται από αυτήν θερμαίνοντάς την, μέρος του οποίου επανακτινοβολείται ως διάχυτη ακτινοβολία. Ποσοστό της τάξης του 25% υπόκειται σε σκέδαση, διάθλαση, περίθλαση και ανάκλαση από νέφη, αιωρούμενα σωματίδια και συσσωματώματα μορίων και επίσης επανακτινοβολείται ως διάχυτη. Η άμεση ακτινοβολία που φτάνει απρόσκοπτη στην επιφάνεια της Γης αποτελεί το 25% της εισερχόμενης στην ατμόσφαιρα.

Συνολικά, περίπου το 50% της εισερχόμενης στην ατμόσφαιρα ακτινοβολίας φθάνει στην επιφάνειά της και θερμαίνει τα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, το έδαφος και τη θάλασσα. Το 23% τροφοδοτεί την εξάτμιση και τον κύκλο του νερού, το 1% μετατρέπεται σε αιολική ενέργεια, ενώ το 0,03% απορροφάται από τη φωτοσύνθεση.

Στο διάγραμμα του σχήματος 1-11 δίδεται το ποσό της συνολικής ηλιακής ενέργειας που φτάνει στα όρια της ατμόσφαιρας της Γης, σε συνάρτηση με το μήκος κύματος.



Σχήμα 2.16: Καμπύλη κατανομής της ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας ως προς το μήκος κύματος. Στο διάγραμμα φαίνεται η κατανομή της συνολικής ακτινοβολίας που φθάνει στο όριο της ατμόσφαιρας της Γης, της απορροφώμενης από την ατμόσφαιρα και αυτής που τελικά προσπίπτει στην επιφάνειά της (μέση τιμή για το μεσημέρι μιας μέσης καθαρής ημέρας).

Η απορροφητικότητα της ατμόσφαιρας, ως προς τις διάφορες ακτινοβολίες, είναι εκλεκτική. Έτσι η ποσοστιαία σύνθεση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι:

- α) Στα άνω όρια της ατμόσφαιρας
 - Υπεριώδης 5%
 - Ορατό φως 52%
 - Υπέρυθρη 43%
- β) Στην επιφάνεια της Γης
 - Υπεριώδης 1%
 - Ορατό φως 39%
 - Υπέρυθρη 60%

2.7.2 Ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας

Ως κανονική ένταση (I_N) της ηλιακής ακτινοβολίας ορίζεται η ενέργεια που δέχεται μία επιφάνεια κάθετη στην διεύθυνση διάδοσης της ακτινοβολίας ανά μονάδα χρόνου και ανά μονάδα εμβαδού της επιφάνειας. Μονάδα μέτρησης είναι το 1 W/m^2 .

Λόγω της μεταβολής της απόστασης Γης-Ήλιου κατά τη διάρκεια του χρόνου η κανονική ένταση της ακτινοβολίας που φτάνει στο όριο της ατμόσφαιρας της Γης $I_{ext,N}$ είναι συνάρτηση της ημέρας του χρόνου και δίνεται από τη σχέση:

$$I_{ext,N} = G_{sc} \cdot \left(1 + 0,033 \cdot \cos \frac{360 \cdot n}{365} \right) \quad (2.16)$$

Η ένταση της ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο ενός τόπου στο όριο της ατμόσφαιρας $I_{ext,H}$ είναι συνάρτηση της $I_{ext,N}$ και της ζενίθιας γωνίας θ_z του ήλιου ως προς τον τόπο:

$$I_{ext,H} = I_{ext,N} \cdot \cos \theta_z \quad (2.17)$$

Γενικά, ονομάζουμε σχετική ένταση (I_s) ή απλώς ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ως προς την επιφάνεια πρόσπτωσης της, την κάθετη στην επιφάνεια συνιστώσα της κανονικής έντασης I_N , και είναι συνάρτηση της γωνίας πρόσπτωσης θ της ακτινοβολίας στην επιφάνεια:

$$I_s = I_N \cdot \cos \theta \quad (2.18)$$

Στις ηλιακές εφαρμογές που αφορούν την πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο, αυτή υπολογίζεται συνήθως σε συνάρτηση με την αντίστοιχη στο οριζόντιο. Έτσι ορίζεται ο λόγος R_b της άμεσης ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο ως προς αυτήν στο οριζόντιο:

$$R_b = \frac{I_s}{I_H} = \frac{I_N \cdot \cos \theta}{I_N \cdot \cos \theta_z} \Rightarrow R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (2.19)$$

2.7.3 Μορφές της ηλιακής ακτινοβολίας

Την ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια της Γης, ανάλογα με την κατεύθυνση από την οποία προέρχεται, τη διακρίνουμε σε **άμεση** και **διάχυτη**. Η άμεση ακτινοβολία προέρχεται απ' ευθείας από τον ήλιο και επιδρά σε μια περιοχή μόνο κατά τη διάρκεια άμεσης έκθεσής της σε αυτόν (ηλιασμός). Η διάχυτη ακτινοβολία, είναι η ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της γης μετά από σειρά διαδοχικών ανακλάσεων, διαχύσεων, σκεδάσεων κλπ κατά τη διάρκεια της πορείας της μέσα στην ατμόσφαιρα. Η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία, αν και προέρχεται από την άμεση,

αντιμετωπίζεται διαφορετικά στους υπολογισμούς, διότι δεν έχει συγκεκριμένη γωνία πρόσπτωσης σε μια επιφάνεια, αλλά προέρχεται από όλο τον ουράνιο θόλο.

Η διασπορά της διάχυτης ακτινοβολίας στον ουράνιο θόλο είναι συνάρτηση της αέριας μάζας, αλλά και των συνθηκών νέφωσης και καθαρότητας της ατμόσφαιρας, που είναι παράμετροι έντονα μεταβαλλόμενες.

3.1 Γενικά

Όπως αναλύσαμε στο Κεφάλαιο 1, η εισροή της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό ενός χώρου, μπορεί να έχει τόσο επιθυμητές όσο και ανεπιθύμητες επιδράσεις. Για παράδειγμα, είναι επιθυμητή η πρόσπτωση της στη θερμική μάζα αποθήκευσης των δομικών στοιχείων του χώρου, για μέγιστη συλλογή θερμότητας τη χειμερινή περίοδο, αλλά ανεπιθύμητη τη θερινή περίοδο ή όταν προσπίπτει στις επιφάνειες εργασίας προκαλώντας θάμβωση και έλλειψη θερμικής άνεσης.

Η ύπαρξη ενός μοντέλου πρόβλεψης της ηλιακής εισχώρησης στους εσωτερικούς χώρους των κτιρίων και της κατανομής της μέσα σε αυτούς, είναι σημαντικό εργαλείο για το σωστό σχεδιασμό ενός παθητικού ηλιακού συστήματος. Ο καταλληλότερος προσανατολισμός του κτιρίου και των ανοιγμάτων του, το μέγεθος και η θέση των ανοιγμάτων, η κατανομή της θερμικής μάζας αποθήκευσης στο εσωτερικό, η λειτουργική διάρθρωση των εσωτερικών χώρων και η επιλογή των κατάλληλων συστημάτων ηλιοπροστασίας εξαρτώνται από τον τρόπο που η ηλιακή ακτινοβολία εισέρχεται και διανέμεται στο χώρο.

3.2 Ηλιασμός εσωτερικών χώρων

Όταν ένα αδιαφανές σώμα παρεμβληθεί στην πορεία της ηλιακής ακτινοβολίας προς κάποια επιφάνεια, έχουμε *σκίαση* της επιφάνειας, δηλαδή παρεμπόδιση του ηλιασμού ολόκληρης ή τμήματος της επιφάνειας. Η σκιά που σχηματίζεται πάνω στην επιφάνεια ουσιαστικά αποτελεί την προβολή του σώματος στο επίπεδο της επιφάνειας κατά τη διεύθυνση των ηλιακών ακτίνων.

Σε αντίθεση με τις επιφάνειες που βρίσκονται σε εξωτερικό χώρο και ο ηλιασμός τους είναι συνεχής, εκτός αν παρεμβληθεί κάποιο εμπόδιο στην πορεία των ηλιακών ακτίνων προς αυτό, οι εσωτερικές επιφάνειες θεωρούνται συνεχώς σκιασμένες, εκτός αν δέχονται ακτινοβολία μέσω κάποιου ανοίγματος. Έτσι, η εργασία για την πρόβλεψη του ηλιασμού στις εσωτερικές επιφάνειες είναι η ίδια με αυτή της πρόβλεψης της σκίασης του ανοίγματος, με τη διαφορά ότι αντί της προβολής των εμποδίων στην επιφάνεια του ανοίγματος, προβάλλεται το ασκίαστο μέρος του ανοίγματος στα εσωτερικά επίπεδα του χώρου.

Η πρόβλεψη του ηλιασμού εσωτερικών χώρων, αναφέρεται τόσο στη συνολική εισροή της ηλιακής ακτινοβολίας στο χώρο μέσω των ανοιγμάτων του, όσο και στην κατανομή της ακτινοβολίας στα δομικά στοιχεία του χώρου.

Το μοντέλο πρόβλεψης του ηλιασμού που θα αναλύσουμε, βασίζεται στη γεωμετρική προσέγγιση του συστήματος ήλιος-άνοιγμα-χώρος.

Η μέθοδος που περιγράφουμε, προϋποθέτει την ηλιακή πρόσβαση στο επίπεδο της όψης που περιέχει το άνοιγμα ο ηλιασμός του ανοίγματος του χώρου. Είναι σαφές ότι η ακτινοβολία που δέχεται το άνοιγμα θα περάσει στο εσωτερικό του χώρου

Ο έλεγχος της ηλιακής πρόσβασης γίνεται ως εξής:

- Πρέπει να βρισκόμαστε εντός των ωρών ηλιοφάνειας, δηλαδή ωριαία γωνία ελέγχου να βρίσκεται μεταξύ των ωριαίων γωνιών ανατολής και δύσης (εξ. 2.8)
- Ο ήλιος πρέπει να βρίσκεται μπροστά από την όψη που περιέχει το άνοιγμα, που ελέγχεται με την εξ. 2.13.
- Με τη χρήση ηλιακού χάρτη ελέγχεται αν υπάρχει ολική επισκίαση από απομακρυσμένα εμπόδια.

Εάν οι παραπάνω έλεγχοι εξασφαλίζουν ηλιακή πρόσβαση στο επίπεδο του ανοίγματος, προχωρούμε στον υπολογισμό του ηλιασμού, όπως περιγράφεται στη συνέχεια.

3.3 Εξαγόμενες εξισώσεις για τον ηλιασμό και τη σκίαση επιφανειών

Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται κάποιον χώρο μέσω εξωτερικού ανοίγματος, προσπίπτει στις εσωτερικές επιφάνειες του δωματίου (δάπεδο, τοίχοι) σχηματίζοντας ένα φωτεινό σχήμα που το ονομάζουμε *ηλιακό ίχνος*.

Το πρόβλημα του ηλιασμού του χώρου, αφορά τον υπολογισμό της θέσης και της γεωμετρίας του ηλιακού ίχνους για οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Προκειμένου να αναπτυχθεί το μοντέλο προσομοίωσης θεωρούμε τις εξής παραδοχές και προϋποθέσεις:

- Οι ηλιακές ακτίνες είναι παράλληλες ευθείες
- Ολόκληρη η θεωρούμενη επιφάνεια του ανοίγματος είναι εκτεθειμένη στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Στην περίπτωση που ένα τμήμα του ανοίγματος σκιάζεται, ως άνοιγμα θεωρούμε το τμήμα που δε σκιάζεται.
- Τα ανοίγματα και τα σκίαστρα είναι επίπεδα και πολυγωνικά (τα περιγράμματά τους αποτελούνται από ευθύγραμμα τμήματα).

Το ηλιακό ίχνος αποτελεί τη γεωμετρική προβολή του σκιάστου μέρους του ανοίγματος στα επίπεδα των αντίστοιχων εσωτερικών επιφανειών του χώρου κατά τη

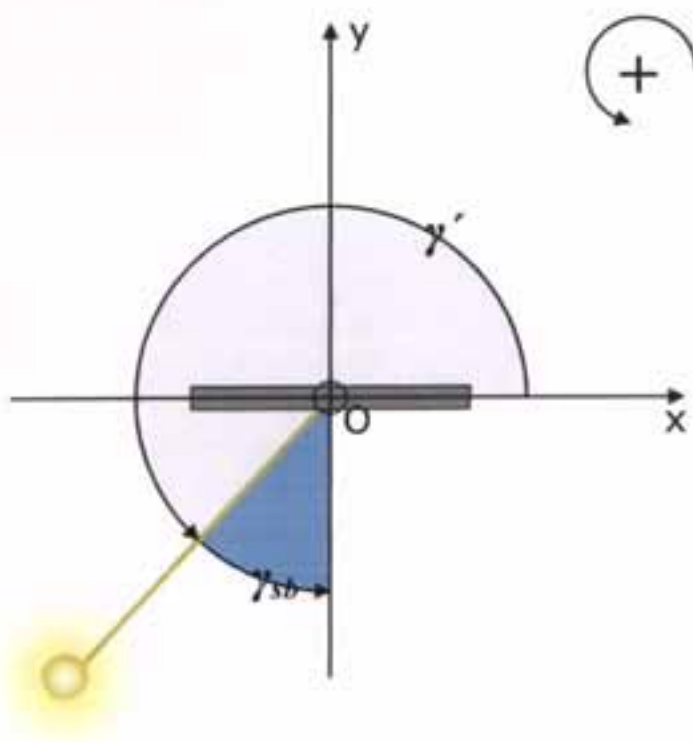
διεύθυνση των ηλιακών ακτίνων. Για τον προσδιορισμό του αρκεί να προσδιορίσουμε τις προβολές των αντίστοιχων κορυφών του ανοίγματος στις εσωτερικές επιφάνειες του χώρου στη διεύθυνση των ηλιακών ακτίνων.

3.3.1 Ανάλυση

Προκειμένου να γίνει η προβολή των επιφανειών πρέπει να προσδιοριστεί η εξίσωση της ευθείας που εκφράζει τη διεύθυνση της ηλιακής ακτινοβολίας προς την επιφάνεια. Αυτή είναι η ευθεία που ενώνει τον ήλιο με τον τόπο

Για το σκοπό αυτό θεωρούμε δεξιόστροφο ορθοκανονικό σύστημα αναφοράς $Oxyz$ τέτοιο ώστε η εσωτερική επιφάνεια του τοίχου που περιέχει το άνοιγμα, να περιέχεται στο Oxz επίπεδο με πρόσοψη προς τον αρνητικό y ημιάξονα. Θα εκφράσουμε την ευθεία που παριστάνει την ακτίνα η οποία διέρχεται από τυχαίο σημείο $T(x_0, y_0, z_0)$, σαν συνάρτηση της θέσης του σημείου αυτού στο χώρο καθώς και της θέσης του ήλιου ως προς το σύστημα.

Όπως έχουμε δείξει η θέση του ήλιου ως προς μια προσανατολισμένη επιφάνεια ορίζεται πλήρως από το ηλιακό ύψος α και το ηλιακό αζιμούθιο ως προς την επιφάνεια γ_{sb} .



Σχήμα 3.1: Αντιστοιχία της γ_{sb} με την προσανατολισμένη γωνία γ' για την εύρεση των τριγωνομετρικών της αριθμών.

Στο επιλεγμένο σύστημα αναφοράς (σχήμα 2.1) ισχύει:

$$\gamma' = 270^\circ - \gamma_{sb} \Rightarrow \begin{cases} \cos \gamma' = -\sin \gamma_{sb} \\ \sin \gamma' = -\cos \gamma_{sb} \end{cases} \quad (3.1)$$

Από την Αναλυτική Γεωμετρία γνωρίζουμε ότι οι εξισώσεις μιας ευθείας (ϵ) στο χώρο που διέρχεται από σημείο $T(x_0, y_0, z_0)$, σε ορθοκανονικό σύστημα αναφοράς δίνονται από το σύστημα:

$$\frac{x - x_0}{\kappa} = \frac{y - y_0}{\lambda} = \frac{z - z_0}{\mu}, \text{ αν } \kappa \cdot \lambda \cdot \mu \neq 0 \quad (3.2)$$

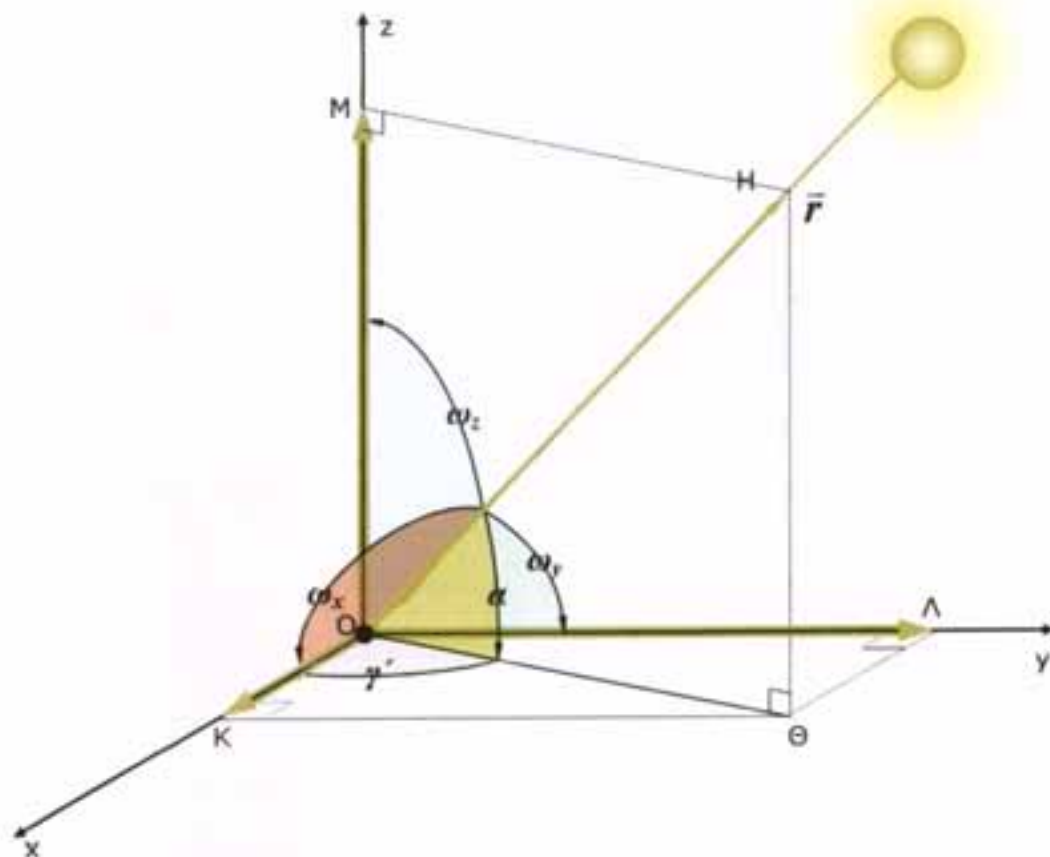
Όπου κ, λ, μ τα κατευθύνοντα συννημίτονα της (ϵ) ως προς τους άξονες $Ox, Oy,$ και Oz αντίστοιχα.

Για τον υπολογισμό των κ, λ και μ λαμβάνουμε μοναδιαίο ελεύθερο διάνυσμα \vec{r} παράλληλο στις ηλιακές ακτίνες (σχήμα 2.2). Έχουμε:

$$\begin{aligned} \bullet \quad \kappa = \cos \omega_x &\Rightarrow \kappa = \frac{OK}{OH} \stackrel{|OH|=1}{\Rightarrow} \kappa = OK \Rightarrow \kappa = O\theta \cdot \cos \gamma' \Rightarrow \\ &\Rightarrow \kappa = (OH \cdot \cos \alpha) \cdot \cos \gamma' \stackrel{(2.1)}{\Rightarrow} \kappa = -\cos \alpha \cdot \sin \gamma_{sb} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad \lambda = \cos \omega_y &\Rightarrow \lambda = \frac{OL}{OH} \stackrel{|OH|=1}{\Rightarrow} \lambda = OL \Rightarrow \lambda = K\theta \Rightarrow \lambda = O\theta \cdot \sin \gamma' \\ &\Rightarrow \lambda = (OH \cdot \cos \alpha) \cdot \sin \gamma' \stackrel{(2.1)}{\Rightarrow} \lambda = -\cos \alpha \cdot \cos \gamma_{sb} \end{aligned}$$

$$\bullet \quad \mu = OM = H\theta = OH \cdot \sin \alpha \stackrel{|OH|=1}{\Rightarrow} \mu = \sin \alpha$$



Σχήμα 3.2: Μοναδιαίο διάνυσμα OH στη διεύθυνση των ηλιακών ακτίνων και οι γωνίες που σχηματίζει με τους άξονες ($\omega_x, \omega_y, \omega_z$)

Οπότε η σχέση (2.2) γίνεται:

$$\frac{x - x_0}{-\sin \gamma_{sb} \cdot \cos \alpha} = \frac{y - y_0}{-\cos \gamma_{sb} \cdot \cos \alpha} = \frac{z - z_0}{\sin \alpha} \quad (3.3)$$

Άρα η προβολή ενός τυχαίου σημείου $T(x_0, y_0, z_0)$ πάνω σε ένα οποιοδήποτε επίπεδο $A \cdot x + B \cdot y + \Gamma \cdot z + \Delta = 0$ προκύπτει από τη συναλήθευση των εξισώσεων (2.3) με την εξίσωση του επιπέδου. Στην περίπτωση που το επίπεδο είναι κάθετο σε έναν από τους άξονες, έστω τον $z'z$, σε ένα σημείο $P(0,0,z_p)$, τότε η εξίσωση του επιπέδου απλουστεύεται σε $z = z_p$. Ομοίως αν είναι κάθετο στους άξονες $x'x$ ή $y'y$, τότε η εξίσωσή του γίνεται $x = x_p$ ή $y = y_p$.

3.3.2 Εξισώσεις

Για ένα δωμάτιο -που κατά κανόνα οι τοίχοι είναι κάθετοι μεταξύ τους- με βάση τα παραπάνω και τη σχέση (2.3) προκύπτουν τρία ισοδύναμα συστήματα τριών

εξισώσεων, από τα οποία παίρνουμε τις συντεταγμένες της προβολής του τυχαίου σημείου σε κάθε επίπεδο.

$$\left\{ \begin{array}{l} x(z) = \frac{\sin \gamma}{\tan \alpha} \cdot (z_0 - z) + x_0 \\ y(z) = \frac{\cos \gamma}{\tan \alpha} \cdot (z_0 - z) + y_0 \\ z = z_p \end{array} \right. \quad (3.4)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} y(x) = \frac{(x-x_0)}{\tan \gamma} + y_0 \\ z(x) = \frac{\tan \alpha}{\sin \gamma} \cdot (x_0 - x) + z_0 \\ x = x_p \end{array} \right. \quad (3.5)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x(y) = \tan \gamma \cdot (y - y_0) + x_0 \\ z(y) = \frac{\tan \alpha}{\cos \gamma} \cdot (y_0 - y) + z_0 \\ y = y_p \end{array} \right. \quad (3.6)$$

3.4 Διερεύνηση

Για να προσδιορίσουμε την θέση και τη γεωμετρία του ηλιακού ίχνους μέσα σε ένα δωμάτιο είναι απαραίτητο να εξετάσουμε την κατανομή του στα επίπεδα του δωματίου. Δηλαδή χρειάζεται να βρούμε σε ποιο επίπεδο ή επίπεδα (πάτωμα, τοίχοι) βρίσκεται, ολόκληρο ή κατά τμήματα.

Είναι απαραίτητο να ελέγξουμε τα επίπεδα, των προβολών των κορυφών του ανοίγματος (παραθύρου) στο δωμάτιο που αποτελούν και τις Κορυφές του Ηλιακού Ίχνους (ΚΗΙ)

Ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:

- ★ **Βήμα 1^ο:** Προσδιορίζουμε την προβολή Π_i της κορυφής A_i του ανοίγματος στο επίπεδο του πατώματος (Οxy επίπεδο, $z=0$)

Από το σύστημα εξισώσεων 3.4 θέτοντας όπου z_p το 0 και όπου x_0, y_0, z_0 τις συντεταγμένες (x_{A_i}, y_{A_i}) της κορυφής A_i που εξετάζουμε, εξάγουμε τις συντεταγμένες (x_{Π_i}, y_{Π_i}) της προβολής Π_i του A_i στο επίπεδο του πατώματος Oxy.

- Αν $0 < y_{\Pi_i} < y_{\max}$ (όπου y_{\max} το βάθος του δωματίου) τότε:

Αν $x_{\Pi_i} < 0$ τότε έπεται ότι:

η Κορυφή του Ηλιακού Ίχνους ΚΗ_Ι, που αντιστοιχεί στην κορυφή A_i , βρίσκεται στον "Δυτικό" **Τοίχο ΔΤ** και είναι η προβολή $\Delta\Pi_i$ του A_i σε αυτόν. Οι συντεταγμένες ($y_{\Delta\Pi_i}, z_{\Delta\Pi_i}$) του $\Delta\Pi_i$ προσδιορίζονται από το σύστημα εξισώσεων 2.5 με $x_p=0$.

Αν $0 < x_{\Pi_i} < x_{\max}$ (όπου x_{\max} το πλάτος του δωματίου) \Rightarrow

Η ΚΗ_Ι, βρίσκεται στο **πάτωμα** και ταυτίζεται με την Π_i .

Αν $x_{\Pi_i} > x_{\max} \Rightarrow$

Το ΚΗ_Ι, βρίσκεται στον "Ανατολικό" **Τοίχο ΑΤ** και είναι η προβολή $\Lambda\Pi_i$ του A_i σε αυτόν. Οι συντεταγμένες ($y_{\Lambda\Pi_i}, z_{\Lambda\Pi_i}$) της $\Lambda\Pi_i$ προσδιορίζονται από το σύστημα εξισώσεων 2.5 με $x_p=x_{\max}$.

- Αν $y_{\Pi_i} > y_{\max}$ τότε βρίσκουμε την προβολή ΒΠ_Ι του A_i στο επίπεδο του "Βόρειου" **Τοίχου ΒΤ** (επίπεδο, παράλληλο στο Oxz με $y=y_{\max}$).

★ **Βήμα 2^ο:** βρίσκουμε την προβολή ΒΠ_Ι της κορυφής A_i του ανοίγματος στο επίπεδο του Τοίχου ΒΤ (επίπεδο παράλληλο στο Oxz με $y=y_{\max}$)

Από το σύστημα εξισώσεων 3.6 θέτοντας όπου y_p το y_{\max} , και όπου x_0, y_0, z_0 τις συντεταγμένες ($x_{\Lambda_i}, y_{\Lambda_i}$) της κορυφής A_i εξάγουμε τις συντεταγμένες ($x_{\beta\Pi_i}, z_{\beta\Pi_i}$) της προβολής ΒΠ_Ι του A_i στο επίπεδο του τοίχου ΒΤ.

- Αν $x_{\beta\Pi_i} < 0$ τότε έπεται ότι:

Η Κορυφή του Ηλιακού Ίχνους ΚΗ_Ι, που αντιστοιχεί στην κορυφή A_i , βρίσκεται στον "Δυτικό" **Τοίχο ΔΤ** και είναι η προβολή $\Delta\Pi_i$ του A_i σε αυτόν. Οι συντεταγμένες ($y_{\Delta\Pi_i}, z_{\Delta\Pi_i}$) του $\Delta\Pi_i$ προσδιορίζονται από το σύστημα εξισώσεων 2.5 με $x_p=0$.

- Αν $0 < x_{\beta\Pi_i} < x_{\max}$ (όπου x_{\max} το πλάτος του δωματίου) \Rightarrow

Το ΚΗ_Ι, βρίσκεται στο **Τοίχο ΒΤ** και ταυτίζεται με το ΒΠ_Ι.

- Αν $x_{\beta\Pi_i} > x_{\max} \Rightarrow$

Το ΚΗ_Ι, βρίσκεται στον "Ανατολικό" **Τοίχο ΑΤ** και είναι η προβολή $\Lambda\Pi_i$ του A_i σε αυτόν. Οι συντεταγμένες ($y_{\Lambda\Pi_i}, z_{\Lambda\Pi_i}$) του $\Lambda\Pi_i$ προσδιορίζονται από το σύστημα εξισώσεων 3.5 με $x_p=x_{\max}$.

Εφαρμόζοντας τις παραπάνω διαδικασία για την κάθε κορυφή του ανοίγματος A_i , προσδιορίζονται οι Κορυφές του Ηλιακού Ίχνους ΚΗΙ, πάνω στο επιθυμητό επίπεδο, και έτσι παίρνουμε την προβολή του ανοίγματος κατά την διεύθυνση των ηλιακών ακτίνων στο δωμάτιο (φωτεινό ίχνος).

3.4.1 Προβολή ίχνους σε ένα επίπεδο

Παράδειγμα 1 (προβολή ίχνους σε ένα επίπεδο)

Δεδομένα

Ημερομηνία: 15 Ιανουαρίου

Ώρα: 13:00

Τόπος: *Πάτρα*

Γεωγραφικό πλάτος: $\varphi=38,25^\circ$

Γεωγραφικό Μήκος: $L_{lat}=21,73^\circ$

Γεωγραφικό μήκος τόπου: $TimeZone=+2:00 \Rightarrow L_{st}=30^\circ$

Προσανατολισμός: 10° Ανατολικά

| Δωμάτιο | |
|----------------|-----|
| Πλάτος (x) | 400 |
| Βάθος (y) | 350 |
| Ύψος (z) | 325 |

| Παράθυρο | |
|-----------------|-----|
| Αρχή X | 100 |
| Αρχή Z | 100 |
| Πλάτος | 150 |
| Ύψος | 100 |
| Βάθος | 0 |

Λύση

Υπολογισμός των α και γ_s .

-Από τον πίνακα 2.1 υπολογίζουμε τον αριθμό της ημέρας του χρόνου n που αντιστοιχεί στις 15 Ιανουαρίου:

$$n = 0 + 15 = 15$$

-Υπολογίζουμε τον Τοπικό Ωρολογιακό Χρόνο σε λεπτά για τις 13:00:

$$T\Omega X = 13h \cdot 60 \frac{\text{min}}{h} + 0 \text{ min} \Rightarrow T\Omega X = 780 \text{ min}$$

-Υπολογίζουμε το B από την εξίσωση 1.2:

$$B = \frac{360 \cdot (n - 81)}{364} = \frac{360 \cdot (15 - 81)}{364} \Rightarrow B = -65,096$$

-Υπολογίζουμε την εξίσωση του χρόνου E σε λεπτά από την εξίσωση 1.3:

$$E = 9,87 \cdot \sin(2B) - 7,53 \cdot \cos(B) - 1,5 \cdot \sin(B) \Rightarrow E = -9,287 \text{ min}$$

-Υπολογίζουμε τον Αληθή Ηλιακό Χρόνο (εξ. 1.4) σε λεπτά:

$$AHX = 780 \text{ min} - 4 \frac{\text{min}}{\%} \cdot (30^\circ - 21,73^\circ) - 9,29 - 0 \cdot 60 \Rightarrow AHX = 737,63 \text{ min}$$

-Υπολογίζουμε την ωριαία γωνία ω σε μοίρες (εξ. 1.6):

$$\omega = \frac{737,64 \text{ min} - 720 \text{ min}}{4 \frac{\text{min}}{\%}} \Rightarrow \omega = 4,41^\circ$$

-Υπολογίζουμε την Ηλιακή απόκλιση δ σε μοίρες (εξ. 2.5):

$$\delta = 23,45^\circ \cdot \sin\left(\frac{360 \cdot (284 + n)}{365}\right) \Rightarrow \delta = -21,27^\circ$$

-Υπολογίζουμε το Ηλιακό Ύψος σ σε μοίρες (εξ. 2.7):

$$\sin \sigma = \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \varphi \cdot \sin \delta \Rightarrow \sigma = 30,34^\circ$$

-Υπολογίζουμε το Ηλιακό Αζιμούθιο γ_s σε μοίρες (εξ. 2.9):

$$\cos \gamma_s = \frac{\sin \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega - \cos \varphi \cdot \sin \delta}{\cos \sigma} \Rightarrow \gamma_s = 4,76^\circ$$

-Ο προσανατολισμός του παραθύρου είναι 10° Ανατολικά του Νότου οπότε το Αζιμούθιο του παραθύρου γ_b είναι:

$$\gamma_b = -10^\circ$$

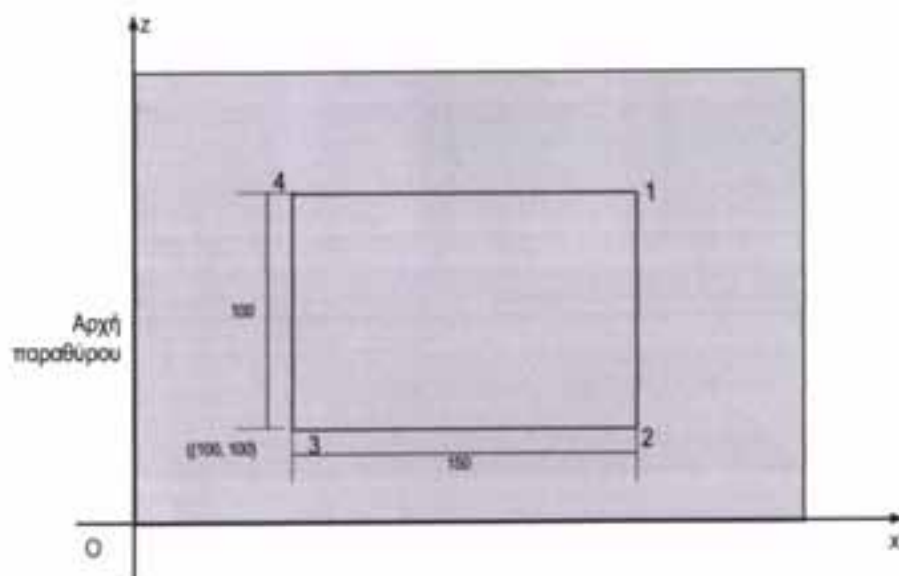
-Το αζιμούθιο του τοίχου ως προς το παράθυρο γ_{sb} είναι:

$$\gamma_{sb} = \gamma_s - \gamma_b \Rightarrow \gamma_{sb} = 14,90^\circ$$

Υπολογισμός συντεταγμένων παραθύρου

Από τα στοιχεία του παραθύρου υπολογίζουμε τις συντεταγμένες των κορυφών του (σχήμα 3.3):

| Συντεταγμένες Παραθύρου | | | |
|-------------------------|-----|---|-----|
| | x | y | z |
| A ₁ | 250 | 0 | 200 |
| A ₂ | 250 | 0 | 100 |
| A ₃ | 100 | 0 | 100 |
| A ₄ | 100 | 0 | 200 |



Σχήμα 3.3: Εξωτερική όψη του τοίχου που περιέχει το παράθυρο

Προσδιορισμός Κορυφών Ηλιακού Ίχνους (ΚΗΙ)

Κάνοντας διερεύνηση με τη μέθοδο που προαναφέρθηκε βρίσκουμε αρχικά όλες τις προβολές Π_i των κορυφών του παραθύρου A_i στο επίπεδο του πάτωματος από την εξίσωση 3.4 με $z=0$, $\gamma=\gamma_{sb}$, $x_0=x_{A_i}$, $z_0=z_A$ και $y_0=y_A=0$.

Για την προβολή Π_1 του A_1 στο πάτωμα έχουμε:

$$\left\{ \begin{array}{l} x(0) = \frac{\sin \gamma_{sb}}{\tan \alpha} \cdot (z_{A1} - 0) + x_{A1} \\ y(0) = \frac{\cos \gamma_{sb}}{\tan \alpha} \cdot (z_{A1} - 0) + 0 \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} x(0) = \frac{\sin(14,90^\circ)}{\tan(30,34^\circ)} \cdot 200 + 250 \\ y(0) = \frac{\cos(14,90^\circ)}{\tan(30,34^\circ)} \cdot 200 \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{x_{n1} = 337} \\ \mathbf{y_{n1} = 330} \end{array} \right\}$$

Για την προβολή Π_2 του A_2 στο πάτωμα:

$$\left\{ \begin{array}{l} x(0) = \frac{\sin \gamma_{sb}}{\tan \alpha} \cdot (z_{A2} - 0) + x_{A2} \\ y(0) = \frac{\cos \gamma_{sb}}{\tan \alpha} \cdot (z_{A2} - 0) + 0 \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} x(0) = \frac{\sin(14,90^\circ)}{\tan(30,34^\circ)} \cdot 100 + 250 \\ y(0) = \frac{\cos(14,90^\circ)}{\tan(30,34^\circ)} \cdot 100 \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{x_{n2} = 294} \\ \mathbf{y_{n2} = 165} \end{array} \right\}$$

Για την προβολή Π_3 του A_3 στο πάτωμα:

$$\left\{ \begin{array}{l} x(0) = \frac{\sin \gamma_{sb}}{\tan \alpha} \cdot (z_{A3} - 0) + x_{A3} \\ y(0) = \frac{\cos \gamma_{sb}}{\tan \alpha} \cdot (z_{A3} - 0) + 0 \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} x(0) = \frac{\sin(14,90^\circ)}{\tan(30,34^\circ)} \cdot 100 + 100 \\ y(0) = \frac{\cos(14,90^\circ)}{\tan(30,34^\circ)} \cdot 100 \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{x_{n3} = 144} \\ \mathbf{y_{n3} = 165} \end{array} \right\}$$

Και τέλος για την προβολή Π_4 του A_4 στο πάτωμα:

$$\left\{ \begin{array}{l} x(0) = \frac{\sin \gamma_{sb}}{\tan \alpha} \cdot (z_{A4} - 0) + x_{A4} \\ y(0) = \frac{\cos \gamma_{sb}}{\tan \alpha} \cdot (z_{A4} - 0) + 0 \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} x(0) = \frac{\sin(14,90^\circ)}{\tan(30,34^\circ)} \cdot 200 + 100 \\ y(0) = \frac{\cos(14,90^\circ)}{\tan(30,34^\circ)} \cdot 200 \end{array} \right\} \Rightarrow$$

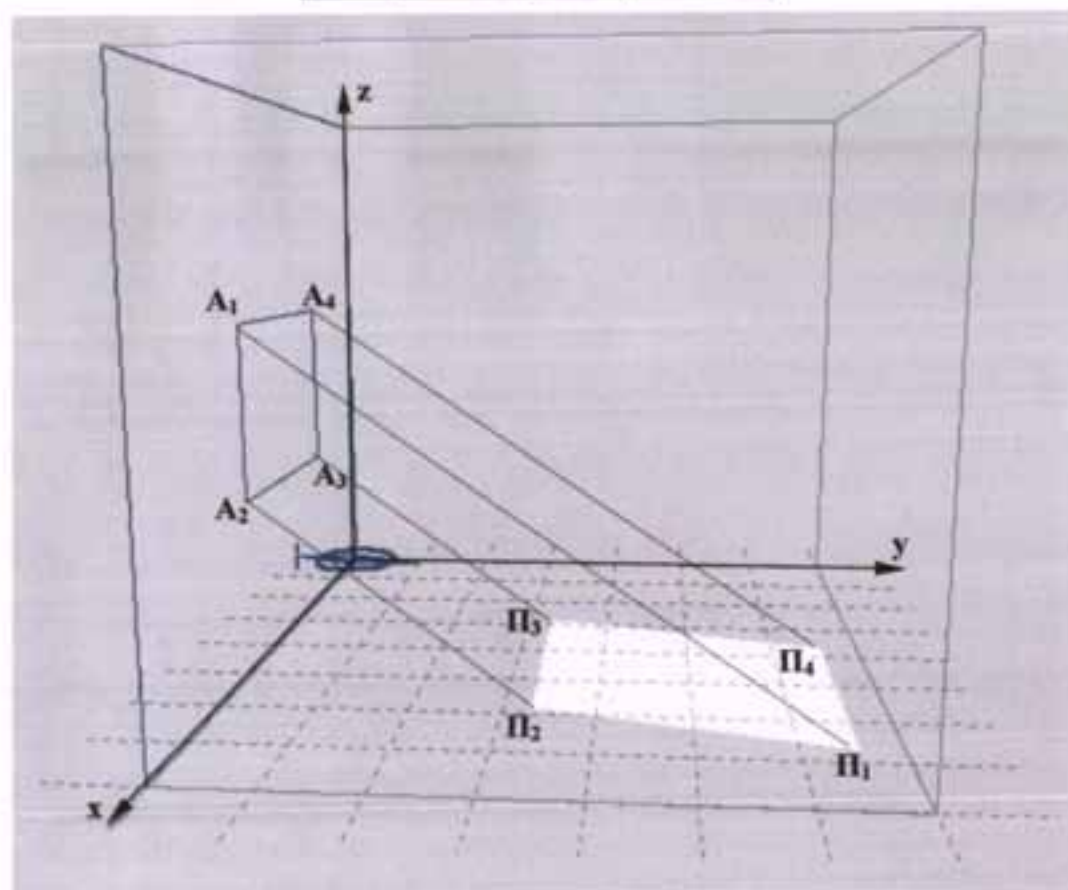
$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{x_{n4} = 187} \\ \mathbf{y_{n4} = 330} \end{array} \right\}$$

όπως διαπιστώνουμε όλες οι προβολές Π_i των κορυφών A_i στο πάτωμα ικανοποιούν τη συνθήκη:

$0 < y_{\text{π}i} < 350$ (βάθος δωματίου) και $0 < x_{\text{π}i} < 400$ (πλάτος δωματίου)

οπότε όλες οι Κορυφές του Ηλιακού Ίχνους ΚΗ_i βρίσκονται στο πάτωμα και ταυτίζονται με τις Π_i. (σχήμα 3.4)

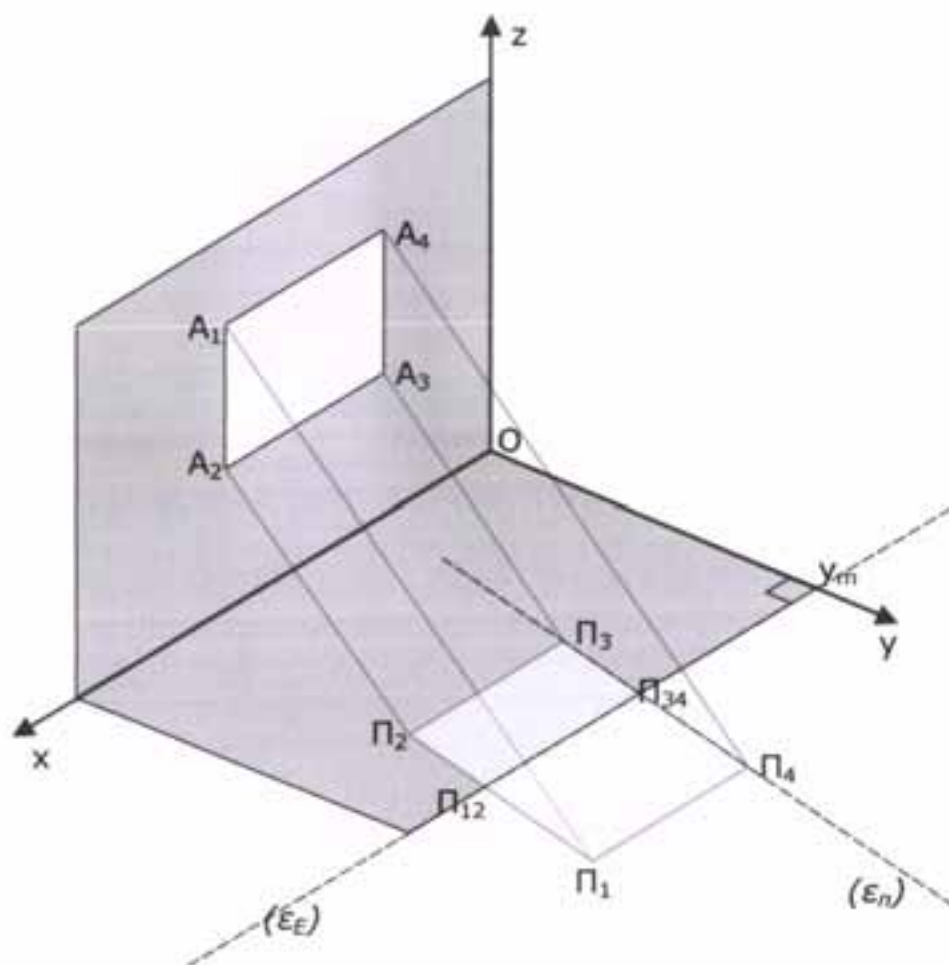
| Συντεταγμένες Κορυφών Ηλιακού Ίχνους | | | |
|--------------------------------------|-----|-----|---|
| | x | y | z |
| ΚΗ ₁ | 337 | 330 | 0 |
| ΚΗ ₂ | 294 | 165 | 0 |
| ΚΗ ₃ | 144 | 165 | 0 |
| ΚΗ ₄ | 187 | 330 | 0 |



Σχήμα 3.4: Οι προβολές των κορυφών του παραθύρου (πάχος τοίχου=0, χωρίς σκίαστρο) σχηματίζουν το φωτεινό ίχνος στο πάτωμα

3.4.2 Προβολή ίχνους σε περισσότερα επίπεδα

Σε περίπτωση που η προβολή του ανοίγματος ($\Pi_1\Pi_2\Pi_3\Pi_4$) (σχήμα 3.5) δεν ανήκει εξολοκλήρου στην επιφάνεια προβολής (επίπεδο Oxy με $z=0$), τότε το ηλιακό ίχνος ορίζεται από τα σημεία ($\Pi_{12}\Pi_2\Pi_3\Pi_{34}$) όπου τα Π_{12} και Π_{34} είναι τα σημεία τομής των ακμών $\Pi_1\Pi_2$ και $\Pi_3\Pi_4$ αντίστοιχα του ηλιακού ίχνος με την ευθεία (ϵ_ϵ), η οποία αποτελεί το όριο της επιφάνειας. Από την αναλυτική γεωμετρία εξάγονται οι εξισώσεις των ακμών του ηλιακού ίχνος (εξίσωση ευθείας με δύο σημεία) και οι εξισώσεις των ακμών της επιφάνειας προβολής και με συναλήθευση προκύπτουν οι τομές τους.



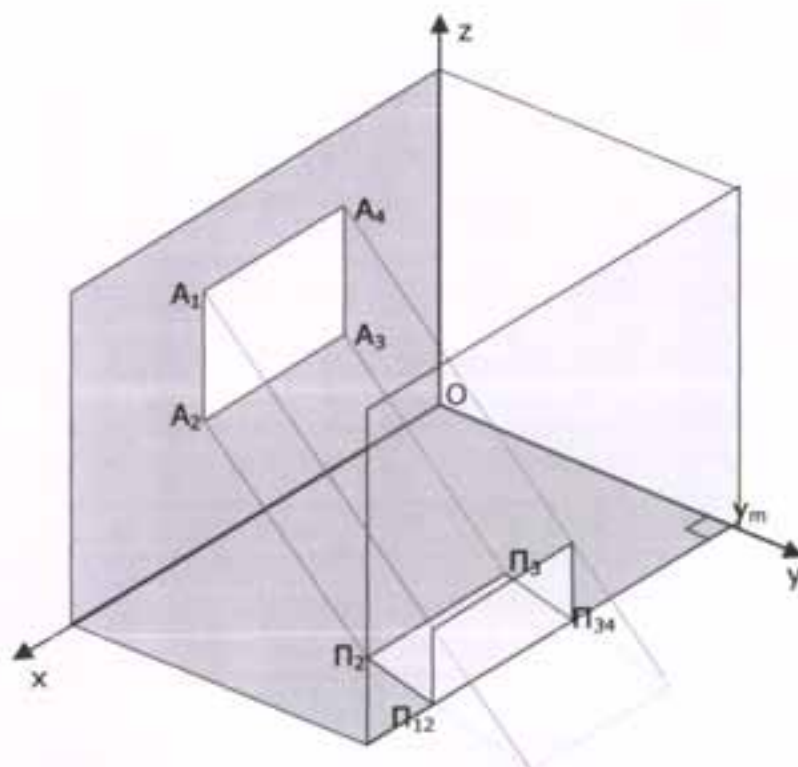
Σχήμα 3.5: Τομή ίχνους και επιφάνειας σε περίπτωση που δεν ανήκει εξολοκλήρου σε αυτή.

Η ευθεία (ϵ_ϵ) που ανήκει στο επίπεδο (Oxy) εκφράζεται από τη σχέση:

$$Y = Y_m \quad (3.7)$$

Η ευθεία (ϵ_n) εκφράζεται ως συνάρτηση των συντεταγμένων των $\Pi_1 (x_1, y_1, 0)$ και $\Pi_2 (x_2, y_2, 0)$. Δηλαδή:

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} \quad (3.8)$$



Σχήμα 3.6: Προβολή ίχνους σε περισσότερα επίπεδα.

Το σημείο της τομής τους Π_{12} θα βρεθεί από την συναλήθευση των δύο αυτών ευθειών. Ομοίως και το σημείο Π_{34} .

Έτσι όταν δύο διαδοχικές προβολές δυο διαδοχικών κορυφών του παραθύρου στο δωμάτιο ανήκουν σε διαφορετικά επίπεδα τότε ανάμεσά τους υπάρχει **ενδιάμεσο** (Π_{34} , Π_{12} σχήμα 2.6) που προσδιορίζεται όπως μόλις δείξαμε.

Παρατήρηση: Οι προβολή μιας ακμής του ανοίγματος σε επίπεδο παράλληλο προς αυτή είναι παράλληλη της.

Παράδειγμα 2 (Προβολή σε περισσότερα επίπεδα)

Αν στο προηγούμενο παράδειγμα μειώσουμε το βάθος του δωματίου κατά 75 και το πλάτος του κατά 90 τότε η διαφοροποίηση στα δεδομένα του παραδείγματος αυτού σε σχέση με το προηγούμενο περιορίζεται στη μεταβολή των διαστάσεων του παραθύρου δηλαδή στα x_{\max} , y_{\max} . κάνοντας διερεύνηση διαπιστώνουμε ότι το ίχνος προβάλλεται σε τρία επίπεδα όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.7.

Αναλυτικά έχουμε:

Σύμφωνα με τα παραπάνω οι διαστάσεις του δωματίου θα είναι:

| Δωμάτιο | |
|----------------|-----|
| Πλάτος (x) | 310 |
| Βάθος (y) | 275 |
| Υψος (z) | 325 |

Δηλαδή $x_{max}=310$, $y_{max}=275$

Από το προηγούμενο παράδειγμα ξέρουμε ότι οι συντεταγμένες των κορυφών του παραθύρου είναι:

| | Συντεταγμένες Παραθύρου | | |
|----------------|--------------------------------|---|-----|
| | x | y | Z |
| A ₁ | 250 | 0 | 200 |
| A ₂ | 250 | 0 | 100 |
| A ₃ | 100 | 0 | 100 |
| A ₄ | 100 | 0 | 200 |

Και ότι οι προβολές τους στο πάτωμα είναι:

| | Προβολές Κορυφών Παραθύρου στο πάτωμα. | | |
|----------------|---|-----|---|
| | x | y | Z |
| Π ₁ | 337 | 330 | 0 |
| Π ₂ | 294 | 165 | 0 |
| Π ₃ | 144 | 165 | 0 |
| Π ₄ | 187 | 330 | 0 |

Κάνοντας διερεύνηση διαπιστώνουμε ότι τα Π₂, Π₃ ικανοποιούν τη συνθήκη $0 < y_{\pi i} < 275$ (y_{max}) και $0 < x_{\pi i} < 310$ (x_{max}) οπότε αποτελούν και τις προβολές των A₂, A₃ στο δωμάτιο.

Άρα οι κορυφές του ηλιακού ίχνους ΚΗ₂, ΚΗ₃ βρίσκονται στο πάτωμα και ταυτίζονται με τα Π₂, Π₃.

Αντίθετα τα Π₁, Π₄ ικανοποιούν τη συνθήκη $y_{\pi i} > 275$.

Έτσι για τα A₁, A₄ συνεχίζουμε τη διερεύνηση και βρίσκουμε τις συντεταγμένες x_{BΠ1}, x_{BΠ2} των προβολών τους ΒΠ₁, ΒΠ₄ στον τοίχο ΒΤ αντίστοιχα, από την **εξίσωση 2.6** με $y=y_{max}$, $y=y_{δ\omega\mu}$, $x_0=x_{A_i}$:

Για την προβολή ΒΠ₁ του A₁ στον τοίχο ΒΤ έχουμε (3.6):

$$x(y_{\max}) = \tan\gamma_{sb} \cdot (y_{\max} - 0) + x_{A1} \Rightarrow x(275) = \tan(14,90^\circ) \cdot 275 + 250 \Rightarrow$$

$$x_{B\eta 1} = 323$$

βλέπουμε ότι $x_{B\eta 1} > 310$ (x_{\max}) και άρα η κορυφή $K\eta I_1$ του ηλιακού ίχνους βρίσκεται στον τοίχο AT και είναι η προβολή $A\eta_1$ ($x_{A\eta 1}, y_{A\eta 1}, z_{A\eta 1}$) του A_1 σε αυτόν.

Οι συντεταγμένες ($y_{A\eta 1}, z_{A\eta 1}$) του $A\eta_1$ εξάγονται από το σύστημα εξισώσεων 3.5 με $\gamma = \gamma_{sb}$, $x = x_{\max}$, $x_0 = x_{A1}$, $z_0 = z_{A1}$, $y_0 = y_{A1} = 0$:

$$\left\{ \begin{array}{l} y(x_{\max}) = \frac{(x_{\max} - x_{A1})}{\tan\gamma_{sb}} + 0 \\ z(x_{\max}) = \frac{\tan\alpha}{\sin\gamma_{sb}} \cdot (x_{A1} - x_{\max}) + z_{A1} \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} y(310) = \frac{(310 - 250)}{\tan(14,90^\circ)} \\ z(310) = \frac{\tan(30,34^\circ)}{\sin(14,90^\circ)} \cdot (250 - 310) + 200 \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$\left\{ \begin{array}{l} y_{A\eta 1} = 228 \\ z_{A\eta 1} = 62 \end{array} \right\}$$

Για την προβολή $B\eta_4$ του A_4 στον τοίχο BT έχουμε (2.6):

$$x(y_{\max}) = \tan\gamma_{sb} \cdot (y_{\max} - 0) + x_{A4} \Rightarrow x(275) = \tan(14,90^\circ) \cdot 275 + 100 \Rightarrow$$

$$x_{B\eta 4} = 172$$

βλέπουμε ότι $0 < x_{B\eta 4} < 310$ (x_{\max}) και άρα η κορυφή $K\eta I_4$ του ηλιακού ίχνους βρίσκεται στον τοίχο BT και είναι η προβολή $B\eta_4$ ($x_{B\eta 4}, y_{B\eta 4}, z_{B\eta 4}$) του A_4 σε αυτόν.

$$z(y_{\max}) = \frac{\tan\alpha}{\cos\gamma_{sb}} \cdot (0 - y_{\max}) + z_{A4} \Rightarrow z(275) = -\frac{\tan(30,34^\circ)}{\cos(14,90^\circ)} \cdot 275 + 200 \Rightarrow$$

$$z_{A\eta 4} = 34$$

Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω οι προβολές των κορυφών του ανοίγματος στο δωμάτιο είναι:

| Προβολές Κορυφών Παραθύρου στο Δωμάτιο. | | | |
|--|-----|-----|----|
| | x | y | z |
| Τοίχος AT | | | |
| A η_1 | 310 | 228 | 62 |
| Πότωμα | | | |
| Π_2 | 294 | 165 | 0 |
| Π_3 | 144 | 165 | 0 |
| Τοίχος BT | | | |
| B η_4 | 172 | 275 | 34 |

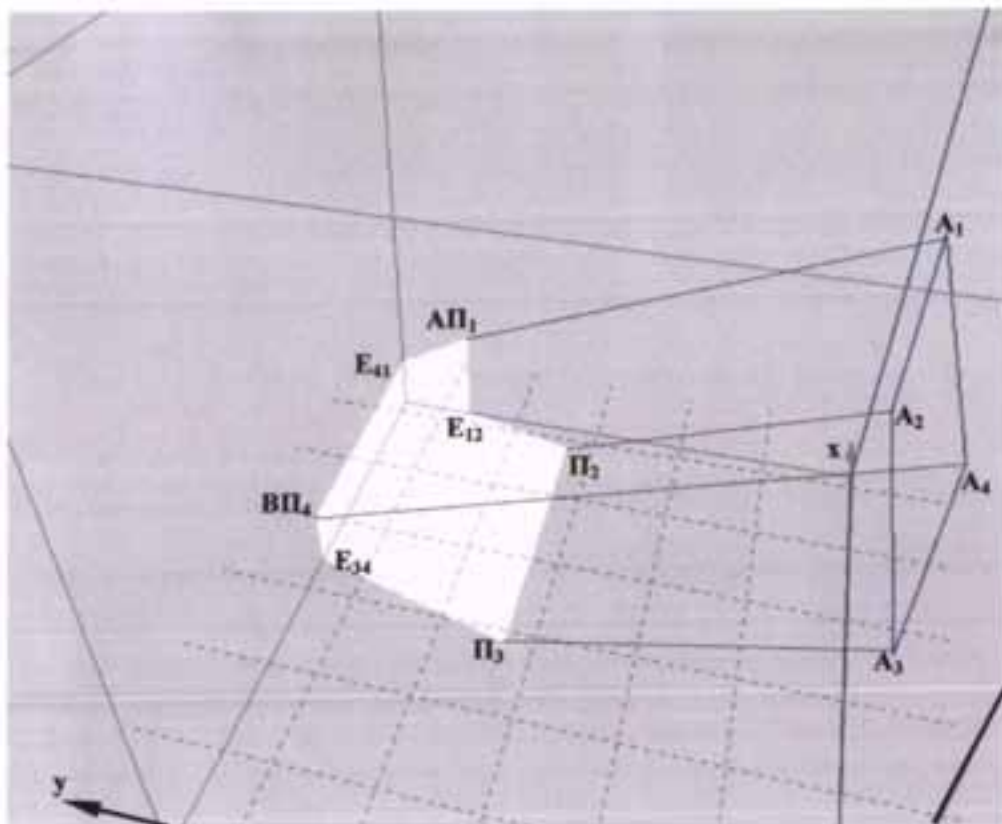
Το επόμενο βήμα είναι να βρεθούν τα ενδιάμεσα σημεία:

Το ενδιάμεσο E_{12} ($x_{\max}, y_{E_{12}}, 0$) μεταξύ του $ΑΠ_1$ στον τοίχο $ΑΤ$, και του $Π_2$ στο πάτωμα σύμφωνα με την παρατήρηση 2.1 [η "προβολή" $ΑΠ_1E_{12}$ της ακμής $Α_1A_2$ του παραθύρου στον τοίχο $ΑΤ$ είναι παράλληλη στην $Α_1A_2$ που είναι κατακόρυφη ($γ_{A_1}=γ_{A_2}$)] θα έχει το ίδιο $γ$ με το $ΑΠ_1$. Δηλαδή $γ_{E_{12}}=γ_{ΑΠ_1}$. Άρα οι συντεταγμένες του E_{12} είναι: **$x_{E_{12}}=310, y_{E_{12}}=228, z_{E_{12}}=0$** .

Το ενδιάμεσο E_{34} ($x_{E_{34}}, y_{\max}, 0$) μεταξύ του $Π_3$ στο πάτωμα, και του $ΒΠ_4$ στον τοίχο $ΒΤ$ αντίστοιχα [παράλληλα ακμής $Α_3A_4$ (κατακόρυφη) και "προβολής" της $E_{34}ΒΠ_4$ στον τοίχο $ΒΤ$] θα έχει το ίδιο x με το $ΒΠ_4$. Δηλαδή $x_{E_{34}}=x_{ΒΠ_4}$. Άρα οι συντεταγμένες του E_{34} είναι: **$x_{E_{34}}=172, y_{E_{34}}=275, z_{E_{34}}=0$** .

Το τελευταίο ενδιάμεσο E_{41} ($x_{\max}, y_{\max}, z_{E_{41}}$) είναι αυτό μεταξύ του $ΒΠ_4$ στον τοίχο $ΒΤ$, και του $ΑΠ_1$ στον τοίχο $ΑΤ$. Αντίστοιχα (παράλληλα μεταξύ ακμής $Α_4A_1$ (οριζόντια) και "προβολής" της $ΒΠ_4E_{41}$ στον τοίχο $ΒΤ$) το E_{41} θα έχει το ίδιο z με το $ΒΠ_4$. Δηλαδή $z_{E_{41}}=z_{ΒΠ_4}$. Άρα οι συντεταγμένες του E_{41} είναι: **$x_{E_{41}}=310, y_{E_{41}}=275, z_{E_{41}}=34$** .

Έτσι καταλήγουμε σε όλα τα σημεία που ορίζουν ηλιακό ίχνος:



Σχήμα 3.7: Σχηματισμός φωτεινού ίχνους σε τρία επίπεδα.

| Συντεταγμένες Κορυφών Ηλιακού Ίχνους | | | |
|--------------------------------------|-----|-----|----|
| | x | y | z |
| ΑΠ ₁ | 310 | 228 | 62 |
| Ε ₁₂ | 310 | 228 | 0 |
| Π ₂ | 294 | 165 | 0 |
| Π ₃ | 144 | 165 | 0 |
| Ε ₃₄ | 172 | 275 | 0 |
| ΒΠ ₄ | 172 | 275 | 34 |
| Ε ₄₁ | 310 | 275 | 34 |

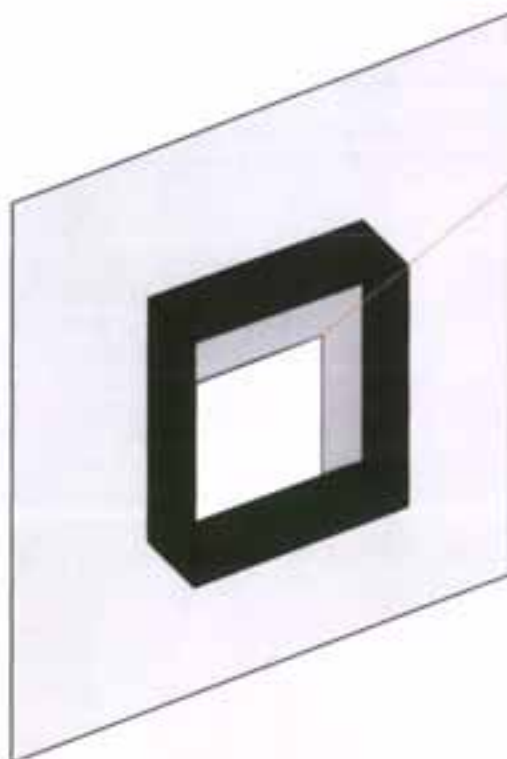
3.4.3 Σκίαση

Όταν αντιμετωπίζουμε περιπτώσεις με σκίαστρα το φαινόμενο του ηλιασμού ενός δωματίου μέσω ανοίγματός του, που έχουμε περιγράψει ως εδώ διαφοροποιείται όσον αφορά τη μεταβολή του ανοίγματος που "φωτίζει" το δωμάτιο. Για να βρούμε το άνοιγμα αυτό προβάλλουμε τα σκίαστρα επάνω στο επίπεδο του ανοίγματος (με τον ίδιο τρόπο που εργαστήκαμε παραπάνω) και σαν άνοιγμα θεωρούμε την ασκίαστη επιφάνεια, οπότε αναγόμεστε στα παραπάνω βήματα. Ένα εσωτερικό άνοιγμα τοίχου σκιάζεται πάντα από τον τοίχο λόγω του πάχους του και μπορεί να σκιάζεται από ενδεχόμενα επιπλέον σκίαστρα (π.χ. τέντες)

3.4.3.1 Πάχος τοίχου

Μέχρι τώρα θεωρούσαμε τον τοίχο χωρίς πάχος. Για να λάβουμε υπόψη μας το πάχος αρκεί να προσδιορίσουμε την σκιά του στο παράθυρο και να θεωρήσουμε ως άνοιγμα το ασκίαστο μέρος του.

Για να προσδιορίσουμε τις συντεταγμένες των κορυφών του ασκίαστου μέρους του ανοίγματος λαμβάνουμε υπόψη μας το παρακάτω σχήμα.(σχ. 3.8).



Σχήμα 3.8: Σκιά του τοίχου στο παράθυρο.

Η σκίαση του ανοίγματος από τον τοίχο (λόγω του πάχους του) εξαρτάται από τη θέση του ήλιου σε σχέση με τον τοίχο, δηλαδή από τη γωνία γ_{se} και μπορεί να έχει μία από τις τρεις μορφές:



Σχήμα 3.9: Οι τρεις περιπτώσεις σκίασης ανοίγματος από τον τοίχο λόγω του πάχους του

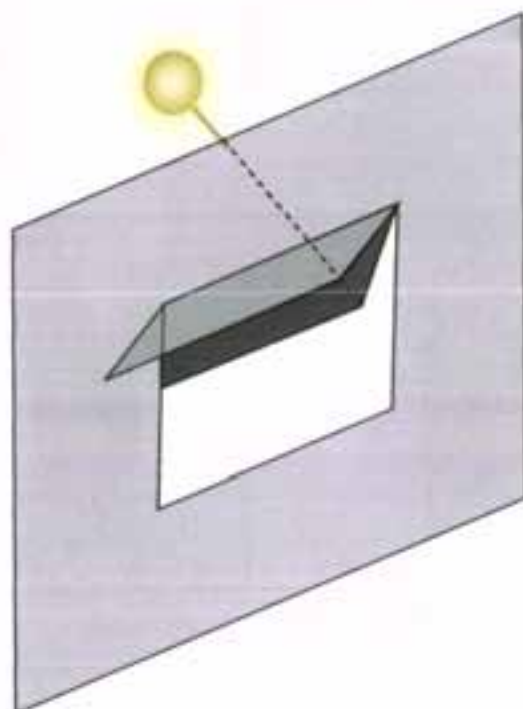
Αρκεί λοιπόν σε κάθε περίπτωση να βρούμε την προβολή μίας εκ των άνω κορυφών του εξωτερικού ανοίγματος του τοίχου στο επίπεδο του παραθύρου για προσδιορίσουμε τις κορυφές του ασκιάστου ανοίγματος. Στη συνέχεια ως άνοιγμα θα θεωρούμε αυτό.

3.4.3.2 Σκίαστρα

Για το οποιοδήποτε σκίαστρο προβάλουμε το σκίαστρο στο επίπεδο του ανοίγματος και συναληθεύουμε με τα όρια του ανοίγματος με τον ίδιο τρόπο που εργαστήκαμε

για την προβολή του ανοίγματος στο πάτωμα. Στη συνέχεια προβάλλουμε το σκίαστο μέρος στα εσωτερικά επίπεδα κατά τα γνωστά.

Για οριζόντιο σκίαστρο προσαρτημένο στον τοίχο (τέντα) εργαζόμαστε ανάλογα προβάλλοντας τα **δύο** απομακρυσμένα, από τον τοίχο, σημεία του σ' αυτόν. Έτσι βρίσκουμε τις κορυφές της προβολής του σκιάστρου στο επίπεδο του παραθύρου. Ο γεωμετρικός τόπος των σημείων του παραθύρου που δεν ανήκουν στην σκιά που αυτές ορίζουν είναι το απομένον άνοιγμα που "φωτίζει" το δωμάτιο και μας ενδιαφέρει. Αρκεί λοιπόν βρούμε τη σκιαζόμενη περιοχή του παραθύρου δηλαδή να βρούμε τις τομές των ακμών της σκιάς με αυτές του παραθύρου (σχήμα 3.10).



Σχήμα 3.10: Σκίαση του ανοίγματος

Παράδειγμα 3 (Προσδιορισμός ηλιασμού με εξωτερική σκίαση)

Ας ξαναγυρίσουμε στο παράδειγμα 1. Θεωρούμε τοίχο με πάχος 20cm. Οι συντεταγμένες των κορυφών του παραθύρου διαμορφώνονται ως εξής:

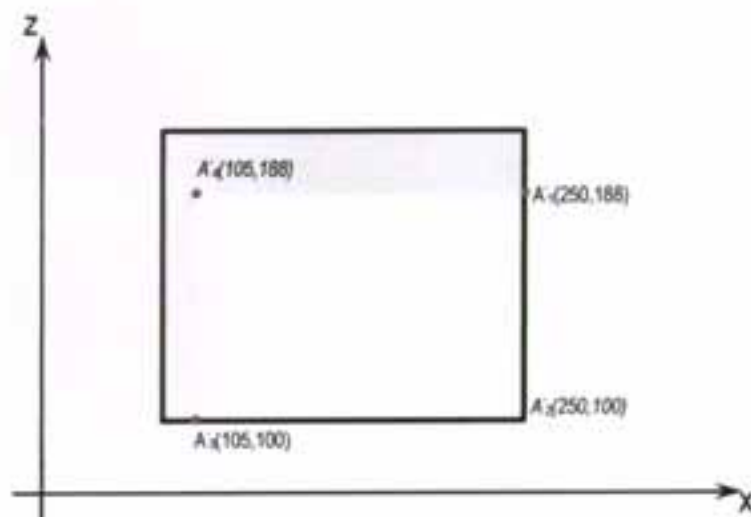
| Συντεταγμένες Παραθύρου | | | |
|-------------------------|-----|-----|-----|
| | x | y | z |
| A ₁ | 250 | -20 | 200 |
| A ₂ | 250 | -20 | 100 |
| A ₃ | 100 | -20 | 100 |
| A ₄ | 100 | -20 | 200 |

Σύμφωνα με τα παραπάνω (σχήμα 3.9), επειδή $\gamma_{ab}=14,90^\circ > 0$ για να βρούμε το μέρος του ανοίγματος που δεν σκιάζεται από το πάχος του τοίχου αρκεί να προβάσουμε την κορυφή $A_4(100,-20,200)$ του παραθύρου στο επίπεδο $y=0$, κατά την διεύθυνση των ακτίνων του ηλίου.

Από τη σχέση 3.6 με $y=0$, $x_0=100$, $y_0=-20$, $z_0=200$, $\gamma=\gamma_{ab}=14,90^\circ$ και $\sigma=30,34^\circ$ έχουμε:

$$\left\{ \begin{array}{l} x(y) = \tan \gamma \cdot (y - y_0) + x_0 \\ z(y) = \frac{\tan \sigma}{\cos \gamma} \cdot (y_0 - y) + z_0 \\ y = y_p \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} x(0) = \tan(14,90^\circ) \cdot (0 - (-20)) + 100 \\ z(0) = \frac{\tan(30,34^\circ)}{\cos(14,90^\circ)} \cdot ((-20) - (0)) + 200 \\ y = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x_{A_4} = 105 \\ z_{A_4} = 188 \end{array} \right\}$$

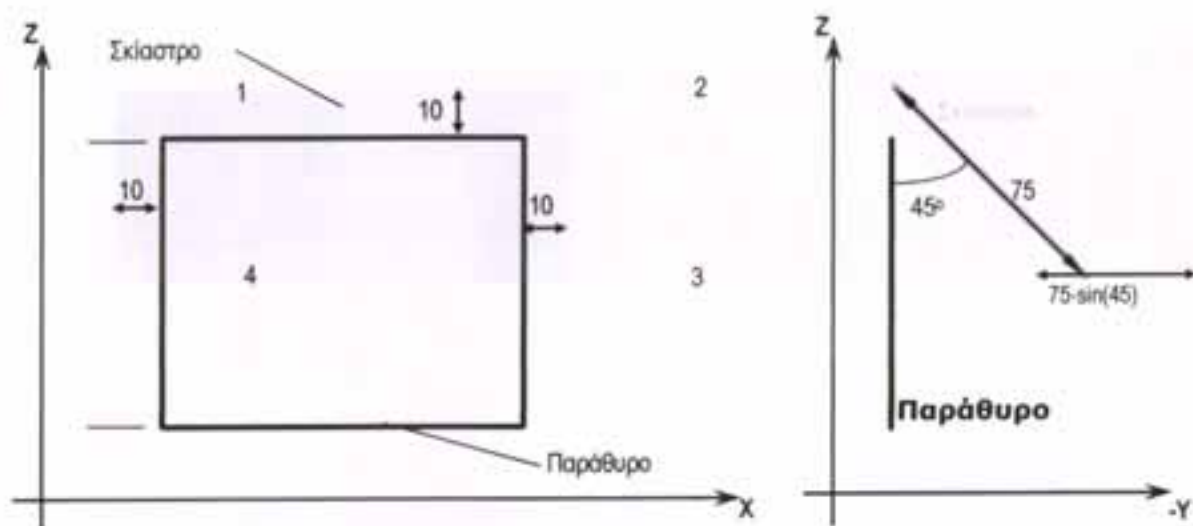


Σχήμα 3.11: Σκίαση του ανοίγματος από το πάχος του τοίχου

Επίσης θεωρούμε σκίαστρο με χαρακτηριστικά:

| Σκίαστρο | |
|----------------------|-----|
| Άνω Απομάκρυνση | 10 |
| Αριστερή απομάκρυνση | 10 |
| Δεξιά απομάκρυνση | 10 |
| Βάθος | 75 |
| Κλίση | 45° |

Οι συντεταγμένες των κορυφών του σκιάστρου υπολογίζονται με τη βοήθεια του σχήματος 3.12.



Σχήμα 3.12: Πλάγιες όψεις συστήματος παραθύρου σκιάστρου του παραδείγματος 3

Τα σημεία 1 και 2 έχουν το ίδιο y με το παράθυρο δηλαδή είναι απομακρυσμένα από τον τοίχο κατά το πάχος του και άρα $y_1=y_2=-20$

Από το σχήμα 2.11 έχουμε: $x_1=100-10 \Rightarrow x_1=90$, $x_2=250+10 \Rightarrow x_2=260$ και $z_1=z_2=200+10 \Rightarrow z_1=z_2=210$

Τα σημεία 3 και 4 είναι απομακρυσμένα κατά $y=75 \cdot \sin(45)$ από το επίπεδο του παραθύρου, οπότε: $y_3=y_4=-20-75 \cdot \sin(45)=-20-53 \Rightarrow y_3=y_4=-73$

Επίσης το z τους είναι μικρότερο από το z των 1,2 κατά $75 \cdot \cos(45)=53$ δηλαδή $z_3=z_4=210-53 \Rightarrow z_3=z_4=157$

| Συντεταγμένες Σκιάστρου | | | |
|-------------------------|-----|-----|-----|
| | x | Y | Z |
| 1 | 90 | -20 | 210 |
| 2 | 260 | -20 | 210 |
| 3 | 260 | -73 | 157 |
| 4 | 90 | -73 | 157 |

Και τέλος $x_4=x_1 \Rightarrow x_4=90$ και $x_3=x_2 \Rightarrow x_3=260$

Στη συνέχεια προβάλλουμε τις κορυφές του σκιάστρου στο επίπεδο του ανοίγματος $y=0$ κατά τη διεύθυνση των ηλιακών ακτινών.

Από την εξίσωση 2.6 με $y=0$, $y_0=-73$, $z_0=157$, $\gamma=y_{\omega}=14,90^\circ$ και $\sigma=30,34^\circ$ έχουμε:

Για το **σημείο 1'** ($x_0=90, y_0=-20, z_0=210$):

$$\left. \begin{array}{l} x(y) = \tan\gamma \cdot (y - y_0) + x_0 \\ z(y) = \frac{\tan\alpha}{\cos\gamma} \cdot (y_0 - y) + z_0 \\ y = y_p \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} x(0) = \tan(14,90^\circ) \cdot (0 - (-20)) + 90 \\ z(0) = \frac{\tan(30,34^\circ)}{\cos(14,90^\circ)} \cdot ((-20) - (0)) + 210 \\ y = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$\left. \begin{array}{l} \mathbf{x_1 = 95} \\ \mathbf{z_1 = 198} \end{array} \right\}$$

Για το **σημείο 2'** ($x_0=260, y_0=-20, z_0=210$):

$$\left. \begin{array}{l} x(y) = \tan\gamma \cdot (y - y_0) + x_0 \\ z(y) = \frac{\tan\alpha}{\cos\gamma} \cdot (y_0 - y) + z_0 \\ y = y_p \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} x(0) = \tan(14,90^\circ) \cdot (0 - (-20)) + 260 \\ z(0) = \frac{\tan(30,34^\circ)}{\cos(14,90^\circ)} \cdot ((-20) - (0)) + 210 \\ y = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$\left. \begin{array}{l} \mathbf{x_2 = 265} \\ \mathbf{z_2 = 198} \end{array} \right\}$$

Για το **σημείο 3'** ($x_0=260, y_0=-73, z_0=157$):

$$\left. \begin{array}{l} x(y) = \tan\gamma \cdot (y - y_0) + x_0 \\ z(y) = \frac{\tan\alpha}{\cos\gamma} \cdot (y_0 - y) + z_0 \\ y = y_p \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} x(0) = \tan(14,90^\circ) \cdot (0 - (-73)) + 260 \\ z(0) = \frac{\tan(30,34^\circ)}{\cos(14,90^\circ)} \cdot ((-73) - (0)) + 157 \\ y = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow$$

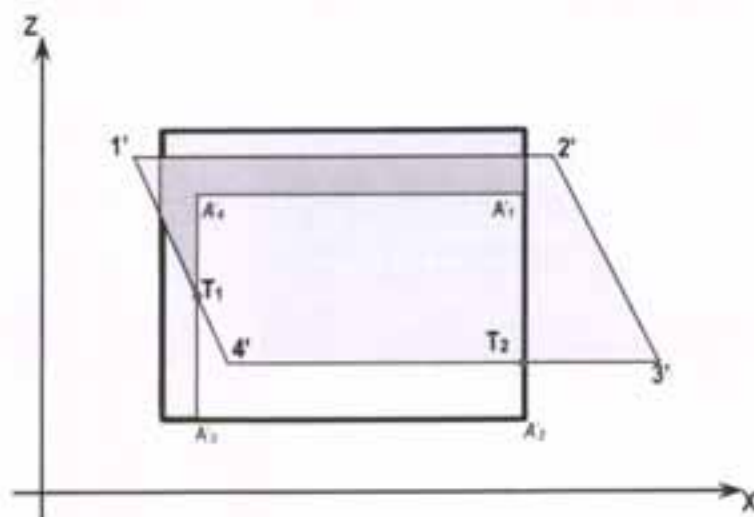
$$\left. \begin{array}{l} \mathbf{x_3 = 279} \\ \mathbf{z_3 = 113} \end{array} \right\}$$

Για το **σημείο 4'** ($x_0=90, y_0=-73, z_0=157$):

$$\left. \begin{array}{l} x(y) = \tan\gamma \cdot (y - y_0) + x_0 \\ z(y) = \frac{\tan\alpha}{\cos\gamma} \cdot (y_0 - y) + z_0 \\ y = y_p \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} x(0) = \tan(14,90^\circ) \cdot (0 - (-73)) + 90 \\ z(0) = \frac{\tan(30,34^\circ)}{\cos(14,90^\circ)} \cdot ((-73) - (0)) + 157 \\ y = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$\left. \begin{array}{l} \mathbf{x_4 = 109} \\ \mathbf{z_4 = 113} \end{array} \right\}$$

Έτσι το παράθυρο σκιάζεται όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί:



Σχήμα 3.13: Το άνοιγμα που απομένει και τελικά φωτίζει το δωμάτιο

Για το T_2 ισχύει: $x_{T_2}=x_{A_2}=250$, $y_{T_2}=0$ και $z_{T_2}=z_{3'}=113$, δηλαδή $T_2(250, 0, 113)$.

Η εξίσωση της ευθείας που ορίζεται από τα σημεία $1'$, $4'$ δίνεται από τη σχέση:

$$\frac{x - x_{1'}}{x_{4'} - x_{1'}} = \frac{z - z_{1'}}{z_{4'} - z_{1'}}$$

Άρα

$$z_{T_1} = \frac{(x_{T_1} - x_{1'}) \cdot (z_{4'} - z_{1'})}{x_{4'} - x_{1'}} + z_{1'} \Rightarrow z_{T_1} = \frac{(105 - 95) \cdot (113 - 198)}{109 - 95} + 198 \Rightarrow$$

$$z_{T_1} = 137$$

οπότε $T_1(105, 0, 137)$.

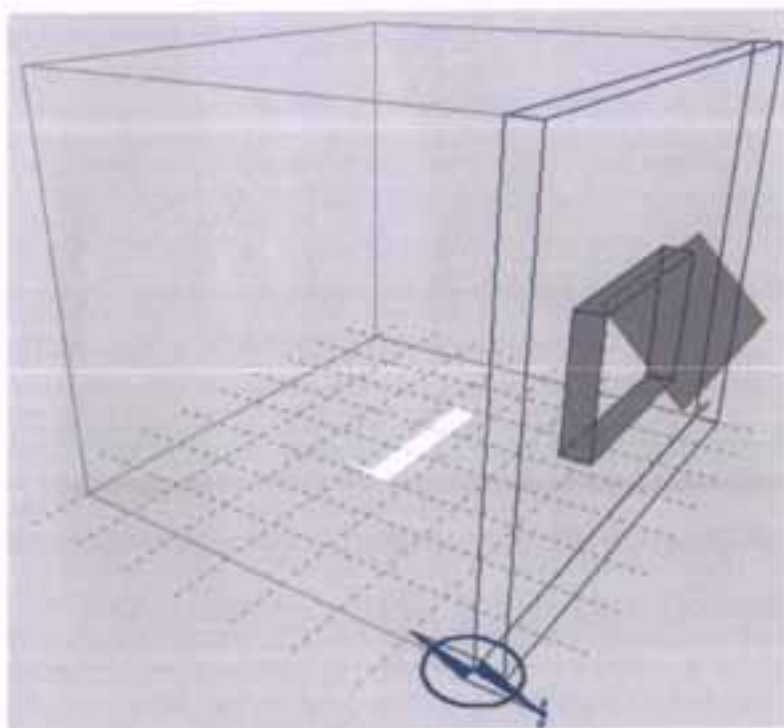
Η διαδικασία συνεχίζεται προβάλλοντας το τελικό άνοιγμα στο δωμάτιο.

Κάνοντας διερεύνηση διαπιστώνουμε ότι όλες οι κορυφές του ηλιακού ίχνους βρίσκονται στο πάτωμα (σχήμα 3.13, 3.14).

| Συντεταγμένες Κορυφών Ηλιακού Ίχνους | | | |
|---|-----|-----|---|
| | x | y | z |
| ΚΗ ₁ | 292 | 165 | 0 |

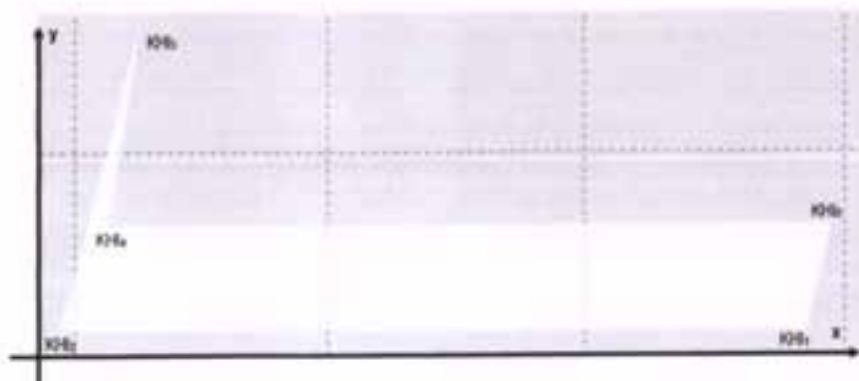
| | | | |
|--------|-----|-----|---|
| KH_2 | 148 | 165 | 0 |
| KH_3 | 163 | 223 | 0 |
| KH_4 | 157 | 185 | 0 |
| KH_5 | 298 | 185 | 0 |

Το αποτέλεσμα φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί



Σχήμα 3.14: Επίδραση πάχους τοίχου και σκιάστρου στον ηλιασμό δωματίου.

Ακολουθεί μια μεγέθυνση της κάτοψης του παραπάνω σχήματος επικεντρωμένη στην περιοχή που πέφτει το φως του ήλιου.



Σχήμα 3.15: Μεγέθυνση της κάτοψης του σχήματος 2.13

3.5 Υπολογισμός εμβαδού φωτεινού ίχνους

Για να υπολογίσουμε το εμβαδόν του ηλιακού ίχνους αρκεί να προσδιορίσουμε τις εξισώσεις των ακμών του. Το εμβαδόν προκύπτει με το άθροισμα των ολοκληρωμάτων των ακμών ως προς το επίπεδο του ίχνους. Δηλαδή:

$$\text{Εμβαδόν Φωτεινού ίχνους} = \sum_{i=1}^n \int_{x_i}^{x_{(i+1)}} \left[\left(\frac{Y_{(i+1)} - Y_i}{X_{(i+1)} - X_i} \right) (x - x_i) + y_i \right] dx \quad (3.9)$$

όμως:

$$\begin{aligned} & \int_{x_i}^{x_{(i+1)}} \left[\left(\frac{Y_{(i+1)} - Y_i}{X_{(i+1)} - X_i} \right) (x - x_i) + y_i \right] dx = \\ & = \int_{x_i}^{x_{(i+1)}} \left[\left(\frac{Y_{(i+1)} - Y_i}{X_{(i+1)} - X_i} \right) x \right] dx - \int_{x_i}^{x_{(i+1)}} \left[\left(\frac{Y_{(i+1)} - Y_i}{X_{(i+1)} - X_i} \right) x_i \right] dx + \int_{x_i}^{x_{(i+1)}} y_i dx = \\ & = \left[\left(\frac{Y_{(i+1)} - Y_i}{X_{(i+1)} - X_i} \right) \frac{x^2}{2} \right]_{x_i}^{x_{(i+1)}} - \left[\left(\frac{Y_{(i+1)} - Y_i}{X_{(i+1)} - X_i} \right) x_i x \right]_{x_i}^{x_{(i+1)}} + [y_i x]_{x_i}^{x_{(i+1)}} = \\ & = \left(\frac{Y_{(i+1)} - Y_i}{X_{(i+1)} - X_i} \right) \frac{(x_{(i+1)})^2}{2} - \left(\frac{Y_{(i+1)} - Y_i}{X_{(i+1)} - X_i} \right) \frac{(x_i)^2}{2} - \left(\frac{Y_{(i+1)} - Y_i}{X_{(i+1)} - X_i} \right) x_i x_{(i+1)} + \\ & \left(\frac{Y_{(i+1)} - Y_i}{X_{(i+1)} - X_i} \right) x_i x_i + y_i x_{(i+1)} - y_i x_i = \\ & = \left(\frac{Y_{(i+1)} - Y_i}{X_{(i+1)} - X_i} \right) \left[\frac{(x_{(i+1)})^2}{2} - \frac{(x_i)^2}{2} - x_i x_{(i+1)} + x_i x_i \right] + y_i (x_{(i+1)} - x_i) = \\ & = \left(\frac{Y_{(i+1)} - Y_i}{X_{(i+1)} - X_i} \right) \left[\frac{(x_{(i+1)} - x_i)(x_{(i+1)} + x_i)}{2} - x_i (x_{(i+1)} - x_i) \right] + y_i (x_{(i+1)} - x_i) = \\ & = (Y_{(i+1)} - Y_i) \left[\frac{(x_{(i+1)} + x_i)}{2} - x_i \right] + y_i (x_{(i+1)} - x_i) = \\ & = (Y_{(i+1)} - Y_i) \frac{(x_{(i+1)} + x_i) - 2x_i}{2} + y_i (x_{(i+1)} - x_i) = \\ & = (Y_{(i+1)} - Y_i) \frac{x_{(i+1)} - x_i}{2} + y_i (x_{(i+1)} - x_i) = \frac{(Y_{(i+1)} - Y_i)(x_{(i+1)} - x_i) + 2y_i(x_{(i+1)} - x_i)}{2} = \\ & = \frac{(x_{(i+1)} - x_i) [(Y_{(i+1)} - Y_i) + 2y_i]}{2} \Rightarrow \end{aligned}$$

$$\left\{ E = \sum_{i=1}^n \frac{(x_{(i+1)} - x_i)(y_{(i+1)} + y_i)}{2} \right\} \quad (3.10)$$

όπου n είναι ο αριθμός των σημείων του φωτεινού ίχνους.

Στην περίπτωση που το φωτεινό ίχνος πέφτει σε παραπάνω από ένα επίπεδα, τότε υπολογίζουμε το εμβαδόν κάθε επιπέδου χωριστά.

4.1 Εισαγωγή

Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναπτύχθηκε ένα γενικό μαθηματικό μοντέλο που επιτρέπει την πρόβλεψη της εισχώρησης της ηλιακής ακτινοβολίας σε εσωτερικούς χώρους μέσω των εξωτερικών ανοιγμάτων τους και την κατανομή της στις εσωτερικές επιφάνειες.

Με βάση το μοντέλο αυτό, δημιουργήθηκε η εφαρμογή λογισμικού *INSOLATION 1.0*, στο προγραμματιστικό περιβάλλον *Visual Basic 6.0*, του πακέτου *Microsoft Visual Studio 6.0*. Επιπλέον, για τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου χρησιμοποιήθηκε το προγραμματιστικό ActiveX εργαλείο *Vector Imaging Pro 12.1* της *LEAD Technologies*.

Η ανάπτυξη της εφαρμογής *INSOLATION 1.0* έγινε με σκοπό να αποτελέσει βοηθητικό εργαλείο στα χέρια του μηχανικού που ασχολείται με τον ενεργειακό σχεδιασμό των κτιρίων και ειδικά με τον Παθητικό Ηλιακό Σχεδιασμό, σε ένα φιλικό περιβάλλον χρήσης.

Σε αυτό συμβάλλει το γραφικό περιβάλλον χρήσης, με εύκολη εισαγωγή των δεδομένων του προβλήματος και παρουσίαση των αποτελεσμάτων τόσο σε αριθμητική μορφή όσο και σε οπτικοποιημένα.

Συγκεκριμένα, η εφαρμογή περιλαμβάνει:

- Την κύρια οθόνη της εφαρμογής, που περιλαμβάνει τα πεδία εισαγωγής δεδομένων, τη βασική γραμμή εργαλείων από όπου ενεργοποιούνται τα επιμέρους εργαλεία, και το χώρο στον οποίο αναπτύσσονται οι επιμέρους φόρμες.
- Το τρισδιάστατο οπτικό μοντέλο
- Τον ηλιακό χάρτη
- Τη φόρμα γραφικών παραστάσεων
- Την αναλυτική αναφορά των δεδομένων και των αποτελεσμάτων

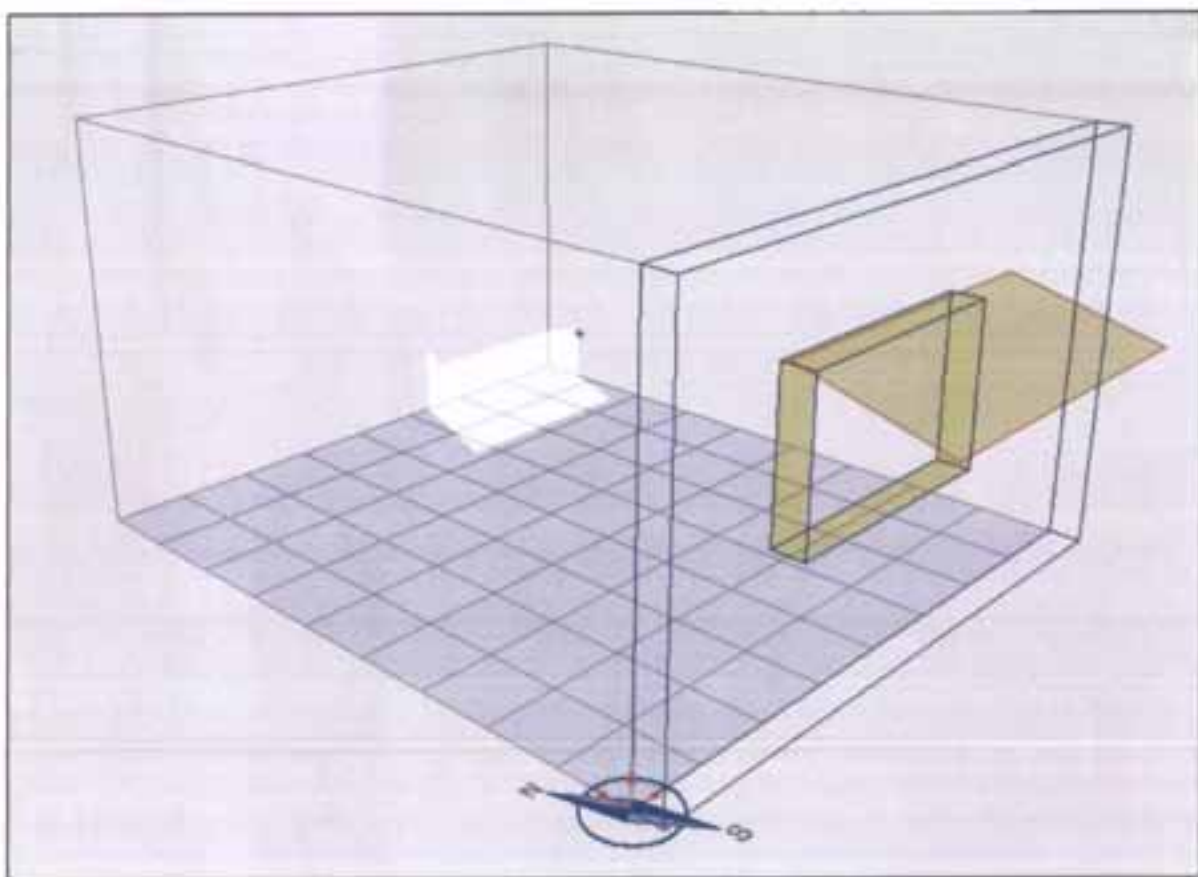
Στη συνέχεια παρουσιάζεται ξεχωριστά καθένα από τα παραπάνω στοιχεία

4.2 Γενική περιγραφή

Η εφαρμογή αναλύει τον ηλιασμό ενός παραλληλεπίπεδου χώρου με ένα ορθογώνιο άνοιγμα σε μία του όψη. Οι διαστάσεις του χώρου και του ανοίγματος είναι στοιχεία που επιλέγονται από το χρήστη. Επιπλέον υπάρχει η δυνατότητα προσθήκης ενός κινητού οριζόντιου πετάσματος μεταβλητού μεγέθους και κλίσης στην όψη του ανοίγματος, ενώ πρέπει να σημειωθεί ότι μπορεί να δοθεί η επιθυμητή τιμή στο πάχος του τοίχου που περιέχει το άνοιγμα, το οποίο επηρεάζει σημαντικά τον ηλιασμό του χώρου. Η ανάλυση του ηλιασμού μπορεί να γίνει για οποιοδήποτε προσανατολισμό της πρόσοψης, γεωγραφική τοποθεσία, ημέρα του έτους και ώρα της ημέρας.

Η ανάλυση του ηλιασμού περιλαμβάνει:

- Οπτική απεικόνιση του χώρου σε τρισδιάστατο μοντέλο, όπου απεικονίζεται ο χώρος, το άνοιγμα, το πέτασμα, ο προσανατολισμός του χώρου με μορφή πυξίδας και το φωτεινό ίχνος που σχηματίζεται στις εσωτερικές επιφάνειες του χώρου από την άμεση πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας σε αυτές.



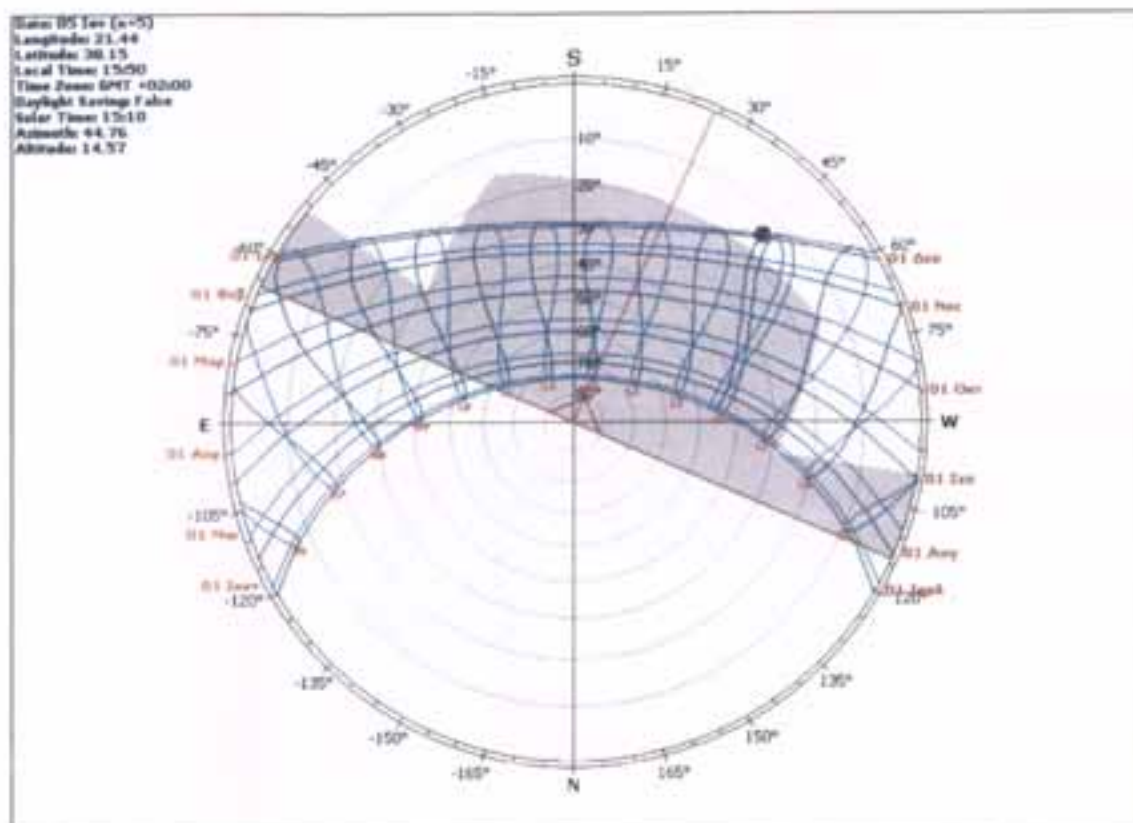
Εικόνα 4.1: Τρισδιάστατη απεικόνιση του χώρου, που δείχνει τη θέση του ανοίγματος και του πετάσματος, τον προσανατολισμό της πρόσοψης και την κατανομή του ηλιακού ίχνους στις εσωτερικές επιφάνειες του χώρου για δεδομένη στιγμή.

- Αναφορά με τις αριθμητικές τιμές των μεγεθών της ηλιακής γεωμετρίας που παρουσιάζουν ενδιαφέρον, όπως το ηλιακό ύψος και αζιμούθιο για το δεδομένη στιγμή, η γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας στην επιφάνεια της πρόσοψης, οι ώρες ηλιοφάνειας της ημέρας στην επιλεγμένη τοποθεσία κλπ. Και τέλος, αναφορά για την εισχώρηση ή μη της άμεσης ακτινοβολίας στο χώρο και ανάλυση της διασποράς και της θέσης του ηλιακού ίχνους στο χώρο, με τη μορφή των αναλυτικών συντεταγμένων των κορυφών του σε κάθε επιφάνεια

| Results | |
|--|--|
| General | |
| Solar Declination: -22,65° | |
| Iext,0: 1397,48 W/m ² | |
| Sunrise: 07:56 (h _{sr} =-70,87) | |
| Sunset: 17:23 (h _{ss} =70,87) | |
| Facade Insolation Period: [07:56-17:23] | |
| Solar Azimuth: 44,76° | |
| Solar Altitude: 14,57° | |
| Facade Incidence Angle: 25,18° | |
| Light Profile Coordinates | |
| Floor: | |
| (400,00 ; 460,00 ; 0,00) | |
| (400,00 ; 395,69 ; 0,00) | |
| (386,39 ; 359,78 ; 0,00) | |
| (243,97 ; 359,78 ; 0,00) | |
| (281,96 ; 460,00 ; 0,00) | |
| Rear Wall: | |
| (400,00 ; 460,00 ; 0,00) | |
| (281,96 ; 460,00 ; 0,00) | |
| (281,96 ; 460,00 ; 48,77) | |
| (294,70 ; 460,00 ; 31,05) | |
| (400,00 ; 460,00 ; 31,05) | |
| Right Wall: | |
| (400,00 ; 460,00 ; 0,00) | |
| (400,00 ; 395,69 ; 0,00) | |
| (400,00 ; 395,69 ; 48,93) | |
| (400,00 ; 460,00 ; 31,05) | |

Εικόνα 4.2: Αναφορά με στοιχεία τις ώρες ανατολής και δύσης του ήλιου, τη θέση του ήλιου στη δεδομένη στιγμή, καθώς και την κατανομή του φωτεινού ίχνους και τις αναλυτικές συντεταγμένες των κορυφών του.

- Τον ηλιακό χάρτη της επιλεγμένης τοποθεσίας, στον οποίο απεικονίζεται η θέση του ήλιου τη δεδομένη χρονική στιγμή, ο προσανατολισμός της πρόσοψης ως προς τη νότια διεύθυνση και η μάσκα σκιασμού που δημιουργείται από το πέτασμα και το πάχος του τοίχου ως προς το κέντρο του παραθύρου



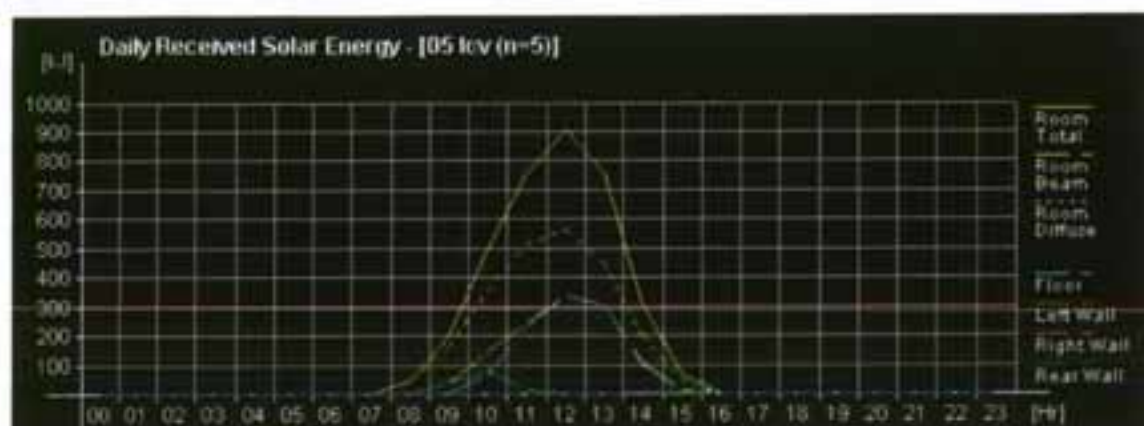
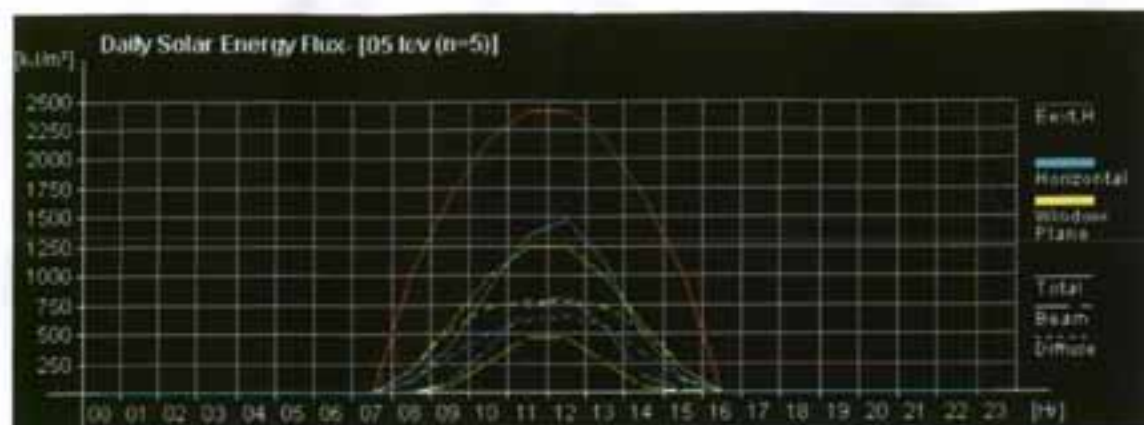
Εικόνα 4.3: Πολικός ηλιακός χάρτης της γεωγραφικής τοποθεσίας, όπου φαίνεται η θέση του ήλιου στη δεδομένη στιγμή, ο προσανατολισμός της πρόσοψης και η μάσκα ακίασης του κέντρου του ανοίγματος.

- Αναλυτική αναφορά για τη διαθέσιμη ακτινοβολία στην περιοχή για όλες τις ώρες της ημέρας, καθώς και για την ενέργεια που λαμβάνει ωριαία τόσο ο χώρος γενικά, όσο και η κάθε εσωτερική επιφάνεια ξεχωριστά.

| Daily Solar Radiation Report | | | | | | | | | |
|------------------------------|---------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------|--------------|--------------|-----------|
| Day 5 (05 Jan) | | | | | | | | | |
| Hour [Solar] | Rt (Hz) | Rext,H [KJ/m²] | Rt,H [KJ/m²] | Rd,H [KJ/m²] | Rb,H [KJ/m²] | AvgRb | Rb,V [KJ/m²] | AvgArea [m²] | Rb,V [KJ] |
| 07:00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | Behind | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 08:00 | 0,19 | 1019,79 | 196,04 | 192,65 | 3,39 | 1,50 | 5,08 | 0,62 | 3,10 |
| 09:00 | 0,35 | 1691,86 | 590,78 | 534,74 | 56,05 | 1,37 | 76,97 | 0,56 | 43,21 |
| 10:00 | 0,46 | 2167,09 | 997,24 | 736,31 | 260,93 | 1,42 | 371,59 | 0,39 | 143,85 |
| 11:00 | 0,52 | 2413,09 | 1249,08 | 776,73 | 472,35 | 1,55 | 732,02 | 0,34 | 246,75 |
| 12:00 | 0,52 | 2413,09 | 1249,08 | 776,73 | 472,35 | 1,76 | 829,76 | 0,41 | 338,72 |
| 13:00 | 0,46 | 2167,09 | 997,24 | 736,31 | 260,93 | 2,10 | 549,63 | 0,56 | 309,37 |
| 14:00 | 0,35 | 1691,86 | 590,78 | 534,74 | 56,05 | 2,78 | 155,62 | 0,72 | 113,66 |
| 15:00 | 0,19 | 1019,79 | 196,04 | 192,65 | 3,39 | 4,77 | 16,18 | 0,93 | 15,36 |
| 16:00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | Behind | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Εικόνα 4.4: Αναλυτική ημερήσια αναφορά ακτινοβολίας

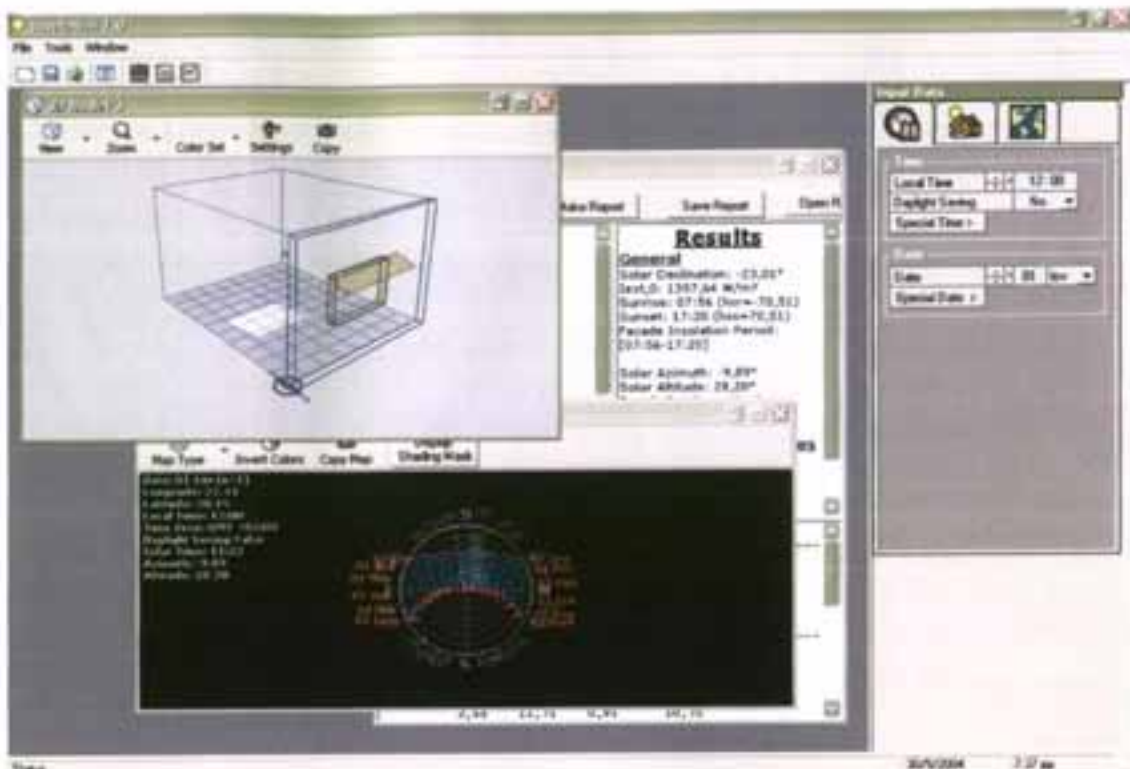
- Συγκριτικά αναλυτικά ημερήσια διαγράμματα που προκύπτουν από τις παραπάνω τιμές.



Εικόνα 4.5: Διαγράμματα ημερήσιων τιμών της ακτινοβολίας

4.3 Το περιβάλλον της εφαρμογής

Η εφαρμογή αναπτύσσεται βασικά στα πλαίσια της κύριας οθόνης, η οποία όπως φαίνεται στην εικ. 4.6 διαχωρίζεται σε δυο περιοχές: στα δεξιά υπάρχει η περιοχή εισαγωγής των δεδομένων ενώ το μεγαλύτερο μέρος της καταλαμβάνεται από την περιοχή όπου αναπτύσσονται τα παράθυρα των αποτελεσμάτων. Τέλος, στην κορυφή της υπάρχουν τα μενού επιλογών και η γραμμή εργαλείων, μέσω των οποίων γίνεται η διαχείριση των φορμών και των αποτελεσμάτων.



Εικόνα 4.6: Η κύρια φόρμα της εφαρμογής

4.3.1 Εισαγωγή των δεδομένων

Η εισαγωγή των δεδομένων γίνεται στα αντίστοιχα πεδία της καρτελοθήκης εισαγωγής δεδομένων που βρίσκεται στην κύρια φόρμα της εφαρμογής. Η ομαδοποίηση των δεδομένων σε καρτέλες έχει γίνει με βάση τη μεταβλητότητα των στοιχείων που αφορούν το πρόβλημα του ηλιασμού (εικ. 1.7). Έτσι έχουμε:

- Την καρτέλα ημερομηνίας/ώρας
- Την καρτέλα των κατασκευαστικών στοιχείων του χώρου, του ανοίγματος και του πετάσματος
- Την καρτέλα της γεωγραφικής τοποθεσίας

Στη συνέχεια περιγράφονται αναλυτικά τα στοιχεία της κάθε καρτέλας.

The image shows three panels of a software interface, each with a title bar and three icons (a globe, a sun, and a house). The panels are:

- Time:** Contains a 'Local Time' field set to 15:50, a 'Daylight Saving' dropdown set to 'No', and a 'Special Time >' button. Below is a 'Date' section with a 'Date' field set to 05 Jan and a 'Special Date >' button.
- Shade:** Has a checked 'Enable Shade' checkbox. It contains five rows of input fields: 'Top' (10.00 cm), 'Left' (20.00 cm), 'Right' (25.00 cm), 'Depth' (90.00 cm), and 'Tilt' (15.00 cm). Below is a 'Window' section with five rows: 'Origin X' (100.00 cm), 'Origin Z' (100.00 cm), 'Width' (150.00 cm), 'Height' (100.00 cm), and 'Depth' (20.00 cm). At the bottom is a 'Room' section with four rows: 'Width (x)' (400.00 cm), 'Depth (y)' (450.00 cm), 'Height (z)' (270.00 cm), and 'Orientation' (25.00).
- Location:** Features a 'Select Town' dropdown menu with 'Patra' selected and a 'Browse...' button. Below is a 'Use custom settings' section with three rows: 'Time Zone' (GMT +02:00), 'Longitude' (21.44), and 'Latitude' (36.15), with a 'Done' button. At the bottom, a pink box contains a table:

| | |
|---------------------|--------------|
| a Coefficient of Kt | 0.51070648 |
| b Coefficient of Kt | -0.096095406 |

Εικόνα 4.7: Οι καρτέλες εισαγωγής των δεδομένων

4.3.1.1 Η καρτέλα επιλογής τοποθεσίας

Η εισαγωγή των στοιχείων της τοποθεσίας μπορεί να γίνει είτε απευθείας στα αντίστοιχα πεδία Γεωγραφικού Πλάτους, Γεωγραφικού Μήκους και Χρονικής Ζώνης, είτε με επιλογή της πόλης από την αντίστοιχη αναδιπλούμενη λίστα.

Η επιλογή από τη λίστα βασίζεται στη δυνατότητα ανάγνωσης των στοιχείων των πόλεων από αρχείο, που χρησιμοποιείται ως βάση δεδομένων. Με το κουμπί <Browse> δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να αναζητήσει στο δίσκο του το αρχείο που περιέχει τις πόλεις της επιλογής του.

Τα αρχεία με τα στοιχεία των πόλεων είναι μορφής αρχείου κειμένου, δίνοντας τη δυνατότητα να συνταχθούν και να επεξεργασθούν σε οποιοδήποτε κειμενογράφο, αρκεί να αποθηκευτούν στη μορφή αυτή.

| City Name | Value 1 | Value 2 | Value 3 | Value 4 | Value 5 |
|----------------|---------|---------|---------|------------|--------------|
| "Athina" | 37.59 | 23.43 | 30 | 0.52069510 | -0.103631080 |
| "Argostoli" | 38.11 | 20.29 | 30 | 0.52571456 | -0.089042859 |
| "Arta" | 39.90 | 20.59 | 30 | 0.52240508 | -0.071156738 |
| "Heraklio" | 35.20 | 25.80 | 30 | 0.53320436 | -0.096689017 |
| "Thessaliniki" | 40.38 | 22.58 | 30 | 0.47487612 | -0.092871074 |
| "Ioannina" | 39.40 | 20.51 | 30 | 0.49070182 | -0.098588961 |
| "Kalamata" | 37.30 | 22.70 | 30 | 0.53573673 | -0.072420578 |
| "Kerkyra" | 39.37 | 19.55 | 30 | 0.51570571 | -0.095673084 |
| "Komotini" | 41.70 | 25.25 | 30 | 0.49821239 | -0.090669379 |
| "Κόρινθος" | 37.56 | 22.57 | 30 | 0.52154223 | -0.093286824 |
| "Lamia" | 38.54 | 22.26 | 30 | 0.51153200 | -0.100950810 |
| "Larisa" | 39.38 | 22.25 | 30 | 0.50401985 | -0.110060810 |
| "Mytilini" | 39.60 | 26.33 | 30 | 0.52152952 | -0.102812720 |
| "Patra" | 38.15 | 21.44 | 30 | 0.51070648 | -0.095095486 |
| "Rodos" | 36.27 | 28.13 | 30 | 0.55072641 | -0.080152368 |
| "Serres" | 41.60 | 23.33 | 30 | 0.49987278 | -0.095373056 |

Εικόνα 4.8: Το αρχείο δεδομένων των πόλεων έχει τη μορφή αρχείου κειμένου και περιλαμβάνει το όνομα της τοποθεσίας, που φαίνεται στην αναδιπλούμενη λίστα, το Γεωγραφικό Πλάτος, το Γεωγραφικό Μήκος, το ΓΜ Ζώνης, και τους ετήσιους συντελεστές a και b της κατανομής του μηνιαίου συντελεστή αισθηριότητας της περιοχής.

Επιπλέον, παρέχεται η δυνατότητα προσθήκης των στοιχείων κάποιας περιοχής σε ήδη υπάρχον αρχείο αλλά και η δημιουργία ενός τέτοιου αρχείου μέσα από το περιβάλλον της εφαρμογής.

Συγκεκριμένα, πατώντας το κουμπί <Save...> που υπάρχει στην περιοχή εισαγωγής στοιχείων από το χρήστη, ανοίγει το παράθυρο της εικόνας 4.9 όπου ο χρήστης εισάγει τα στοιχεία της τοποθεσίας και το όνομα της πόλης που ανταποκρίνονται. Στη συνέχεια μπορεί είτε να τα προσθέσει στο τρέχον αρχείο επιλέγοντας <Append> από το αναδιπλούμενο μενού στην κορυφή του παραθύρου, είτε να αναζητήσει κάποιο άλλο υπάρχον αρχείο στο οποίο θέλει να προστεθούν επιλέγοντας <Append To...> ή τέλος να δημιουργήσει ένα νέο αρχείο δεδομένων επιλέγοντας <Save As...>.

Μια επιπλέον δυνατότητα είναι η επεξεργασία ενός υπάρχοντος αρχείου δεδομένων ως αρχείο κειμένου με την επιλογή <Open...>.



Εικόνα 4.9: Παράθυρο εισαγωγής στοιχείων τοποθεσίας, γίνει προσθήκη τους σε υπάρχον αρχείο ή να δημιουργηθεί νέο

4.3.1.2 Καρτέλα στοιχείων κατασκευής

Σε αυτήν την καρτέλα και από κάτω προς τα πάνω εισάγονται τα στοιχεία που αφορούν:

- την κατασκευή του δωματίου (μήκος, πλάτος, ύψος και προσανατολισμός της πρόσοψης)
- την κατασκευή του παραθύρου (οριζόντια και κατακόρυφη απόσταση από την αρχή των αξόνων, ύψος, πλάτος και βάθος, το οποίο ανταποκρίνεται στο πάχος του τοίχου)
- και τέλος την κατασκευή του οριζόντιου πετάσματος (απόσταση από τις πλευρές του παραθύρου, ύψος, πλάτος και κλίση ως προς την οριζόντια). Η χρήση του πετάσματος είναι προαιρετική και μπορεί να αγνοηθεί απενεργοποιώντας την επιλογή <Enable Shade>.

4.3.1.3 Καρτέλα ημερομηνίας/ώρας

Στην καρτέλα ημερομηνίας/ώρας ο χρήστης εισάγει την επιθυμητή ημέρα του χρόνου και ώρα της ημέρας.

Οι επιπλέον δυνατότητες που δίνονται είναι:

- Επιλογή ή όχι Καλοκαιρινής Διόρθωσης Ώρας.
- Επιλογή για τη μορφή των εισαγόμενων δεδομένων, δηλαδή για το αν η ημερομηνία θα δίνεται ως πολιτική ημερομηνία (ημέρα-μήνας) ή ως αύξων αριθμός ημέρας, και η ώρα ως ηλιακή, τοπική ή ωριαία γωνία. Η επιλογή γίνεται

από μενού που εμφανίζεται με δεξί κλικ στο όνομα της αντίστοιχης μορφής (εικ. 4.10).



Εικόνα 4.10: Επιλογή της μορφής της εισαγόμενης ώρας

- Η επιλογή χαρακτηριστικής ημερομηνίας (ηλιοστάσια και ισημερίες) ή ώρας (ώρα ανατολής και δύσης του ήλιου, ηλιακό και ωρολογιακό μεσημέρι, ώρες αρχής και τέλους του ηλιασμού της πρόσοψης) από τα αντίστοιχα μενού που εμφανίζονται με το πάτημα των κουμπιών <Special Date> και <Special Time> (εικ. 4.11).



Εικόνα 4.11: Επιλογή χαρακτηριστικής ώρας

Αξίζει να σημειωθεί ότι όλα τα πεδία εισαγωγής αριθμητικών δεδομένων είναι άμεσα χρόνου, δηλαδή τα αποτελέσματα υπολογίζονται και παρουσιάζονται άμεσα με κάθε νέα εισαγωγή. Επιπλέον εκτός από την απευθείας εισαγωγή της επιθυμητής τιμής, υπάρχει η δυνατότητα της δυναμικής αυξομείωσης της τιμής του πεδίου με τα

κουμπιά κύλισης που υπάρχουν σε κάθε πεδίο, με βήμα που επιλέγεται από το χρήστη. Η δυνατότητα αυτή παρέχεται κυρίως προκειμένου να έχει ο χρήστης μια εποπτική εικόνα της μεταβολής των αποτελεσμάτων (κυρίως των οπτικών) με την αντίστοιχη μεταβολή κάποιας τιμής εισαγωγής.

4.3.2 Τα μενού και η βασική γραμμή εργαλείων

Μέσω των μενού και της βασικής γραμμής εργαλείων (εικ. 4.12) γίνεται η διαχείριση των παραθύρων των αποτελεσμάτων και των αρχείων δεδομένων.



Εικόνα 4.12: Η βασική γραμμή εργαλείων

Περιλαμβάνονται οι συνήθεις λειτουργίες διαχείρισης αρχείων (αποθήκευση-ανάκτηση), η δημιουργία ενός νέου μοντέλου με τις προεπιλεγμένες τιμές δεδομένων και επιλογές για την ενεργοποίηση-απενεργοποίηση των φορμών αποτελεσμάτων και την τακτοποίησή τους στην οθόνη.

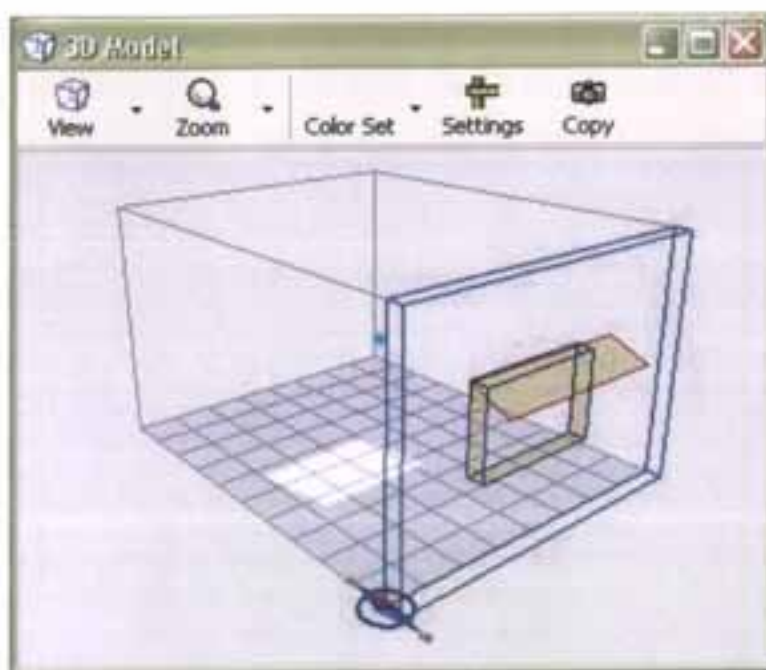
4.3.3 Οι φόρμες των αποτελεσμάτων

Τα παράθυρα των αποτελεσμάτων αναπτύσσονται εντός της κύριας οθόνης της εφαρμογής. Ενεργοποιούνται ή απενεργοποιούνται από τις αντίστοιχες επιλογές των μενού και των κουμπιών της βασικής γραμμής εργαλείων. Κάθε φόρμα περιλαμβάνει τη δική της γραμμή εργαλείων για τη διαχείριση των δικών της λειτουργιών. Στη συνέχεια περιγράφεται αναλυτικά καθεμία από αυτές.

4.3.3.1 Η φόρμα της τρισδιάστατης οπτικής αναπαράστασης

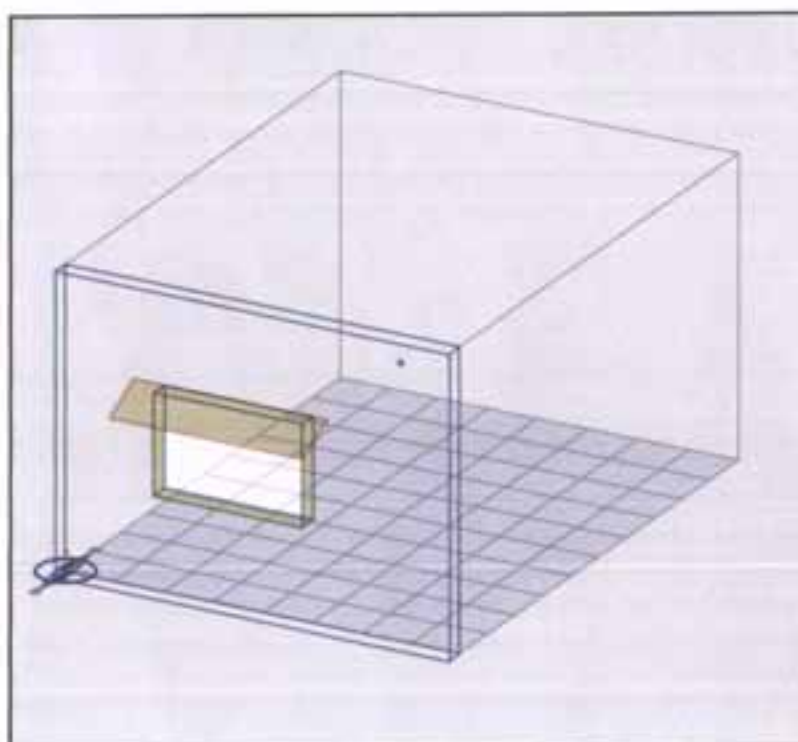
Στη φόρμα αυτή απεικονίζεται το τρισδιάστατο μοντέλο του χώρου, όπως περιγράφηκε νωρίτερα, που δίνει μία άμεση εκτίμηση για τον ηλιασμό του χώρου. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα δυναμικής περιστροφής του μοντέλου με το ποντίκι, καθώς επίσης και πλησιάζματος-απομάκρυνσης και μετακίνησής του.

Από το μενού <View> της γραμμής εργαλείων επιλέγεται ο τρόπος απεικόνισης που περιλαμβάνει εκτός από την προεπιλεγμένη προοπτική απεικόνιση, αξονομετρικό σχέδιο και απεικόνιση όψεων. Επιπλέον υπάρχει η επιλογή "θέασης από τη θέση του ήλιου" (εικ. 4.14).



Εικόνα 4.13: Η φόρμα της τρισδιάστατης οπτικής αναπαράστασης

Με τη επιλογή <Copy> η εικόνα αντιγράφεται στο πρόχειρο και μπορεί είτε να επικολληθεί στη φόρμα αναφοράς και να αποθηκευτεί μαζί με αυτήν, είτε σε οποιαδήποτε άλλη εφαρμογή, όπως σε αυτό το κείμενο (εικ. 4.1, 4.14).



Εικόνα 4.14: Θέαση από τη θέση του ήλιου

4.3.3.2 Η φόρμα αναφοράς αποτελεσμάτων

Είναι χωρισμένη σε τρία τμήματα από τα οποία ο χρήστης μπορεί να επιλέξει να έχει ανοιχτά όποια θέλει. Τα τμήματα αυτά είναι:

- Η περιοχή των δεδομένων, όπου καταγράφονται όλα τα δεδομένα του προβλήματος
- Η περιοχή αποτελεσμάτων, όπου δίνονται αριθμητικά κάποια στοιχεία της ηλιακής γεωμετρίας για τη δεδομένη στιγμή, καθώς και οι κατανομή του φωτεινού ίχνους στο χώρο με τις αναλυτικές συντεταγμένες των κορυφών του
- Η περιοχή που αφορά αποτελέσματα υπολογισμού της ημερήσιας διαθέσιμης ακτινοβολίας και της ενέργειας που προσλαμβάνει τόσο ο χώρος συνολικά, όσο και κάθε εσωτερική επιφάνεια χωριστά.

Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα επεξεργασίας των αναφορών, όπως προσθήκη επιπλέον στοιχείων (π.χ. εικόνες από το τρισδιάστατο μοντέλο ή τον ηλιακό χάρτη) και αποθήκευσης της αναφοράς.

The screenshot shows a software window with a title bar and a menu bar. The main content is divided into three sections:

- Input:**
 - Location:** Town: Patra, Latitude: 38,15°, Longitude: 21,44°, TimeZone: GMT +02:00
 - Room:** Width: 400 cm, Depth: 500 cm, Height: 300 cm
 - Window:** Origin X: 100 cm, Origin Z: 100 cm, Width: 150 cm, Height: 100 cm, Depth: 20 cm, Orientation: 0°
 - Shade:** Top Offset: 10 cm, Left Offset: 20 cm, Right Offset: 25 cm, Depth: 50 cm
- Results:**
 - General:** Solar Declination: -23,01°, Iext,0: 1397,64 W/m², Sunrise: 07:56 (hss=-70,51), Sunset: 17:20 (hss=70,51), Facade Insolation Period: [07:56-17:20], Solar Azimuth: -28,97°, Solar Altitude: 23,07°, Facade Incidence Angle: 36,40°
 - Light Profile Coordinates:** Floor: (125,18 ; 205,42 ; 0,00), (0,00 ; 205,42 ; 0,00), (0,00 ; 322,66 ; 0,00), (60,16 ; 322,66 ; 0,00), (60,07 ; 322,99 ; 0,00), Left Wall: (0,00 ; 180,59 ; 12,09), (0,00 ; 180,59 ; 69,16), (0,00 ; 322,66 ; 0,00), (0,00 ; 205,42 ; 0,00)
- Daily Thermal Gain Report:** Day 1 (01 Jan)

| Hour [Solar] | Et (He) | Eext,H [KJ/m²] | Et,H [KJ/m²] | Ed,H [KJ/m²] | Eb,H [KJ/m²] | Avg2h | Eb,V [KJ/m²] | AvgArea [m²] | Wb,V [KJ] |
|--------------|---------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------|--------------|--------------|-----------|
| 07:00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | Behind | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 08:00 | 0,19 | 995,72 | 191,06 | 197,76 | 3,30 | 3,88 | 11,71 | 0,91 | 10,72 |
| 09:00 | 0,35 | 1666,07 | 580,70 | 526,01 | 54,69 | 2,32 | 126,78 | 0,82 | 104,49 |
| 10:00 | 0,46 | 2140,08 | 982,99 | 727,36 | 255,63 | 1,96 | 501,70 | 0,79 | 394,26 |
| 11:00 | 0,52 | 2385,44 | 1232,48 | 768,94 | 463,54 | 1,84 | 851,75 | 0,78 | 668,51 |

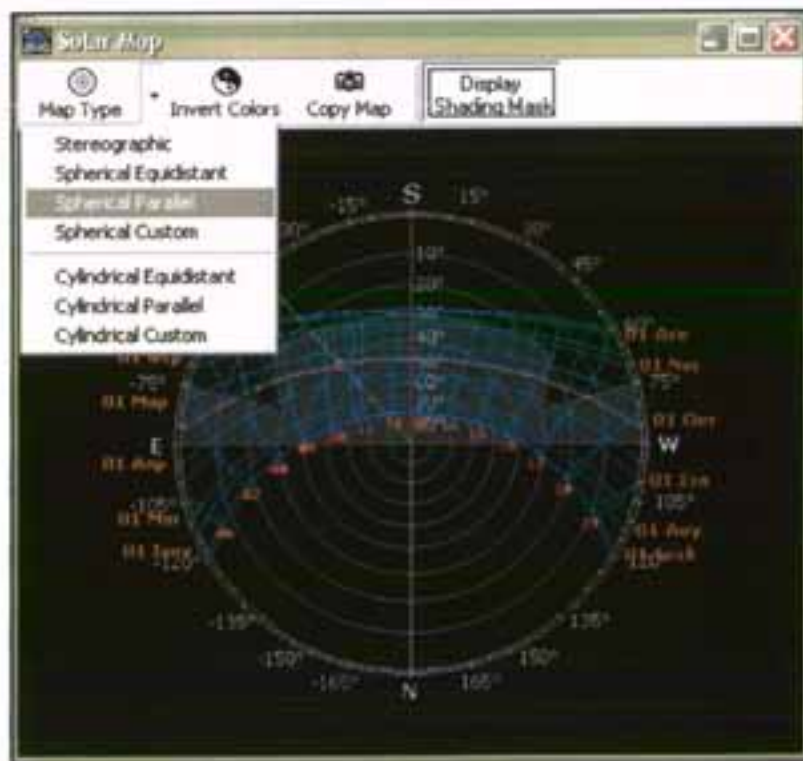
Εικόνα 4.15: Η φόρμα αναφοράς

4.3.4 Η φόρμα του Ηλιακού χάρτη

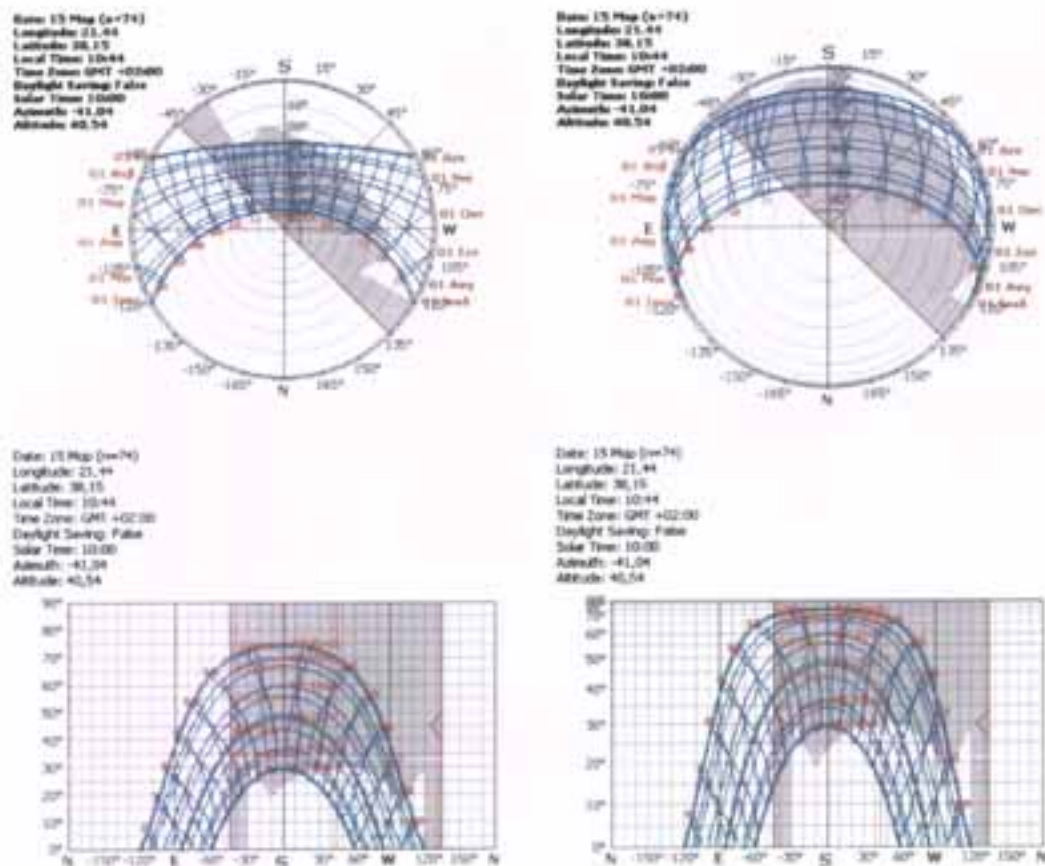
Απεικονίζει τον ηλιακό χάρτη της περιοχής, τη θέση του ήλιου, τον προσανατολισμό της πρόσοψης και προαιρετικά τη μάσκα σκίασμού του κέντρου του ανοίγματος.

Στις επιλογές του χρήστη περιλαμβάνονται:

- Η επιλογή του τύπου του ηλιακού χάρτη από το μενού <Map Type> (εικ. 4.16), ανάμεσα σε διάφορες μεθόδους σφαιρικής και κυλινδρικής προβολής (εικ. 4.17)
- Η αντιγραφή της εικόνας στο πρόχειρο με το κουμπί <Copy>, για επικόλλησή της είτε στην αναφορά είτε σε άλλη εφαρμογή
- Η εναλλαγή μεταξύ μαύρου και λευκού φόντου με το κουμπί <Invert Colors>. Το μαύρο φόντο δείχνει καλύτερα στην οθόνη ενώ το λευκό είναι προτιμότερο στην εκτύπωση.



Εικόνα 4.16: Η φόρμα του Ηλιακού χάρτη. Ο χρήστης επιλέγει τον τύπου απεικόνισης



Εικόνα 4.17: Ηλιακοί χάρτες διαφόρων τύπων, για τα ίδια δεδομένα

4.4 Μελλοντικοί στόχοι

Η εφαρμογή INSOLATION 1.0 παρέχει μια βασική ανάλυση του προβλήματος του ηλιασμού εσωτερικών χώρων, ενώ μπορεί να αποτελέσει τη βάση για τη δημιουργία ενός σημαντικού εργαλείου σχεδιασμού για Παθητικά Ηλιακά Συστήματα.

Ενδεικτικά, οι μελλοντικές επεκτάσεις μπορούν να περιλάβουν:

- ανάλυση πιο περίπλοκων καταστάσεων σκίασης
- αξιολόγηση της επισκίασης από απομακρυσμένα εμπόδια
- εκτίμηση του θερμικού κέρδους
- εκτίμηση των θερμικών απωλειών
- εκτίμηση της αποθήκευσης θερμότητας από τη θερμική μάζα

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι γεωγραφικές συντεταγμένες των περισσότερων πόλεων της Ελλάδας

| Πόλη | Γ. Πλάτος (Φ) | Γ. Μήκος (Λ _{ος}) | Πόλη | Γ. Πλάτος (Φ) | Γ. Μήκος (Λ _{ος}) |
|------------------------|------------------|--------------------------------|--------------|------------------|--------------------------------|
| Αμαλιάδα | 37,80 | 21,35 | Κως | 36,80 | 27,09 |
| Αρχάγγελος | 36,20 | 28,13 | Λαμία | 38,90 | 22,43 |
| Αγ. Νικόλαος | 38,15 | 25,72 | Λάρισα | 39,63 | 22,42 |
| Αγρίνιο | 38,63 | 21,42 | Λειβαδιά | 38,26 | 22,53 |
| Αθήνα Αγ. Παρασκευή | 37,99 | 23,82 | Λέρος | 37,19 | 26,80 |
| Αθήνα Ν. Ψυχικό | 38,00 | 23,77 | Λευκάδα | 38,83 | 20,71 |
| Αθήνα Ν. Φάληρο | 37,93 | 23,70 | Λεχαιόν | 37,92 | 22,86 |
| Αθήνα - Ρέντης | 37,96 | 23,68 | Λήμνος | 39,92 | 25,24 |
| Αίγιο | 38,25 | 22,08 | Ληξούρι | 38,20 | 20,44 |
| Αλεξάνδρεια | 40,66 | 22,49 | Λιβαδειά | 38,43 | 22,88 |
| Αλεξανδρούπολη | 40,86 | 25,96 | Μάλεμε | 35,53 | 23,84 |
| Άμφισσα | 38,53 | 22,38 | Μάραθος | 38,15 | 24,00 |
| Ανδραβίδα | 37,92 | 21,29 | Μαριτσά | 36,38 | 28,12 |
| Άραξος | 38,15 | 21,42 | Μέγαρο | 37,98 | 23,37 |
| Αργοστόλι | 38,17 | 20,47 | Μεσολόγγι | 38,36 | 21,43 |
| Άργος | 37,38 | 22,44 | Μύκονος | 37,44 | 25,35 |
| Άρτα | 39,03 | 20,99 | Μήλος | 36,70 | 24,48 |
| Αστυπάλαια | 36,58 | 26,39 | Μόρνος | 38,53 | 22,12 |
| Αταλάντη | 38,65 | 23,00 | Μυτιλήνη | 39,10 | 26,55 |
| Σπάτα | 37,92 | 23,94 | Νάξος | 37,08 | 25,38 |
| Βέροια | 40,32 | 22,13 | Ναύπακτος | 38,40 | 21,83 |
| Βόλος | 39,37 | 22,95 | Νέα Αγχίαλος | 39,22 | 22,80 |
| Βόλος | 39,37 | 22,93 | Ξάνθη | 41,90 | 24,54 |
| Γρεβενά | 40,08 | 21,42 | Ξυλόκαστρο | 38,08 | 22,63 |
| Δεκέλεια | 38,02 | 23,78 | Ορεστιάδα | 41,31 | 26,32 |
| Δράμα | 41,90 | 24,10 | Πάρος | 37,01 | 25,13 |
| Έδεσσα | 40,85 | 21,83 | Πάτρα | 38,25 | 21,73 |
| Ελευσίνα | 38,06 | 23,55 | Πόρτο χέλι | 37,30 | 23,15 |

| Πόλη | Γ. Πλάτος (Φ) | Γ. Μήκος (L _{ισκ}) | Πόλη | Γ. Πλάτος (Φ) | Γ. Μήκος (L _{ισκ}) |
|-------------|------------------|---------------------------------|-----------|------------------|---------------------------------|
| Επιτάλειο | 37,62 | 21,50 | Πρέβεζα | 38,95 | 20,75 |
| Ζάκυνθος | 37,78 | 20,90 | Πύλος | 36,92 | 21,70 |
| Ηράκλειο | 35,34 | 25,09 | Πύργος | 37,67 | 21,43 |
| Θεσσαλονίκη | 40,68 | 23,08 | Ραφήνα | 38,06 | 23,98 |
| Θήβα | 38,32 | 23,32 | Ρέθυμνο | 35,37 | 24,47 |
| Ικαρία | 37,85 | 26,35 | Ρόδος | 36,43 | 28,22 |
| Ισπαιά | 38,95 | 23,15 | Σάμος | 37,69 | 26,91 |
| Ιωάννινα | 39,70 | 20,82 | Σαντορίνη | 36,40 | 25,48 |
| Καβάλα | 40,90 | 24,63 | Σέρρες | 41,01 | 23,55 |
| Καλαμάτα | 37,03 | 22,12 | Σέρρες | 40,53 | 23,03 |
| Καρδίτσα | 39,22 | 21,55 | Σητεία | 35,22 | 26,01 |
| Κάρπαθος | 35,70 | 27,15 | Σκιάθος | 39,18 | 23,51 |
| Κάσος | 35,42 | 26,92 | Σκύρος | 38,97 | 24,49 |
| Καστέλι | 35,19 | 25,33 | Σούδα | 35,53 | 24,15 |
| Καστελόριζο | 36,13 | 29,57 | Σπάρτη | 37,08 | 22,43 |
| Καστοριά | 40,45 | 21,28 | Σύρος | 37,41 | 24,95 |
| Κατερίνη | 40,17 | 22,31 | Τανάγρα | 38,34 | 23,55 |
| Κέρκυρα | 39,60 | 19,92 | Τρίκαλα | 39,33 | 21,46 |
| Κεφαλονιά | 38,12 | 20,50 | Τρίπολη | 37,52 | 22,37 |
| Κιλκίς | 40,99 | 22,62 | Τυμπάκι | 35,01 | 24,76 |
| Κοζάνη | 40,29 | 21,84 | Φλώρινα | 40,81 | 21,44 |
| Κόρινθος | 37,93 | 22,93 | Χαλκίδα | 38,47 | 23,60 |
| Κοτρώني | 38,14 | 23,95 | Χανιά | 35,51 | 24,02 |
| Κύθηρα | 36,29 | 23,03 | Χίος | 38,37 | 26,13 |
| Κυπαρισσία | 37,25 | 21,67 | Χολαργός | 37,10 | 23,78 |

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Μ. Παπαδόπουλος, Κ. Αξαρλή, *Ενεργητικός Σχεδιασμός & Παθητικά Ηλιακά Συστήματα*, Εκδ. Οίκος Αφών Κυριακίδη, 1995
- [2] Φ. Κωτσιανός: *Ηλιακά Σπίτια-Ηκκλιακή Θέρμανση. Θερμική Άνεση και Εξοικονόμηση Ενέργειας*
- [3] Ευθ. Βαζαίος, *Εφαρμογές της Ηλιακής Ενέργειας*, Γ΄ Έκδοση, 1987
- [4] Ευρωπαϊκή Επιτροπή, *Ενέργεια στην Αρχιτεκτονική, Το Ευρωπαϊκό Εγχειρίδιο για τα Παθητικά Ηλιακά Κτίρια*, Μάλλιαρης Παιδεία
- [5] J. Duffie, W. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*, 2nd Edition, John Wiley & Sons Inc.
- [6] T. Kuehn, J. Ramsey, J. Threlkeld, *Thermal Environmental Engineering*, 3rd Edition, Prentice Hall Inc., 1988
- [7] F. Moore: *Environmental Control Systems*, McGraw-Hill Inc, 1993
- [8] John R. Goulding and J. Owen Lewis, *Bioclimatic Architecture*, European Comission, 1995
- [9] Energy Research Group, University College Dublin, School of Architecture, *Shading Systems, Solar Shading for the European Climates*, European Comission
- [10] Energy Research Group, University College Dublin, School of Architecture, *Daylighting in Buildings*, European Comission
- [11] <http://www.squ1.com>, *Environmental Design*
- [12] <http://www.greenbuilder.com>, *Sourcebook Passive Solar Design*
- [13] <http://www.iclel.org>, *Energy Facts, Passive Solar Energy*
- [14] <http://www.eere.energy.gov>, *Passive Solar Heating, Cooling and Daylighting*
- [15] <http://www.wbdg.org>, *Sun Control and Shading Devices*
- [16] <http://www.epsea.org/mass.html>, *Passive Solar Design-Thermal Mass*
- [17] http://www.nrel.gov/clean_energy/home_passive.html, *Passive solar heating and daylighting for homeowners*

