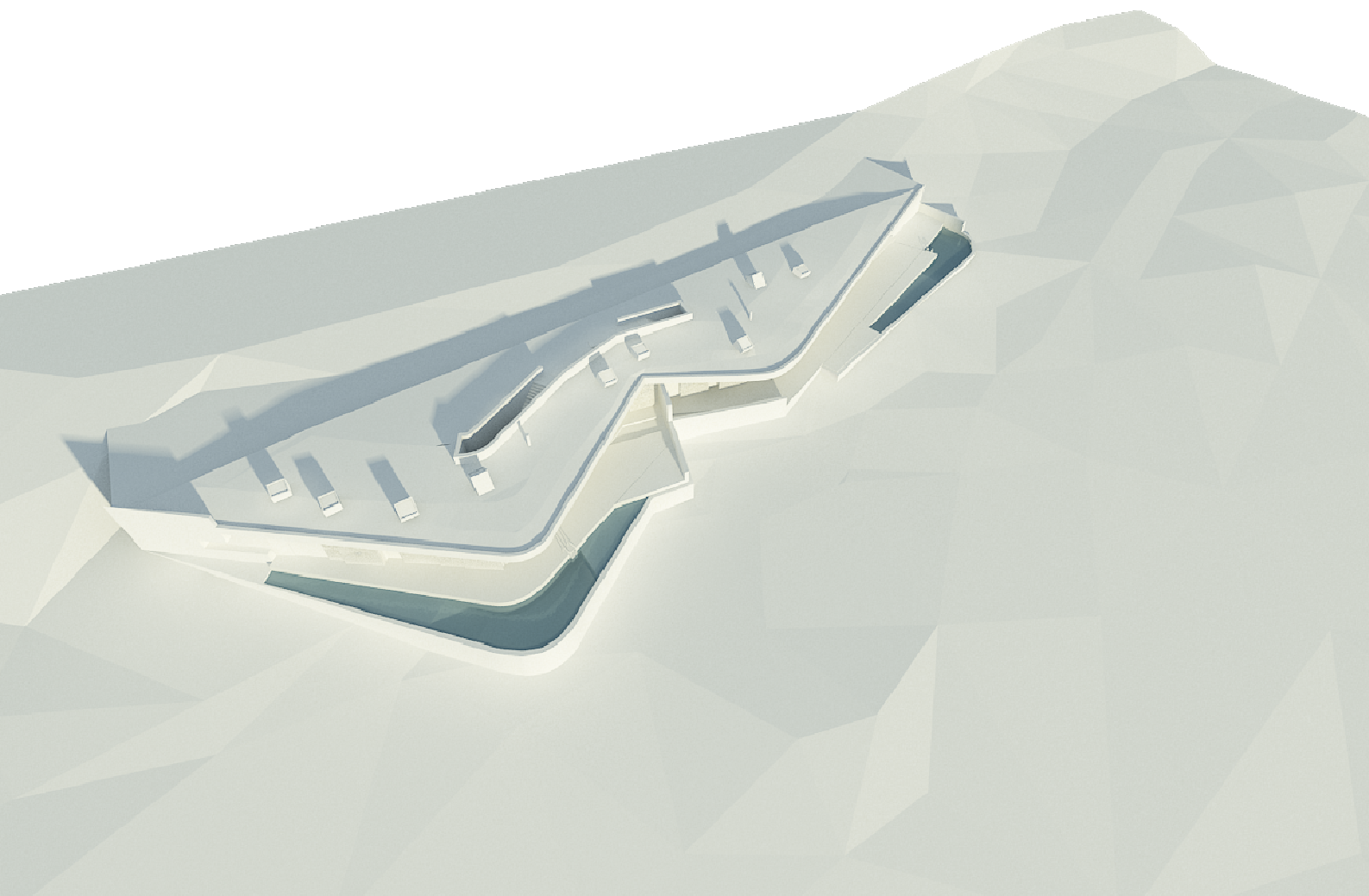




**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΑΘΑΝΑΣΙΑΔΗΣ ΙΑΣΩΝ**

**ΥΠΟΣΚΑΦΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΕ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΣΤΙΣ ΚΥΚΛΑΔΕΣ**



**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΜΠΕΝΑΡΔΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ, ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.**

**ΑΘΗΝΑ 2014**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΜΠΕΝΑΡΔΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ, ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.**

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις 19/12/10

Καλιαμπάκος Δημήτριος, Καθηγητής Ε.Μ.Π ..... (Υπογραφή)

Μπενάρδος Ανδρέας, Επικ. Καθηγητής Ε.Μ.Π ..... (Υπογραφή)

Μενεγάκη Μαρία, Επικ. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π ..... (Υπογραφή)

# Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια των μεταπτυχιακών σπουδών του Δ.Π.Μ.Σ. Σχεδιασμός και Κατασκευή Υπογείων Έργων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου κατά το χρονικό διάστημα Οκτώβριος – Δεκέμβριος 2014.

Με αφορμή την ολοκλήρωση της, εκφράζονται ευχαριστίες στον καθηγητή μου κύριο Μπενάρδο Ανδρέα για την πολύτιμη καθοδήγηση του και τις εύστοχες παρατηρήσεις του κατά τη διάρκεια της συγγραφής της εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αθανασιάδη Αλέξανδρο για την καθοδήγηση του στον τομέα του σχεδιασμού.

Τέλος, θα ευχαριστήσω την τεχνική εταιρία ΔΟΡΩΣΙΣ Α.Τ.Ε. για την διάθεση των απαραίτητων στοιχείων καθώς και για την τεχνική υποστήριξη που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Αθανασιάδης Ιάσων

Αθήνα Δεκέμβριος 2014

# Περίληψη

Η άμεση σχέση του ανθρώπου με το περιβάλλον και η επίδραση των πράξεων του σε αυτό, οδηγεί ολοένα και περισσότερους ανθρώπους στην ανάπτυξη οικολογικής συνείδησης. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι γίνεται κατανοητή η ανάγκη λήψης δραστικότερων μέτρων για τη μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος των δραστηριοτήτων του.

Η ταξινόμηση των κατασκευών ανάλογα με τις ενεργειακές ανάγκες και καταναλώσεις, σύμφωνα με τις Ευρωπαϊκές Οδηγίες, αναδεικνύει τη σημασία της ενεργειακής ταυτότητας των κατασκευών του μέλλοντος και ωθεί στη υιοθέτηση τεχνικών για την μείωση τους, κάνοντας επιτακτική την ανάγκη σχεδιασμού και κατασκευής κτιρίων με χαμηλό ενεργειακό αποτύπωμα.

Ο μεγαλύτερος όγκος καταναλώμενης ενέργειας προέρχεται από τις ενέργειες για την προσαρμογή της θερμοκρασίας σε επιθυμητά από τον άνθρωπο επίπεδα.

Ο υπόγειος χώρος από αρχαιότατων χρόνων αποτελούσε τη διέξοδο του ανθρώπου για προστασία από τις θερμοκρασιακές μεταβολές. Η παροχή σταθερού θερμικού περιβάλλοντος είναι το κύριο χαρακτηριστικό του υπόγειου χώρου.

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει στόχο να συνδυάσει τα πλεονεκτήματα που προσδίδει μία υπόσκαφη κατασκευή, με τον κατάλληλο βιοκλιματικό σχεδιασμό.

Η υπόσκαφη βιοκλιματική κατασκευή που μελετάται έχει διαμορφωθεί με γνώμονα την κάλυψη των συνθηκών θερμικής άνεσης μέσω τεχνικών που αξιοποιούν στο έπακρο την συνεισφορά του περιβάλλοντος στο οποίο τοποθετείται.

Μέσω αυτής της διαδικασίας δημιουργείται μία εντυπωσιακή κατασκευή σε ένα νησί των Κυκλάδων, που αποτελεί παράδειγμα βιωσιμότητας και χαρακτηρίζεται από ελάχιστο ενεργειακό αποτύπωμα.



# Abstract

The intimate relationship between man and environment and the impact his actions have on it, has been resulting in the development of a growing environmental awareness amongst men. It is this fact which illustrates, that the need for drastic measures towards the reduction of the energy footprint of mans activities, has become clear.

The classification of buildings based on their energy needs and consumption according to European Union directives, highlights the importance of creating a performance ID for the buildings of the future and urges us towards implementing energy saving techniques, making the need to design and construct buildings with a low energy footprint imperative.

The largest amounts of energy are consumed by mans efforts to adjust his environments temperature to comfort levels.

Underground spaces have acted since the beginning of mankind as a refuge from temperature changes. The ability to provide an environment of a stable temperature is the main quality [characteristic] of an underground space.

This thesis project sets out to combine the in situ [natural] advantages offered by an underground structure with bio climatic design.

The underground bioclimatic building under investigation has been developed on the basis of achieving the required thermal conditions through techniques that make use to their full extent the advantages provided by the environment in which the structure is built.

The outcome of this procedure is the development of a stunning building on an island of the Cyclades, which constitutes an example of sustainability and stands out for its minimal energy footprint.

# Περιεχόμενα

1.	Οικολογική συνείδηση.....	8
1.1.	Κατασκευή και αειφόρος ανάπτυξη .....	9
1.2.	Ενεργειακή ταυτότητα .....	10
2.	Βιοκλιματική Αρχιτεκτονική και Υπόγειος Χώρος.....	11
2.1.	Ιστορικά στοιχεία χρήσης του υπογείου χώρου.....	13
2.2.	Σημαντικά οφέλη που προκύπτουν από την υπόγεια ανάπτυξη .....	15
2.3.	Μέθοδοι Κατασκευής Υπόγειων Χώρων .....	17
2.4.	Δημιουργία τεχνητών υπόγειων θαλάμων.....	17
2.5.	Εκσκαφή και επανεπίχωση (Cut and Cover).....	18
2.6.	Υπόσκαφες κατασκευές .....	18
2.7.	Κατασκευές που επικαλύπτονται με χώμα (Earth Berm).....	19
2.8.	Αίθριο.....	20
3.	Παράμετροι Σχεδιασμού Υπόγειων Κατασκευών.....	22
3.1.	Υπόγειες κατασκευές και χρήση γης ανάλογα με το βάθος.....	22
3.2.	Υπόγειες κατασκευές σε υπό κλίση περιοχές.....	24
3.3.	Επιλογή Τοποθεσίας .....	25
3.4.	Κλιματολογικές συνθήκες που αντιμετωπίζει μια υπόσκαφη οικία σε υπό κλίση περιοχή .....	26
3.5.	Σχεδιασμός υπόσκαφης οικίας σε υπό κλίση περιοχές.....	27
3.6.	Βάθος και εδαφικές θερμικές αποδόσεις.....	36
3.7.	Παθητική θέρμανση, φυσικός φωτισμός και φυσικός αερισμός.....	38
3.8.	Παθητικός Ηλιακός Σχεδιασμός.....	40
3.9.	Παθητική θέρμανση μέσω ηλιακής ακτινοβολίας.....	41
3.10.	Φυσικός φωτισμός.....	44
3.11.	Φυσικός αερισμός .....	47
4.	Οικολογική δόμηση και χαρακτηριστικά .....	50

4.1.	Ιπτάμενη Τέφρα .....	50
4.2.	Τα βασικά χαρακτηριστικά της οικολογικής δόμησης .....	54
5.	Ανασταλτικοί Παράγοντες στην υπόγεια Ανάπτυξη .....	56
5.1.	Κίνδυνοι, θέματα ασφαλείας και μέθοδοι αντιμετώπισης .....	56
5.2.	Υψηλά ποσά αρχικής επένδυσης – Αβεβαιότητα .....	56
5.3.	Προκαταλήψεις και ψυχολογία .....	57
5.4.	Προκατάληψη .....	57
5.5.	Κλειστοφοβία.....	58
5.6.	Μειωμένη κοινωνική προβολή.....	58
5.7.	Αντιμετώπιση φόβων και προκαταλήψεων .....	58
6.	Υπόσκαφες Κατασκευές: Έρευνα και Παραδείγματα .....	60
6.1.	Ανάλυση θερμικών ιδιοτήτων φυτεμένου δώματος.....	60
6.2.	Μελέτη Θερμικού Περιβάλλοντος Υπόσκαφης Κατοικίας στην Κορέα.....	64
6.3.	Μελέτη ενεργειακών αναγκών και καταναλώσεων Υπόσκαφης κατασκευής στη νήσο Κέα .....	68
6.4.	Παραδείγματα .....	70
6.4.1.	Εξοχική κατοικία στη Νάξο .....	70
6.4.2.	Bolton Eco House .....	72
6.5.	Πλεονεκτήματα της υπόσκαφης οικίας έναντι της συμβατικής.....	73
7.	Υπόσκαφη κατασκευή με βιοκλιματικό σχεδιασμό στις Κυκλάδες.....	75
7.1.	Επιλογή τοποθεσίας .....	76
7.2.	Μελέτη θερμικής άνεσης.....	81
7.3.	Σχεδιασμός.....	92
7.4.	Θέρμανση και δροσισμός.....	108
7.5.	Εσωτερικός σχεδιασμός και βιωσιμότητα.....	109
7.6.	Σύνδεση εσωτερικού, εξωτερικού χώρου .....	110
7.7.	Κατασκευή .....	111
7.7.1.	Μέθοδος .....	111
7.7.2.	Μόνωση .....	113
7.7.3.	Υλικά κατασκευής .....	115

7.7.4.	Διαχείριση νερού .....	116
7.8.	Σύγκριση με συμβατική κατασκευή.....	116
7.9.	Ανάλυση κατανάλωσης ενέργειας.....	117
7.10.	Ανάλυση κόστους κατασκευής .....	122
8.	Συμπέρασμα .....	125
9.	Βιβλιογραφία .....	126
9.1.	Έντυπο Υλικό .....	126
9.2.	Διαδίκτυο .....	128

## 1. Οικολογική συνείδηση

Η φυσική θέση του ανθρώπου είναι η άμεση επαφή του με το περιβάλλον. Το οικοδόμημα του πολιτισμού έχει εισάγει διάφορα φίλτρα που αλλοιώνουν την επαφή του ανθρώπου με το περιβάλλον, αποσκοπούν στην ευημερία του και διευκολύνουν τη διαβίωσή του στον πλανήτη. Η επιδίωξη της ευημερίας καταλαμβάνει στην πραγματικότητα ένα πολύ μικρό χώρο στην ιστορία του ανθρώπου εφ' όσον ο άνθρωπος κατάφερε να ασχοληθεί με αυτήν αρκετά αργά. Για μεγάλο διάστημα ο πολιτισμός είχε απορροφηθεί από τελείως διαφορετικές επιδιώξεις. Στην αργή του πορεία, ο πολιτισμός, τόσο της αρχαιότητας όσο και του Μεσαίωνα επιδίωξε το ωραίο και λιγότερο το χρήσιμο. Μετά την Αναγέννηση όμως οι επιδιώξεις αντιστράφηκαν. Το χαρακτηριστικό όνομα που διατυπώνει την επιδίωξη της ευημερίας του ανθρώπου και που θα μπορούσε να πει κανείς ότι διατύπωσε το όραμα του μοντέρνου καπιταλισμού είναι ο Καρτέσιος με την περίφημη φράση: «να γίνουμε κυρίαρχοι και κάτοχοι της Φύσης».<sup>1</sup>

Τα τελευταία χρόνια, αρχίζει να εμφανίζεται έντονος ηθικός προβληματισμός όσον αφορά την επίδραση των ενεργειών του ανθρώπου στο περιβάλλον στο οποίο ζει. Παρότι οι δράσεις έναντι σε αυτούς τους προβληματισμούς μπορεί να χαρακτηριστούν επιφανειακές και χωρίς ουσιαστικά αποτελέσματα, έχει παρατηρηθεί ότι η κοινωνία αναπτύσσει κριτική αντίληψη επάνω στις τεχνολογικές εφαρμογές (άρα οικολογική προδιάθεση) με σκοπό να ωριμάσει σε τέτοιο βαθμό έτσι ώστε να έρθει αντιμέτωπη με τους ρύπους που παράγει.

Η οικοδομική δραστηριότητα καθώς και η λειτουργία των κατασκευών, είτε έμμεσα, είτε άμεσα, έχουν μεγάλη συμμετοχή στην συνολική κατανάλωση ενέργειας παγκοσμίως. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο η εξέλιξη των κατασκευών απαιτεί μια νέα προσέγγιση με ανεπτυγμένη την οικολογική συνείδηση. Η οικολογικότερη αυτή προσέγγιση έχει αποκτήσει ενεργούς υποστηρικτές στη σύγχρονη εποχή λόγω των σοβαρών περιβαλλοντικών προβλημάτων και της αυξανόμενης κοινωνικής ευαισθητοποίησης για αυτά. Ο ρόλος του κτιρίου δεν πρέπει να είναι αποκλειστικά η προστασία του ανθρώπου

---

<sup>1</sup> Κορωναίος Γ. Αιμ., Σαργέντης Γ. Φοίβος. "Δομικά Υλικά και Οικολογία.", Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2005.

από τις εναλλαγές και τις επιθέσεις του εξωτερικού περιβάλλοντος, αλλά δείγμα προόδου και ευαισθητοποίησης σχετικά με τις ευθύνες του σε αυτό.

Αποτέλεσμα αυτών των προβληματισμών είναι η στροφή προς τις βιοκλιματικές κατασκευές οι οποίες εξοικονομούν νερό, καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια κατά την κατασκευή και λειτουργία, με τη χρήση φιλικών προς το περιβάλλον υλικών και μεθόδων κατασκευής. Ο σκοπός της κατασκευής δεν πρέπει να είναι η εναντίωση της με το περιβάλλον αλλά η εναρμόνιση της με αυτό.

### **1.1. Κατασκευή και αειφόρος ανάπτυξη**

Η αειφόρος ανάπτυξη έχει στόχο την ορθολογική διαχείριση των φυσικών πόρων, με τρόπο ώστε να καλύπτονται οι ανθρώπινες ανάγκες του παρόντος, ενώ ταυτόχρονα να μην υπονομεύεται η κάλυψη των αναγκών του μέλλοντος. Με άξονα τη συλλογιστική αυτή, σήμερα αναπτύσσονται κριτήρια με τα οποία το κτίριο, στο σύνολό του, να είναι φιλικό προς το περιβάλλον και να εκφράζει τον κοινό τόπο των αντιλήψεων που αναφέρθηκαν. Στην προσπάθεια επίτευξης της αειφορίας συμμετέχει ο σχεδιασμός του κτιρίου, η θερμική συμπεριφορά του κτιρίου, η αξιοποίηση των φυσικών πόρων και φυσικά τα υλικά του κτιρίου.

Σύμφωνα με το Worldwach Institute οι οικοδομικές κατασκευές απορροφούν 40% αδρανών υλικών και άμμου και το 25% παρθένου ξύλου που εξορύσσονται και υλοτομούνται παγκόσμια κάθε χρόνο. Οι κατασκευές των κτηρίων απορροφούν 40% της παραγόμενης ενέργειας και 16% του υδάτινου αποθέματος που παράγεται ετησίως στον πλανήτη. Μέχρι το 2018 (μόνο στις ΗΠΑ) αναμένεται να κτιστούν άλλα 38.000.000 κτήρια. Η πρόκληση θα είναι να κτιστούν έτσι ώστε να συμπεριφέρονται σωστά θερμικά, χωρίς θερμικές απώλειες καθώς επίσης και να μην προκύψουν σαν απόβλητα στις επόμενες γενεές.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> "Construction Process: Environmental impact." Web. 25 Okt. 2012. <://www.worldwatch.org/>.

## **1.2. Ενεργειακή ταυτότητα**

Η ευαισθητοποίηση σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας των κτιρίων έχει οδηγήσει στη συγκρότηση οργανισμών σχετικά με την ενεργειακή ταξινόμηση τους.

Από αυτές τις ενέργειες είναι φανερός ο σημαντικός ρόλος τον οποίο θα έχει η ενεργειακή αυτή ταξινόμηση στο μέλλον όσον αφορά την αγορά ακινήτων και την διακύμανση των αξιών τους.

Σύμφωνα με τις οδηγίες της Ε.Ε. και η Ελλάδα συμμετέχει στο πρόγραμμα ταξινόμησης των κτιρίων της και με τον Νόμο 3661/2008 «Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ Α' 89), ενσωματώνει στο εθνικό μας δίκαιο την Οδηγία 2002/91/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 16ης Δεκεμβρίου 2002, για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων (ΕΕ L1/4-1-2003).

## **2. Βιοκλιματική Αρχιτεκτονική και Υπόγειος Χώρος**

Βασικό κομμάτι της αειφόρου ανάπτυξης είναι η εφαρμογή αρχιτεκτονικού σχεδιασμού με περισσότερη ευαισθησία στο περιβάλλον και η αλληλεπίδραση του με την κατασκευή. Η αρχιτεκτονική πάντοτε εκμεταλλεύεται τις παροχές της φύσης για να ικανοποιήσει τις ανθρώπινες ανάγκες. Υπάρχει μακρά και γεμάτη παράδοση εφευρετικότητα σχετικά με την κατασκευή κτισμάτων τα οποία εκτίθενται σε ιδιαίτερες συνθήκες κλίματος και περιβάλλοντος.

Οι υπόγειες κατασκευές αντιπροσωπεύουν τις αρχές της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής αφού εκμεταλλεύονται στο έπακρο τις παροχές του περιβάλλοντος και γίνονται κομμάτι του, βασιζόμενοι σε αυτές τις αρχές, εισάγεται μια νέα προοπτική στο σχεδιασμό των υπόγειων κατοικιών η οποία προάγει τις αρχές της βιωσιμότητας. Οι αρχές αυτές ωστόσο, δεν αναλώνονται στην όσο το δυνατόν μεγαλύτερη μείωση του αντίκτυπου μιας κατασκευής στο περιβάλλον αλλά στην δημιουργία μιας αρχιτεκτονικής η οποία είναι θεμελιωδώς υπεύθυνη απέναντι στη θέση κατασκευής, στις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν αλλά και στις εκάστοτε ανάγκες των ατόμων στα οποία απευθύνεται.

Ο σκοπός είναι, μέσω των εφαρμογών της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής, να μην μειώνεται η ελευθερία στον σχεδιασμό αλλά αντίθετα να προωθούνται ρηξικέλευθες ιδέες για τη δημιουργία κατασκευών οι οποίες χαρακτηρίζονται από πρακτικότητα και ανταπεξέρχονται στις ανάγκες του μέλλοντος.

Ουσιαστικά ένα βιοκλιματικό υπόγειο κτίριο πρέπει να καταναλώνει όσο το δυνατόν λιγότερη ενέργεια για τη διατήρηση βιώσιμων συνθηκών θερμοκρασίας, υγρασίας, αερισμού και φωτισμού.

Η ροή της θερμότητας πρέπει να προκύπτει πρωταρχικά από τους φυσικούς μηχανισμούς των φαινομένων μεταφοράς (ελκυσμός) χωρίς τη χρήση μηχανικών μέσων. Το ζητούμενο είναι να γίνεται σωστή διαχείριση της ενέργειας και να επικρατούν συνθήκες άνεσης σε όλους τους χώρους της κατασκευής ανεξαρτήτως εποχής.

Η υπόγεια κατασκευή πρέπει να κλιματίζεται από την απόρριψη της ανεπιθύμητης θερμότητας μέσω επαγωγικών περιβαλλοντικών αγωγών όπως το έδαφος, ο αέρας, το



νερό (επαγωγική διοχέτευση θερμότητας), μέσω των φυσικών φαινομένων μεταφοράς θερμότητας.

Στα πλαίσια της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής, η εισαγωγή της ηλιακής ακτινοβολίας ρυθμίζεται σε τέτοια επίπεδα ώστε να επιτυγχάνεται ο απαραίτητος φυσικός φωτισμός χωρίς να καθίσταται ο χώρος αφόρητα ζεστός.

Στις περισσότερες περιπτώσεις καθίσταται απαραίτητη η αποχή-συμμετοχή τεχνιτών συνθηκών για τον φωτισμό αλλά και τη θέρμανση-ψύξη. Επιπροσθέτως, καθώς ούτε η φυσική θερμότητα ούτε ο φυσικός φωτισμός μπορούν να καλύψουν όλες τις ανάγκες καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, βοηθητικές εγκαταστάσεις (αυτοματισμοί) μπορούν να συμπληρώνουν τα κενά αυτά και μέσω χειριστηρίων να συνεισφέρουν ώστε να διατηρούνται σταθερές οι επιθυμητές συνθήκες θερμοκρασίας.

Η παθητική θέρμανση, ο φυσικός κλιματισμός και φωτισμός, παράγονται από ένα φάσμα στρατηγικών όπου η εφαρμογή και η λειτουργία τους εξαρτάται από τον προσανατολισμό και τον τύπο των κατασκευών.

Ο στρατηγικός σχεδιασμός προάγει την αλληλεπίδραση μεταξύ του ανθρώπου και του περιβάλλοντος του κτιρίου αλλά και των συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή που τοποθετείται. Αυτό απαιτεί τη γνώση του κλίματος και της τεχνολογίας που έχουμε πρόσβαση αλλά και των υλικών που συνδυάζονται για να αποδώσουν τόσο την άνεση αλλά και να αντεπεξέλθουν κατάλληλα αναλόγως των συνθηκών που καλείται το κτίριο να αντιμετωπίσει.

Συμπερασματικά, ο συνδυασμός των αρχών της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής και της χρήσης του υπόγειου χώρου εγγυάται την αειφόρο ανάπτυξη. Οι αρχές που διέπουν την διαμόρφωση των βιώσιμων υπόγειων χώρων είναι αλληλένδετες με αυτή και μπορούν με σχετική ευκολία να αποτελέσουν τμήμα της καθημερινότητας του ανθρώπου στο μέλλον.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> Μάτζιου, Λένα. *Βιοκλιματική αρχιτεκτονική στην Ελλάδα*. Αθήνα: Έργον IV, 2008. *Print*.

## 2.1. Ιστορικά στοιχεία χρήσης του υπογείου χώρου

Το κατάλυμα που επέλεξαν οι πρώτοι άνθρωποι για να κατοικήσουν ήταν η σπηλιά. Το κατάλυμα αυτό κάλυπτε όλες τις πρωταρχικές τους ανάγκες για προστασία από τις καιρικές συνθήκες και τους φυσικούς τους εχθρούς. Παρείχε δηλαδή ένα ασφαλές περιβάλλον.

Εκμεταλλεόμενοι των πλεονεκτημάτων που παρείχε η σπηλιά, την χρησιμοποιούσαν εκτός από τη διαβίωση και για άλλες δραστηριότητες όπως, για αποθήκευση τροφής, εργασία και γενικότερα τη διατήρηση της ποιότητας της ζωής τους μακριά από τους κινδύνους του εξωτερικού περιβάλλοντος.

Στην Τυνησία στο χωριό Matmâta (βλ. Εικόνα 2.1.) που βρίσκεται 450 km νότια της Τύνιδας συναντάται ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα υπόγειων κατασκευών. Ένα σύμπλεγμα υπόγειων κατοικιών συνθέτει ένα ιδιαίτερο χωριό που κατοικείται ακόμη και σήμερα. Η κατασκευή του έγινε με την εκσκαφή τμημάτων του εδάφους και σκάβοντας περιμετρικά υπόγειους θαλάμους. Έτσι στα υπόγεια τμήματα δημιουργήθηκαν δωμάτια αλλά και υπόγειοι διάδρομοι συνδέοντας τις οικίες μεταξύ τους. Η θερμοκρασία στο εσωτερικό των κατοικιών κυμαίνεται μεταξύ 20-22°C καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Δεν είναι γνωστή η περίοδος που πρωτοεμφάνιστηκαν αλλά υπήρχαν ήδη από τα ρωμαϊκά χρόνια. Κατασκευάστηκαν για να προστατεύσουν τους κατοίκους από εχθρικές επιδρομές αλλά και λόγω των πολύ υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν στην περιοχή.



Εικόνα 2.1. Άποψη τμήματος του υπόγειου χωριού Matmâta.

Ακόμη και ο κύριος εκπρόσωπος του κινήματος των μοντερνιστών Le Corbusier προάγει τη σύνδεση της κατασκευής με το περιβάλλον, δημιουργώντας κτίρια που εκφράζουν ενότητα με το τοπίο. Στην πορεία του ως αρχιτέκτονας είναι φανερή η σχέση που δημιουργείται με το περιβάλλον αφού η κατασκευή γίνεται τμήμα του περιβάλλοντος χώρου. Ο Le Corbusier συνδυάζει φυσικές με γεωμετρικές απεικονίσεις όπως μπορεί να διαπιστωθεί στην εκκλησία της Notre dame du haut στο Ronchamp το 1954. Κομμάτι της κατασκευής είναι υπόγειο καθώς οι παρακείμενες κατοικίες είναι βυθισμένες στο λόφο (βλ. σχέδιο 1.2).

---

<sup>4</sup> Πηγή Εικόνας 2.1.: <<http://news.nationalgeographic.com>>.



Σχέδιο 2.1. Τομή Υπόγειων βοηθητικών χώρων στην εκκλησία Notre dame du haut.

Η ιδιαίτερη σύνδεση της κατασκευής της εκκλησίας της Notre dame du haut με τον υπόγειο χώρο αποτελεί μια προσπάθεια από μια εξέχουσα προσωπικότητα της παγκόσμιας αρχιτεκτονικής να αναδειχθεί η χρήση του υπόγειου χώρου ήδη από το 1954.

## 2.2. Σημαντικά οφέλη που προκύπτουν από την υπόγεια ανάπτυξη

### Κλίμα

Η ζωή στον υπόγειο χώρο είναι ένας αποδοτικός τρόπος αντιμετώπισης των ακραίων κλιματικών συνθηκών. Μια υπόγεια κατασκευή είναι πιο ανθεκτική στις καιρικές συνθήκες παρέχοντας ένα άνετο περιβάλλον τόσο κατά τη καλοκαιρινή όσο και τη χειμερινή περίοδο. Επίσης, καταναλώνεται λιγότερη ενέργεια αφού μειώνονται οι ενεργειακές δαπάνες για περαιτέρω ψύξη και θέρμανση τις αντίστοιχες περιόδους.

### Κόστος

Το κόστος της γης μειώνεται είτε μέσω της χαμηλής ζήτησης είτε όταν υπάρχουν πολλά διαθέσιμα παρόμοια “προϊόντα”. Υπό τις συγκεκριμένες συνθήκες αυτό μπορεί να γίνει απλά τονίζοντας τη διπλή χρήση της γης ή μέσω της προώθησης παρόμοιων χαμηλότερου κόστους κατασκευών στις πλαγιές.

<sup>5</sup> Πηγή Σχεδίου 2.1.: <<http://vanibahl.wordpress.com>>.

Σχεδιαστικά και κατασκευαστικά κόστη μπορούν να ελαχιστοποιηθούν όταν μαζικοποιείται η κατασκευή τέτοιου τύπου υπόγειων κατασκευών. Επίσης η ελάχιστη ανάγκη για τη χρήση υλικών εξωτερικών επιφανειών και το χαμηλό κόστος συντήρησης συντελούν στη περαιτέρω μείωση του κόστους κατασκευής.

Επιπροσθέτως, δεν υπάρχει η ανάγκη για επανάληψη των εφαρμογών μόνωσης καθώς δεν παρατηρούνται φαινόμενα γήρανσης (προκαλείται από την έκθεση στον ήλιο) και ρωγμάτωσης υλικού (προκαλείται από τις απότομες θερμοκρασιακές αλλαγές).

### **Περιβάλλον**

Μια υπόγεια κατασκευή διατηρεί τη μορφολογία της γης και το περιβάλλον ανεπηρέαστο αφού επεμβαίνει ελάχιστα στο οικοσύστημα προστατεύοντας το από την έκθεση σε εξωγενείς παράγοντες (όπως τα υψηλά επίπεδα θορύβου) που ενδέχεται να το διαταράξουν ενώ εξοικονομεί και αρκετό χώρο για πράσινο.

### **Ασφάλεια**

Μια υπόγεια πόλη παρέχει μεγαλύτερα επίπεδα ασφάλειας σε σχέση με μία υπέργεια αν είναι σωστά μελετημένη. Προσφέρει προστασία έναντι καταιγίδων, τυφώνων και πυρηνικών απειλών. Είναι ανθεκτική στη φωτιά ενώ υπάρχει ελάχιστη πιθανότητα μετάδοσής της σε γειτονικές κατασκευές.

Εξαιτίας αυτού, τα ποσά που δαπανώνται για ασφάλιση αναμένεται να είναι χαμηλότερα. Οι υπόγειες κατασκευές είναι ασφαλείς και έναντι καταστροφών από σεισμούς αν έχουν ληφθεί τα κατάλληλα μέτρα. Τέλος, δεν υπάρχει κίνδυνος να εμφανιστούν ακραία φαινόμενα θερμοκρασίας.

### 2.3. Μέθοδοι Κατασκευής Υπόγειων Χώρων

Η κατασκευή ενός υπόγειου έργου ποικίλει ανάλογα, με το επιθυμητό βάθος στο οποίο εκτείνεται, το γεωλογικό υπόβαθρο στο οποίο θα τοποθετηθεί, τη χρήση του αλλά και τις επιμέρους κοινωνικοοικονομικές συνθήκες στα πλαίσια των οποίων θα δημιουργηθεί. Περιληπτικά αναφέρονται οι βασικές μέθοδοι κατασκευής υπόγειων χώρων ως εξής:

### 2.4. Δημιουργία τεχνητών υπόγειων θαλάμων

Κατασκευάζονται με την υπόγεια προσβολή του πετρώματος και την υποστήριξη όταν αυτή απαιτείται (βλ. εικόνα 2.2.). Παρότι η μέθοδος εφαρμόζεται κυρίως σε σκληρά συνεκτικά πετρώματα, με την πρόοδο της τεχνολογίας, οι περιορισμοί σε σχέση με την σκληρότητα του εδάφους ελαχιστοποιούνται και η δημιουργία τεχνητών υπόγειων θαλάμων μπορεί να εφαρμοστεί σε μεγάλο εύρος πετρωμάτων επιβαρύνοντας το κόστος κατασκευής. Η εν λόγω μέθοδος κατασκευής είναι πολύ δημοφιλής στον κόσμο, αποτελεί όμως, μια σχετικά ακριβή μέθοδο.



Εικόνα 2.2. Υπόγειες εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού λυμάτων στην Φινλανδία.



## 2.5. Εκσκαφή και επανεπίχωση (Cut and Cover)

Η μέθοδος εκσκαφής και επανεπίχωσης έχει κυρίως εφαρμογή στην κατασκευή σηράγγων και σταθμών του μετρό. Η διαδικασία ξεκινά με την εκσκαφή του ορύγματος και την αντιστήριξη των πρανών του καταλλήλως. Ακολούθως «κτίζεται» ο μόνιμος φορέας του σταθμού ή της σήραγγας ξεκινώντας από τη θεμελίωση προς τα επάνω δηλαδή ως μια συνήθης οικοδομή. Τέλος, γίνεται επικάλυψη της κατασκευής με επίχωση ως την επιφάνεια του εδάφους και αποκαθίσταται η περιοχή.

## 2.6. Υπόσκαφες κατασκευές

Ο σχεδιασμός αυτός αποκαλύπτει μία όψη του κτιρίου και καλύπτει τις υπόλοιπες πλευρές, ενδεχομένως και την οροφή, με χώμα (βλ. σχέδιο 2.3.). Οι καλυμμένες πλευρές προστατεύουν και μονώνουν το κτίριο. Η εκτεθειμένη πρόσοψη, η οποία συνήθως είναι νότια προσανατολισμένη, επιτρέπει την διείσδυση του ηλιακού φωτός το οποίο ζεσταίνει το εσωτερικό. Το κτίριο σχεδιάζεται έτσι ώστε να πραγματοποιείται μεταφορά του φωτός και της θερμότητας μεταξύ των διαφόρων χώρων κοινής χρήσης και των υπνοδωματίων.



Εικόνα 2.3. Απεικόνιση της πρόσοψης υπόσκαφης βίλας στην Ελβετία.

<sup>6</sup> Πηγή Εικόνας 2.3.: <<http://www.villavals.ch>>..

Η κατασκευή αυτού του τύπου μπορεί να τοποθετηθεί σε διάφορα βάθη από την επιφάνεια του εδάφους αλλά συνήθως τη συναντούμε σε πλαγιές λόφων. Η θέα που προσφέρεται είναι προς κάποιο τοπίο και όχι τόσο προς τον ουρανό. Η συγκεκριμένη μέθοδος μπορεί να αποτελεί τη λιγότερο δαπανηρή και την πλέον απλή συγκριτικά με τις υπόλοιπες διαθέσιμες.

Σε περιπτώσεις τέτοιου σχεδιασμού υπάρχει πιθανότητα η κυκλοφορία του αέρα να είναι περιορισμένη και η πρόσβαση του ηλιακού φωτός στο βόρειο τμήμα του κτιρίου να είναι μειωμένη. Ωστόσο, τα προβλήματα αυτά μπορούν να αντιμετωπιστούν με διάφορες τεχνικές, παράδειγμα αποτελεί η χρήση φεγγιτών.<sup>7</sup>

## 2.7. Κατασκευές που επικαλύπτονται με χώμα (Earth Berm)



Εικόνα 2.4. Απεικόνιση κατοικίας στην Πολωνία.

<sup>7</sup> "Styles of Earth Sheltered Homes | Concrete Residential, Commercial & Multi-Family Construction." *Earth Sheltered Homes | Concrete Residential, Commercial & Multi-Family Construction*. Web. 25 Aug. 2010. <<http://www.earthshelteredhome.com/building-styles.htm>>.

<sup>8</sup> Πηγή Εικόνας 2.4.: <<http://www.kwkpromes.pl>>.



Κατασκευάζονται σε περιοχές με μικρή ή καθόλου κλίση εδάφους και καλύπτονται από χώμα δημιουργώντας ένα λόφο, αφήνοντας ακάλυπτη μια επιφάνεια για να εισέρχεται το φως της ημέρας με φυσικό τρόπο (βλ. εικόνα 2.4.). Μία τέτοια κατασκευή θα μπορούσε να είναι καλυμμένη στις δύο πλευρές αφήνοντας ανοικτές την πίσω όψη και την πρόσοψη.

Τέλος, ένα κτίριο το οποίο ακολουθεί το συγκεκριμένο σχεδιασμό μπορεί να διατηρεί μόνο μία πλευρά επαφής με τη γη καθώς οι άλλες τρεις παραμένουν ανοιχτές.

## 2.8. Αίθριο

Ο σχεδιασμός αυτός καθιστά το κτίριο μη ορατό από το επίπεδο του εδάφους και δεν επηρεάζει σχεδόν καθόλου τον περιβάλλοντα χώρο. Τα δωμάτια τοποθετούνται κάτω από το έδαφος ενώ περιβάλλουν ένα υποβαθμισμένο σε επίπεδο χαμηλότερο της επιφάνειας του εδάφους, άνοιγμα, που συνήθως έχει τη μορφή κήπου (βλ. σχέδιο 2.5.).



Εικόνα 2.5. Απεικόνιση βίλας με αίθρια στην Αγγλία.

<sup>9</sup> Πηγή Εικόνας 2.5.: < <http://www.makearchitects.com>>.

Η δομή αυτή είναι ιδανική για τοποθεσίες οι οποίες δεν παρέχουν θέα, για πυκνοκατοικημένες, ανεπτυγμένες και θορυβώδεις περιοχές.

Παρέχει υψηλή προστασία από τους χειμερινούς ανέμους. Ωστόσο, η παθητική θέρμανση μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να είναι περιορισμένη εξαιτίας της θέσης των παραθύρων στο συγκεκριμένο σχεδιασμό. Επίσης, η απομάκρυνση του νερού και του χιονιού αποτελούν κρίσιμα ζητήματα τα οποία απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή εάν ακολουθηθεί ένα τέτοιο σχέδιο υπόγειας κατασκευής.

### **3. Παράμετροι Σχεδιασμού Υπόγειων Κατασκευών**

#### **3.1. Υπόγειες κατασκευές και χρήση γης ανάλογα με το βάθος**

Οι χρηστικές δυνατότητες που προκύπτουν ανάλογα με το βάθος αποτελούν έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν τον σχεδιασμό και τη χρήση μίας υπόγειας κατασκευής.

Μια υπόγεια πόλη μπορεί να εκμεταλλευτεί τον υπόγειο χώρο θεωρητικά σε απεριόριστο βάθος. Το βάθος μιας υπόσκαφης κατασκευής σε μία πλαγιά, καθορίζεται από τις διαθέσιμες οριζόντιες διαστάσεις. Σε μία επίπεδη επιφάνεια καθορίζεται από τις κάθετες διαστάσεις. Συνδυάζοντας τις δύο αυτές διαστάσεις οι χρήσεις της γης μπορούν να πολλαπλασιαστούν.

Οι βασικές αρχές σχετικά με το βάθος και τις χρήσεις γης είναι:

- Όσο μικρότερο το βάθος στο οποίο βρίσκεται ένας υπόγειος χώρος, τόσο εντατικότερες και πιο εκτεταμένες θα είναι οι ανθρώπινες δραστηριότητες στο χώρο αυτό. Εξαιτίας του μικρού βάθους η σύνδεση του υπόγειου χώρου με τις υπέργειες κατασκευές θα είναι ισχυρότερη.
- Όσο αυξάνεται το βάθος, θα υπάρχει μεγαλύτερη αυτοματοποίηση όσον αφορά τις δραστηριότητες και θα μειώνεται ανάλογα με το ποσοστό της συμμετοχής του ανθρώπου στις δραστηριότητες αυτές.
- Στην υπόγεια εκμετάλλευση των υπό κλίση επιπέδων, όπου το βάθος εξαρτάται από της διατιθέμενες οριζόντιες διαστάσεις, η εκμετάλλευση της γης γίνεται σε ένα επίπεδο.

Μια υπόσκαφη οικία κατασκευασμένη σε πλαγιά, στο ρηχό της μέρος έχει άμεση επαφή με τη φύση και το φυσικό φως. Οι χρήσεις γης που δεν εξυπηρετούν τις οικιστικές καθημερινές δραστηριότητες μπορούν να μεταφερθούν βαθιά στο έδαφος.

Ανάλογα με το βάθος του, το έδαφος χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες: ρηχό, μετρίου βάθους και βαθύ. Η χρήση γης και το βάθος πρέπει να λαμβάνονται υπόψη ως προς τις

ανθρώπινες δραστηριότητες και ως προς το πού είναι δυνατόν να προωθείται η ένταξη αυτοματοποιημένων συστημάτων.

### **Ζώνη ρηχού βάθους**

Οι χρήσεις γης ανάλογα με το βάθος είναι ένα σημαντικότερο κεφάλαιο στην υπόγεια ανάπτυξη. Είναι ευκολότερο να γίνει κατανοητό το βάθος σαν μέγεθος δίνοντας ενδεικτικά πεδία βάθους και κατηγοριοποιώντας την δραστηριότητα σε υπέργεια, ρηχού, μεσαίου και μεγάλου βάθους.

Επιλέγεται να γίνει εκτενέστερη αναφορά στην εδαφική ζώνη ρηχού βάθους καθώς θα φιλοξενήσει την υπόσκαφη κατασκευή που μελετάται στην εν λόγω εργασία.

Εξαιτίας της θέσης της ζώνης, δηλαδή, ακριβώς κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, ελαχιστοποιείται το αίσθημα της κλειστοφοβίας. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο αυτή η ζώνη επιλέγεται για τις περισσότερες ανθρώπινες δραστηριότητες καθώς εκεί ο άνθρωπος αισθάνεται μεγαλύτερη σωματική και ψυχολογική άνεση.

Επιπλέον, μπορεί να φιλοξενήσει την ημερήσια ανθρώπινη δραστηριότητα χωρίς να απομονώνεται από την υπέργεια. Η συσχέτιση της ζώνης αυτής με τις δραστηριότητες της επιφάνειας δημιουργεί σύνδεση ανάμεσα στον υπόγειο και τον υπέργειο χώρο.

Η ιδιότητα του εδάφους να παρέχει θερμική απόδοση σε ρηχό βάθος παρέχει την δυνατότητα συνδυαστικής χρήσης του υπόγειου χώρου. Αυτή η ιδιότητα αυξάνει την ανθρώπινη δραστηριότητα αφού μεγαλύτερο εύρος χρήσης προσελκύει περισσότερους ανθρώπους κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η ζώνη αυτή μπορεί να φιλοξενήσει δύο με τρία κάθετα επίπεδα, τα οποία αυξάνουν την χρηστικότητα του χώρου.

Ο σχεδιασμός των χρήσεων του επιπέδου ρηχού βάθους είναι πολύ ευαίσθητος και απαιτείται προσεκτική μελέτη από ομάδα ειδικών που πρέπει απαραίτητα να συμπεριλαμβάνει αρχιτέκτονες, καλλιτέχνες, κοινωνιολόγους, οικονομολόγους, ειδικούς της υγείας, περιβαλλοντολόγους και πολεοδόμους.

### 3.2. Υπόγειες κατασκευές σε υπό κλίση περιοχές

Παρότι οι υπόγειες πόλεις προορίζονται για όλες τις χρήσεις γης, οι οικίες είναι προτιμότερο να έχουν τη μορφή υπόσκαφων κατασκευών τοποθετημένων σε πλαγιές. Συνδέοντας την πλαγιά με την υπόγεια κατοίκηση, πολλές ψυχολογικές και τεχνολογικές ενστάσεις ενάντια στον υπόγειο χώρο μηδενίζονται. Συνδυάζοντας τις τεχνικές οικοδόμησης σε κεκλιμένο επίπεδο και κατασκευής υπόγειων χώρων, πολλοί χρήστες μπορούν να προσαρμοστούν καλύτερα στην ιδέα κατοίκησης σε έναν τέτοιο χώρο. Κάποια από τα πιο εμφανή οφέλη της τοποθέτησης υπόσκαφων κατασκευών σε περιοχές με κλίση εδάφους, είναι η φυσική άμεση διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας στην οικία, η εύκολη πρόσβαση από τον εξωτερικό στον εσωτερικό χώρο και το αντίστροφο, ότι μειώνεται η αίσθηση της κλειστοφοβίας. Ωστόσο υπάρχουν τεχνολογικά εμπόδια και κατασκευαστικές δυσκολίες τα οποία πρέπει να αντιμετωπιστούν.

Παρότι, από γεωλογικής οπτικής, στα βουνά είναι πιθανότερο να παρουσιάσουν αστοχίες και είναι πιο ευαίσθητα στους σεισμούς, οι υπόγειες κατασκευές παρουσιάζουν καλύτερη συμπεριφορά σε σχέση με τις συμβατικές.

Οι υπόσκαφοι αυτοί οικισμοί δεν πρέπει να κατασκευάζονται πάνω σε ζώνες αστοχίας και εδάφη που διατρέχουν κινδύνους καθιζήσεων. Πιο συγκεκριμένα, σε περιπτώσεις σεισμικής δραστηριότητας και ανάλογα με την εκτόνωση του σεισμού (οριζόντια, κάθετα), θα κινηθούν μαζί με όλο τον όγκο του βουνού στο οποίο είναι τοποθετημένοι, αποτρέποντας κατά αυτόν τον τρόπο καταστροφές στην ίδια την κατασκευή. Όσο πιο βαθιά είναι τοποθετημένη μια υπόγεια κατασκευή τόσο ασφαλέστερη είναι.

Επιπροσθέτως, οι σεισμοί μπορεί να πυροδοτήσουν κινήσεις μαζών. Όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση της πλαγιάς, τόσο αυξάνεται η πιθανότητα κίνησης μαζών.

Προκειμένου να αποφευχθεί το φαινόμενο των κατολισθήσεων οι μελετητές πρέπει να είναι ενήμεροι για το είδος των κινήσεων μαζών που θα έχουν να αντιμετωπίζουν έτσι ώστε να λάβουν τα κατάλληλα μέτρα

Οι κινήσεις μαζών μπορεί να αλλάξουν τη μορφολογία του εδάφους. Προκύπτουν όταν σε απότομες πλαγιές η γη αποτελείται από όγκους που δεν συνδέονται μεταξύ τους, ή όταν το έδαφος γίνεται λάσπη μετά από περίοδο έντονης βροχόπτωσης.

Μεγάλη επικινδυνότητα προκύπτει και από το φαινόμενο της διάβρωσης. Πρέπει να γίνεται εκτενής εξέταση των γεωτεχνικών, εδαφικών και γεωλογικών ιδιοτήτων της περιοχής που προορίζεται για την κατασκευή μιας υπόσκαφης οικίας.<sup>10</sup>

### 3.3. Επιλογή Τοποθεσίας

Το πιο κρίσιμο στάδιο στην ανάπτυξη μιας κατασκευής σε πλαγιά είναι η επιλογή τοποθεσίας. Η επιλογή πρέπει να γίνεται με πολλαπλά κριτήρια, περιεκτική, ποσοτική σύνθεση σε συνδυασμό με διαίσθηση και φαντασία και ευελιξία στην υιοθέτηση νέων ιδεών. Πάνω από όλα πρέπει να επικεντρώνεται στις ανθρώπινες ανάγκες.

Τα πιο σημαντικά κριτήρια είναι:

- Σύσταση του εδάφους και γεωλογικά χαρακτηριστικά
- Μορφολογία του εδάφους
- Κλίση εδάφους
- Υδροφόρος ορίζοντας, διάβρωση, υδρολογία
- Ύψος, θερμικές αποδόσεις και σχετική υγρασία
- Προσανατολισμός
- Προσιτότητα

---

<sup>10</sup> Golany, Gideon, and Toshio Ojima. *Geo-space Urban Design*. New York: John Wiley, 1996. Print.

### **3.4. Κλιματολογικές συνθήκες που αντιμετωπίζει μια υπόσκαφη οικία σε υπό κλίση περιοχή**

Ο υπόγειος χώρος χρησιμοποιείται καλύτερα σε περιοχές όπου επικρατούν ακραίες κλιματικές συνθήκες, για παράδειγμα θερμές και ξηρές περιοχές όπως αυτές στην Αυστραλία, και ψυχρές και ξηρές περιοχές όπως αυτές στον Καναδά και τη Σιβηρία.

#### **Άνεμοι**

Τοπικά οι άνεμοι ενισχύονται από τη διαφοροποίηση της θερμοκρασίας και του βαρομετρικού. Σε πλαγιές όπου βρίσκονται στην προέκταση κοιλάδας δημιουργείται ένα φαινόμενο αεροσήραγγας που περνά από το κανάλι που σχηματίζουν οι πλαγιές.

Τις μεσημβρινές ώρες όπου αυξάνεται η ζέστη στα χαμηλότερα επίπεδα της κοιλάδας δημιουργούνται καθοδικά ρεύματα αέρα. Σε περιοχές όπου υπάρχει αναταραχή στον αέρα και η θερμοκρασία είναι χαμηλή προτιμώνται αυτού του είδους υπόγειες κατοικίες. Οι οικίες που είναι τοποθετημένες σε χαμηλά μέρη της πλαγιάς εκτίθενται σε υψηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της ημέρας και χαμηλές κατά τη διάρκεια της νύχτας. Οπότε προτείνεται η κατασκευή σε υψηλότερα επίπεδα.

#### **Ακτινοβολία**

Τα επίπεδα ακτινοβολίας είναι συνήθως πολύ υψηλά στις πόλεις που βρίσκονται σε κοιλάδες. Η ακτινοβολία προέρχεται άμεσα από τον ήλιο και έμμεσα από την αντανάκλαση των γύρω πλαγιών. Ο ελλιπής αερισμός αυξάνει την ένταση της ακτινοβολίας και συμβάλει στην αύξηση της θερμοκρασίας. Οι υπόσκαφοι οικισμοί δεν πλήττονται τόσο από την ακτινοβολία καθώς λαμβάνουν σημαντικά λιγότερη ακτινοβολία και υπάρχει καλύτερη κυκλοφορία του αέρα.

#### **Διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας**

Η διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας αποτελεί μεγάλη πρόκληση στο σχεδιασμό υπόσκαφων οικιών σε πλαγιά. Αυτό το ζήτημα έχει διπλή επίδραση, αφού επηρεάζει τον ψυχολογικό παράγοντα και τον παράγοντα υγείας και κατ' επέκταση τη ευχάριστη διαβίωση των ενοίκων.

Καινοτόμος σχεδιασμός και πολύ καλή μελέτη του προσανατολισμού σε σχέση με τον ήλιο, έχουν σαν αποτέλεσμα την διείσδυση του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας. Οι ακτίνες του ηλίου μπορούν να φτάσουν σε βάθος άνω των επτά μέτρων και σε κλίση 24-52 μοίρες βόρεια και να φωτίσουν τα δωμάτια που βρίσκονται εκεί. Επίσης υπάρχει και θετική επίδραση στην ψυχολογία των ενοίκων όταν υπάρχει φυσικός φωτισμός στο χώρο.

### **3.5. Σχεδιασμός υπόσκαφης οικίας σε υπό κλίση περιοχές**

Όλες οι υπόσκαφες οικίες θα έπρεπε να κατασκευάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να διατηρούν την οπτική πρόσβαση προς το εξωτερικό περιβάλλον.

Οι πλαγιές διαφοροποιούνται τόσο ως προς τη μορφή αλλά και ως προς την κλίση του εδάφους (βλ. σχέδιο 3.1.). Αυτές οι διαφοροποιήσεις, συμβάλλουν στην επιλογή κατάλληλου τύπου υπόγειας κατασκευής για τον κάθε διαθέσιμο χώρο.

#### **Πλαγιές Μικρής Κλίσης**

Εξαιτίας της μικρής κλίσης και της περιορισμένης βραχώδους σύστασης, μένουν σχεδόν αμετάβλητες και γίνονται κάποιες προσαρμοστικές διεργασίες για την τοποθέτηση της οικίας. Υπάρχει ευχέρεια στην κατασκευή ποικίλων τύπων κατασκευής με μόνο περιορισμό στον αριθμό των επιπέδων της οικίας. Μπορεί να εφαρμοστεί και συνδυασμός υπέργειας-υπόγειας κατασκευής πολλαπλών χρήσεων.

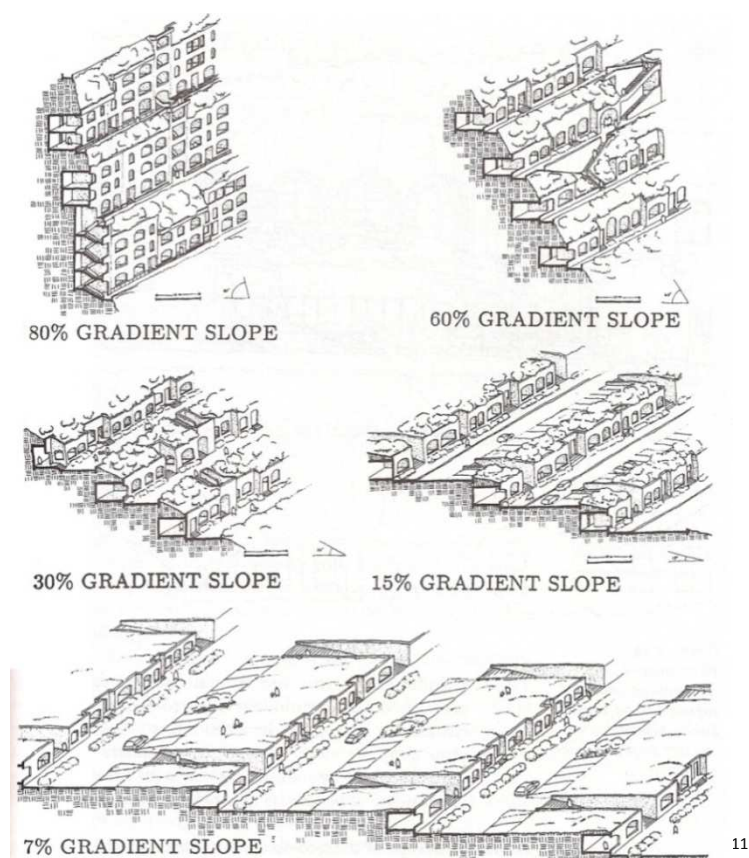
#### **Πλαγιές Μέτριας Κλίσης**

Επιλέγεται περισσότερο σαν χώρος κατασκευής καθώς μπορεί να φιλοξενήσει μεγάλη ποικιλία μορφών κατασκευής και επειδή το κόστος κατασκευής είναι χαμηλότερο απ' ό,τι σε μία περιοχή οξείας κλίσης. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για συνδυασμένες χρήσεις γης.

#### **Πλαγιές Οξείας Κλίσης**

Η κατασκευή εντάσσει στο σχεδιασμό τις γεωμορφολογικές ιδιαιτερότητες που υπάρχουν εμπλουτίζοντας έτσι τις εναλλακτικές μορφοποίησης του χώρου.





Σχέδιο 3.1. Κατασκευές σε πλαγιά με εύρος κλίσης από 7%-80%.

Κατά την κατασκευή υπόσκαφων κατοικιών σε πλαγιά υπάρχουν κάποιες βασικές προτάσεις οι οποίες μπορούν να υιοθετηθούν κατά τη μελέτη και κατασκευή.

- Ενσωμάτωση των υπόσκαφων κατοικιών στο τοπίο. Εντάσσοντας στο σχεδιασμό τμήματα της τοπογραφίας και των ιδιαίτερων φυσικών χαρακτηριστικών της περιοχής, δημιουργείται ένα πλούσιο και ξεχωριστό ανάγλυφο.
- Τοποθέτηση των υπόγειων κατοικιών σε σημείο ώστε να είναι προσανατολισμένες προς την πανοραμική και αρμονική απεικόνιση της κοιλάδας που περιβάλλουν οι πλαγιές.
- Διαμόρφωση των δικτύων συγκοινωνίας που εξυπηρετούν τις υπόσκαφες οικίες, έτσι ώστε να δίνεται η δυνατότητα ανάπαυσης και παρατήρησης της θέας.

<sup>11</sup> Πηγή Σχεδίου 3.1.: Golany, Gideon, and Toshio Ojima. *Geo-space Urban Design*. New York: John Wiley, 1996. Print.

- Διατήρηση ανεμπόδιστου ορίζοντα προς την πόλη με σκοπό να δημιουργείται η αίσθηση της ενότητας.
- Τοποθέτηση πολιτιστικών κέντρων και κέντρων αναψυχής που προσελκύουν τον κόσμο.
- Εισαγωγή στοιχείων της πόλης χωρίς να επηρεάζεται το φυσικό περιβάλλον καθιστώντας τους οικισμούς στους λόφους κομμάτι της πόλης.
- Διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος μειώνοντας στο ελάχιστο τη ζημιά από τις εργασίες ανοικοδόμησης
- Σύνδεση της υπέργειας πόλης με τις υπόσκαφες κατασκευές με υπόγειο δίκτυο μεταφορών και ένα δίκτυο για πεζούς που θα βρίσκεται επιφανειακά.
- Έμφαση στις γεωμορφολογικές ιδιαιτερότητες της πλαγιάς. Κάθε πλαγιά έχει τη δική της μοναδική χροιά, με θετικά οφέλη που μπορούν να αναδειχθούν.
- Ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δοθεί στην διατήρηση του τοπίου και του φωτισμού κατά τη διάρκεια της νύχτας. Πολύ σημαντικό είναι να μην υπάρχουν εμπόδια που παρεμβάλλονται στην θέα των υπόσκαφων οικιών προς τη κοιλάδα.
- Οι υπέργειες κατασκευές που βρίσκονται στην πλαγιά δεν πρέπει να έχουν μεγάλο μέγεθος γιατί εμποδίζουν τη θέα.
- Πρέπει να υπάρχει μέριμνα για δίκτυα άμεσης διαφυγής σε περίπτωση ανάγκης. Για την κατασκευή του δικτύου δεδομένη είναι η μελέτη της πιθανότητας κατολισθήσεων, καθιζήσεων, φωτιάς και σεισμού, δεν πρέπει να υπάρχει μαζική πρόσβαση για να χρησιμοποιείται μόνο σε περιπτώσεις ανάγκης.

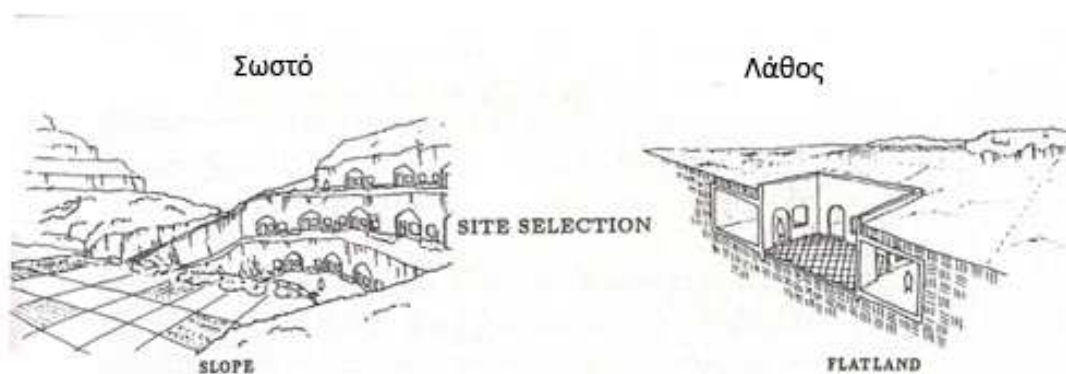
Είναι πολύ σημαντικό να ελαχιστοποιείται όσο το δυνατόν περισσότερο η παρέμβαση στο ευαίσθητο οικοσύστημα της πλαγιάς. Κάθε πλαγιά έχει μοναδικό χαρακτήρα εσωτερικά και εξωτερικά. Η διαφορετικότητα αυτή μπορεί να αποτελέσει έναυσμα για την υιοθέτηση πρωτότυπων σχεδιασμών που πηγάζουν από το ίδιο το φυσικό περιβάλλον.

## Αρχές σχεδιασμού

Η τεχνολογία βρίσκεται σε επίπεδο ικανό για την κατασκευή οποιουδήποτε τύπου υπόγειου χώρου σε σχεδόν κάθε μορφή πλαγιάς και ταυτόχρονα να τηρούνται τα σύγχρονα πρότυπα διαβίωσης. Ο σωστός σχεδιασμός επιτρέπει την εισαγωγή φυσικού φωτισμού και αερισμού από το εξωτερικό περιβάλλον σε μεγάλα βάθη της κατασκευής. Για να είναι εφικτό αυτό πρέπει να μελετηθούν πέντε σημεία που αφορούν την κατασκευή. Αυτές είναι, η επιλογή της θέσης κατασκευής, ο προσανατολισμός, η προσβασιμότητα, η σύνδεση εξωτερικού με εσωτερικό χώρο και ο φυσικός αερισμός.

## Επιλογή θέσης κατασκευής

Όπως προαναφέρθηκε, οι υπόγειοι χώροι που προορίζονται για κατοίκηση πρέπει να τοποθετούνται αποκλειστικά σε πλαγιές και όχι σε επίπεδες περιοχές (βλ. σχέδιο 3.2.). Οι πλαγιές παρέχουν τη δυνατότητα εφαρμογής ενός πλήθους διαμορφώσεων που έχουν σαν αποτέλεσμα ένα μεγάλο φάσμα σχεδιαστικών μορφών. Επιπροσθέτως, μειώνεται το αίσθημα της κλειστοφοβίας και αντισταθμίζει την απώλεια των άλλων πλεονεκτημάτων των επίπεδων περιοχών.



Σχέδιο 3.2. Θέση κατασκευής (σύγκριση).

## Προσανατολισμός

Η μέχρι τώρα παρουσίαση κτιριακών τύπων ή διατάξεων, που κυοφορούν τον βιοκλιματικό σχεδιασμό δεν εστίασε στο θέμα της αξιοποίησης του προσανατολισμού. Παράμετροι, όπως η ασφάλεια, η θέα, η ιδεολογική-θρησκευτική αντίληψη, η αισθητική

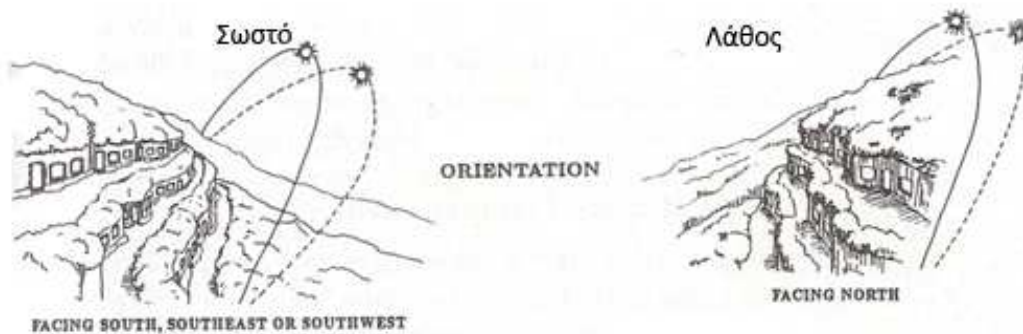
<sup>12</sup> Πηγή Σχεδίου 3.2.: Golany, Gideon, and Toshio Ojima. *Geo-space Urban Design*. New York: John Wiley, 1996. Print.

πρόθεση ή η μόδα της εκάστοτε εποχής, ενδεχομένως ήταν επικρατέστερα στο παρελθόν. Στην παρούσα όμως συγκυρία, η πρόθεση εξοικονόμησης ενέργειας καθιστά τον προσανατολισμό θεμελιώδη παράμετρο.

Η γνώση της τροχιάς του ηλίου, δηλαδή η κατανόηση των διαφορετικών ημερήσιων και εποχικών θέσεων του ηλίου είναι καθοριστική για την ανάλυση και σύνθεση της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής. Η ηλιακή ακτινοβολία έχει ημερήσιους και εποχιακούς κύκλους. Ανάμεσα στις δύο ισημερίες, 21 Σεπτεμβρίου μέχρι 21 Μαρτίου, ο ήλιος είναι πάντα προς το νότο, το ύψος είναι χαμηλό και στις 21 Δεκεμβρίου, έχουμε τη μικρότερη διάρκεια ημέρας και το χαμηλότερο ύψος ηλίου. Αντίθετα, από την 21η Μαρτίου έως την 21η Σεπτεμβρίου, ο ήλιος ανατέλλει νωρίς το πρωί βορειοανατολικά και δύει αργά το απόγευμα βορειοδυτικά. Προς το νότο βρίσκεται όταν το ύψος στον ορίζοντα είναι αρκετά σημαντικό, με μέγιστο μεσημβρινό ύψος στο θερινό ηλιοστάσιο στις 21 Ιουνίου.

Οι διακυμάνσεις της έντασης και της γωνίας πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας καθιστούν τον προσανατολισμό του κτίσματος πρωτεύον θέμα στην εξοικονόμηση ενέργειας και στη βιωσιμότητα του. Διερευνώντας τις συνέπειες των διαφοροποιήσεων της τροχιάς του ηλίου αντιλαμβανόμαστε ότι ο επιθυμητός προσανατολισμός πρέπει να είναι προς το νότο, νοτιοανατολικά ή νοτιοδυτικά αλλά ποτέ προς το βορρά. Ο σωστός προσανατολισμός μεγιστοποιεί τη διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας βαθιά μέσα στην οικία (βλ. σχέδιο 3.3.). Η ποιότητα του φωτός είναι παρόμοια εάν όχι ανώτερη των υπέργειων κατοικιών. Αυτό γίνεται διότι ο ήλιος το χειμώνα έχει χαμηλό ύψος, διεισδύει βαθιά στο κτίριο και προσφέρει άμεσα θερμικά οφέλη, το δε καλοκαίρι ο ήλιος βρίσκεται ψηλά και η διείσδυση του εμποδίζεται εύκολα με στενό οριζόντιο στέγαστρο. Ο ανατολικός και δυτικός θεωρούνται δυσμενείς προσανατολισμοί διότι δέχονται ελάχιστη ηλιακή ακτινοβολία τον χειμώνα, ενώ αντίθετα το καλοκαίρι η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει κάθετα στις όψεις για μεγάλη διάρκεια της ημέρας και δημιουργεί υπερθέρμανση των χώρων. Η βόρεια όψη δεν δέχεται ποτέ κατά τον χειμώνα άμεσα ηλιακή ακτινοβολία. Τα θερμικά κέρδη από τη διάχυτη ακτινοβολία είναι ασήμαντα σε

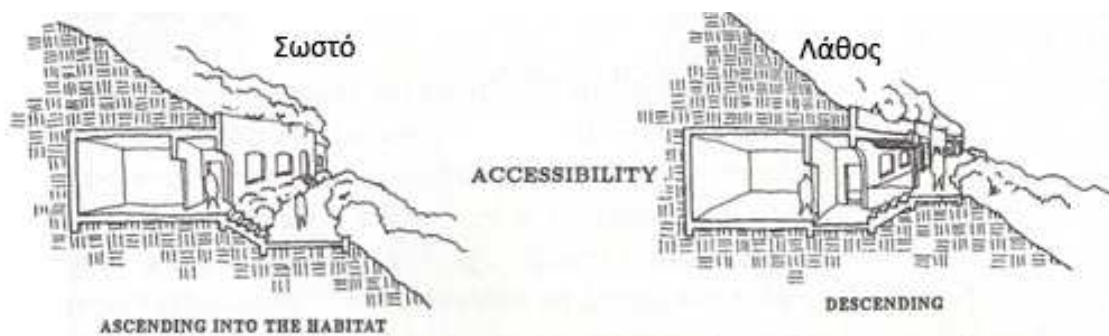
σχέση με τις αυξημένες απώλειες. Επί πλέον οι κρύοι άνεμοι τον χειμώνα έρχονται κυρίως από τον βορρά.<sup>13</sup>



Σχέδιο 3.3. Προσανατολισμός (σύγκριση).

### Προσβασιμότητα

Η πρόσβαση σε μια υπόσκαφη οικία πρέπει να γίνεται ανεβαίνοντας επίπεδο για να διαχωρίζεται σαν ιδιοκτησία αλλά και να διαφοροποιείται από τις παλαιότερες χρήσεις του υπόγειου χώρου που η πρόσβαση σε αυτούς γινόταν κατεβαίνοντας επίπεδα (βλ. σχέδιο 3.4.). Ανεβαίνοντας σκαλιά κατά την είσοδο στο υπόσκαφο καταρρίπτονται οι προκαταλήψεις σχετικά με τον υπόγειο χώρο καθώς και η αίσθηση της κλειστοφοβίας.

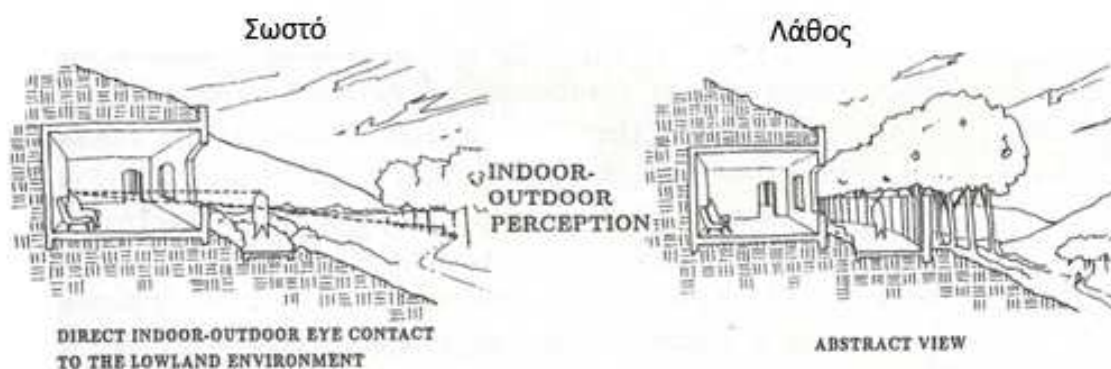


Σχέδιο 3.4. Επιλογή πρόσβασης (σύγκριση).

<sup>13</sup> Μάτζιου, Λένα. Βιοκλιματική αρχιτεκτονική στην Ελλάδα. Αθήνα: Έργον IV, 2008. Print.

### Σύνδεση εξωτερικού με εσωτερικό χώρο

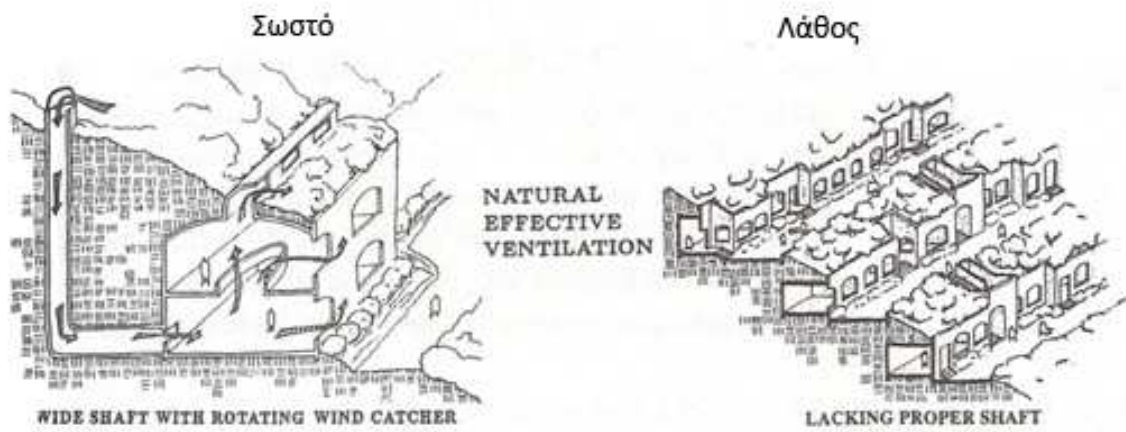
Ο σχεδιασμός πρέπει να επιτρέπει άμεση επαφή του εσωτερικού της οικίας με το εξωτερικό περιβάλλον (βλ. σχέδιο 3.5.). Με αυτή την εφαρμογή ο ένοικος νιώθει μέρος του περιβάλλοντος του και προάγεται η αλληλεπίδραση περιβάλλοντος κατασκευής. Και σε αυτή την περίπτωση το μέτρο αυτό καταπολεμά την κλειστοφοβία.



Σχέδιο 3.5. Σύγκριση εξωτερικού με εσωτερικό χώρο (σύγκριση).

### Φυσικός αερισμός

Πρέπει να παρέχεται φυσικός αερισμός βαθιά μέσα στην οικία ο οποίος να επηρεάζεται από φυσικές διεργασίες. Οι πλαγιές είναι σύνηθες να έχουν κάποια κινητικότητα αέριας μάζας, ιδιότητα που είναι εκμεταλλεύσιμη για τον φυσικό αερισμό (βλ. σχέδιο 3.6.). Ειδικότερα σε θερμά-υγρά κλίματα η εφαρμογή αυτής της πρότασης είναι κρίσιμης σημασίας.



14

Σχέδιο 3.6. Φυσικός αερισμός (σύγκριση)

<sup>14</sup> Πηγή Σχεδίων 3.3. – 3.6.: Golany, Gideon, and Toshio Ojima. *Geo-space Urban Design*. New York: John Wiley, 1996. Print.

**Πίνακας 3.1****Οφέλη κατοίκησης και χρήσης υπόσκαφων κατασκευών σε υπό κλίση περιοχές**

<b>Ηλιακή ακτινοβολία</b>	Δυνατότητα διείσδυσης ηλιακής ακτινοβολίας σε περισσότερα του ενός επίπεδα της υπόσκαφης κατασκευής βάσει κατάλληλου σχεδιασμού.
<b>Αερισμός</b>	Η κυκλοφορία του αέρα στην υπόσκαφη κατασκευή αυξάνεται και επιτυγχάνονται ιδανικές συνθήκες για την λειτουργία παθητικού αερισμού.
<b>Ποιότητα αέρα</b>	Ύπαρξη φρέσκου αέρα λόγω υψομέτρου και τοπογραφίας, ο οποίος κυκλοφορεί και ανανεώνεται συνεχώς.
<b>Φυσικοί κίνδυνοι</b>	<p>Παρατηρείται χαμηλότερο αντίκτυπο σεισμών στην υπόσκαφη κατασκευή με την εφαρμογή και των κατάλληλων σχεδιαστικών μέτρων.</p> <p>Υπάρχει μικρή πιθανότητα εξάπλωση της φωτιάς στην υπόσκαφη κατασκευή.</p> <p>Δεν υπάρχει κίνδυνος πλημμύρας αν έχουν ληφθεί κατάλληλα αποστραγγιστικά, αποχετευτικά μέτρα.</p>
<b>Ποιότητα ζωής</b>	<p>Η υπόσκαφη κατασκευή παρέχει ένα ηχομονωμένο περιβάλλον με σταθερή, ευχάριστη θερμοκρασία αέρα το οποίο μπορεί να τονώσει τη διάθεση και την παραγωγικότητα.</p> <p>Παρέχει άμεση πρόσβαση στο περιβάλλον και συγχρόνως παρέχει προστασία από τις καιρικές συνθήκες. Προστατεύει επίσης έναντι των ακραίων κλιμάτων.</p>

<sup>15</sup> Πηγή Πίνακα 3.1.: Golany, Gideon, and Toshio Ojima. *Geo-space Urban Design*. New York: John Wiley, 1996. Print.



### 3.6. Βάθος και εδαφικές θερμικές αποδόσεις

Η θερμική απόδοση του εδάφους είναι ένα από τα ισχυρότερα στοιχεία που επηρεάζουν τον υπόγειο χώρο.

Οι θερμικές διαβαθμίσεις του εδάφους διαφέρουν σημαντικά από αυτές της επιφάνειας. Γενικότερα, σε βάθος περίπου δέκα μέτρων, η θερμοκρασία του εδάφους επηρεάζεται από τον ήλιο. Καθώς το βάθος αυξάνεται, η επίδραση της εσωτερικής θερμότητας της γης είναι ορατή. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, η θερμότητα από την ηλιακή ακτινοβολία επηρεάζει τα πρώτα πέντε με επτά εκατοστά του εδάφους. Η θερμοκρασιακή κινητικότητα όμως φθάνει τα 10m.

Οι βασικοί κανόνες θερμικής επίδρασης είναι οι εξής:

Μεταξύ επιφάνειας εδάφους και βάθους 10m υπάρχει θερμική διακύμανση ανά εποχή η οποία μειώνεται σε βαθύτερα επίπεδα και αυξάνεται προς την επιφάνεια.

Περίπου στα 10m βάθους, η εποχιακή θερμοκρασία διατηρείται σε σταθερά επίπεδα. Εν συντομία, το έδαφος προσφέρει δύο βασικές λειτουργίες. Πρώτον, λειτουργεί σαν θερμομονωτικό και δεύτερον, λειτουργεί σαν θερμικός συντηρητής.

Έρευνες έχουν δείξει ότι η θερμοκρασία του αέρα ταξιδεύει σε βάθος 10m σε διάρκεια τριών μηνών αφού η μάζα της γης διατηρεί θερμική συνοχή. Εξαιτίας αυτού, η καλοκαιρινή θερμοκρασία αέρα θα φτάσει στον υπόγειο χώρο σε βάθος 10m όταν έλθει ο χειμώνας και το αντίστροφο για τη χειμερινή περίοδο.

Η ανακάλυψη αυτών των ιδιοτήτων των θερμικών ζωνών, το έδαφος ανάμεσα στην επιφάνεια και τα πρώτα 10m βάθους μπορεί να προσφέρει στον άνθρωπο την κάλυψη βασικών αναγκών όπως η ψύξη και η θέρμανση.

Παρότι οι πραγματικές τιμές σχετικά με τη θερμοκρασιακή διακύμανση του εδάφους είναι δύσκολο να βρεθούν στη διάθεση του μελετητή, πρόσφατες μελέτες διευκολύνουν τη διαδικασία της αξιολόγησης του εδαφικού κλίματος και εισάγουν πιο λεπτομερή στοιχεία για το μικροκλίμα των υπόσκαφων κατασκευών. Έχουν αναπτυχθεί αλγόριθμοι για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας του εδάφους σε διάφορα βάθη, βασιζόμενοι σε

προϋπάρχουσες υπαίθριες μετρήσεις ανά τον κόσμο. Το ετήσιο μοτίβο της διακύμανσης της θερμοκρασίας του εδάφους ανάλογα με το βάθος μπορεί να αποτυπωθεί ως ένα ημιτονοειδές κύμα σχετιζόμενο με την ετήσια διακύμανση της θερμοκρασίας της επιφάνειας του εδάφους.<sup>16</sup> Το μοτίβο αυτό προέκυψε από τη θεωρία της περιοδικής αγωγιμότητας για τη μεταβολή της θερμοκρασίας μέσα σε ένα ημι-άπειρο στερεό, θεωρία η οποία έχει αναπτυχθεί σε πολλά εγχειρίδια σχετικά με τη θερμική αγωγιμότητα και την περιβαλλοντική φυσική.<sup>17</sup>

Ο Labs ανέπτυξε μια μαθηματική μέθοδο για την πρόβλεψη του μοτίβου της μακροπρόθεσμης ετήσιας διακύμανσης της θερμοκρασίας του εδάφους σε συνάρτηση με το βάθος και το χρόνο για διαφορετικούς τύπους εδάφους και εδαφικές. Η μέθοδος είναι ικανοποιητικά ακριβής εάν συγκεκριμένα θερμικά και φυσικά χαρακτηριστικά μπορούν να υπολογιστούν με ακρίβεια. Η ορθότητα της μεθόδου έχει τεκμηριωθεί από μεγάλο αριθμό επιτόπου μετρήσεων σε διαφορετικές περιοχές.<sup>18</sup>

Η εξίσωση παρατίθεται παρακάτω:

$$T_{(x,t)} = T_m - A_s e^{-x\sqrt{\pi/365\alpha}} \cos \left\{ \frac{2\pi}{365} \left[ t - t_0 - \left( \frac{x}{2} \right) \left( \sqrt{\frac{365}{\pi\alpha}} \right) \right] \right\}$$

$T(x,t)$ , (°C): Η θερμοκρασία του υπεδάφους σε βάθος  $x(m)$  και χρόνο  $t$ (ημέρα) ανά ημέρα του έτους.

$T_m$ , (°C): Η μέση ετήσια θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους.

$A_s$ , (°C): Το εύρος της ετήσιας θερμοκρασίας της επιφάνειας του εδάφους.

$X$ , (m): Το βάθος.

$t$ , (ημέρα): Ο χρόνος του κάθε έτους όπου ο Ιανουάριος συμβολίζεται με τον αριθμό 1.

$t_0$ : Αντιστοιχεί στην ημέρα της χαμηλότερης θερμοκρασίας επιφάνειας.

$a$  ( $m^2/ημέρα$ ): Η θερμική διάχυση του εδάφους.

<sup>16</sup> K. Labs, "Underground building climate". *Solar Age*. 4(10), pp 44-50, 1979. Print.

<sup>17</sup> W.R. van Wijk, D.A. de Vries, "Periodic temperature variations in a homogeneous soil", *Physics of Plant Environment*, North-Holland, Amsterdam, 1966.

<sup>18</sup> K. Labs, "The underground advantage: climate of soils", *Proceedings of the Fourth National Passive Solar Conference*, American Section of ISES, Kansas City, MO, 1979.

### 3.7. Παθητική θέρμανση, φυσικός φωτισμός και φυσικός αερισμός

Η παθητική θέρμανση, ο φυσικός φωτισμός και ο αερισμός όπως προαναφέρθηκε, είναι το αποτέλεσμα ενός συνόλου στρατηγικού σχεδιασμού του οποίου η εφαρμογή και η μελέτη εξαρτάται από τον προσανατολισμό και τον τρόπο χρήσης του κτιρίου. Η προσφορά του ηλίου μπορεί να καλύψει περισσότερων των μισών αναγκών που θα εξασφάλιζαν άνετη ατμόσφαιρα από πλευράς θερμοκρασίας διασφαλίζοντας ένα οπτικά άνετο περιβάλλον.

Ο ήλιος είναι μια πανίσχυρη πηγή ενέργειας, αλλά πάνω απ' όλα η φιλικότερη προς το περιβάλλον λύση για την κάλυψη των αναγκών ενέργειας του ανθρώπου. Η χρήση του ήλιου και άλλων εναλλακτικών πηγών ενέργειας, για θέρμανση, φωτισμό και κλιματισμό σε συνδυασμό με τον αποτελεσματικό σχεδιασμό μιας κατασκευής (συμπεριλαμβανομένης σωστής μόνωσης και αποτελεσματικού αερισμού) αποτελούν πολύ σημαντικά στοιχεία για ορθή διαχείριση της ενέργειας.

Ο ρόλος του κτίσματος είναι να διατηρεί τη θερμοκρασία κάθε εσωτερικού χώρου, πάντα στα πλαίσια των ανθρώπινων θερμικών ανέσεων, που καθορίζονται από διάφορες δραστηριότητες. Όμως η ηλιακή ενέργεια δεν υπάρχει πάντα και συχνά είναι ελλιπής, όταν την έχουμε περισσότερο ανάγκη (συννεφιασμένες μέρες, νύχτα). Το βιοκλιματικό κέλυφος καλείται να επιλύσει το πρόβλημα, ότι οι θερμικές ανάγκες είναι μέγιστες την εποχή που η προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια είναι ελάχιστη και οι ψυκτικές ανάγκες μεγιστοποιούνται όταν η ηλιακή ακτινοβολία κορυφώνεται. Ζητείται επομένως ένα σύστημα, που να αποθηκεύει τη θερμότητα, όταν αυτή βρίσκεται σε πλεόνασμα, για να την αποβάλει με αργό ρυθμό, όταν η εσωτερική θερμοκρασία τείνει να πέσει και η ηλιακή ενέργεια δεν υπάρχει. Με ανάλογο τρόπο, για το δροσισμό του χώρου χρειάζεται η αποθήκευση ποσότητας ψύχους κατά τη νύχτα, για να χρησιμοποιηθεί την ημέρα.

Η θερμική άνεση συνδέεται άμεσα με τη θερμική αδράνεια του κελύφους, δηλαδή με την ικανότητα από τη μία μεριά να αποθηκεύει και να διατηρεί τη θερμότητα κατά τη διάρκεια του χειμώνα και από την άλλη να αντιστέκεται σε αυτή το καλοκαίρι. Η πρώτη αρχιτεκτονική φροντίδα είναι να χρησιμοποιείται η ίδια η κατασκευαστική δομή σαν βασικός χώρος αποθήκευσης, χρησιμοποιώντας κατάλληλα τα βαριά και στερεά υλικά, που έχουν την ιδιότητα να αποθηκεύουν μεγαλύτερη ποσότητα θερμότητας όπου τα

ελαφρά, στα επί χιλιετίες πέτρινα κτίσματα του ελληνικού τόπου, αλλά και οι σύγχρονες συμβατικές κατασκευαστικές πρακτικές ευνοούν τη συσσώρευση θερμότητας, στο κέλυφος και καθιστούν το οικοδόμημα τη βασική θερμική αποθήκη.

Η θέση της θερμομόνωσης προς το εξωτερικό μέρος του τοιχώματος ενισχύει την αντίσταση του περιβλήματος στις κλιματικές αλλαγές.

Για την επίτευξη της θερμικής άνεσης έχουν προταθεί πολλές στρατηγικές θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου. Εξ αυτών, τα συνηθέστερα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης είναι τα συστήματα άμεσου ηλιακού κέρδους και οι ηλιακοί χώροι. Αντίστοιχα, για το δροσισμό του κτιρίου τα αποτελεσματικότερα συστήματα είναι της ηλιοπροστασίας και του φυσικού αερισμού. Τα παθητικά συστήματα θέρμανσης χρησιμοποιούν εκτεταμένα ηλιοστάσια προς το νότο για τη συλλογή της ηλιακής ενέργειας και αξιοποιούν την ιδιότητα του υαλοστασίου να είναι διαπερατό από όλη την εμφανή ηλιακή ακτινοβολία, ενώ παρουσιάζεται αδιαφάνες στη θερμική ακτινοβολία. Η θέρμανση του εσωτερικού χώρου οφείλεται στη διαδικασία, κατά την οποία η μικρού μήκους κύματος ηλιακή ενέργεια συλλέγεται, δια του υαλοστασίου, στα αδιαφανή δομικά στοιχεία του κτιρίου, απορροφάται από αυτά επανεκπέμπεται ως ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος, που εμποδίζεται από το υαλοστάσιο να διαφύγει προς τα έξω και έτσι εγκλωβίζει τη θερμική ενέργεια. Η θερμότητα συλλέγεται κατά τη διάρκεια της ηλιοφάνειας και αποθηκεύεται για μελλοντική χρήση.<sup>19</sup>

Μια μελέτη του 1990 για την Ευρωπαϊκή επιτροπή, αναφέρει ότι ο παθητικός ηλιακός σχεδιασμός εξασφάλισε την κάλυψη κατά το 9% του συνόλου των καυσίμων που θα χρησιμοποιούνταν και περισσότερο του 6% για θέρμανση και αύξησε κατά 13% τη χρήση του κτιρίου. Υπολογίσθηκε ότι η προσφορά αυτή θα έφτανε το 27% το 2000 και 54% το 2010 αν λαμβάνονταν τα απαραίτητα μέτρα.<sup>20</sup>

---

<sup>19</sup> Μάτζιου, Λένα. *Βιοκλιματική αρχιτεκτονική στην Ελλάδα*. Αθήνα: Έργον IV, 2008. Print.

<sup>20</sup> John R. Goulding & J. Owen Lewis. *Bioclimatic Architecture: Thermie Programme Action*. Hoeilaart: Lior E.E.I.G., 1997. Print.

### 3.8. Παθητικός Ηλιακός Σχεδιασμός

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα σχεδιασμού είναι μια θαυμάσια τεχνική για κατάλληλη χρήση και διατήρηση της ενέργειας. Μπορεί να είναι πολύ δύσκολο να εφαρμοστεί σωστά ωστόσο απαιτεί μια δημιουργική και ευέλικτη προσέγγιση.

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα είναι μια τεχνική που χρησιμοποιεί τη θερμότητα του ήλιου για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας ενός κτιρίου χωρίς τη χρήση άλλων πηγών ενέργειας. Αποτελούν έκφραση της τελικής μορφής του αειφόρου σχεδιασμού κτιρίων με επιτυχία η οποία φτάνει ακόμα και το 100%. Η επιτυχής χρήση των παθητικών ηλιακών σχεδιασμών εξαρτάται από την ορθή κατανόηση των κινήσεων του ήλιου, και την καλύτερη χρήση των υλικών προκειμένου να αξιοποιηθεί η ηλιακή ενέργεια.

Η τοποθεσία του κτιρίου είναι σαφώς ζωτικής σημασίας. Σε πολλές περιοχές με υπερβολική έκθεση στον ήλιο, η χρήση μεγάλων παραθύρων και οι μεγάλες πόρτες γυαλιού καθιστούν τα σπίτια πολύ ζεστά και άβολα κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Πρέπει να πραγματοποιηθεί μία σαφής εκτίμηση του χώρου κατασκευής βάση των διαφόρων παραγόντων οι οποίοι χαρακτηρίζουν τη θέση του. Χαρακτηριστικά αναφέρεται η ύπαρξη άλλων κτιρίων ή δέντρων τα οποία μπορούν να παρέχουν σκιά για το σύνολο ή μέρος της ημέρας.

Στη συνέχεια, έχοντας λάβει σοβαρά υπόψη αυτές τις πληροφορίες, ο μελετητής πρέπει να εξετάσει το φάσμα των διαθέσιμων υλικών για την κατασκευή του κτιρίου. Οι τοίχοι του κτιρίου για παράδειγμα όσον αφορά στον ηλιακό σχεδιασμό, αποτελούν μία θερμική μάζα. Συγκεκριμένα, είναι μία μάζα υλικού το οποίο απορροφά και μονώνει.

Ο τύπος και το μέγεθος των παραθύρων και η θέση τους, το σχήμα του κτιρίου, καθώς και το εξωτερικό περιβάλλον του έργου θα πρέπει να εξεταστούν πολύ προσεκτικά.

### 3.9. Παθητική θέρμανση μέσω ηλιακής ακτινοβολίας

Η εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας αποτελεί μια από τις σημαντικότερες στρατηγικές του σχεδιασμού για την αντικατάσταση της χρήσης των συμβατικού τύπου καυσίμων με απώτερο στόχο τη μείωση του περιβαλλοντικού αντίκτυπου που προκαλείται από την καύση τους.

Εξαρτώμενο από το τοπικό κλίμα αλλά και την κυρίαρχη ανάγκη για θέρμανση και ψύξη, ένα ευρύ φάσμα τεχνικών παθητικού χαρακτήρα είναι πλέον διαθέσιμο στον σχεδιασμό των κατασκευών, μοντέρνων ή κλασικών. Με μικρό ή μηδενικό κόστος σε σχέση με τη συμβατική κατασκευή μπορεί να δημιουργηθεί ένα ενεργειακά αποδοτικό κτίριο με υψηλότερες προδιαγραφές τόσο αισθητικά όσο και από πλευράς θερμικής άνεσης.

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να συνεισφέρει σε μέγιστο βαθμό στις ανάγκες της θέρμανσης. Μία μέθοδος που χρησιμοποιείται για την εκμετάλλευση της είναι μέσω των ηλιακών συλλεκτών.

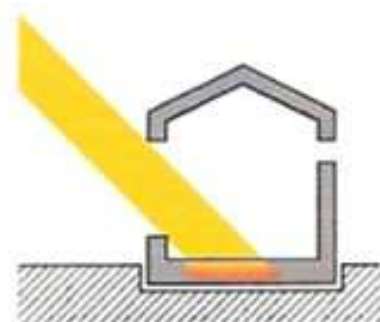
Στους ηλιακούς συλλέκτες η ηλιακή ακτινοβολία συλλέγεται και μετατρέπεται σε θερμότητα. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία επιλογών σχετικά με τους ηλιακούς συλλέκτες. Ξεκινώντας από μικρές φορητές μονάδες που τοποθετούνται απευθείας με κατεύθυνση προς τον ήλιο. Οι συσκευές αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για φόρτιση συσκευών όπως κινητά τηλέφωνα ή mp3, καταλήγοντας σε μεγάλες σε μέγεθος σταθερές μονάδες ηλιακών πάνελ μόνιμα τοποθετημένων σε οροφές κατασκευών.

Ανάμεσα στις δύο αυτές κατηγορίες υπάρχουν μονάδες με μετακινούμενα πάνελ τα οποία προσανατολίζονται ανάλογα με την κλίση του ηλίου και μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία είτε σε θερμότητα είτε σε ηλεκτρική ενέργεια.

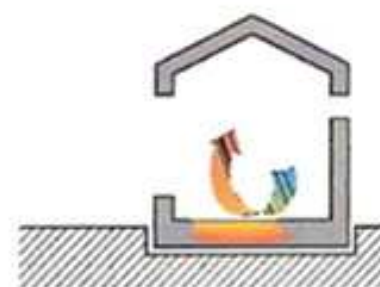
Με την επιλογή οποιουδήποτε τύπου ηλιακού συλλέκτη ή συστήματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ηλιακή ενέργεια για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μιας οικίας, με τρόπο εύκολο και αποδοτικό, μειώνοντας το κόστος και την επιβάρυνση του περιβάλλοντος.

Οι μέθοδοι διαχείρισης της ηλιακής ενέργειας είναι οι εξής:

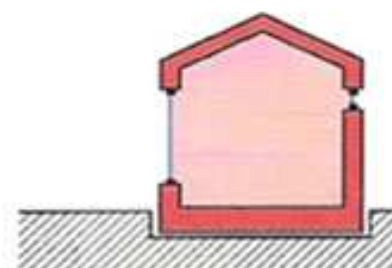
- **Αποθήκευση θερμότητας:** Η ζέστη συλλέγεται κατά τη διάρκεια της ημέρας και αποθηκεύεται στο κτίριο για μελλοντική χρήση.
- **Διανομή θερμότητας:** Αποθήκευση / συλλογή θερμότητας η οποία στη συνέχεια μεταφέρεται σε χώρους όπου χρειάζονται θέρμανση.
- **Συντήρηση θερμότητας:** Η θερμότητα διατηρείται στο κτίριο όσο το δυνατόν περισσότερο.



Αποθήκευση θερμότητας



Διανομή θερμότητας



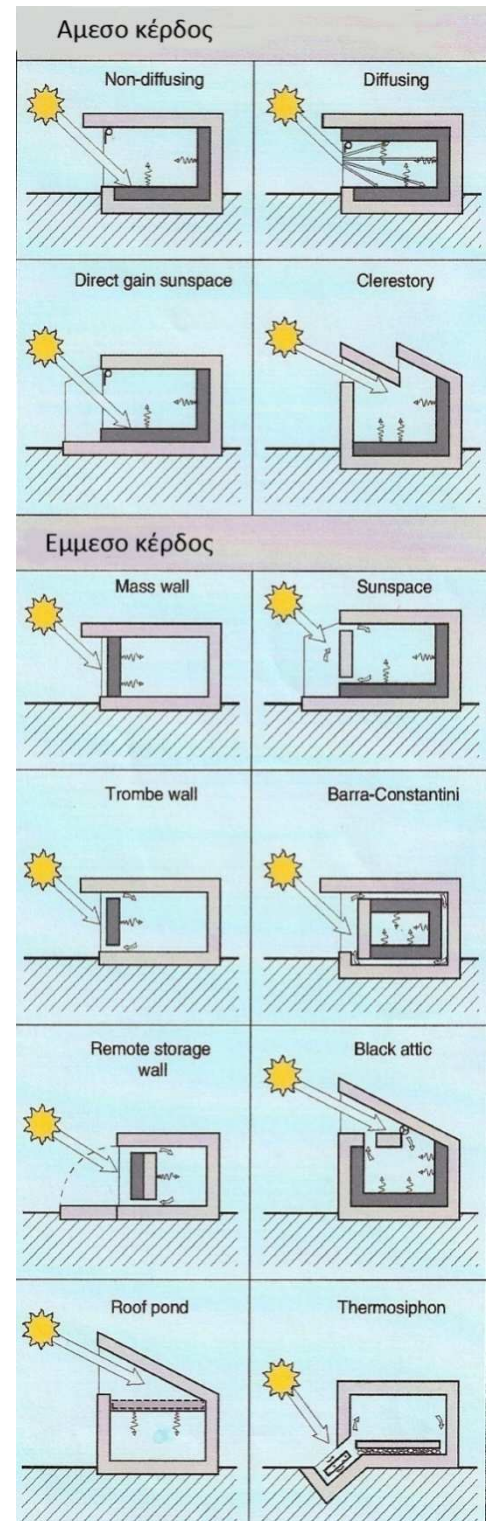
Συντήρηση θερμότητας

21

Σχέδιο 3.7. Απεικόνιση μεθόδων διαχείρισης της ηλιακής ενέργειας

<sup>21</sup> John R. Goulding & J. Owen Lewis. *Bioclimatic Architecture: Thermie Programme Action*. Hoeilaart: Lior E.E.I.G., 1997. Print.

- **Άμεσο κέρδος:** Επιτυγχάνεται με τη χρήση μεγάλων ανοιγμάτων στα κατοικήσιμα δωμάτια με νότιο προσανατολισμό στα οποία χρησιμοποιούνται υλικά μεγάλης θερμικής αποθήκευσης. Υιοθετούνται τεχνικές και συστήματα που διαχειρίζονται την ηλιακή ακτινοβολία με σκοπό τη βέλτιστη εκμετάλλευση των ιδιοτήτων του.
- **Έμμεσο κέρδος:** Χρησιμοποιούν τη μάζα του κτιρίου, αντλίες θερμότητας και τοίχους νερού. Η αποθήκευση θερμότητας σε ένα νότια προσανατολισμένο τοίχο σημαντικής θερμικής μάζας, εξασφαλίζει τη μείωση θερμικών απωλειών.



Αφαιρούμενη / μετακινούμενη μόνωση μπορεί να επεκτείνεται κατά τις νυχτερινές ώρες. Οι trombe walls έχουν διεξόδους στο υψηλότερο και χαμηλότερο σημείο τους για να επιτρέπεται η ροή θερμότητας στους κατεχόμενους χώρους.<sup>22</sup>

<sup>22</sup> John R. Goulding & J. Owen Lewis. *Bioclimatic Architecture: Thermie Programme Action*. Hoeilaart: Lior E.E.I.G., 1997. Print.



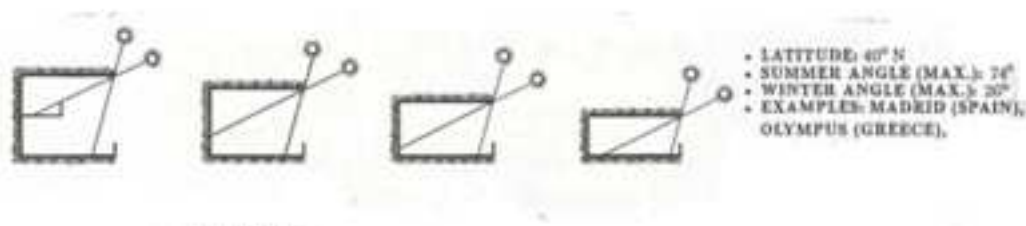
### 3.10. Φυσικός φωτισμός

Η πλέον βιώσιμη πηγή φωτισμού είναι το φυσικό φως. Δεν είναι μόνο ένας ελεύθερος ανανεώσιμος πόρος, αλλά έχει και σημαντικά οφέλη στην υγεία του ατόμου. Ο προσεκτικός αρχιτεκτονικός σχεδιασμός οφείλει να μεγιστοποιήσει το φυσικό φως σε ένα κτίριο, διατηρώντας παράλληλα τη σωστή ρύθμιση της εσωτερικής θερμοκρασίας και να μειώνει την αντηλιά.

Η διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας στο κτίριο συνεισφέρει στην ποιότητα του φωτός όσο δεν φτάνει στα μάτια των ενοίκων απευθείας ή από αντανάκλαση. Η διείσδυση του φυσικού φωτός μπορεί να ελεγχθεί μειώνοντας τη ροή, το ποσοστό αντίθεσης και της φωτεινότητας από τα παράθυρα.

Η ρύθμιση της άμεσης και έμμεσης διείσδυσης ροής είναι πολύ σημαντικό να είναι σε ανεκτά επίπεδα καθώς μειώνει την αντηλιά. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί είτε με την ένταξη μόνιμων ή προσωρινών εξωτερικών συσκευών στο σχεδιασμό του κτιρίου που μειώνουν την έκθεση στον ήλιο είτε χρησιμοποιώντας καλύμματα όπου φιλτράρουν τη διείσδυση του φωτός από τα παράθυρα.

Η στρατηγική τοποθέτηση των παραθύρων, των φεγγιτών, των αιθρίων και των άλλων δομικών στοιχείων (βλ. σχέδια 3.8., 3.9.), έτσι ώστε το φως να αντανάκλαται ομοιόμορφα στους εσωτερικούς χώρους, είναι γνωστή ως σχεδιασμός φυσικού φωτισμού.



23

Σχέδιο 3.8. Μέγιστη διείσδυση φωτός στα μέσα του καλοκαιριού (21 Ιουνίου) και ελάχιστη στα μέσα του χειμώνα (21 Δεκεμβρίου) σε μία κατοικία σε υπό κλίση περιοχή (με βάθος δωματίου 7m).

Μεγάλος αριθμός στρατηγικών εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας αναπτύχθηκαν ήδη από τις δεκαετίες του '60 και του '70. Οι στρατηγικές αυτές μπορούν να

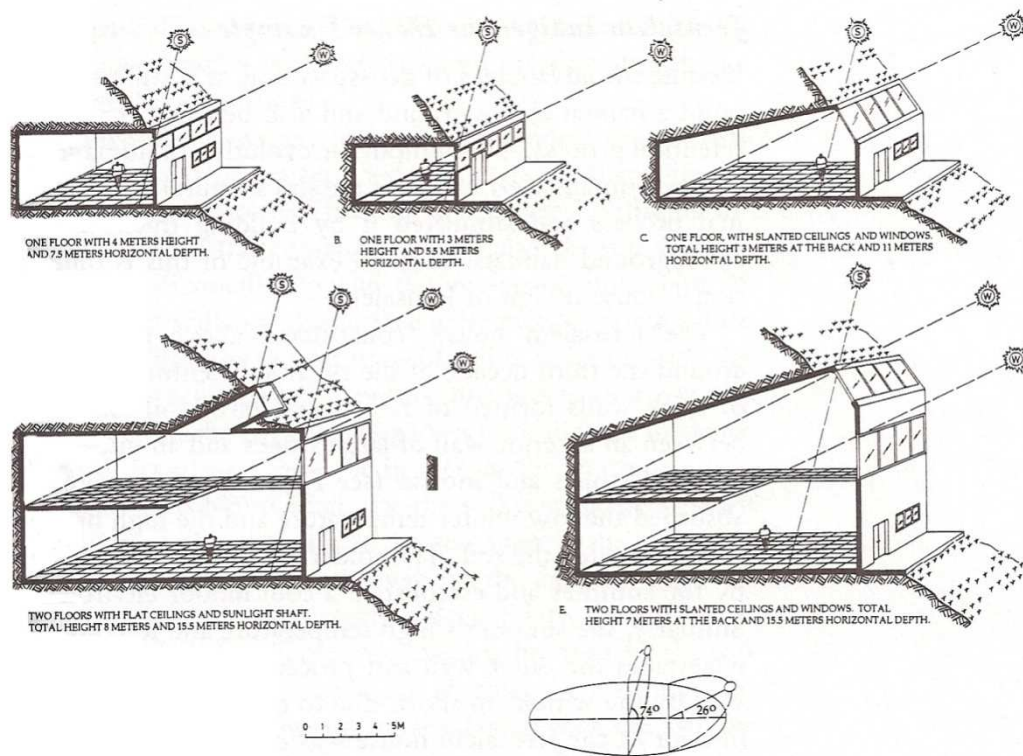
<sup>23</sup> Πηγή Σχεδίου 3.8.: Golany, Gideon, and Toshio Ojima. *Geo-space Urban Design*. New York: John Wiley, 1996. Print.

εφαρμοστούν σε περιοχές όπου το κλίμα είναι σχετικά προβλέψιμο και βασικές προϋποθέσεις είναι ο καθαρός ουρανός και φυσικά η έντονη ηλιοφάνεια.

Η ορθή χρήση του φυσικού φωτισμού, κυρίως σε κτίρια που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της ημέρας μπορεί αντικαθιστώντας τον τεχνητό φωτισμό να συνεισφέρει στην ενεργειακή απόδοση της κατασκευής και να δημιουργήσει ένα αισθητά πιο ευχάριστο κλίμα.

Αυτή η στρατηγική πρέπει να συμπεριλάβει το ποσό της θερμότητας που παράγεται από την ηλιακή ακτινοβολία και να διατηρήσει τα ευεργετικά οφέλη από την αντικατάσταση του τεχνητού φωτισμού. Επίσης πρέπει να εκμεταλλευθούν τα παράπλευρα οφέλη που προσφέρει ο φυσικός φωτισμός αλλά και η εξωτερική θέα που έχουν οι ένοικοι από τα ανοίγματα που δημιουργούνται στο κτίριο.

Ολοκληρώνοντας, η επίτευξη άνετων συνθηκών διαβίωσης σχετικά με τον φωτισμό εξαρτάται από την ποσότητα, τη κατανομή και την ποιότητα του φωτός που εισχωρεί σε έναν χώρο.



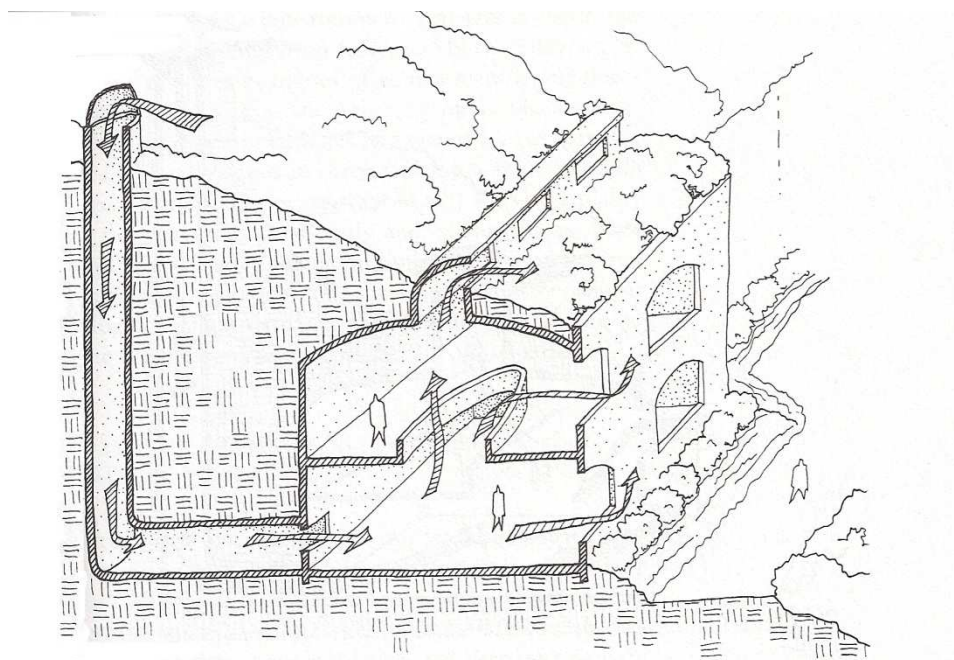
24

Σχέδιο 3.9.. : Στρατηγική τοποθέτηση παραθύρων και φεγγιτών σε σχέση με τη διείσδυση της ακτινοβολίας κατά τη χειμερινή και την εαρινή περίοδο.

<sup>24</sup> Πηγή Σχεδίου 3.9..: Golany, Gideon, and Toshio Ojima. *Geo-space Urban Design*. New York: John Wiley, 1996. Print.

### 3.11. Φυσικός αερισμός

Ο όρος φυσικός αερισμός αναφέρεται μόνο στη διαδικασία μεταφοράς θερμότητας με φυσικό τρόπο χωρίς να παρεμβάλλονται μηχανικά μέρη, ή γενικά κατανάλωση άλλου είδους ενέργειας. Επιπλέον, συμπεριλαμβάνει καταστάσεις όπου η αλληλεπίδραση του χώρου και των υλικών από το οποίο περιβάλλεται το κτίριο μέσω φυσικών μεθόδων οδηγεί στη ροή του αέρα (βλ. σχέδιο 3.10.).



25

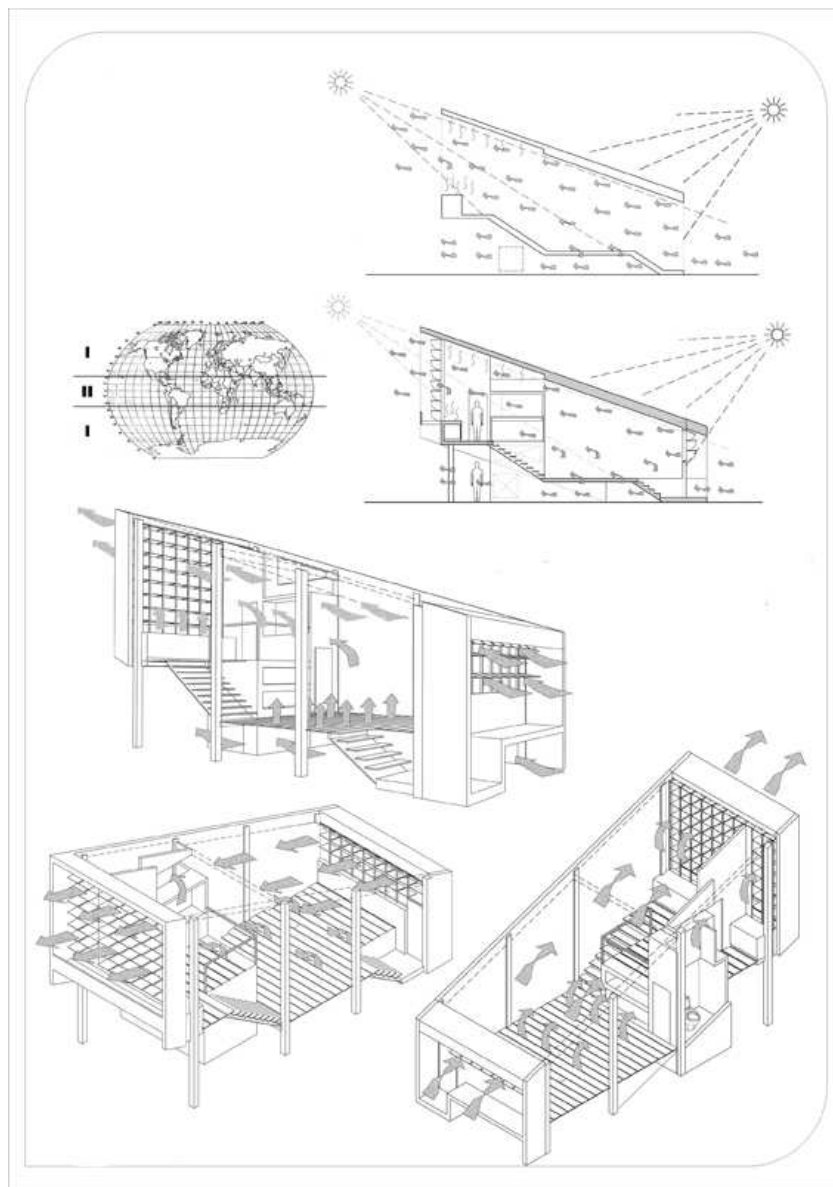
Σχέδιο 3.10. Παθητικό σύστημα σχεδιασμού.

Ωστόσο προκειμένου να αποφευχθούν φαινόμενα όπως υπερθέρμανση του χώρου (βλ. σχέδιο 3.11.) πρέπει να μελετηθεί από ποιιά μέρη μπορεί να εισχωρήσει ανεξέλεγκτη ακτινοβολία και πως αυτά μπορούν να περιοριστούν. Σε τέτοιες περιπτώσεις ο όρος φυσικός αερισμός μπορεί να λάβει μια ευρύτερη έννοια αφού μπορεί να ενισχυθεί με μικρή μηχανική υποβοήθηση για να ελέγχεται η ροή του αέρα.

<sup>25</sup> Πηγή Σχεδίου 3.10.: Golany, Gideon, and Toshio Ojima. *Geo-space Urban Design*. New York: John Wiley, 1996. Print.

Ένας σωστός σχεδιασμός όσον αφορά τις εποχές όπου υπάρχει μεγάλος κίνδυνος υπερθέρμανσης, επιβάλλει να ελέγχεται ο όγκος της θερμότητας που εισέρχεται στο κτίριο είτε προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία είτε παράγεται από άλλες διεργασίες.

Σταθερές ή μετακινούμενες συσκευές σκίασης ή ακόμη και σκίαση από βλάστηση μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μειωθεί το ποσοστό ακτινοβολίας στην οποία εκτίθεται μια κατασκευή.



26

Σχέδιο 3.11.Απεικόνιση συστήματος παθητικός αερισμός εκμεταλλευόμενο την ιδιότητα του θερμού αέρα να έχει ανοδική πορεία

<sup>26</sup> Πηγή Σχεδίου 3.11.: <<http://www.archdaily.com>>.

Η θερμότητα που παράγεται εξαιτίας της αλληλεπίδρασης της ακτινοβολίας και ακατάλληλων υλικών μπορεί να περιοριστεί χρησιμοποιώντας συνδυασμό κατάλληλων υλικών, μεθόδων μόνωσης αλλά και διαστάσεων ανοιγμάτων. Ο θερμός αέρας που εισέρχεται στο κτίριο μπορεί να επιδέχεται επεξεργασίας ώστε να μειώνεται η θερμοκρασία και να γίνεται υγιεινότερος.

Η θερμότητα που παράγεται από τις διεργασίες στο εσωτερικό του κτιρίου μπορεί να μειωθεί ελαχιστοποιώντας τις φωτιστικές μονάδες, εκμεταλλευόμενοι τον φυσικό φωτισμό και εκσυγχρονίζοντας τυχόν μηχανήματα που παράγουν μεγάλα ποσά θερμότητας.

## **4. Οικολογική δόμηση και χαρακτηριστικά**

Προβλήματα όπως, οι κλιματικές αλλαγές, η εξάντληση των αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων και η μόλυνση του περιβάλλοντος, οξύνονται ταχύτατα ενώ έχουν ισχυρότατους δεσμούς και με την βιομηχανία της κατασκευής.

Η οικοδομική δραστηριότητα είναι υπεύθυνη σε μεγάλο βαθμό για την μόλυνση εδάφους, αέρα και νερού όπως και για την παραγωγή τεράστιου όγκου απορριμμάτων.

Ο οικολογικός σχεδιασμός μπορεί να ελαχιστοποιήσει την κατανάλωση ενέργειας μειώνοντας την ενέργεια που δαπανάται για θέρμανση, δροσισμό και φωτισμό, υιοθετώντας τεχνικές ορθής ενεργειακής διαχείρισης. Η εξοικονόμηση ενέργειας συνεπάγεται εξοικονόμηση χρημάτων, η οποία θα γίνεται ολοένα πιο αισθητή όσο το κόστος των ορυκτών καυσίμων θα αυξάνεται στο μέλλον. Η οικολογική ταυτότητα μίας κατασκευής δεν εξαντλείται μόνο στην άμεση ενεργειακή κατανάλωση που απαιτείται κατά την ανέγερσή της αλλά και από την κατανάλωση ενέργειας και πόρων που απαιτείται για τα υλικά και τις εφαρμογές με τις οποίες θα δημιουργηθεί.

Η αξιοποίηση των βιομηχανικών παραπροϊόντων στην δόμηση αποτελεί ζωτικής σημασίας προοπτική για την οικονομία και την αειφορία των κατασκευαστικών έργων.

Σήμερα, είναι ευρύτατα διαδεδομένο το πνεύμα της ανάγκης για άμεση και αποφασιστική δράση για την μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> που είναι υπεύθυνες κατά 85% για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Αδιαμφισβήτητα, οι κύριες πηγές εκπομπής CO<sub>2</sub> είναι κατά σειρά η παραγωγή ενέργειας από άνθρακα, οι μεταφορές και οι βιομηχανίες με προεξάρχουσες εκείνες της παραγωγής σιδήρου και τσιμέντου.

### **4.1. Ιπτάμενη Τέφρα**

Η τέφρα, το λεπτό υπόλειμμα που προέρχεται από την καύση στερεών καυσίμων (παραπροϊόν καύσης κονιορτοποιημένου άνθρακα στους Σταθμούς Παραγωγής Ηλεκτρικής ενέργειας) καθώς είναι ποζολανικής φύσης και έχει παρόμοια χημική σύσταση με το τσιμέντο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μερική αντικατάσταση του τσιμέντου για την παραγωγή σκυροδέματος. Η εκμετάλλευση της τέφρας με αυτό τον τρόπο έχει πολλαπλά οφέλη, με κυριότερη τη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> για την παραγωγή των αντίστοιχα χρησιμοποιούμενων ποσοτήτων τσιμέντου, αλλά και την

αποφυγή απόθεσης της, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε περιβαλλοντική ρύπανση (βλ. εικόνα 4.1.).



Εικόνα 4.1. Χώρος απόθεσης ιπτάμενης τέφρας.

Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι για κάθε τόνο παραγόμενου κλίνκερ, που αποτελεί την πρώτη ύλη για το τσιμέντο, εκπέμπονται στο περιβάλλον 900Kg CO<sub>2</sub>. Παγκοσμίως παράγονται 700 εκ. τόνοι τσιμέντου το χρόνο.

Η πρώτη χρησιμοποίηση τεφρών σαν δομικό υλικό, ανάγεται στους αρχαίους χρόνους. Τέφρα που εκλύθηκε κατά την έκρηξη του ηφαιστείου της Σαντορίνης, περίπου το 1.500 π.Χ., χρησιμοποιήθηκε σε πλήθος δομικών εφαρμογών της εποχής. Αντίστοιχες εφαρμογές συναντά κανείς κατά τους ρωμαϊκούς χρόνους στην Ιταλία και την Γερμανία αλλά και παλαιότερα στην Ινδία και την Αίγυπτο.

Στις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα με την έναρξη τυποποίησης του τσιμέντου, υπήρξε μια αναστολή στην χρησιμοποίηση τεφρών στις κατασκευές.

Στο δεύτερο μισό του 20<sup>ου</sup> αιώνα ξεκίνησε και πάλι μια κίνηση για την επαναχρησιμοποίηση της τέφρας στην δόμηση. Συνδυάστηκε με την εντατικοποίηση της παραγωγής της σαν αποτέλεσμα της παγκόσμιας αύξησης της ηλεκτροπαραγωγής που βασίσθηκε ιδιαίτερα στην καύση του άνθρακα αλλά και στην αυξανόμενη περιβαλλοντική συνείδηση όλο και περισσότερων ανθρώπων στον πλανήτη μας.

<sup>27</sup> Πηγή Εικόνας 4.1.: < <http://www.earth911.com>>.



Σήμερα, παγκοσμίως, κατά μέσο όρο, περίπου το 20% των παραγομένων κατά την διαδικασία παραγωγής ενέργειας τεφρών, χρησιμοποιείται στις κατασκευές, ενώ η υπόλοιπη αποτίθεται κυρίως στους χώρους των αντίστοιχων ορυχείων. Ανάμεσα στους μεγαλύτερους παραγωγούς, αλλά και καταναλωτές, διεθνώς, ιπτάμενης τέφρας συγκαταλέγονται οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Κίνα, η Ινδία, η Ρωσία, η Νότια Αφρική και η Αγγλία. Στην χώρα μας, πριν από την μείωση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας λόγω της ύφεσης, παράγονταν στους λιγνιτικούς σταθμούς της ΔΕΗ ετησίως περίπου 10 εκ. τόνοι ιπτάμενης τέφρας. Περίπου το 10% της ποσότητας αυτής αγοράζοταν από τις εγχώριες βιομηχανίες για ανάμειξη και διάθεση του με το παραγόμενο τσιμέντο.

Ας σημειωθεί ότι η πρώτη εκτεταμένη εφαρμογή χρήσης ιπτάμενης τέφρας ξεκίνησε με την κατασκευή του φράγματος της Πλατανόβρυσης στον ποταμό Νέστο. Για την χρήση της ελληνικής ιπτάμενης τέφρας σε άοπλα σκυροδέματα, έχει ήδη τεθεί σε εφαρμογή από το 2007 Εθνική Προδιαγραφή. Γίνονται προσπάθειες για την καθιέρωση αντίστοιχης Ευρωπαϊκής Προδιαγραφής ώστε να καταστεί δυνατή η χρησιμοποίηση των ελληνικών τεφρών και σε άλλες χώρες της Ευρώπης.

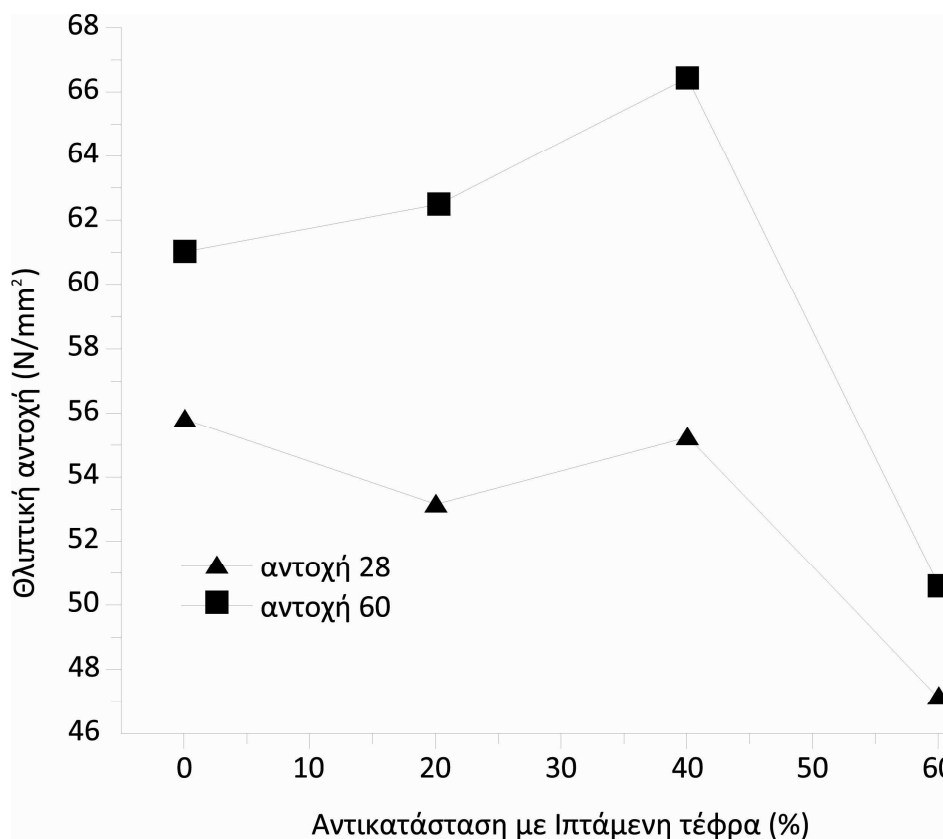
Ενδεικτικά αναφέρονται οι εφαρμογές σε άοπλα σκυροδέματα για κατασκευές όπου η ιπτάμενη τέφρα μπορεί να αντικαταστήσει το τσιμέντο σε ποσοστό 50% έως και 100%, όπως φράγματα, ογκόλιθους βαρύτητας και λιμενικών έργων, διάστρωση μεγάλων επιφανειών (αεροδρόμια), σκυρόδεμα καθαριότητας, στην οδοποιία, για άκαμπτο οδόστρωμα – ενδείκνυται για ορεινές οδοποιίες, σταθεροποίηση υπόβασης οδοποιίας και σιδηροδρομικού δικτύου, κατασκευή δομικών στοιχείων οδοποιίας, για στεγάνωση εδαφών και σταθεροποίηση πρανών, στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, στην κατασκευή υδραυλικών κονιών για επιχρίσματα, κονίες πληρώσεως, στην παραγωγή δομικών υλικών από σκυρόδεμα (κυβόλιθοι, τσιμεντόλιθοι, πλάκες και πλακίδια, σωλήνες, πλίνθοι).<sup>28</sup>

Το μόνο πρόβλημα που μπορεί να διαπιστωθεί από τη χρήση της τέφρας στο σκυρόδεμα είναι ότι καθυστερεί να αναπτύξει αντοχές σε σύντομο χρόνο.

---

<sup>28</sup> "Ιπτάμενη τέφρα. Ένα παραπροϊόν ή ένα άριστο δομικό υλικό." Πέτρος Σπανός, *Περιοδικό Ανεμολογία*, Μάιος-Ιούνιος 2012.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη μελέτη των S. Bala Murugan, G. Mohan Ganesh και A. S. Santhi, σχετικά με την αντικατάσταση του τσιμέντου με ιπτάμενη τέφρα δείχνουν ότι ακόμη και για ποσοστά αντικατάστασης της τάξης του 60% παράγεται σκυρόδεμα με πολύ υψηλές αντοχές. Στο διάγραμμα 4.1., παρουσιάζεται η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος σε συνάρτηση με το χρόνο ωρίμανσης και του ποσοστού αντικατάστασης του τσιμέντου με ιπτάμενη τέφρα.



Διάγραμμα 4.1.: Θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος σε συνάρτηση με το χρόνο ωρίμανσης και του ποσοστού αντικατάστασης του τσιμέντου με ιπτάμενη τέφρα.

Το σκυρόδεμα σε διάστημα 28 ημερών έχει αποκτήσει αντοχή  $47\text{N/mm}^2$ , και  $50\text{N/mm}^2$  σε διάστημα 90 ημερών. Η εν λόγω μελέτη συσχετίζει και το κόστος του σκυροδέματος ανάλογα με την αντικατάσταση του τσιμέντου από ιπτάμενη τέφρα. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι μείωση του κόστους κατά 8,1%, 11,8%, 22,1% σε αντιστοιχία αντικατάστασης τσιμέντου κατά 20%, 40% και 60%.<sup>29</sup>

<sup>29</sup> S. Bala Murugan, G. Mohan Ganesh and A. S. Santhi. "Sustainable concrete for the construction industry." *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences* Vol. 8, No. 10, October 2013: 829-833. Print

## 4.2. Τα βασικά χαρακτηριστικά της οικολογικής δόμησης

Η κατασκευή μιας φιλικότερης προς το περιβάλλον οικίας δεν αποτελεί όφελος μόνο για το περιβάλλον αλλά δημιουργεί και ένα υγιέστερο χώρο διαμονής για τον ίδιο τον άνθρωπο. Η εφαρμογή συμβατικών υλικών και μεθόδων κατασκευής συνδέεται άμεσα με ένα ευρύ φάσμα επιπλοκών και επιβαρύνσεων της ανθρώπινης υγείας.

### Χρήση τοπικών υλικών με σεβασμό προς το περιβάλλον

Μία οικολογική κατασκευή πρέπει να κατασκευάζεται από υλικά τα οποία προέρχονται από την περιοχή κατασκευής και τα οποία δεν παρουσιάζουν κάποιο αρνητικό αντίκτυπο στο περιβάλλον. Τα κριτήρια βάσει των οποίων μπορεί ή όχι να χαρακτηριστεί ένα υλικό οικολογικό και περιβαλλοντικά φιλικό είναι τα εξής:

Τα υλικά αυτά της περιοχής πρέπει να είναι ανανεώσιμα, μη τοξικά, ανακυκλώσιμα και κατ' επέκταση ασφαλή προς το περιβάλλον.

Ελέγχουμε κατά πόσο τα υλικά που χρησιμοποιούνται δε θα επηρεάσουν αρνητικά το περιβάλλον όχι μόνο τώρα αλλά και στο μέλλον.

Τα υλικά πρέπει να εντοπίζονται εύκολα, να παράγονται στην περιοχή τώρα και στο μέλλον έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η μεταφορά αυτών από άλλες περιοχές.

### Μονωτικά υλικά

Η μόνωση είναι βασικό συστατικό για την κατασκευή μιας ενεργειακά αποδοτικής οικίας, καθώς οδηγεί στη μείωση κατανάλωσης ενέργειας ελαχιστοποιώντας τις απώλειες θερμότητας και δημιουργώντας ένα ελεγχόμενο περιβάλλον. Παρατείνει δηλαδή και διατηρεί σε σταθερότερα επίπεδα την καθορισμένη από τον ένοικο θερμοκρασία.

Οι υπόσκαφες κατασκευές καλύπτονται στο μεγαλύτερο μέρος τους από χώμα επαρκούς πάχους ώστε να παρέχονται οι επιθυμητές θερμομονωτικές ιδιότητες. Πολύ προσεκτική μελέτη όμως πρέπει να γίνει και στις ακάλυπτες επιφάνειες οι οποίες είναι εκτεθειμένες στις κλιματολογικές διαβαθμίσεις. Επενδύοντας σε πολύ καλής ποιότητας μονωτικά υλικά τα αποτελέσματα της ενεργειακής απόδοσης είναι πολύ καλύτερα από το αν η

επένδυση γινόταν για την προμήθεια πολύ προηγμένων τεχνολογικά συστημάτων ψύξης/θέρμανσης.<sup>30</sup>

### **Νερό**

Εκμετάλλευση νερού στο έπακρο, συλλέγοντας το σε δεξαμενές κατά την περίοδο των βροχοπτώσεων και περιορίζοντας την αλόγιστη χρήση του. Η χρήση αντλιών που αυξάνουν την πίεση του νερού μπορούν να μειώσουν σε σημαντικά ποσοστά την κατανάλωση του. Η συλλογή νερού σε δεξαμενές μπορεί να καλύψει με τις κατάλληλες εγκαταστάσεις καθαρισμού όλες τις ανάγκες μίας οικίας.

---

<sup>30</sup> "Ecological Construction." *Sustainable Building, Development and ECO Construction Techniques at Sustainable Build (UK)*. Web. 16 Aug. 2010. <<http://www.sustainablebuild.co.uk/>>.

## **5. Ανασταλτικοί Παράγοντες στην υπόγεια Ανάπτυξη**

### **5.1. Κίνδυνοι, θέματα ασφαλείας και μέθοδοι αντιμετώπισης**

Η υπόγεια πόλη και ειδικότερα τα τμήματα που έχουν άμεση επαφή με την επιφάνεια, είναι εκτεθειμένα σε φυσικούς κινδύνους και απαιτούνται προφυλάξεις για να εξασφαλιστεί η ασφάλεια. Η γνώση των κινδύνων και η λήψη μέτρων για την αντιμετώπισή τους είναι κρίσιμης σημασίας. Οι σημαντικοί κίνδυνοι όσον αφορά τις υπόσκαφες κατασκευές σε πλαγιές είναι η μετακίνηση μαζών εδάφους, οι εδαφικές αστοχίες και η εκτεταμένη διάβρωση.

Μετακινήσεις μαζών εμφανίζονται όταν θραύσματα βράχων ή τμήματα του εδάφους κυλούν σε απότομες πλαγιές. Τα μέτρα που μπορούν να ληφθούν είναι η κατασκευή τοιχίων αντιστήριξης και κατάλληλα αποστραγγιστικά μέτρα.

Μία μέθοδος για να αποφευχθούν ή να μειωθούν σε ένταση οι κίνδυνοι αυτοί, είναι η δημιουργία ζωνών με τη φύτευση δέντρων. Σε περίπτωση φωτιάς, οι υπόγειες κατασκευές είναι πολύ πιθανό να εμποδίσουν τη διάδοση της φωτιάς αφού η διάδοση της φωτιάς στις πλαγιές είναι προς την κορυφή. Ο καπνός και η θερμότητα μπορεί να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα στις υπόσκαφες οικίες. Ένα ακόμη προληπτικό μέτρο είναι να υπάρχουν άνω της μίας είσοδοι/ έξοδοι σε κάθε υπόγεια μονάδα. Καμία υπόγεια μονάδα δεν πρέπει να κατασκευάζεται ως ένας πλήρως απομονωμένος χώρος ή με περιορισμένες δυνατότητες κυκλοφορίας.<sup>31</sup>

### **5.2. Υψηλά ποσά αρχικής επένδυσης – Αβεβαιότητα**

Η δημιουργία υπόγειων έργων απαιτεί υψηλές αρχικές επενδύσεις και μεγάλη χρονική διάρκεια κατασκευής. Αυτές είναι παράμετροι που επηρεάζουν σημαντικά τις επιλογές του συνόλου στην εμπλοκή με τον υπόγειο χώρο. Τα εξειδικευμένα εργαλεία και το υψηλό επίπεδο των πόρων που δεσμεύονται, δημιουργούν μια ιδιαίτερη σχέση οικονομικού κινδύνου του εγχειρήματος, σε συνδυασμό με το υψηλό βαθμό αβεβαιότητας που πολλές φορές υπεισέρχεται στην κατασκευή. Επιπλέον, η συχνή

---

<sup>31</sup> *Golany, Gideon, and Toshio Ojima. Geo-space Urban Design. New York: John Wiley, 1996. Print.*

αντιπαράθεση για θέματα συμβάσεων και απαιτήσεων (claims, disputes) μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών (κύριος έργου – κατασκευαστής) δρουν σε ένα βαθμό ανασταλτικά για την πραγματοποίηση έργων, τουλάχιστον σε δύσκολες ή ασαφείς γεωλογικές συνθήκες.<sup>32</sup>

### **5.3. Προκαταλήψεις και ψυχολογία**

Το σημαντικότερο εμπόδιο για την υλοποίηση ενός τέτοιου είδους εγχειρήματος, είναι να αντιμετωπιστούν και να ξεπεραστούν οι ψυχολογικοί ενδοιασμοί του ανθρώπου.

Τα περισσότερα προβλήματα που σχετίζονται με τη ζωή κάτω από τη στάθμη του εδάφους δεν είναι τεχνολογικού ενδιαφέροντος αλλά σχετίζονται με την γενικότερη αποδοχή του έργου και την προκατάληψη σχετικά με τον χώρο.

Υπάρχουν τρεις διαστάσεις στην ανθρώπινη ψυχολογία που συνδέονται με την ιδέα του υπόγειου χώρου. Αυτές είναι η προκατάληψη, η κλειστοφοβία και η μειωμένη κοινωνική προβολή.

### **5.4. Προκατάληψη**

Στην περίπτωση την οποία εξετάζουμε, ο όρος προκατάληψη αναφέρεται στην ψυχολογική παράμετρο ότι το κοινό έχει γαλουχηθεί ενάντια στη χρήση τέτοιου είδους χώρων εξαιτίας της εξεζητημένης και κακής χρήσης τους. Η ζωή σε τέτοιου είδους χώρους έχει συνδεθεί με την απεικόνιση της φτώχειας, του σκότους, γενικά αρνητικών και νοσογόνων συνθηκών (υγρασία, απομόνωση). Αυτές οι προκαταλήψεις ωστόσο εκφράζονται από ανθρώπους που δεν έχει επαφή με σύγχρονους υπόγειους χώρους και έχει να κάνει τόσο με την ελλιπή ή μερική ενημέρωση και γνώση ως προς την λειτουργικότητα και την ποιότητα και την ιστορική αξία που μπορεί να κερδίσει ένα τέτοιο έργο με τη διαχρονικότητα και το σχεδιασμό του.

---

<sup>32</sup> Καλιαμπάκος. Υπόγεια Έργα: Σημειώσεις Μαθήματος. Αθήνα: Τμήμα: Μηχ. Μετ. Μετ., Αθήνα 2009, ΕΜΠ., 2003

## 5.5. Κλειστοφοβία

Η κλειστοφοβία ορίζεται ως ο φυσικός φόβος που παρουσιάζεται όταν ο πάσχων βρίσκεται σε περιορισμένους στενούς και κλειστούς χώρους, Οι άνθρωποι που πάσχουν από αυτή την πάθηση αποφεύγουν τους κλειστούς χώρους αλλά οι φοβίες αυτές μπορούν να ξεπεραστούν με τον ειδικό σχεδιασμό των χώρων.

Η αίσθηση του ανθρώπου για τη στενότητα ενός χώρου σχετίζεται με την αντίληψη του ως προς τις διαστάσεις του ύψους, του βάθους και του πλάτους του χώρου. Ο φωτισμός και η εισαγωγή των ακτίνων του ηλίου παίζουν καθοριστικό ρόλο στην αίσθηση του ανθρώπου ως προς την στενότητα του περιβάλλοντος χώρου. Η σωστή χρήση των προαναφερόμενων στοιχείων μπορεί να συνεισφέρει στον περιορισμό της κλειστοφοβίας.

Πιο συγκεκριμένα, κατά το σχεδιασμό η επιλογή του κατάλληλου ύψους οροφής, η χρήση ανοικτών χώρων και φυσικών στοιχείων και η απευθείας επαφή με τον υπαίθριο χώρο αποτελούν μερικές από τις παραμέτρους που πρέπει να ληφθούν υπόψη.

## 5.6. Μειωμένη κοινωνική προβολή

Παλαιότερες χρήσεις του υπογείου χώρου συνέδεσαν του χώρους αυτούς με την αντίληψη ότι πρόκειται για περιβάλλον χαμηλής ποιότητας. Οι άνθρωποι προσκολλημένοι στις προκαταλήψεις αγνοούν τα σημαντικά οφέλη που παρέχει η χρήση του υπογείου χώρου. Αντίθετα τον αντιμετωπίζουν σαν την έσχατη λύση κατοικίας.

## 5.7. Αντιμετώπιση φόβων και προκαταλήψεων<sup>33</sup>

Υπάρχουν λόγοι που κάνουν τη χρήση του υπόγειου χώρου για κατοίκηση μια καλή επιλογή. Με μια σειρά σύγχρονων κατασκευαστικών τεχνικών επιτυγχάνεται η εξάλειψη των ψυχολογικών παραγόντων που σχετίζονται με τον υπόγειο χώρο. Όπως προαναφέρθηκε ο σχεδιασμός των υπογείων χώρων πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να δημιουργεί την αίσθηση ενός χώρου μεγαλύτερων διαστάσεων. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση φωτεινών χρωματισμών, την επιλογή σωστών διαστάσεων οροφής αλλά και από την ίδια τη διάταξη του χώρου.

<sup>33</sup> *Golany, Gideon, and Toshio Ojima. Geo-space Urban Design. New York: John Wiley, 1996. Print.*

Πέρα από τις κατασκευαστικές τεχνικές που επισημάνθηκαν, η αντιμετώπιση της προκατάληψης προϋποθέτει επαρκή πληροφόρηση και ενημέρωση για τα πλεονεκτήματα που συνδέονται με τη χρήση του υπόγειου χώρου.

Συνοπτικά για την εξάλειψη των ψυχολογικών παραγόντων προτείνονται οι παρακάτω τεχνικές:

- **Σχεδιασμός:** Ενδεικνύται η εισαγωγή και εφαρμογή καινοτόμου πολεοδομικού σχεδιασμού, μεγάλης κλίμακας υπογείων χώρων που συνδέουν τον υπόγειο με τον υπέργειο χώρο.

Αυτού του τύπου ο σχεδιασμός πρέπει να πληροί τις σύγχρονες προδιαγραφές διαβίωσης και να παρέχει ένα ευχάριστο, υγιές περιβάλλον απενοχοποιημένο από τις αρνητικές χρήσεις και πρακτικές του παρελθόντος. Ο σχεδιασμός πρέπει να περιλαμβάνει μεγάλους χώρους που προορίζονται για κατοίκηση, με ψηλά ταβάνια, μεγάλα παράθυρα που θα επιτρέπουν την εισαγωγή του ηλίου, επαρκή φωτισμό, φωτεινά χρώματα, άμεση επαφή του εξωτερικού με τον εσωτερικό χώρο και την σύνδεση του φυσικού περιβάλλοντος με την υπόγεια κατοικία

- **Χρήση:** Η αύξηση του υπόγειου χώρου που προορίζεται για οικιστική και μη χρήση και έμφαση των πλεονεκτημάτων που προκύπτουν από τη χρήση του. Υπολογίζεται ότι το ποσοστό χρήσης του υπόγειου χώρου για δραστηριότητες που σχετίζονται με την ανθρώπινη κατοίκηση και εργασία, κυμαίνεται μεταξύ 40% και 50% του συνολικού μεγέθους μιας αντίστοιχης υπέργειας πόλης, κάνοντας τη μεταφορά των σύγχρονων πόλεων στον υπόγειο χώρο μια εφικτή λύση.
- **Ενημέρωση:** Μια συστηματική προσπάθεια ενημέρωσης του κοινού σχετικά με τη χρήση του υπογείου χώρου καθώς και το πώς μπορεί να ανταποκριθεί στις σύγχρονες ανάγκες και απαιτήσεις του θεωρείται αναγκαία. Ολοκληρώνοντας, η σημαντικότερη πρόκληση του εγχειρήματος αυτού αποτελεί η εξάλειψη του αρνητικού ψυχολογικού κλίματος που σχετίζεται με τον υπόγειο χώρο και έχει αναπτυχθεί από ατυχείς χρήσεις του παρελθόντος.



## **6. Υπόσκαφες Κατασκευές: Έρευνα και Παραδείγματα**

### **6.1. Ανάλυση θερμικών ιδιοτήτων φυτεμένου δώματος<sup>34</sup>**

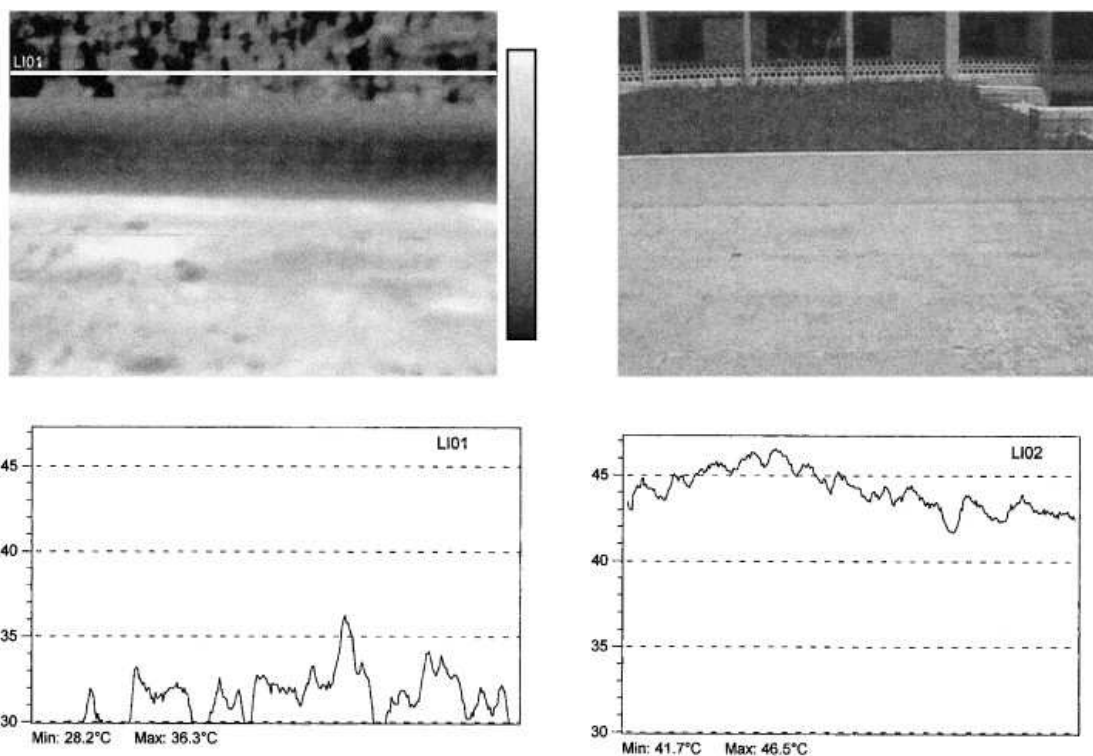
Οι Α. Νιάχου, Κ. Παπακωνσταντίνου, Μ. Σανταμούρης, Α. Τσανγκρασούλης και Γ. Μιχαλάκου, πραγματοποίησαν μία έρευνα σχετικά με τη θερμική συμπεριφορά του φυτεμένου δώματος. Συγκεκριμένα, η ανάλυση αφορά μετρήσεις της θερμοκρασίας που αναπτύσσεται στον εσωτερικό και τον εξωτερικό χώρο στο Λουτράκι. Για να μελετηθεί η επίδραση του φυτεμένου δώματος στη διακύμανση της θερμοκρασίας οι μετρήσεις έγιναν σε κτίρια, ίδιων γεωμετρικών χαρακτηριστικών, με φυτεμένο δώμα και χωρίς. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν την περίοδο 30 Ιουνίου έως 17 Αυγούστου 2000.

Η θερμοκρασία των εξωτερικών επιφανειών παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση ανάλογα με το είδος του υλικού με οποίο έχει γίνει η κατασκευή της εκάστωτε επιφάνειας. Αυτές οι διακυμάνσεις υπάρχουν και στα καλυμμένα με χώμα βλάστηση δώματα και εξαρτώνται από το υλικό κάλυψης και το είδος βλάστησης.

Η θερμοκρασία του φυτεμένου δώματος (βλ. εικόνα 6.1.) στο μη μονωμένο κτίριο κυμαίνεται μεταξύ 28°C και 40°C. Οι αντίστοιχες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις στο μη μονωμένο κτίριο χωρίς το φυτεμένο δώμα κυμαίνεται μεταξύ 42°C και 48°C.

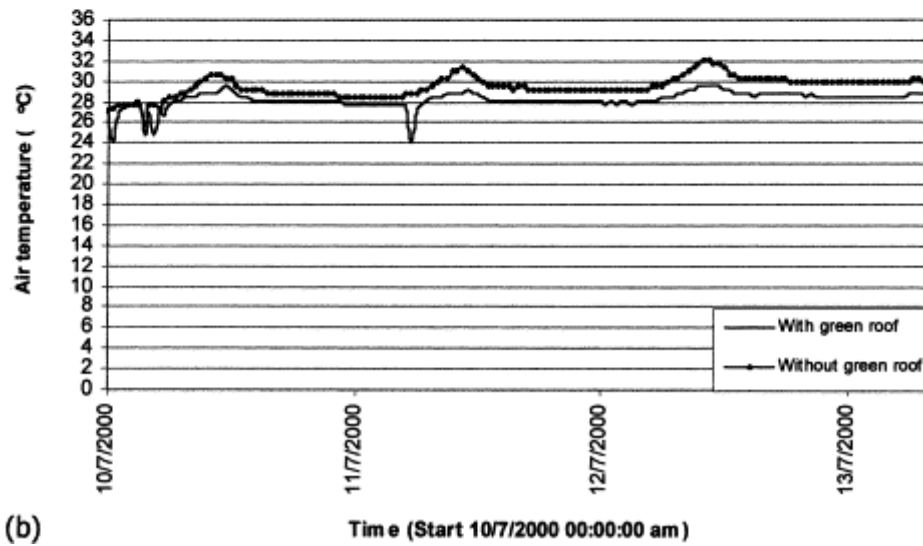
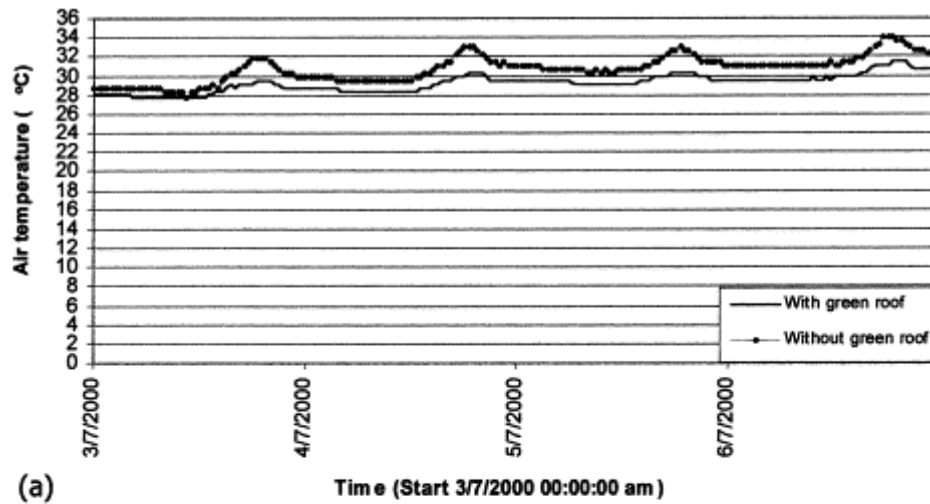
---

<sup>34</sup> A Niachou, K Papakonstantinou, M Santamouris, A Tsangrassoulis, G Mihalakakou., "Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance.", *Energy and Buildings*, Volume 33, Issue 7, September 2001, Pages 719–729.



Εικόνα 6.1. Θερμική διακύμανση σε επιφάνειες μη μονωμένου κτιρίου με και χωρίς φυτεμένο δώμα.

Λεπτομερέστερα αποτελέσματα σχετικά με το αντίκτυπο του φυτεμένου δώματος στη θερμοκρασία του εσωτερικού των κτιρίων παρουσιάζονται στα διαγράμματα 6.1. και 6.2. Το αποτέλεσμα των διαδοχικών μετρήσεων δύο περιόδων (3-6 και 10-13 Ιουλίου 2000) όπου τα κτίρια δεν κατοικούνταν, δείχνουν ότι οι συνθήκες θερμικής άνεσης στο κτίριο με το φυτεμένο δώμα έχουν βελτιωθεί κατά 2°C. Το ποσοστό κατά το οποίο η υψηλότερη θερμοκρασία υπερέβη τους 30°C στο κτίριο χωρίς το φυτεμένο δώμα είναι 68%, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό στο κτίριο με το φυτεμένο δώμα ήταν μόνο 15%.



Διαγράμματα 6.1.(a), 6.2.(b): Θερμοκρασία αέρα, κάθε μισή ώρα για την περίοδο α) 3-6 Ιουλίου 2000 και β) 10-13 Ιουλίου 2000.

**Πίνακας 6.1****Μετρήσεις θερμοκρασίας: περίοδος 3-6 Ιουλίου 2000**

Κτίριο	Με φυτεμένο δώμα	Χωρίς φυτεμένο δώμα
Μέση ημερήσια θερμοκρασία (°C)	29	31
Μέση μέγιστη θερμοκρασία (°C)	30	33
Μέση ελάχιστη θερμοκρασία (°C)	29	30
Μέσο ημερήσιο θερμοκρασιακό εύρος (°C)	2	3
Αριθμός όπου η θερμοκρασία ξεπέρασε τους 30°C	28	132
Αριθμός όπου η θερμοκρασία ξεπέρασε τους 32°C	0	30
Συνολικός αριθμός μετρήσεων	192	192

**Πίνακας 6.2****Μετρήσεις θερμοκρασίας: περίοδος 10-13 Ιουλίου 2000**

Κτίριο	Με φυτεμένο δώμα	Χωρίς φυτεμένο δώμα
Μέση ημερήσια θερμοκρασία (°C)	28	29
Μέση μέγιστη θερμοκρασία (°C)	29	31
Μέση ελάχιστη θερμοκρασία (°C)	26	26
Μέσο ημερήσιο θερμοκρασιακό εύρος (°C)	3	5
Αριθμός όπου η θερμοκρασία ξεπέρασε τους 30°C	1	40
Αριθμός όπου η θερμοκρασία ξεπέρασε τους 32°C	1	3
Συνολικός αριθμός μετρήσεων	192	192

## 6.2. Μελέτη Θερμικού Περιβάλλοντος Υπόσκαφης Κατοικίας στην Κορέα<sup>35</sup>

Ήδη από τη δεκαετία του 80', υπήρξε ενδιαφέρον σχετικά με τις σημαντικές θερμομονωτικές ιδιότητες που προσφέρει το έδαφος στις υπόσκαφες κατοικίες. Μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε το 1986 στην Κορέα εξετάζει τις διαφορές θερμικού περιβάλλοντος των υπόσκαφων και των συμβατικών κατοικιών.

Οι μετρήσεις και οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν είχαν σκοπό να καταστήσουν περισσότερο κατανοητές τις ιδιότητες του εσωτερικού και εξωτερικού μικροκλίματος της Κορέας στους δύο τύπους κατοικιών. Για τις ανάγκες αυτής της μελέτης υπολογίστηκαν οι εξής μεταβλητές: η εσωτερική θερμική σταθερότητα και η εσωτερική και εξωτερική θερμοκρασιακή ροή κατά τη διάρκεια της ημέρας.

### Αποτελέσματα Έρευνας

Αρχικά, αξίζει να σημειωθεί ότι οι μετρήσεις για την έρευνα αυτή έγιναν σε κατοικήσιμες οικίες στις οποίες δεν χρησιμοποιήθηκε ούτε μηχανική θέρμανση ούτε ψύξη από τους ενοίκους.

Ως προς τη σχέση εξωτερικής και εσωτερικής θερμοκρασίας οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το ημερήσιο θερμοκρασιακό εύρος στους εσωτερικούς χώρους της υπόσκαφης οικίας ήταν κατά 5,4 βαθμούς χαμηλότερο από το αντίστοιχο θερμοκρασιακό εύρος της συμβατικής το χειμώνα και κατά 1,6 βαθμούς το καλοκαίρι. Αυτές οι μετρήσεις αποδεικνύουν ότι η υπόσκαφη οικία εξασφαλίζει σταθερότερη εσωτερική θερμοκρασία από ότι μια συμβατική κατοικία.

Η σχέση ανάμεσα στην εσωτερική και την εξωτερική θερμοκρασία φαίνεται στα παρακάτω διαγράμματα. Ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ της εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας για το υπόσκαφο είναι κατά 0,134 χαμηλότερος τη χειμερινή περίοδο από ότι στην συμβατική οικία. Κατά την καλοκαιρινή περίοδο ο συντελεστής αυτός είναι όμοιος και στις δύο κατοικίες.

---

<sup>35</sup> Woong, Lee Shi, and Jang Yeul Shon. "The Thermal Environment in an Earth-Sheltered Home in Korea." *Tunnelling and Underground Space Technology* 3.4 (1988): 409-16. Print.

Παρατηρείται ότι η εσωτερική θερμοκρασία της υπόσκαφης οικίας επηρεάζεται λιγότερο από την εξωτερική θερμοκρασία σε σχέση με τη συμβατική. Η σχέση μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής κατοικίας υπολογίζεται με τους παρακάτω τύπους:

Θερμοκρασία στη συμβατική οικία τη χειμερινή περίοδο:

$$T_i (^{\circ}\text{C}) = 0.5327 T_o + 5.509$$

Θερμοκρασία στην υπόσκαφη οικία τη χειμερινή περίοδο:

$$T_i (^{\circ}\text{C}) = 0.134 T_o + 11.979$$

Θερμοκρασία στη συμβατική οικία τη καλοκαιρινή περίοδο:

$$T_i (^{\circ}\text{C}) = 0.4997 T_o + 14.514$$

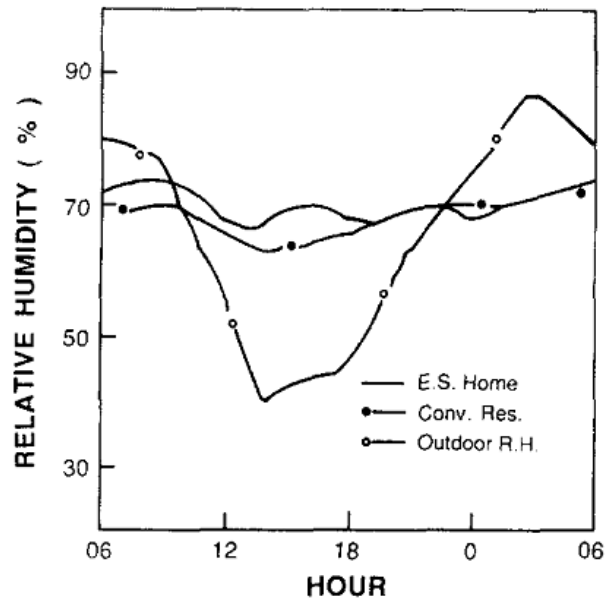
Θερμοκρασία στην υπόσκαφη οικία τη καλοκαιρινή περίοδο:

$$T_i (^{\circ}\text{C}) = 0.2587 T_o + 19.726$$

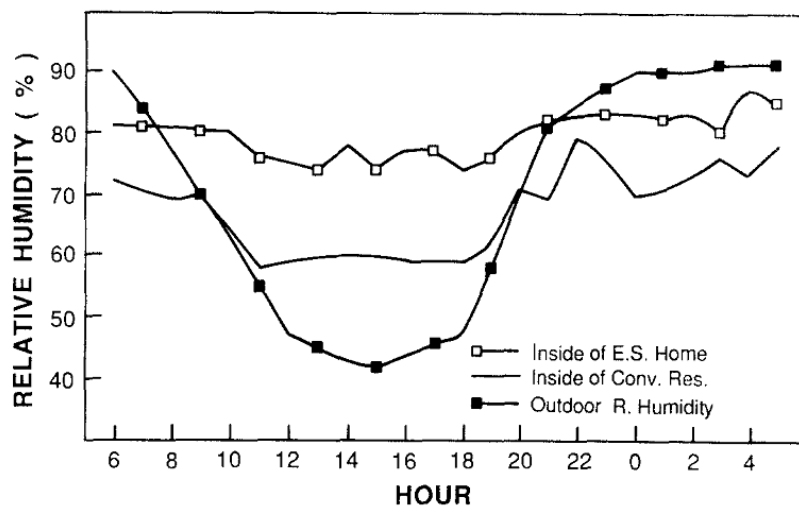
<b>Classification</b>	<b>Walls</b>	<b>Roof</b>
<b>Conventional residence</b>	<b>0.1339 J/°C · m<sup>2</sup></b>	<b>0.1010 J/°C · m<sup>2</sup></b>
<b>Earth-sheltered home</b>	<b>0.3518 J/°C · m<sup>2</sup></b>	<b>0.4766 J/°C · m<sup>2</sup></b>

*Πίνακας 6.3. Σύγκριση θερμοχωρητικότητας σε τοίχους και οροφές ανάμεσα σε μια συμβατική και μια υπόσκαφη κατοικία.*

Ο παραπάνω πίνακας παρουσιάζει τη μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα που έχει η υπόσκαφη κατοικία σε σχέση με τη συμβατική, ενώ ο πίνακας 6.4. αποδεικνύει ότι η θερμοκρασία στο εσωτερικό της υπόσκαφης κατοικίας δεν αποκλίνει κατά πολύ από τις τιμές της θερμοκρασιακής άνεσης τόσο κατά την καλοκαιρινή όσο και κατά τη χειμερινή περίοδο.



Διάγραμμα 6.3. Σύγκριση σχετικής υγρασίας το χειμώνα.



Διάγραμμα 6.4. Σύγκριση σχετικής υγρασίας το καλοκαίρι.

Στα παραπάνω διαγράμματα απεικονίζεται η μεταβολή της σχετικής υγρασίας στην υπόσκαφη και τη συμβατική κατοικία. Το χειμώνα, η μέση σχετική υγρασία ήταν 65,1%. Η μέση σχετική υγρασία στη συμβατική κατοικία ήταν 68,3% και η αντίστοιχη της υπόσκαφης κατοικίας ήταν 70,2%. Η υπόσκαφη κατοικία παρουσίασε κατά 1,9% υψηλότερα επίπεδα υγρασίας. Ωστόσο, η ημερήσια διακύμανση σχετικής υγρασίας στην υπόσκαφη κατασκευή ήταν κατά 2% χαμηλότερη σε σχέση με την συμβατική κατασκευή.

Την περίοδο του καλοκαιριού, η μέση σχετική υγρασία ήταν 69,8%. Η μέση σχετική υγρασία στη συμβατική κατοικία ήταν 67,4% και η αντίστοιχη της υπόσκαφης κατοικίας ήταν 79,7%. Οι υπόσκαφη κατοικία παρουσίασε κατά 12,3% υψηλότερα επίπεδα υγρασίας. Ωστόσο, η ημερήσια διακύμανση σχετικής υγρασίας στην υπόσκαφη κατασκευή ήταν κατά 8% χαμηλότερη σε σχέση με την συμβατική κατασκευή.

Παρατηρείται ότι το εσωτερικό περιβάλλον της υποσκαφης κατοικίας είναι κατά 1,9%-12,3% πιο υγρό από ότι το αντίστοιχο μιας συμβατικής κατοικίας, Η έρευνα όμως, καταλήγει στο συμπέρασμα ότι οι υπόσκαφες κατοικίες παρέχουν σταθερότερα επίπεδα υγρασίας κατά τη διάρκεια του έτους.

Classification		Minimum CET*	Maximum CET*	Diurnal range	Mean CET*
Comfort zone	Winter	18.5	22.6	4.1	20.5
	Summer	21.6	24.6	3.0	23.1
E.S. Home	Winter	18.1	20.8	2.7	19.4
	Summer	23.2	26.1	2.9	25.3
Conventional residence	Winter	14.9	19.6	4.7	17.6
	Summer	22.8	27.2	4.4	25.1

Πίνακας 6.4. Σύγκριση επιπέδων άνεσης.

*CET = Τιμή θερμοκρασίας υπολογισμένη σε σχέση με την εσωτερική θερμοκρασία, την υγρασία, τη ροή του αέρα και τη θερμότητα από την ηλιακή ακτινοβολία.*

Στον παραπάνω πίνακα βλέπουμε ότι υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση της υπόσκαφης κατοικίας σε σχέση με τη συμβατική ως προς τα επίπεδα παρεχόμενης θερμικής άνεσης.

Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής αποτελούν μια ακόμη απόδειξη ότι οι υπόσκαφες κατοικίες, εκτός του ότι παρέχουν σταθερότερα επίπεδα σχετικής υγρασίας, αποτρέπουν και την εξάπλωση της υγρασίας στην υπόλοιπη κατασκευή, σε αντίθεση από ότι συμβαίνει με τις συμβατικές.

Συνοπτικά λοιπόν, αν εξαιρέσουμε τα υψηλά επίπεδα υγρασίας, οι υπόσκαφες κατοικίες παρέχουν ένα καλύτερο θερμικό περιβάλλον από ότι οι συμβατικές κατοικίες.



Στο συμπέρασμά τους, οι συγγραφείς της έρευνας καταλήγουν στο ότι οι μελλοντικές έρευνες πρέπει να στραφούν προς την βελτίωση των ήδη υφισταμένων και στη ανεύρεση νέων στεγανωτικών μεθόδων που θα εξαλείψουν τα προβλήματα που προκαλούν τα υψηλά επίπεδα υγρασίας στις υπόσκαφες κατασκευές.

### **6.3. Μελέτη ενεργειακών αναγκών και καταναλώσεων Υπόσκαφης κατασκευής στη νήσο Κέα**

Στην παρακάτω μελέτη παρουσιάζεται η σύγκριση των ενεργειακών αναγκών για ψύξη και θέρμανση, μία συμβατικής κατοικίας κατασκευασμένης υπέργεια και μίας υπόσκαφης κατοικίας, με τον ίδιο ωφέλιμο χώρο 130μ<sup>2</sup>, τοποθετημένες στη νήσο Κέα. Η ενεργειακή μελέτη έγινε σύμφωνα με τα πρότυπα EN 13790 που χρησιμοποιούνται κατά την ενεργειακή πιστοποίηση των κτιρίων για τον ΚΕΝΑΚ. Οι ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση και ψύξη υπολογίστηκαν λαμβάνοντας υπόψη τις ενεργειακές απώλειες από το κτιριακό κέλυφος αλλά και τα ενεργειακά κέρδη. Οι υπολογισμοί έγιναν σε μηνιαία βάση, με τη χρήση του εξειδικευμένου λογισμικού για την ενεργειακή ανάλυση κατασκευών Era-Cad της εταιρίας Ti-Soft.

Σύμφωνα με τα στοιχεία που παρουσιάζονται στον πίνακα 4.4., προκύπτει ότι η συμβατική κατοικία έχει κατά 250% μεγαλύτερες ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση και κατά 25% μεγαλύτερες ενεργειακές απαιτήσεις για ψύξη, έναντι της συμβατικής κατοικίας, ενώ οι συνολικές απαιτήσεις είναι κατά 42% μεγαλύτερες. Αυτό αποτυπώνει την καλύτερη ενεργειακή απόδοση της υπόσκαφης κατασκευής η οποία έχει και άμεσο οικονομικό αντίκτυπο.<sup>36</sup>

---

<sup>36</sup> A. Benardos, I. Athanasiadis, N. Katsoulakos. "Modern earth sheltered constructions: A paradigm of green engineering." *Tunnelling and Underground Space Technology* 41 (2014): 46-52. Print.

**Πίνακας 6.5****Σύγκριση των ενεργειακών αναγκών για ψύξη και θέρμανση**

Μήνας	Υπόσκαφη Κατασκευή, Απαιτούμενη Ενέργεια για Θέρμανση (kWh)	Υπόσκαφη Κατασκευή, Απαιτούμενη Ενέργεια για Ψύξη (kWh)	Συμβατική Κατασκευή, Απαιτούμενη Ενέργεια για Θέρμανση (kWh)	Συμβατική Κατασκευή, Απαιτούμενη Ενέργεια για Ψύξη (kWh)
Ιανουάριος	323	0	691	0
Φεβρουάριος	238	0	531	0
Μάρτιος	110	0	347	0
Απρίλιος	0	116	41	191
Μάιος	0	450	0	545
Ιούνιος	0	1,050	0	1,312
Ιούλιος	0	1,333	0	1,732
Αύγουστος	0	1,282	0	1,643
Σεπτέμβριος	0	843	0	973
Οκτώβριος	0	603	0	692
Νοέμβριος	14	0	110	0
Δεκέμβριος	207	0	500	0
<b>Σύνολο</b>	<b>892</b>	<b>5,676</b>	<b>2,222</b>	<b>7,089</b>

## 6.4. Παραδείγματα

### 6.4.1. Εξοχική κατοικία στη Νάξο

Η κατοικία στη Νάξο η οποία αποτελεί έργο των αρχιτεκτόνων Φοίβης Γιαννίση, Ζήση Κοτιώνη, Ιωάννη Μπαλτογιάννη, Κατερίνας Κρίτου και Νικόλαου Πλατσά, αποτελεί μία από τις 5 προτάσεις της Ελλάδας για τη διεκδίκηση του Ευρωπαϊκού βραβείου αρχιτεκτονικής MIES VAN DES ROCHE.



*Εικόνα 6.1. Απεικόνιση της πλάγιας όψης της οικίας.*

Μια υπόσκαφη κατασκευή σε επικλινές οικόπεδο, με κύριο χαρακτηριστικό μια σκάλα πλάτους 3,10 μ. που διαπερνά την κτιριακή εγκατάσταση με μια εγκάρσια διαμπερή κίνηση που συντελεί στη δημιουργία ενός αρχιτεκτονικού ευρήματος ως προς τον καταμερισμό των χώρων αλλά και την κίνηση εντός και εκτός της κατοικίας.



*Εικόνα 6.2. Απεικόνιση της πρόσοψης της οικίας.*

Η κατοικία χωρίς να στερείται στις ανέσεις που απαιτούνται σε μία σύγχρονη εξοχική κατοικία των νησιών του Αιγαίου, εναρμονίζεται με το περιβάλλον και γίνεται ένα με το οποίο εκμεταλλεύομενη όλα τα χαρακτηριστικά των υπόσκαφων κατασκευών που αναπτύχθηκαν παραπάνω.

<sup>37</sup> Πηγή Εικόνων 6.1., 6.2.< <http://www.greekarchitects.gr>>.

#### 6.4.2. Bolton Eco House<sup>38</sup>

Η επιλογή αναφοράς στην εν λόγω κατασκευή έγινε εξαιτίας της ιδιόμορφης χρήσης του αιθρίου ως μεθόδου κατασκευής αλλά και των πολλαπλών εφαρμογών που συντελούν στη μείωση κατανάλωσης ενέργειας.



*Εικόνα 6.3. Απεικόνιση του εσωτερικού της οικίας.*

Οι Make Architects σχεδίασαν την πρώτη ιδιοκτησία μηδενικής εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα στην Βορειοδυτική Αγγλία σύμφωνα με το συμβούλιο της περιοχής Bolton. Η οικία η οποία ανήκει στον διεθνή παίκτη ποδοσφαίρου Gary Neville, αποτελείται από 4 υπνοδωμάτια, και είναι τοποθετημένη στον λόφο Pennine ώστε να ελαχιστοποιηθεί η οπτική ρύπανση από την κατασκευή της.

<sup>38</sup> "Bolton Eco House" < <http://www.makearchitects.com> >.





Εικόνα 6.4. Απεικόνιση του εξωτερικού της οικίας.

Η κατοικία καταναλώνει ελάχιστη ενέργεια, πράγμα που έχει επιτευχθεί λόγω της τοποθεσίας και του προσανατολισμού της αλλά και των εγκαταστάσεων, αντλία θερμότητας, φωτοβολταϊκών συστημάτων και μίας ανεμογεννήτριας όπου παράγουν ανανεώσιμη ενέργεια. Τα υλικά κατασκευής θα είναι από την περιοχή και θα χρησιμοποιηθούν παραδοσιακές τεχνικές δόμησης.

### **6.5. Πλεονεκτήματα της υπόσκαφης οικίας έναντι της συμβατικής**

Οι υπόσκαφες οικίες έχουν πολλά πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών:

- Αντιθέτως με τις συμβατικές οικίες μπορούν να κατασκευαστούν σε επιφάνειες με μεγάλη κλίση και να μεγιστοποιήσουν τους διαθέσιμους χώρους απλώς χρησιμοποιώντας περιοχές κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Επίσης τα υλικά που θα προκύψουν από την εκσκαφή μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε επόμενα στάδια της κατασκευής.
- Οι υπόσκαφες οικίες έχουν λιγότερη επιφάνεια εκτεθειμένη πάνω από την επιφάνεια του εδάφους οπότε ελαχιστοποιείται η χρήση κάποιων υλικών κατασκευής, όπως και το κόστος συντήρησης το οποίο είναι σημαντικά χαμηλότερο σε σχέση με τις συμβατικές οικίες.
- Οι υπόσκαφες οικίες είναι ανθεκτικότερες σε ακραίες καιρικές συνθήκες καθώς έχουν επιπλέον προστασία έναντι του αέρα και του νερού, ενώ έχουν καλύτερη

συμπεριφορά απέναντι στους σεισμούς και τη φωτιά. Έτσι, αποτελούν ασφαλές περιβάλλον έναντι ακραίων καιρικών συνθηκών.

- Ένα από τα μεγαλύτερα οφέλη κατοίκησης σε μια υπόσκαφη κατασκευή είναι η ενεργειακή απόδοση και τα ενεργειακά οφέλη τα οποία προκύπτουν.
- Η θερμοκρασία της Γής κάτω από την επιφάνεια του εδάφους παραμένει σταθερή, οπότε μέσα από υπόγεια ανοίγματα η κατασκευή επωφελείται από τη γεωθερμία και μέσω της ανταλλαγής θερμότητας εξασφαλίζεται δροσιά κατά την καλοκαιρινή περίοδο και θερμότητα κατά τη χειμερινή.

Επίσης, εντάσσοντας στον σχεδιασμό μιας υπόσκαφης οικίας μεθόδους μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε ενέργεια, μια οικία μπορεί να γίνει σε μεγάλο βαθμό ενεργειακά αυτόνομη, έχοντας αρκετή ενέργεια για ζεστό νερό και θέρμανση καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου.

Ένα ακόμη όφελος που προκύπτει από την ιδιομορφία της υπόσκαφης κατασκευής, η οποία περιβάλλεται από το έδαφος, είναι η εξαιρετική ηχομόνωση. Τα υπόσκαφα αποτελούν πολύ ήσυχα μέρη διαβίωσης.

- Μια υπόσκαφη κατασκευή είναι οικολογική καθώς εντάσσεται τέλεια στο περιβάλλον και έχει ελάχιστο αντίκτυπο σε αυτό. Δεν δημιουργεί αισθητική μεταβολή και έτσι δεν επηρεάζει την άγρια ζωή.
- Στις υπόσκαφες κατασκευές χρησιμοποιείται λιγότερο υλικό κατασκευής. Κατά την κατασκευή ενός υπόσκαφου χρησιμοποιείται περίπου η μισή ποσότητα υλικών κατασκευής. Μεγάλο ποσοστό υλικού εξοικονομείται από τη θεμελίωση αλλά και από την επικάλυψη των εξωτερικών τοίχων.

## **7. Υπόσκαφη κατασκευή με βιοκλιματικό σχεδιασμό στις Κυκλάδες**

Η εξέλιξη των κατασκευών στο πέρασμα του χρόνου, καταδεικνύει την άμεση επιρροή του περιβάλλοντος, στη διαμόρφωση τους.

Κάθε κτίσμα ανάλογα με τη δραστηριότητα που φιλοξενούσε διαμορφωνόταν ανάλογα ώστε να εκμεταλλεύεται στο έπακρο το περιβάλλον του, είτε με τη θέση εγκατάστασης είτε όσον αφορά τα υλικά κατασκευής. Πολλά από τα στοιχεία που συναντάμε σε αυτές τις κατασκευές σήμερα ερμηνεύονται ως βιοκλιματικός σχεδιασμός.

Έχοντας αναλύσει τα στοιχεία των υπόσκαφων κατασκευών είναι ευδιάκριτη η άρρηκτη σχέση ανάμεσα στον βιοκλιματικό σχεδιασμό και τον υπόγειο χώρο. Μία υπόσκαφη κατασκευή ενσωματώνει τις ιδιότητες της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής και προάγει την βιωσιμότητα μειώνοντας τις ανάγκες για ενέργεια με άμεσο ή έμμεσο τρόπο.



*Εικόνα 7.1. Εξωτερική άποψη της υπόσκαφης κατασκευής.*



Σκοπός της εν λόγω μελέτης είναι να δοθεί έμφαση στη μεθοδολογία προσέγγισης του βιοκλιματικού σχεδιασμού με δεδομένες τις ανάγκες και τα οφέλη που προσφέρει η Ελλάδα. Έτσι μελετάτε μία υπόσκαφη κατασκευή στη νήσο Κέα, συνολικού ωφέλιμου χώρου 351μ<sup>2</sup> που στεγάζει δύο κατοικίες.

Βασικό γνώρισμα της κατασκευής είναι η εναρμόνιση με τα δεδομένα του οικοπέδου στο οποίο τοποθετείται αλλά και με το ευρύτερο περιβάλλον. Ο συνδυασμός του βιοκλιματικού σχεδιασμού με τον χαρακτήρα και τις ιδιότητες της υπόσκαφης κατασκευής μεγιστοποιούν τις δυνατότητες και τα οφέλη του προτεινόμενου κτίσματος.

### **7.1. Επιλογή τοποθεσίας**

Το σύμπλεγμα των Κυκλάδων αποτελεί ιδανικό τόπο για την εφαρμογή του εγχειρήματος. Το ξηρό κλίμα της Κέας, το ορεινό γεωγραφικό της ανάγλυφο και ο ιδιαίτερος χαρακτήρας του νησιού εξυπηρετούν την ανάπτυξη της ιδέας των υπόσκαφων κατασκευών.

#### **Κλίμα**

Το κλίμα είναι ο βασικός παράγοντας διαμόρφωσης των κατασκευών σε κάθε περιοχή. Το διαβρωτικό ελληνικό φώς και οι άνεμοι των Κυκλάδων συνέβαλαν στη δημιουργία μίας παραδοσιακής αρχιτεκτονικής αναγνωρίσιμης σε όλο τον κόσμο. Τα χαρακτηριστικά αυτά που έμμεσα ή άμεσα συνδέονται με τη διαχείριση των κλιματικών συνθηκών, αναπροσαρμόστηκαν στα σύγχρονα δεδομένα και εφαρμόστηκαν στην υπόσκαφη κατασκευή.

Το κλίμα των Κυκλάδων είναι εύκρατο. Η μέση θερμοκρασία του ψυχρότερου μήνα (Ιανουάριος) είναι 10-12°C και του θερμότερου (Ιούλιος ή Αύγουστος) 24,5-26,5°C. Ο παγετός αποτελεί σπάνιο φαινόμενο, ενώ οι απόλυτες μέγιστες θερμοκρασίες σπάνια φτάνουν τους 40°C. Η περιοχή των δυτικών Κυκλάδων είναι από τις ξηρότερες της Ελλάδας, με σχετική υγρασία μικρότερη από 65 βαθμούς της υγρομετρικής κλίμακας, στις κεντρικές Κυκλάδες η σχετική υγρασία κυμαίνεται μεταξύ 65 και 67 και στις ανατολικές υπερβαίνει τους 67. Οι Κυκλάδες γενικά είναι σχετικά ξηρές, παρά την επίδραση της θάλασσας. Οι αίθριες ημέρες του έτους κυμαίνονται μεταξύ 130 και 150,

ενώ οι νεφοσκεπείς μεταξύ 50 και 75. Στις Κυκλάδες επικρατούν οι βορειοανατολικοί - βορειοδυτικοί άνεμοι, ενώ ακολουθούν οι νότιοι και νοτιοδυτικοί. Η Κέα, η Κύθνος, η Σέριφος και οι νοτιότερες Ίος, Σίκινος, Φολέγανδρος, Σαντορίνη, Ανάφη και Αμοργός συμπεριλαμβάνονται στις ξηρότερες περιοχές της Ελλάδας, με μέσο ετήσιο ύψος βροχής λιγότερο από 400 χιλιοστά. Η θερινή ξηρασία στις Κυκλάδες διαρκεί σε πολλές περιπτώσεις από τον Απρίλιο έως τον Σεπτέμβριο, ενώ οι ημέρες βροχής εμφανίζουν ανάλογη εικόνα με τα ύψη βροχής. Την περίοδο της ανομβρίας δημιουργείται τη νύχτα άφθονη δροσιά, που αποτελεί άλλωστε σχεδόν τη μόνη πηγή νερού για τη μη αρδευόμενη βλάστηση. Το χιόνι και το χαλάζι είναι ασυνήθιστα φαινόμενα στις Κυκλάδες.<sup>39</sup>

Η έντονη ξηρασία και η εκτεταμένη ηλιοφάνεια καταπονούν τις υπέργειες κατασκευές και δημιουργούν σύντομα φθορές στα υλικά που καλύπτουν το κέλυφος τους. Η εδαφική κάλυψη, η οποία χαρακτηρίζει τις υπόσκαφες κατασκευές, εμποδίζει την δημιουργία αυτών των προβλημάτων με αποτέλεσμα, τόσο στην μείωση του κόστους συντήρησης για την ιδιοκτησία, όσο και στην μείωση κατανάλωσης ενέργειας που απαιτείται κατά την αποκατάσταση.

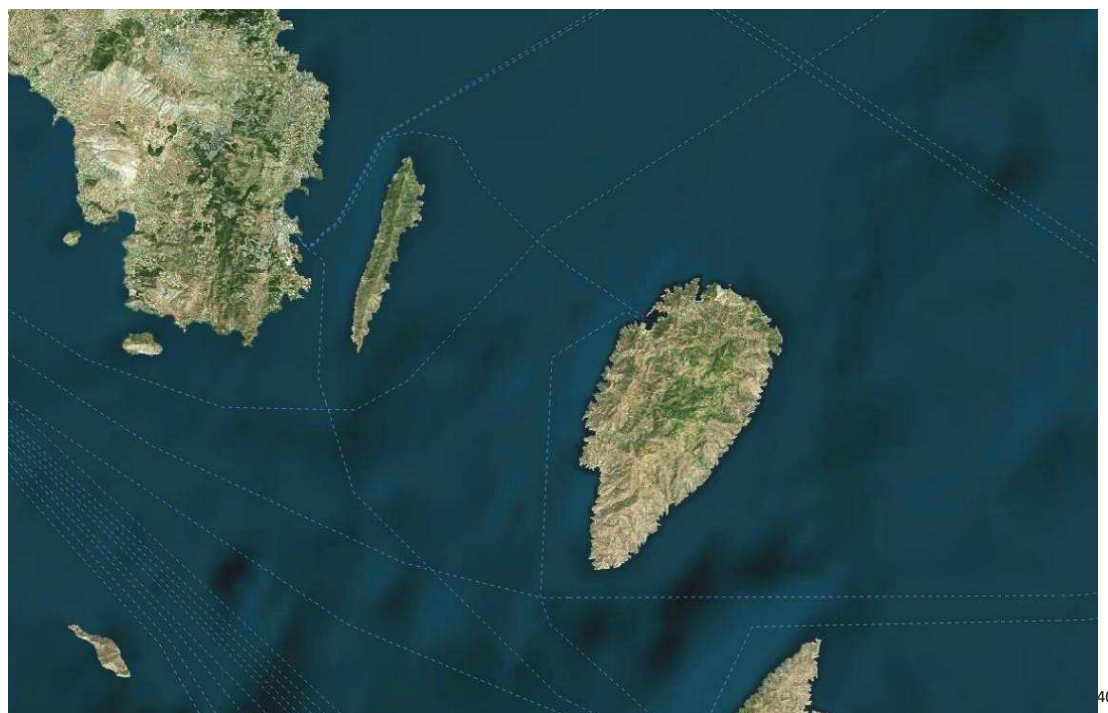
### **Κυκλάδες – Νήσος Κέα**

Εκτός του κλίματος το οποίο εξυπηρετεί την βιωσιμότητα της ιδέας, η επιλογή της Κέας για την τοποθέτηση της υπόσκαφης κατασκευής προήλθε σαν αποτέλεσμα συνυπολογισμού ενός συνόλου παραγόντων.

Οι Κυκλάδες και γενικότερα τα ελληνικά νησιά αποτελούν σημαντικό πεδίο προβολής εντός και εκτός Ελλάδος, ενώ ταυτόχρονα μπορούν να φιλοξενήσουν νέες ιδέες και προτάσεις. Η κοντινή απόσταση της Κέας από την Αττική και η μικρή-αναλογικά με το μέγεθος της ανοικοδόμηση-αποτελούν πρόσφορο έδαφος για τις νέες αυτές κατασκευαστικές ιδέες.

---

<sup>39</sup> Σίμου, Δήμητρα. ΔΙΚΤΥΟ ΑΕΙΦΟΡΩΝ ΝΗΣΩΝ ΔΑΦΝΗ. Αθήνα: Τομέας: Υδατικών Πόρων Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων, Αθήνα, ΕΜΠ., 2006



Εικόνα 7.2. Χάρτης της Κέας.

Το λιμάνι της απέχει μόλις 40 μίλια από το λιμάνι του Πειραιά, 16 μίλια από το λιμάνι του Λαυρίου και 12 μίλια από το ακρωτήριο του Σουνίου. Το νησί συνδέεται άμεσα με το Λαύριο και από εκεί με ολόκληρη την Αττική. Η κατασκευή της Αττικής οδού μείωσε σημαντικά το χρόνο προς το Λαύριο και κατ' επέκταση και τον χρόνο προσέλασης προς το νησί. Τα δρομολόγια των πλοίων εκτελούνται σε καθημερινή βάση, με μεγαλύτερη συχνότητα κατά τους θερινούς μήνες. Συνδέεται επίσης ακτοπλοϊκά με τις υπόλοιπες Κυκλάδες.<sup>41</sup>

Η έκταση του νησιού είναι 132 τετραγωνικά χιλιόμετρα αλλά η εκμετάλλευσή του είναι περιορισμένη. Το νησί είναι ορεινό, με μέσο υψόμετρο 285μ. Το μεγαλύτερο ποσοστό του νησιού καλύπτεται από χαμηλή βλάστηση. Οι παράκτιες περιοχές του είναι βραχώδεις και άγονες, σε αντίθεση με τμήματα της ενδοχώρας που καλύπτονται από σημαντική δασική βλάστηση βασιλικής βελανιδιάς.

Ξεχωριστό στοιχείο της τζιιώτικης υπαίθρου είναι οι σπάνιες συνθέσεις φυσικού και αγροτικού τοπίου (βλ. εικόνα 5.2.). Οι λίθινες αναβαθμίδες, ένα στοιχείο που

<sup>40</sup> Πηγή εικόνας 7.2.: <<http://www.flashearth.com/>>.

<sup>41</sup> Σίμου, Δήμητρα. ΔΙΚΤΥΟ ΑΕΙΦΟΡΩΝ ΝΗΣΩΝ ΔΑΦΝΗ. Αθήνα: Τομέας: Υδατικών Πόρων Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων, Αθήνα, ΕΜΠ., 2006.

συναντάται έντονα στο νησί, κυριαρχούν στο χώρο και συγκρατούν το χώμα των επικλινών εδαφών. Σε αυτό το υπόβαθρο βασίστηκε η ιδιοτυπία της υπαίθριας τζιιώτικης αρχιτεκτονικής. Η τζιιώτικη αγροικία, συναντάται παντού διάσπαρτη στην ύπαιθρο, παρουσιάζοντας πολλές φορές δείγματα μερικής αλλά και ολικής υποσκαφής. Στα όρια της νησιώτικης γεωγραφικής μικροκλίμακας, διαμορφώθηκαν και αναδείχθηκαν κατασκευές εξαιρετικής ποικιλομορφίας και χρηστικότητας.

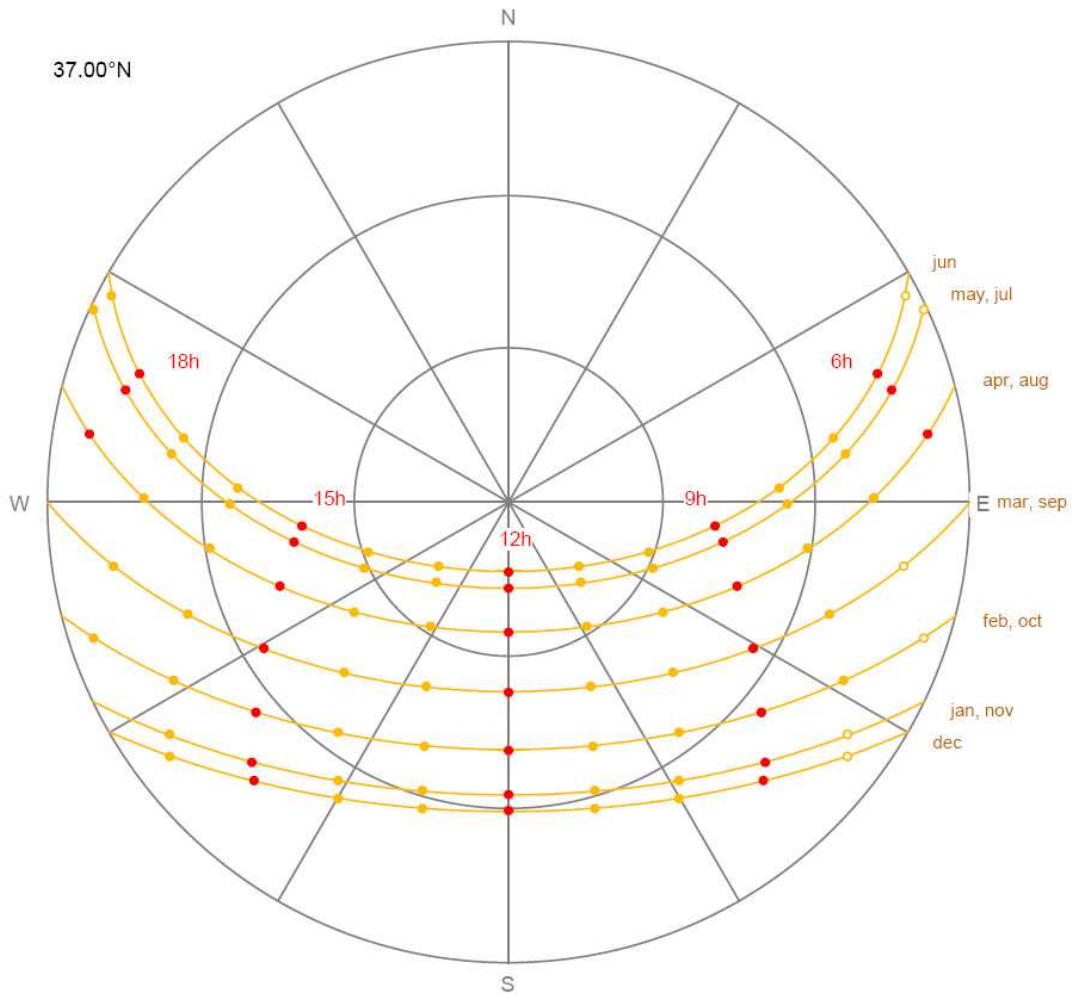
Ωστόσο αξιοσημείωτο είναι το υψηλό επίπεδο των σύγχρονων κατασκευών από πλευράς ποιότητας κατασκευής αλλά και σχεδιασμού με κύριο στοιχείο πάντοτε την πέτρα. Η Κέα αποτελεί πρόσφορο έδαφος για την εφαρμογή νέων ιδεών στην κατασκευή που προάγουν την αειφόρο ανάπτυξη και τις φιλικές προς το περιβάλλον κατασκευές.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι παρά την έλλειψη μεγάλων ξενοδοχειακών μονάδων, η προσέλευση στο νησί έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια. Αυτό οφείλεται τόσο στην προσέλευση σκαφών, αφού το λιμάνι της Κέας προσφέρει προστασία από τις καιρικές συνθήκες, αποτελώντας την πρώτη στάση για όσους ταξιδεύουν προς τα άλλα νησιά του Αιγαίου, αλλά και στην πολύ κοντινή της απόσταση από το λιμάνι του Λαυρίου.

### **Οικόπεδο**

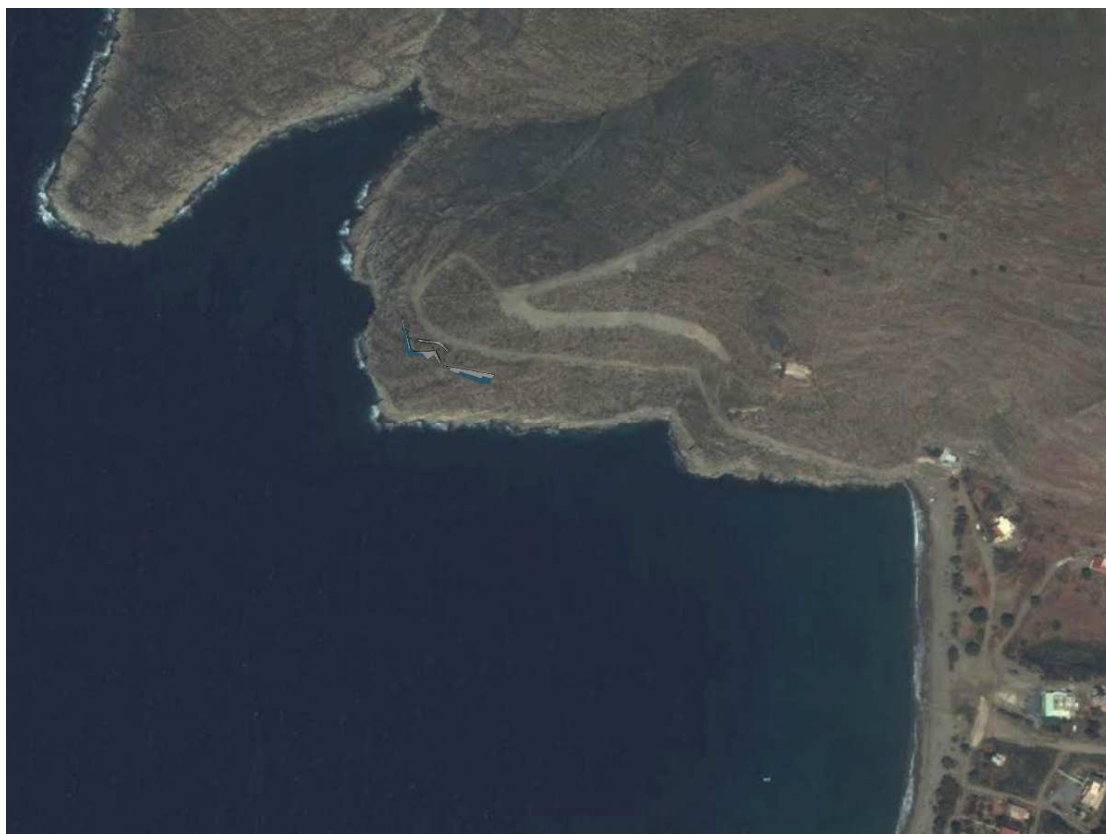
Η επιλογή του αγροτεμαχίου στο οποίο μελετήθηκε η προτεινόμενη κατασκευή, έγινε λαμβάνοντας υπόψη δύο προαπαιτούμενους παράγοντες για τη βιωσιμότητα της, τον κατάλληλο προσανατολισμό και το γεωγραφικό ανάγλυφο.

Μελετώντας τις παραμέτρους μιας οικολογικής κατασκευής, όπως προκύπτει και από την εκτενή ανάλυση στο κεφάλαιο 3.2.3. σχετικά με τον κατάλληλο προσανατολισμό, επιλέχθηκε τα εκτεθειμένα τμήματά της, να έχουν νότια έως νοτιοδυτική διεύθυνση, τόσο για την εκμετάλλευση της κίνησης του ηλίου για φυσικό φωτισμό αλλά και εξαιτίας της οπτικής πρόσβασης στη θάλασσα. Στο γράφημα 7.1. παρουσιάζεται η κίνηση του ηλίου ανά μήνα, σε ετήσια βάση συγκεκριμένα για το γεωγραφικό πλάτος στο οποίο βρίσκεται το νησί της Κέας. Έτσι παρατηρείται η έκθεση στον ήλιο ανάλογα με τον προσανατολισμό.



Γράφημα 7.1. Ετήσιο διάγραμμα κίνησης ηλίου για γεωγραφικό πλάτος 37°N

Το ιδιαίτερο ανάγλυφο της περιοχής και ειδικότερα η κλίση του οικοπέδου, ευνοούν την υποσκαφή, αφού μπορούν να “κρύψουν” την κατοικία. Επιπλέον, η πρόσβαση στο οικόπεδο, που γίνεται από πάνω, εμποδίζει την οπτική πρόσβαση στο εσωτερικό της οικίας από την αγροτική οδό, καθώς ελάχιστα στοιχεία της κατασκευής είναι ορατά από αυτόν.



Εικόνα 7.3. Απεικόνιση του πεδίου τοποθέτησης της κατασκευής.

## 7.2. Μελέτη θερμικής άνεσης

Έχοντας εξασφαλίσει τη βάση για την ανάπτυξη της προτεινόμενης κατασκευής, δηλαδή τη σωστή της τοποθέτηση, η διαμόρφωση της έγινε βαθμιαία έτσι ώστε κάθε στοιχείο που ενσωματώνεται στον σχεδιασμό να εξυπηρετεί και έναν σκοπό. Η εκπόνηση της μελέτης θερμικών συνθηκών απαιτείται για την παραμετροποίηση του σχεδιασμού σύμφωνα με τις κλιματολογικές συνθήκες τις οποίες καλείται να αντιμετωπίσει η προτεινόμενη κατασκευή. Οι ιδιαίτερες κλιματολογικές συνθήκες οι οποίες επικρατούν στο νησί της Κέας επηρεάζουν άμεσα τις συνθήκες στο εσωτερικό των κατασκευών. Στο κεφάλαιο αυτό προσδιορίζονται οι απαιτούμενες συνθήκες θερμικής άνεσης, που πρέπει να παρέχονται ώστε να εξασφαλίζεται ένα ευχάριστο, υγιές περιβάλλον για κατοίκηση.

<sup>42</sup> Πηγή εικόνας 7.3.: <<http://www.ktimatologio.gr/>>.

Ο όρος θερμική άνεση περιγράφει την κατάσταση στην οποία το άτομο εκφράζει ικανοποίηση για το θερμικό περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται.<sup>43</sup> Οι παράμετροι που επηρεάζουν την θερμική άνεση είναι είτε περιβαλλοντικές (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία, ταχύτητα αέρα), είτε αφορούν το άτομο (δραστηριότητα, ένδυση).

Για τον υπολογισμό των συνθηκών αυτών χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό “Climate Consultant” το οποίο αναπτύχθηκε από το πανεπιστήμιο του Λος Άντζελες.<sup>44</sup>

Τα κλιματικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, λήφθηκαν από την Υπηρεσία Ενέργειας των ΗΠΑ (U.S. Department of Energy)<sup>45</sup> για μετρήσεις στην Αθήνα, και προσαρμόστηκαν στα δεδομένα της Κέας. Οι υπολογισμοί για την διαμόρφωση των συνθηκών θερμικής άνεσης είναι με βάση τον ενεργειακό κώδικα της Καλιφόρνια. (California Energy Code Comfort Model 2013). Οι τιμές θερμοκρασίας, υγρασίας, ηλιοφάνειας και ανέμων διορθώθηκαν σύμφωνα με τις απαιτήσεις θερμικής άνεσης της Ελλάδας, λαμβάνοντας τα στοιχεία του Κ.Εν.Α.Κ. (Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων)<sup>46</sup>.

### **Θερμοκρασιακές μεταβολές**

Στο γράφημα 7.2. παρουσιάζεται η μηνιαία θερμοκρασιακή διακύμανση κατά τη διάρκεια ενός έτους σε συνάρτηση με τις συνθήκες θερμικής άνεσης. Οι συνθήκες αυτές για την Ελλάδα κατατάσσονται μεταξύ 20°C - 26°C.

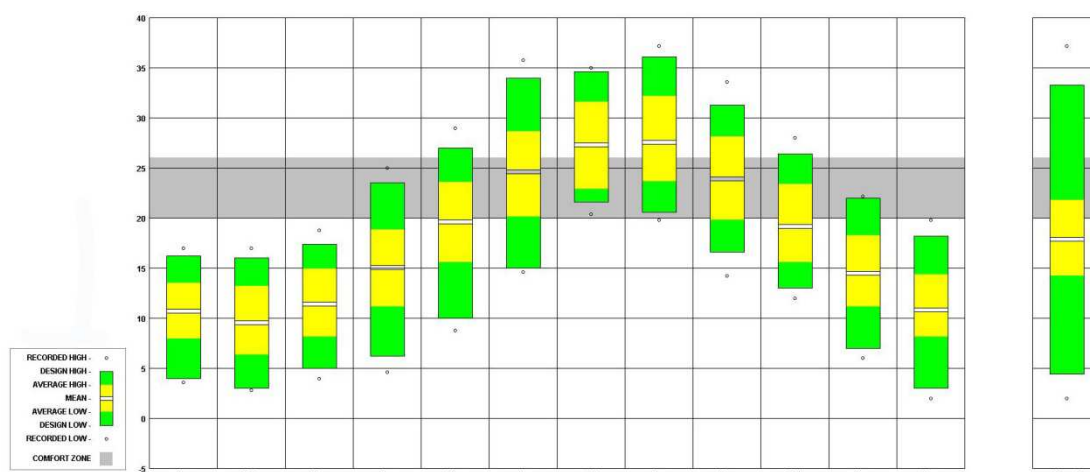
---

<sup>43</sup> P. O. Fanger, *Thermal Comfort*, Copenhagen: Danish Technical Press / New York: McGraw-Hill Book Company, 1973, σ. 13.

<sup>44</sup> “Energy Plus Energy Simulation Software: Weather Data” Web. 13 Nov. 2014.  
<<http://energy.gov>>.

<sup>45</sup> “Energy Design Tools: Climate Consultant”. Web. 13 Nov. 2014.  
<<http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu>>.

<sup>46</sup> “ΕΦΑΡΜΟΓΗ Κ.Εν.Α.Κ.” Web. 10 Oct. 2014.  
<<http://portal.tee.gr>>.



Γράφημα 7.2. Θερμοκρασιακή διακύμανση σε συνάρτηση με συνθήκες θερμικής άνεσης.

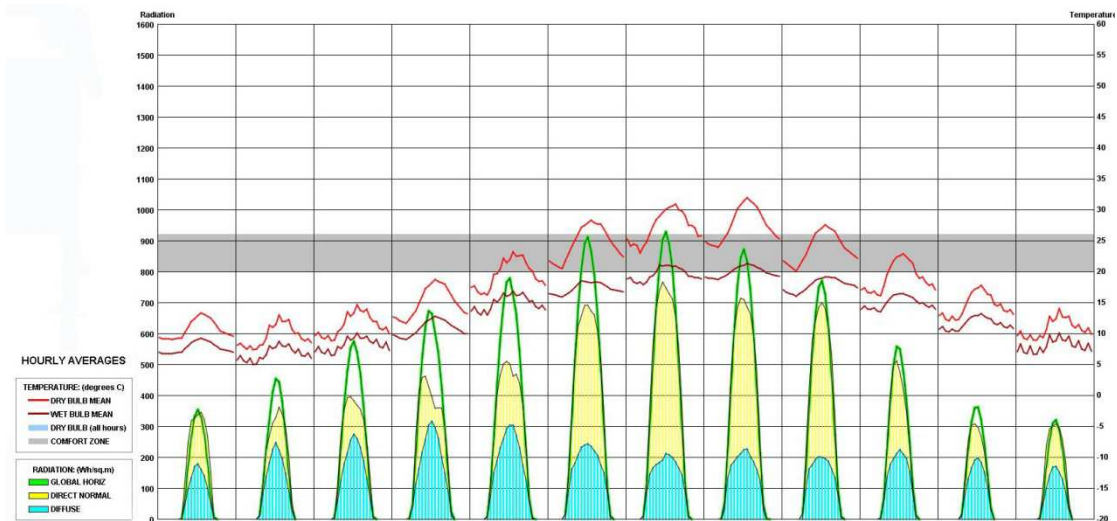
Από το γράφημα προκύπτει ότι σε διάστημα έξι μηνών, η μέση θερμοκρασία βρίσκεται, είτε εντός, είτε στα όρια της θερμικής άνεσης. Σκοπός της μελέτης είναι να προσδιοριστούν οι κατάλληλες ενέργειες με τις οποίες θα επιτευχθούν οι επιθυμητές συνθήκες καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

### Επίδραση ηλιακής ακτινοβολίας

Η ηλιακή ακτινοβολία, σημαντικός παράγοντας διαμόρφωσης της θερμοκρασίας και κατά συνέπεια των συνθηκών θερμικής άνεσης, αποτυπώνεται στο γράφημα 7.3.. Στο γράφημα αυτό, παρατηρείται η έντονη επιρροή της ακτινοβολίας στη θερμοκρασιακή διακύμανση και τις συνθήκες θερμικής άνεσης.

Η ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας μετράται σε  $KW/m^2$  ανά  $h$ .

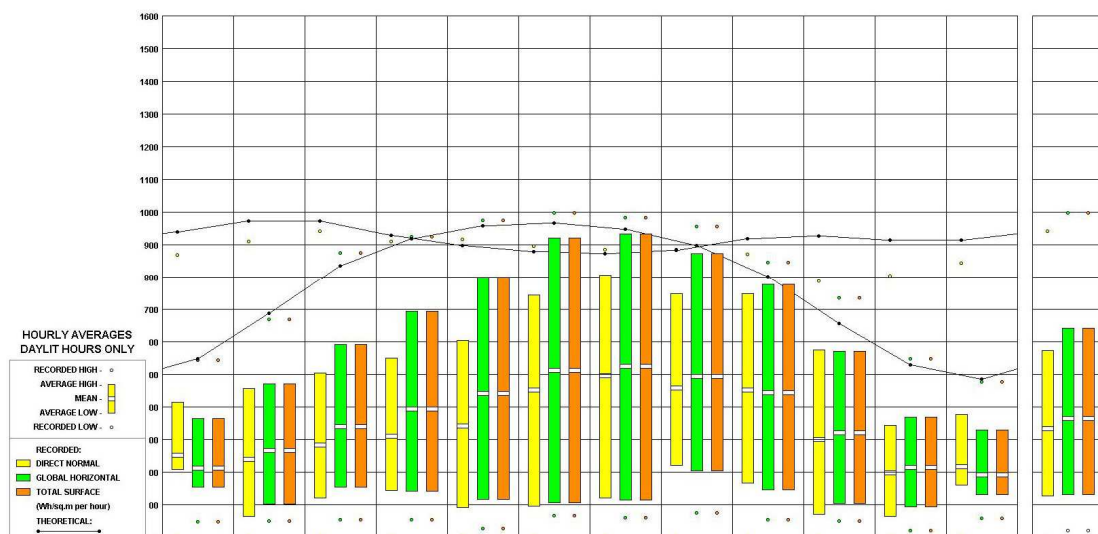




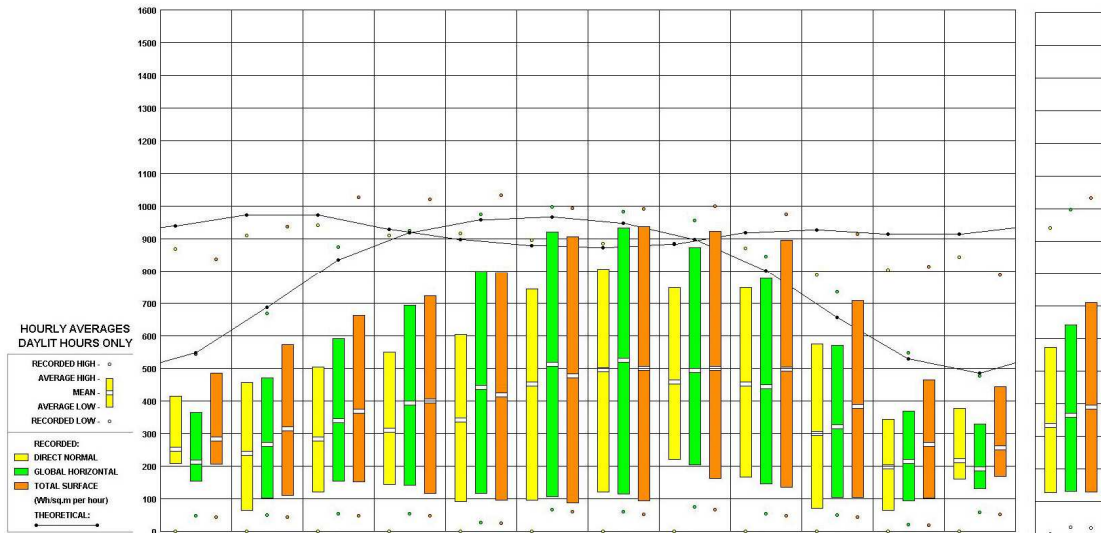
Γράφημα 7.3. Ακτινοβολία σε συνάρτηση με τη μέση θερμοκρασία ανά μήνα.

Το πράσινο χρώμα αντιπροσωπεύει την ολική ακτινοβολία, το άθροισμα δηλαδή της άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας. Το κίτρινο χρώμα αντιπροσωπεύει την άμεση ακτινοβολία, την ακτινοβολία με ελάχιστη ή χωρίς σκέδαση. Το γαλάζιο χρώμα αντιπροσωπεύει την διάχυτη ακτινοβολία, την ακτινοβολία αφού έχει αλλάξει η διεύθυνση της από ανάκλαση ή σκέδαση.

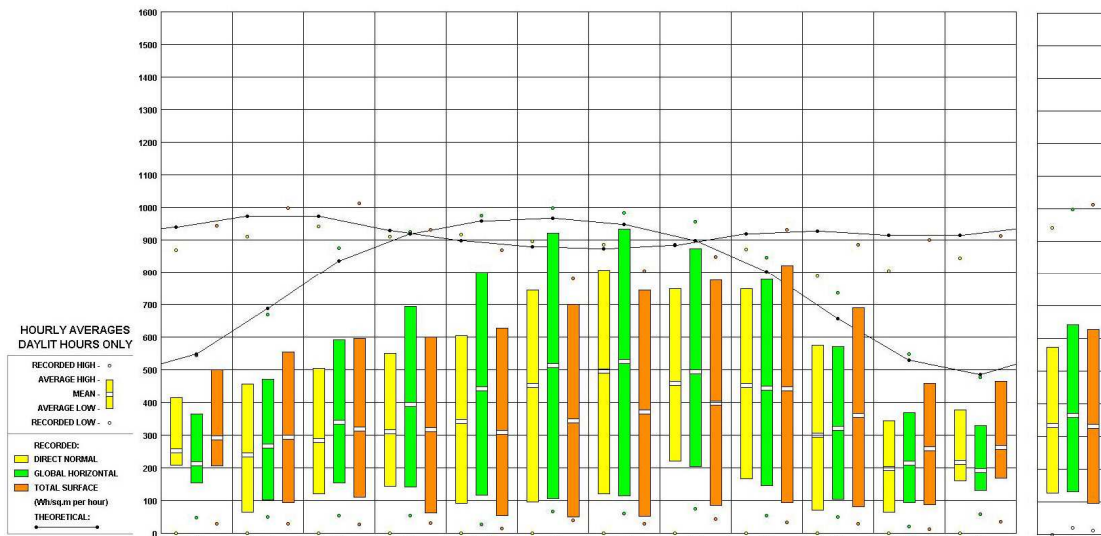
Αναλυτικότερα, στα γραφήματα 7.4., 7.5., 7.6., 7.7., παρουσιάζεται η ποσότητα πρόσπτωσης ολικής, άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας που προσπίπτει σε επιφάνειες με κλίση 0°, 30°, 60°, 90° αντίστοιχα.



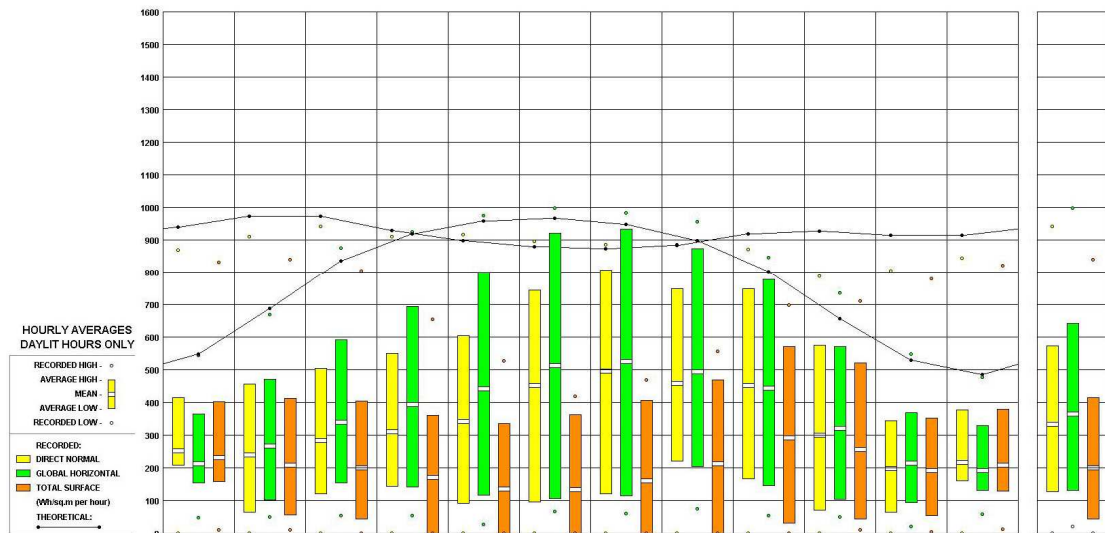
Γράφημα 7.4. Ακτινοβολία σε επιφάνεια κλίσης 0°.



Γράφημα 7.5.Ακτινοβολία σε επιφάνεια κλίσης 30°.



Γράφημα 7.6.Ακτινοβολία σε επιφάνεια κλίσης 60°.



Γράφημα 7.7.Ακτινοβολία σε επιφάνεια κλίσης 90°.

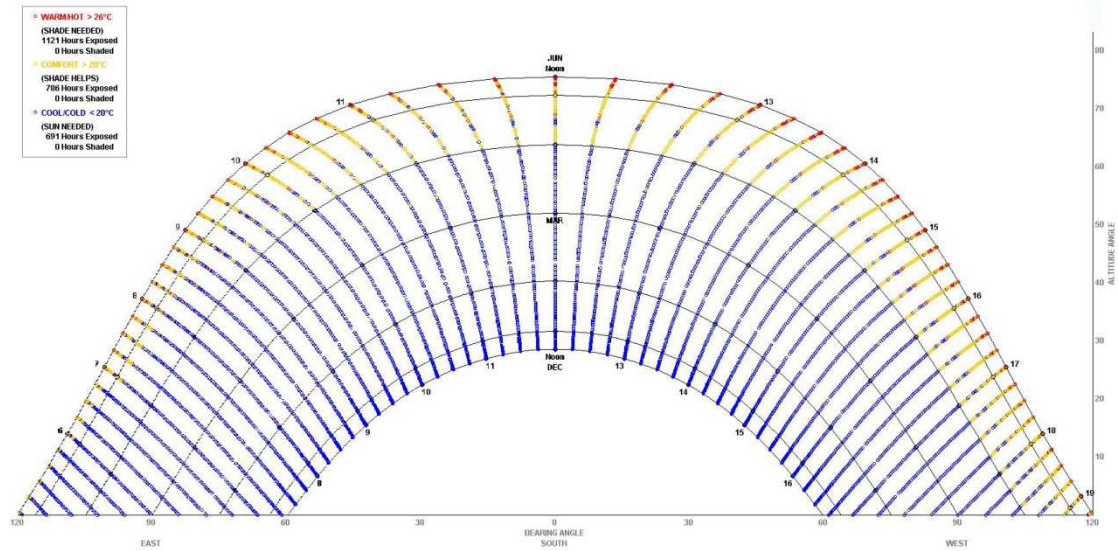
Από τα παραπάνω διαγράμματα διαπιστώνεται η σημαντική μεταβολή των ποσοτήτων ακτινοβολίας που προσπίπτουν σε μία επιφάνεια ανάλογα με την αντίστοιχη κλίση πρόσπτωσης.

Μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους για τον σχεδιασμό μίας βιοκλιματικής κατασκευής είναι η διαχείριση της ηλιακής ακτινοβολίας, δηλαδή η ορθή εισαγωγή του φωτός σε όλους τους χώρους μέσω των ανοιγμάτων και η απαιτούμενη σκίαση των χώρων που υπερεκτίθενται σε αυτή.

Η συνεχής έκθεση των κατασκευών στον ήλιο ιδιαίτερα κατά τη θερινή περίοδο αυξάνει σημαντικά τη θερμοκρασία των εσωτερικών χώρων και δημιουργεί δυσχερές θερμικό περιβάλλον. Σκοπός των παρακάτω γραφημάτων σκίασης είναι η κατανόηση της επίδρασης της άμεσης έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία, στη διαμόρφωση των θερμοκρασιακών συνθηκών.

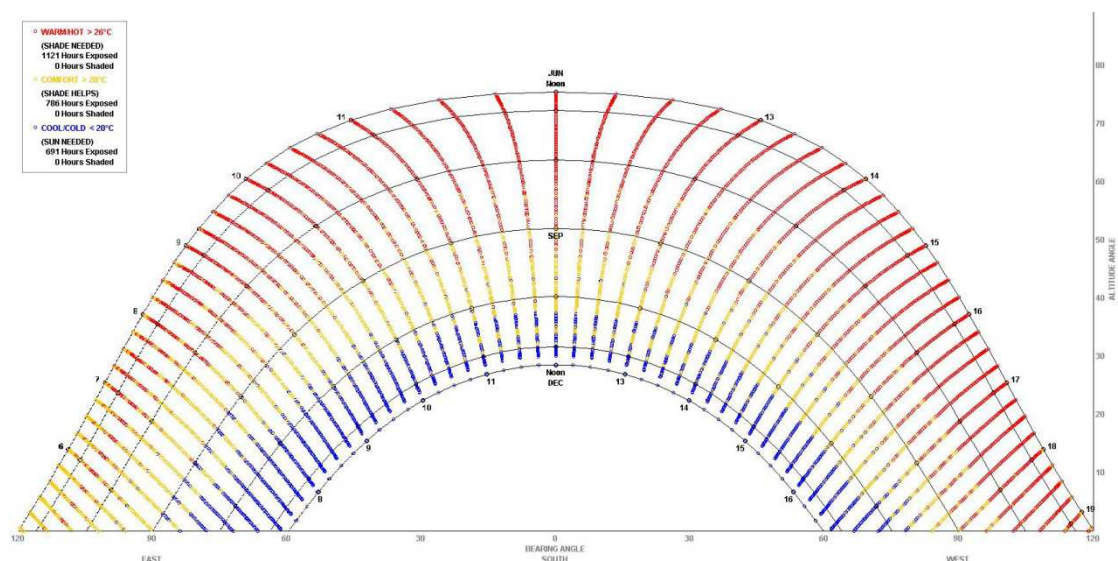
Στο γράφημα 7.9. παρουσιάζονται οι θερμοκρασιακές μεταβολές ανά μήνα, από τις 21 Δεκεμβρίου μέχρι τις 21 Ιουνίου, σε συνάρτηση με την κίνηση του ηλίου, κατά τη διάρκεια της ημέρας. Οι κόκκινες ενδείξεις σηματοδοτούν τις θερμοκρασίες που υπερβαίνουν τους 26°C, θερμοκρασία που αποτελεί το ανώτατο όριο θερμικής άνεσης. Υπό τις συνθήκες αυτές απαιτείται επιπλέον σκίαση ώστε οι θερμοκρασίες αυτές να ελαττωθούν. Οι μπλε ενδείξεις σηματοδοτούν θερμοκρασίες χαμηλότερες των 20°C,

Θερμοκρασία που αποτελεί το κατώτατο όριο θερμικής άνεσης. Υπό τις συνθήκες αυτές απαιτείται επιπλέον έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία. Το κίτρινο χρώμα σηματοδοτεί θερμοκρασίες εντός των συνθηκών θερμικής άνεσης.



Γράφημα 7.9. Γράφημα σκίασης για την περίοδο 21 Δεκεμβρίου έως 21 Ιουνίου.

Αντίστοιχα στοιχεία δίνονται στο γράφημα 7.10. για θερμοκρασιακές μεταβολές την περίοδο 21 Ιουνίου έως 21 Δεκεμβρίου. Στο γράφημα αυτό παρατηρούνται πολύ αυξημένες θερμοκρασίες αφού διανύεται η περίοδος του καλοκαιριού. Υπό τις συνθήκες αυτές η ανάγκη για περισσότερη σκίαση είναι επιβεβλημένη.



Γράφημα 7.10. Γράφημα σκίασης για την περίοδο 21 Ιουνίου έως 21 Δεκεμβρίου.

## Ψυχομετρικά διαγράμματα

Οι συνθήκες οι οποίες επικρατούν στο εσωτερικό των κατασκευών σύμφωνα με τα κλιματολογικά δεδομένα που προαναφέρθηκαν αποτυπώνονται στα Ψυχομετρικά Διαγράμματα.

Το ψυχομετρικό διάγραμμα είναι μια γραφική απεικόνιση της σχέσης μεταξύ θερμοκρασίας και υγρασίας. Με αυτό τον τρόπο περιγράφονται σχηματικά οι συνθήκες θερμικής άνεσης σε σχέση με τα κλιματικά δεδομένα.

Το διάγραμμα αυτό προκύπτει ως σύνολο των εξής παραγόντων:

**Θερμοκρασία ξηρού βολβού.** Είναι η θερμοκρασία αέρα που καθορίζεται από ένα συνηθισμένο θερμόμετρο. Στο διάγραμμα απεικονίζεται στον κάθετο άξονα.

**Απόλυτη υγρασία.** Είναι η ποσότητα υγρασίας στον αέρα. Μετράται ως η μάζα του νερού προς τη μάζα του ξηρού αέρα. Στο διάγραμμα απεικονίζεται στον οριζόντιο άξονα.

**Γραμμή κορεσμού.** Ο αέρας μπορεί να συγκρατήσει περισσότερη υγρασία όταν η θερμοκρασία είναι αυξημένη. Όταν η θερμοκρασία μειώνεται η υγρασία μετατρέπεται σε ομίχλη, βροχή, χιόνι. Στο διάγραμμα απεικονίζεται ως η μέγιστη δυνατή καμπύλη.

**Σχετική υγρασία.** Είναι το ποσοστό υγρασίας στον αέρα σε σχέση με τη γραμμή κορεσμού.

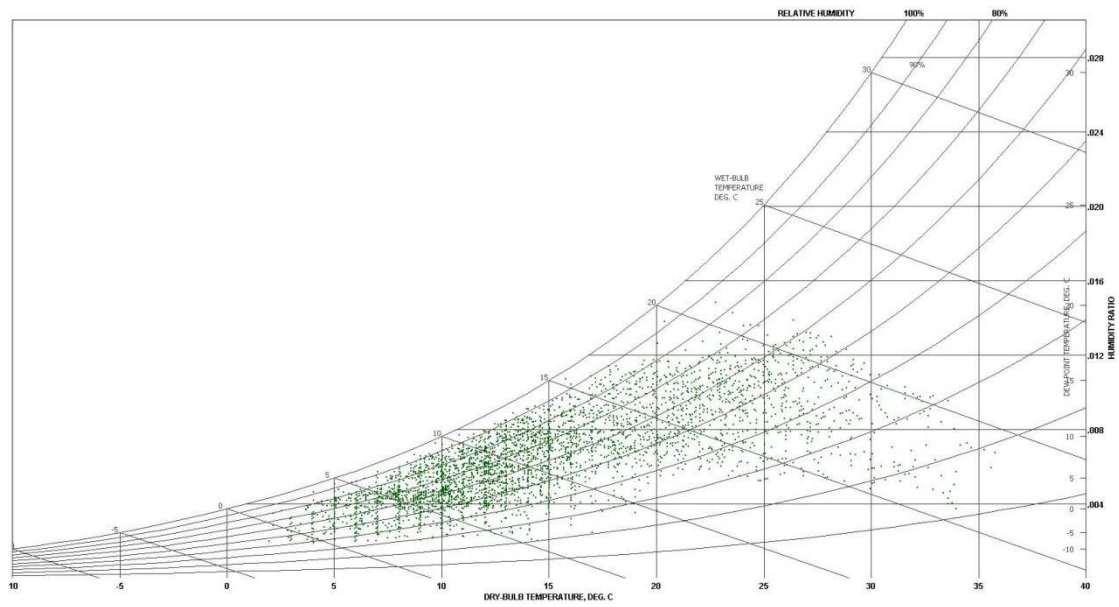
**Θερμοκρασία υγρού βολβού.** Είναι η θερμοκρασία αέρα που καθορίζεται από ένα θερμόμετρο τυλιγμένο σε ένα βρεγμένο πανί. Η εξάτμιση του νερού, το οποίο χρησιμοποιεί τη θερμότητα όπως εξαερώνεται, έχει μια επίδραση ψύξης στο θερμόμετρο.

**Σημείο δροσιάς.** Είναι η θερμοκρασία ενός αντικειμένου η οποία προκαλεί το νερό να υγροποιηθεί εκτός της επιφάνειάς του.

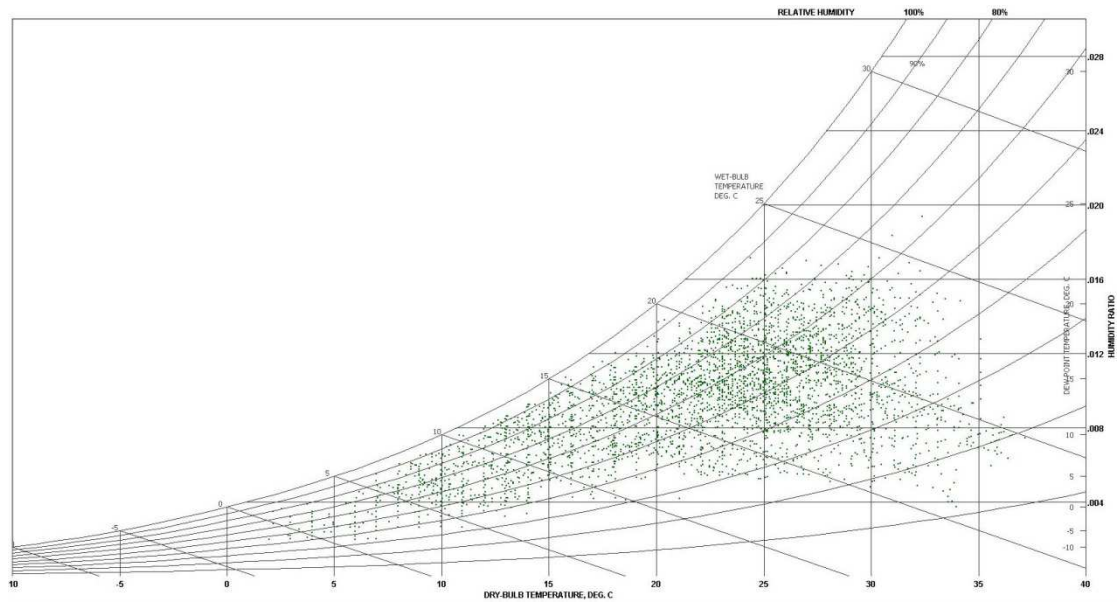
**Βαθμός υγροποίησης.** Είναι η ποσότητα νερού η οποία μεταφέρεται στον αέρα από ένα αντικείμενο το οποίο βρίσκεται σε θερμοκρασία χαμηλότερη του σημείου δροσιάς.



Στα διαγράμματα 7.1. και 7.2. παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας που συναντώνται στο εσωτερικό μίας κατασκευής στην οποία δεν έχουν ληφθεί επιπλέον μέτρα προσαρμογής στις συνθήκες θερμικής άνεσης. Συγκεκριμένα στο διάγραμμα 7.1. εξετάζεται το διάστημα Δεκέμβριος - Ιούνιος και στο διάγραμμα 7.2. η περίοδος Ιούνιος - Δεκέμβριος.

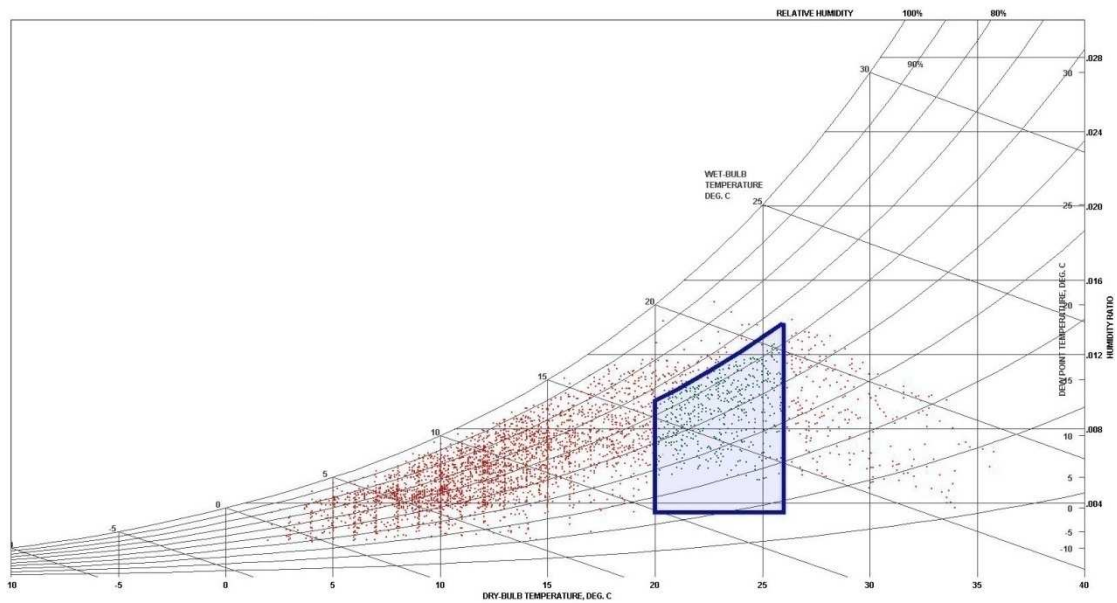


Διάγραμμα 7.1. Ψυχομετρικό Διάγραμμα για την περίοδο Δεκεμβρίου - Ιουνίου.

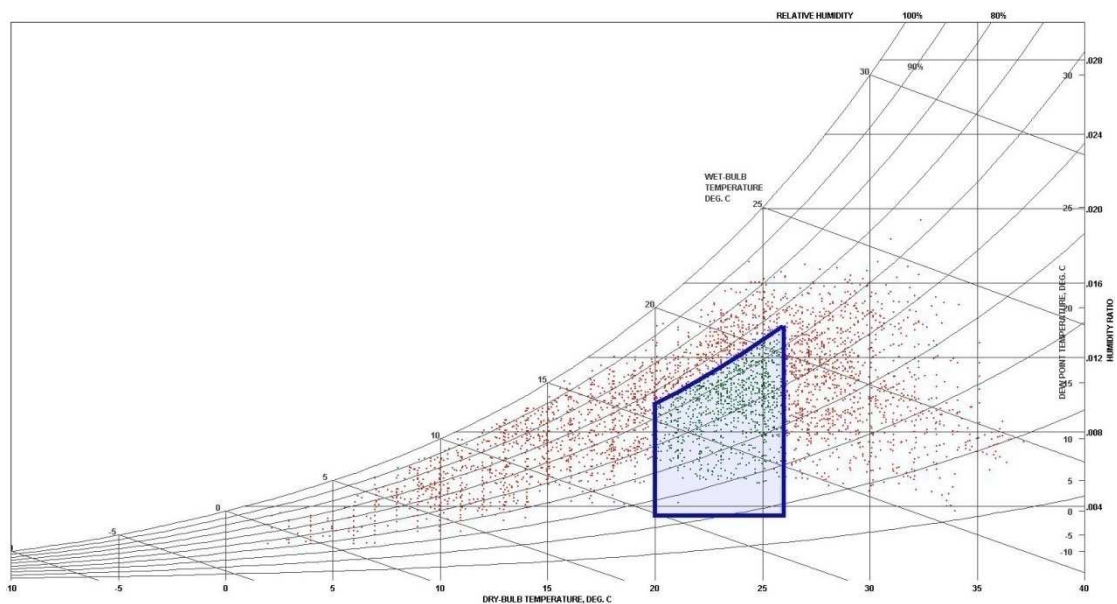


Διάγραμμα 7.2. Ψυχομετρικό Διάγραμμα για την περίοδο Ιουνίου - Δεκεμβρίου.

Στα διαγράμματα 7.3. και 7.4. παρουσιάζονται τα ποσοστά στα οποία επικρατούν οι απαιτούμενες συνθήκες θερμικής άνεσης.



Διάγραμμα 7.3. Ψυχομετρικό Διάγραμμα με αποτυπωμένη τη ζώνη θερμικής άνεσης για την περίοδο Δεκεμβρίου - Ιουνίου.



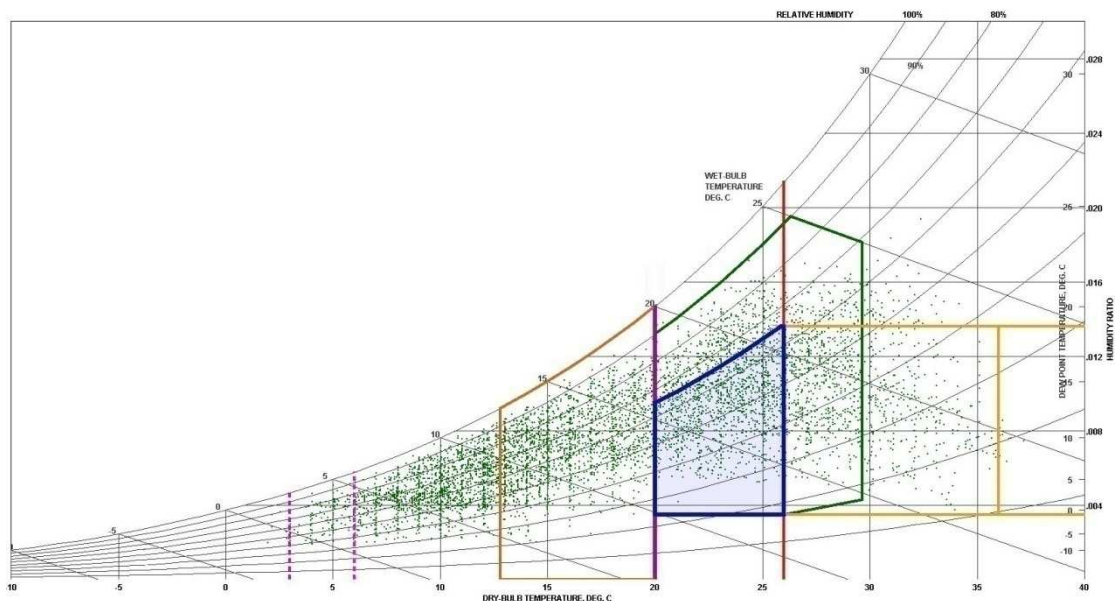
Διάγραμμα 7.4. Ψυχομετρικό Διάγραμμα με αποτυπωμένη τη ζώνη θερμικής άνεσης για την περίοδο Ιουνίου - Δεκεμβρίου.

Αναλυτικότερα στο διάγραμμα 7.3. προκύπτει ότι οι συνθήκες θερμικής άνεσης που βιώνει ένας άνθρωπος περιορίζονται σε ποσοστό 13,1% (669 ώρες από τις 5.088 ώρες) του συνόλου της περιόδου Δεκέμβριος – Ιούνιος.

Αντίστοιχα στο διάγραμμα 7.3., για την περίοδο Ιουνίου – Δεκεμβρίου, το ποσοστό αυτό διαμορφώνεται σε 22% (1.129 ώρες από τις 5.136 ώρες).

Τα ποσοστά αυτά αποτυπώνουν τις συνθήκες που καλείται να αντιμετωπίσει μία κατοικία χωρίς επιπλέον παρεμβάσεις. Για να επιτευχθούν οι κατάλληλες συνθήκες θερμικής άνεσης απαιτείται η υιοθέτηση συγκεκριμένων τεχνικών σχεδίασης και εφαρμογών.

Στο διάγραμμα 7.5. αποτυπώνεται η επίτευξη συνθηκών θερμικής άνεσης καθ' όλη της διάρκειας του έτους, ανάλογα με την επίδραση των εκάστοτε εφαρμογών και σχεδιαστικών τεχνικών στην κατασκευή.



Διάγραμμα 7.5. Ψυχομετρικό Διάγραμμα με αποτυπωμένη τη ζώνη θερμικής άνεσης και τις τεχνικές που την επεκτείνουν για όλο το έτος.



Εν συντομία αναφέρονται οι εφαρμογές που παρουσιάζονται στο διάγραμμα και διευρύνουν τις συνθήκες θερμικής άνεσης με τα αντίστοιχα ποσοστά με τα οποία συνδράμουν σε αυτές.

Οι εφαρμογές αυτές είναι οι εξής: σκίαση των ανοιγμάτων (17,3%, 1.515 ώρες), εκμετάλλευση θερμικής μάζας κτιρίου (12,8%, 1.127 ώρες), φυσικός αερισμός (17,3%, 1.517 ώρες), εσωτερικά θερμικά κέρδη (30,1%, 2.634 ώρες), παθητικά ηλιακά κέρδη (20%, 1.753 ώρες), τεχνητή θέρμανση και ψύξη (27,5%, 2.405 ώρες). Οι τεχνικές αυτές θα αναλυθούν παρακάτω, σε αντιπαράθεση με την εφαρμογή τους στην προτεινόμενη κατασκευή.

Κατά την ανάλυση του εξωτερικού και εσωτερικού σχεδιασμού, θα γίνει αναφορά στις τεχνικές σχεδιασμού που υιοθετήθηκαν σύμφωνα με τα αποτελέσματα της θερμικής μελέτης.

### **7.3. Σχεδιασμός**

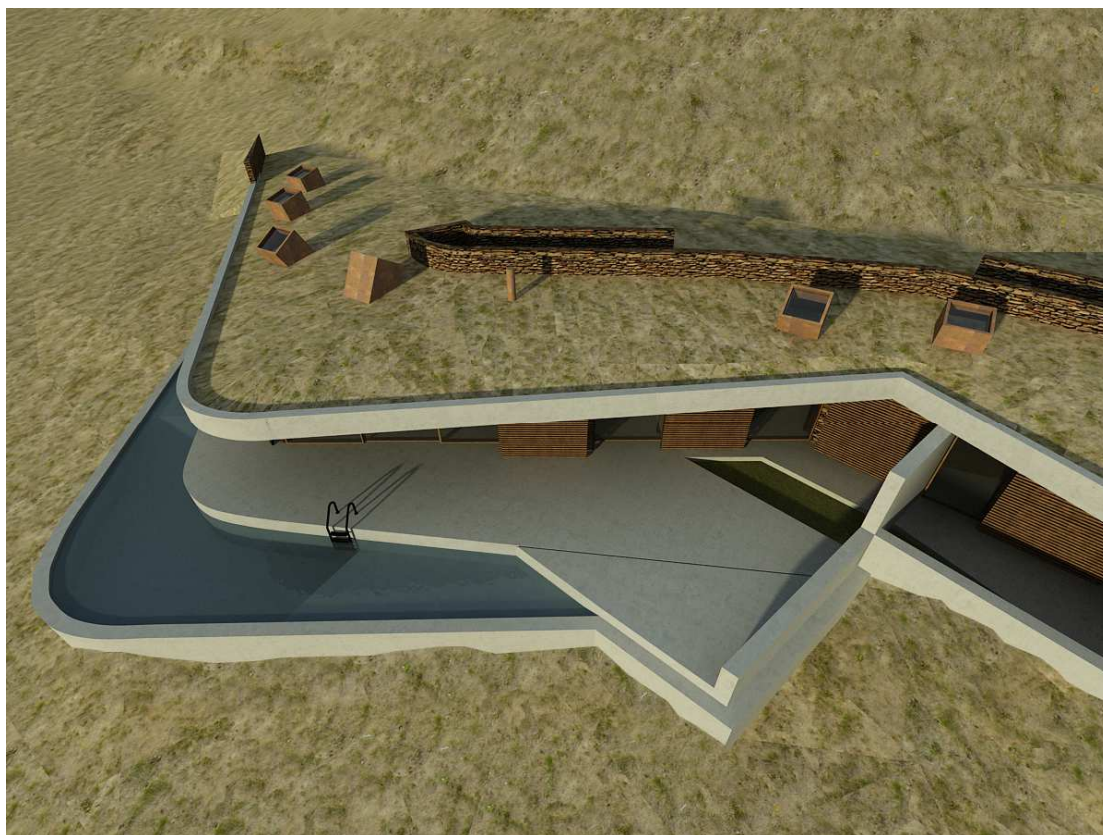
Τα στοιχεία που συνθέτουν την τελική μορφή της κατασκευής, συμβάλουν το καθένα ξεχωριστά στη βιωσιμότητα της κατασκευής.

Το κύριο γνώρισμα της προτεινόμενης κατασκευής, η εδαφική κάλυψη, εξυπηρετεί διπλό ρόλο. Παρέχει τις απαραίτητες θερμικές ιδιότητες για την εξομάλυνση των θερμοκρασιακών μεταβολών και ταυτόχρονα παράγει ένα κτίσμα το οποίο δεν επιβαρύνει οπτικά το τοπίο.

Ο σχεδιασμός της υπόσκαφης κατασκευής δεν περιορίστηκε μόνο στο αισθητικό αποτέλεσμα. Η ανάδειξη των πλεονεκτημάτων της εδαφικής κάλυψης και η μέγιστη εκμετάλλευση του περιβάλλοντος της, αποτέλεσαν τις κύριες κατευθυντήριες γραμμές για τη διαμόρφωσή της.

Η κοινή άποψη είναι ότι μία υπόσκαφη κατασκευή πρέπει να είναι απολύτως αόρατη ανεξαρτήτως οπτικής γωνίας. Πράγματι, ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των υπόσκαφων κατασκευών είναι ότι μπορούν να ενταχθούν απόλυτα με το περιβάλλον και να γίνουν ένα με αυτό. Η σχεδιαστική πρόκληση όμως είναι η κατασκευή να εντάσσεται στο περιβάλλον αλλά συγχρόνως να το χαρακτηρίζει αναδεικνύοντας τη μοναδικότητα

της. Να μην αποτελεί οπτικό εμπόδιο για τα παρακείμενα κτίσματα αλλά ταυτόχρονα να λειτουργεί ως σημείο αναφοράς για την περιοχή.

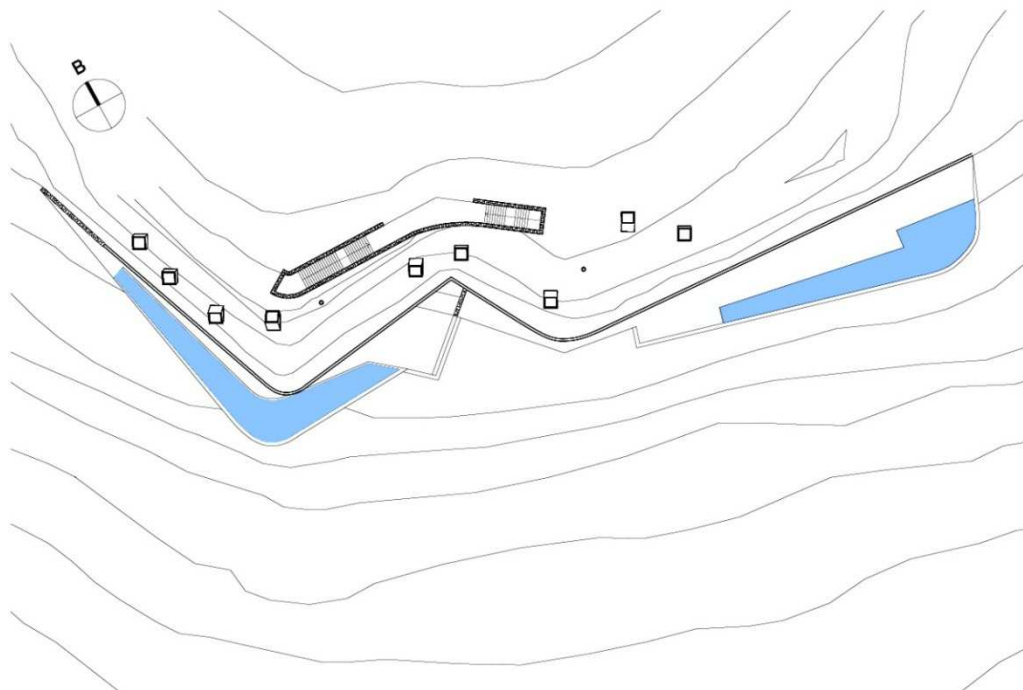


Σχέδιο 7.1. Εξωτερική άποψη της υπόσκαφης κατασκευής.

Με γνώμονα τα παραπάνω χαρακτηριστικά προτείνετε μια υπόσκαφη διπλοκατοικία, της οποίας οι σχεδιαστικές γραμμές προσομοιάζουν των υψομετρικών καμπύλων του οικοπέδου στο οποίο έχει τοποθετηθεί αλλά ξεχωρίζουν είτε από την υψομετρική διαφορά είτε από την αλλαγή των υλικών. Ακόμη και οι κολυμβητικές δεξαμενές εντάσσονται σε αυτό το τέχνασμα και με τη διαφορά χρώματος χαρακτηρίζουν τον χώρο.



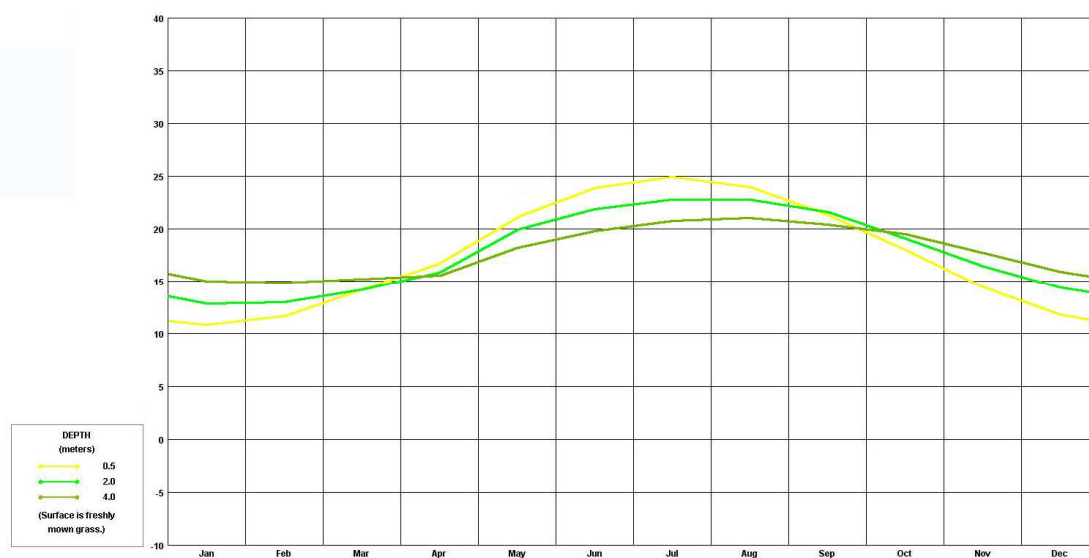
Σχέδιο 7.2. Εξωτερική άποψη της υπόσκαφης κατασκευής.



Σχέδιο 7.3. Κάτοψη δώματος της υπόσκαφης κατασκευής.

Η χαμηλή βλάστηση του οικοπέδου, συνεχίζεται και στα καλυμμένα με έδαφος τμήματα της κατασκευής, διασφαλίζοντας αίσθηση ενότητας με το ανάγλυφο της περιοχής.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της υπόσκαφης κατασκευής είναι οι ιδιότητες που της προσδίδονται εξαιτίας της εδαφικής κάλυψης. Η μεγάλη θερμική αδράνεια που παρουσιάζει η εδαφική κάλυψη συμβάλει στην διατήρηση σταθερότερων θερμικών συνθηκών στο εσωτερικό της κατοικίας που δεν επηρεάζονται άμεσα από τις θερμοκρασιακές μεταβολές. Στο γράφημα 7.11, παρουσιάζεται η θερμοκρασιακή διακύμανση ανά μήνα σε ένα έτος ανάλογα με το βάθος. Από αυτό το διάγραμμα παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται το βάθος, η θερμοκρασία του εδάφους τείνει να επηρεάζεται λιγότερο από τις εναλλαγές της εξωτερικής θερμοκρασίας.



Γράφημα 7.11.Μηνιαία Θερμοκρασία εδάφους σε βάθη 0,5m, 2m, 4m..

Με αυτό τον τρόπο, το θερμοκρασιακό εύρος που πρέπει να καλυφθεί για την επίτευξη θερμικών συνθηκών άνεσης είναι σημαντικά μικρότερο. Αυτό συνεπάγεται μικρότερη κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη του χώρου.

Έχοντας επιτύχει τον αρχικό στόχο, δηλαδή την ογκοπλαστική ενσωμάτωση της κατασκευής, η πρόσοψη της υπόσκαφης κατασκευής γίνεται το επίκεντρο του ενδιαφέροντος. Οι αισθητικές παρεμβάσεις που πραγματοποιούνται σε αυτή, χαρακτηρίζουν το σύνολο του οικοδομήματος.



Έχοντας ως βασική προτεραιότητα την εξασφάλιση συνθηκών θερμικής άνεσης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, οι σχεδιαστικές παρεμβάσεις της πρόσοψης είναι αποτέλεσμα των απαιτήσεων που ανέδειξε η μελέτη θερμικής άνεσης.

Η πρόσοψη, η μόνη εκτεθειμένη όψη της κατασκευής, αποτελεί την κύρια πηγή φυσικού φωτός στο εσωτερικό των κατοικιών. Η διαχείριση της ηλιακής ακτινοβολίας για τη διατήρηση της θερμοκρασίας του εσωτερικού των κατοικιών σε επίπεδα θερμικής άνεσης αλλά και για φυσικό φωτισμό είναι κρίσιμη.

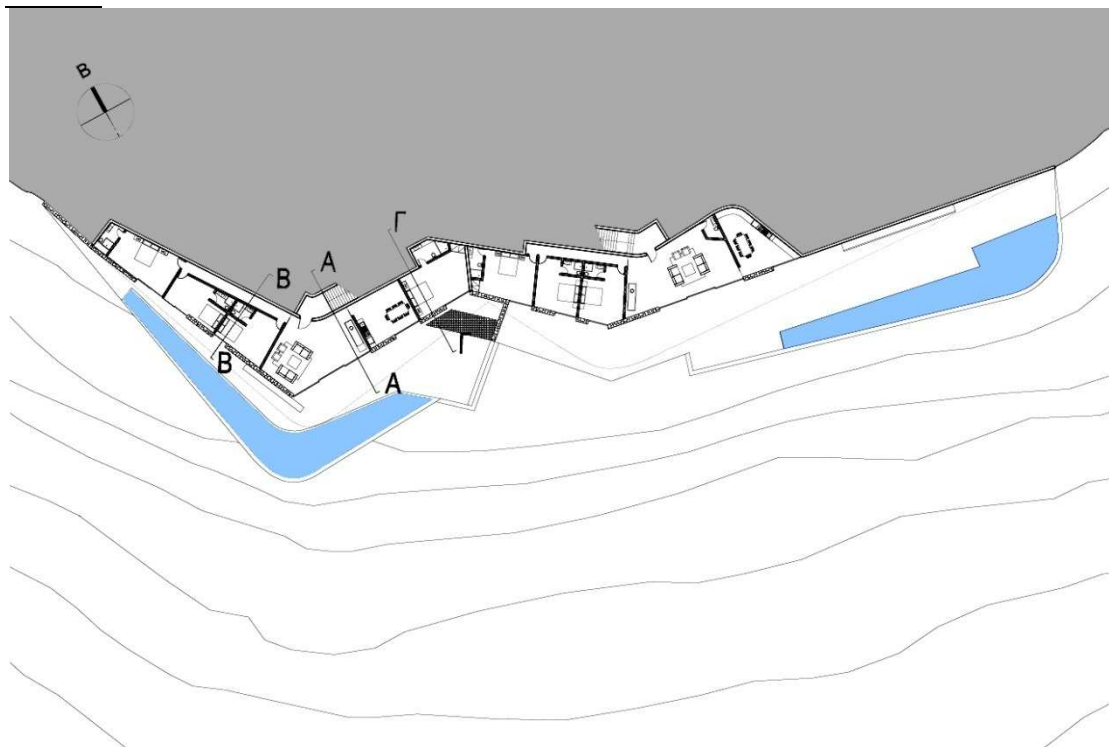


*Εικόνα 7.4. Νοτιοδυτική όψη της υπόσκαφης κατασκευής.*

### **Διαχείριση διείσδυσης ηλιακής ακτινοβολίας**

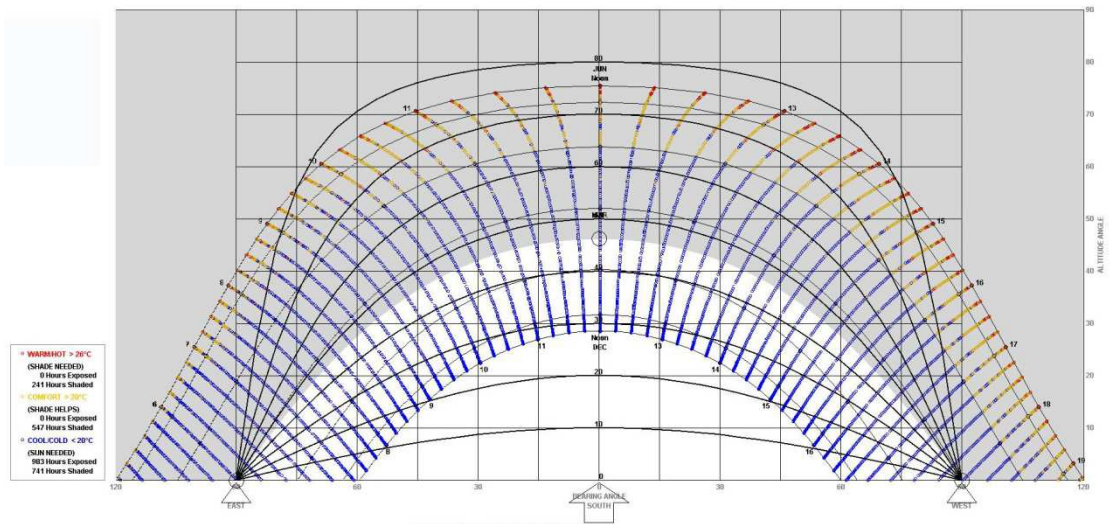
Η βασικότερη μέθοδος για την διαχείριση της εισαγωγής της ηλιακής ακτινοβολίας στον εσωτερικό χώρο, είναι η σκίαση. Ο πρόβολος της οροφής της κατασκευής, παρέχει την απαιτούμενη σκίαση ενώ ακολουθεί και τις σχεδιαστικές γραμμές της κατοικίας.

Η αποτελεσματικότητα του προβόλου, και η επίδραση της παρεχόμενης σκίασης στην θερμοκρασιακή διακύμανση του εσωτερικού των κατοικιών, εξαρτάται από τη κλίση που σχηματίζει με το εκάστοτε άνοιγμα.

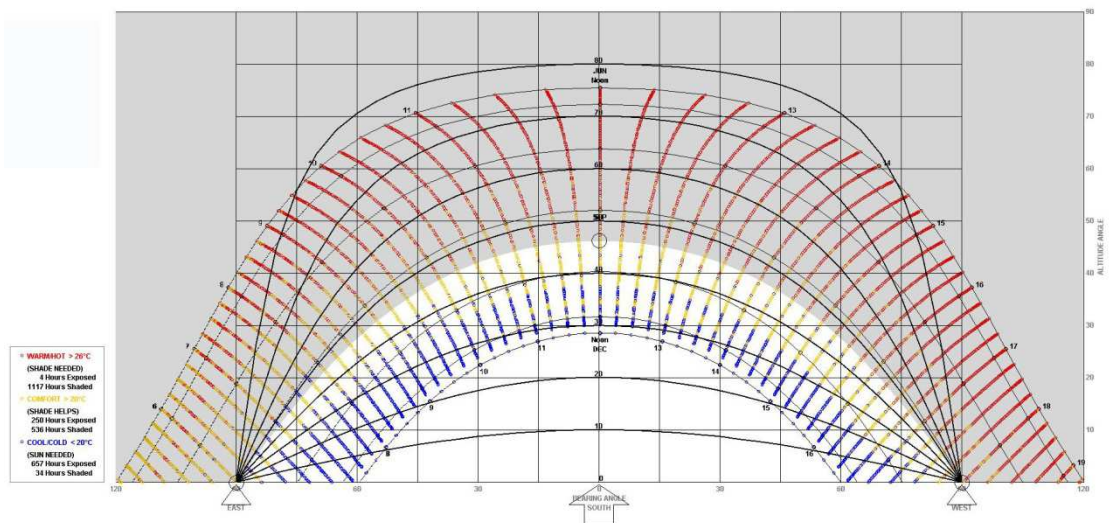


Σχέδιο 7.4. Κάτοψη της υπόσκαφης κατασκευής.

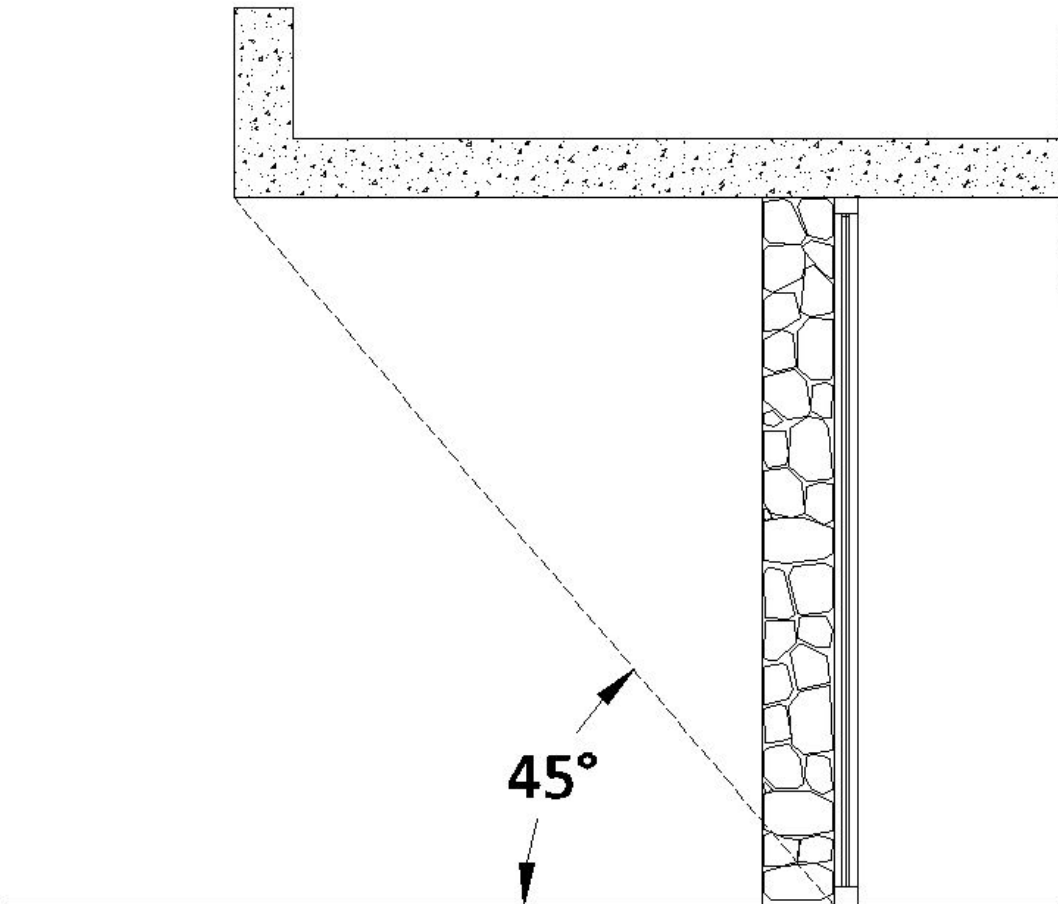
Τα γραφήματα 7.12 και 7.13., προσομοιώνουν την σκίαση που παρέχει ο πρόβολος που σχηματίζει κλίση 45 με άνοιγμα νότιου προσανατολισμού, κατά τις περιόδους 21 Δεκεμβρίου έως 21 Ιουνίου και 21 Ιουνίου έως 21 Δεκεμβρίου αντίστοιχα. Η κλίση του προβόλου σε σχέση με το άνοιγμα αποτυπώνεται στην τομή AA.



Γράφημα 7.12. Γράφημα σκίασης για την περίοδο 21 Δεκεμβρίου έως 21 Ιουνίου.



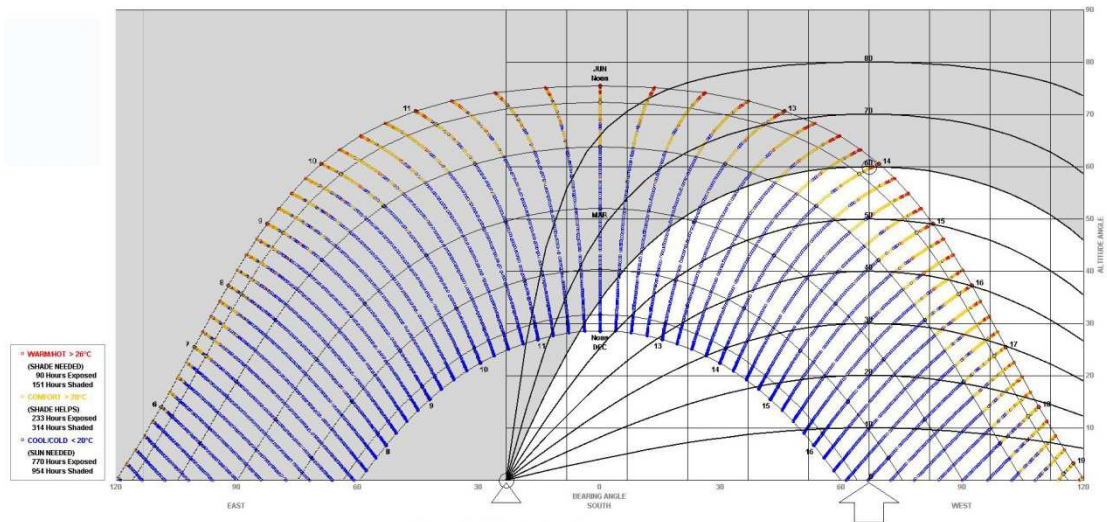
Γράφημα 7.13. Γράφημα σκίασης για την περίοδο 21 Ιουνίου έως 21 Δεκεμβρίου.



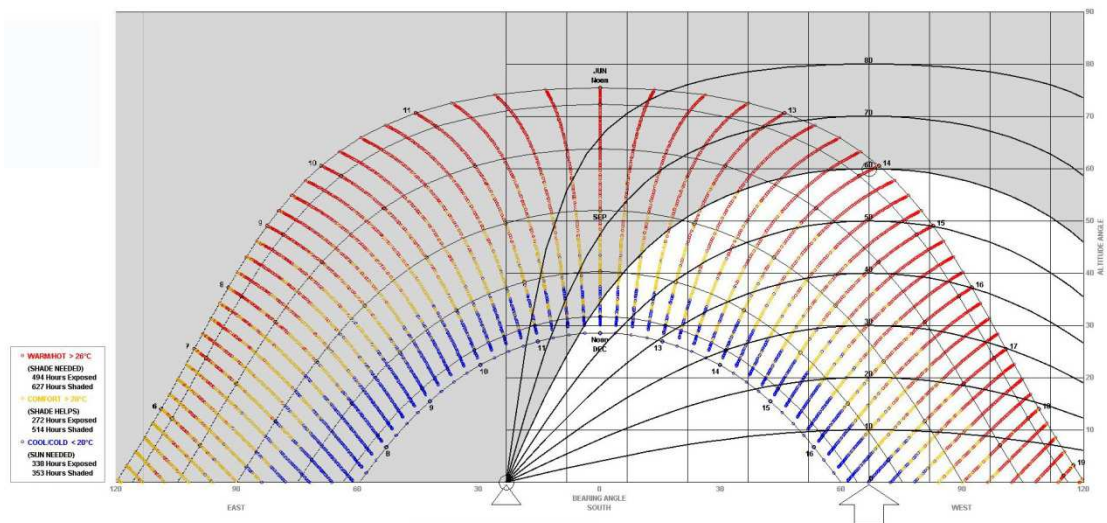
Σχέδιο 7.5. Λεπτομέρεια τομής AA. Κλίση που σχηματίζεται ανάμεσα στο άνοιγμα και τον πρόβολο.

Αντίστοιχα, στα γραφήματα 7.14. και 7.15., προσομοιώνεται η σκίαση που παρέχει ο πρόβολος που σχηματίζει κλίση 60 με άνοιγμα νοτιοδυτικού προσανατολισμού, κατά τις περιόδους 21 Δεκεμβρίου έως 21 Ιουνίου και 21 Ιουνίου έως 21 Δεκεμβρίου αντίστοιχα. Η κλίση του προβόλου σε σχέση με το άνοιγμα αποτυπώνεται στην τομή ΒΒ.

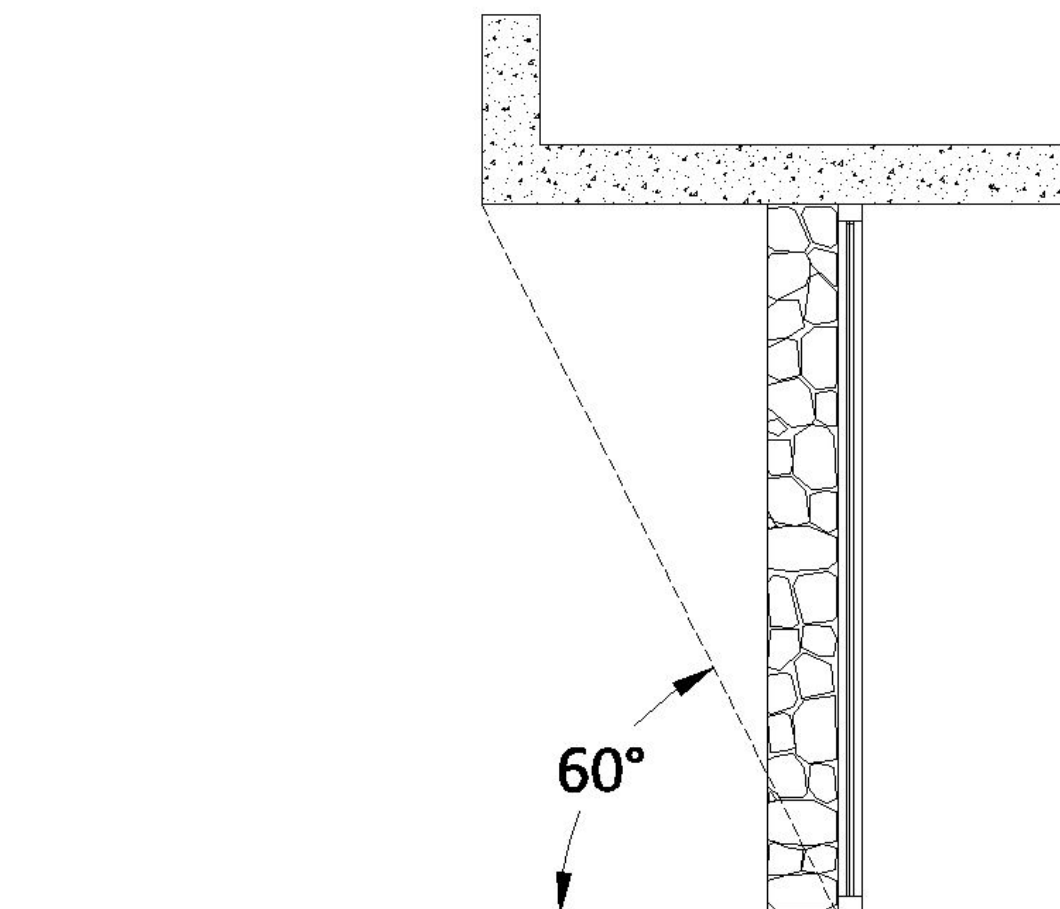




Γράφημα 7.14. Γράφημα σκίασης για την περίοδο 21 Δεκεμβρίου έως 21 Ιουνίου.



Γράφημα 7.15. Γράφημα σκίασης για την περίοδο 21 Ιουνίου έως 21 Δεκεμβρίου.



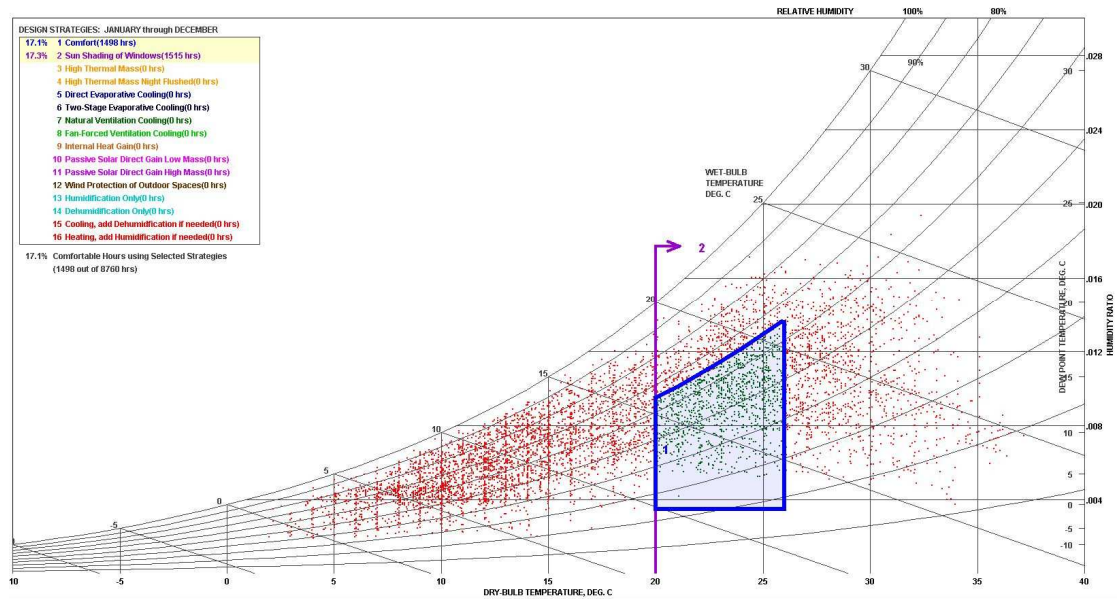
Σχέδιο 7.6. Λεπτομέρεια τομής ΒΒ. Κλίση που σχηματίζεται ανάμεσα στο άνοιγμα και τον πρόβολο.

Τα διαφορετικά αποτελέσματα των δυο παραδειγμάτων αναδεικνύουν τη σημασία του προσανατολισμού των ανοιγμάτων. Η διαχείριση της ηλιακής ακτινοβολίας στο άνοιγμα νοτιοδυτικού προσανατολισμού παρουσιάζει μεγάλες δυσκολίες. Για αυτό τον λόγο επιλέχθηκε να δημιουργηθεί ένας μικρότερος πρόβολος ο οποίος το χειμώνα θα επιτρέπει την εισαγωγή του ηλίου, ενώ για τους καλοκαιρινούς μήνες, όπου η ηλιακή έκθεση αυξάνει σημαντικά τη θερμοκρασία, έχουν τοποθετηθεί συρόμενα εξώφυλλα (βλ. εικόνα 7.5) τα οποία εμποδίζουν την ηλιακή ακτινοβολία να εισχωρήσει στην κατοικία.



*Εικόνα 7.5. Νότια όψη της υπόσκαφης κατασκευής.*

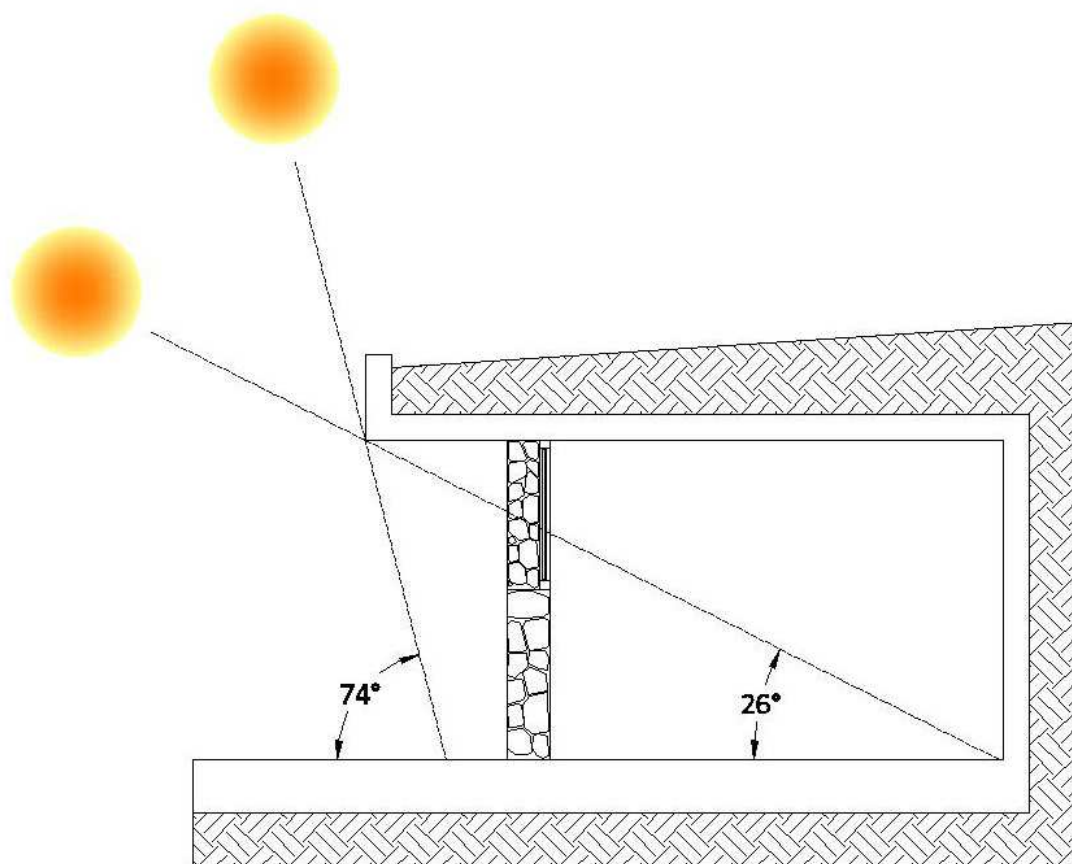
Στο διάγραμμα 7.6 αποτυπώνεται η επίδραση των τεχνικών σκίασης που έχουν εφαρμοστεί κατά το σχεδιασμό στην επίτευξη συνθηκών θερμικής άνεσης στο εσωτερικό της κατασκευής.



Διάγραμμα 7.6. Ψυχομετρικό Διάγραμμα με αποτυπωμένη τη ζώνη θερμικής άνεσης και την επίδραση της σκίασης.

Εκτός από τη σκίαση, η διαχείριση της ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να γίνει και μέσω της διαμόρφωσης των ανοιγμάτων. Η επιλογή των συγκεκριμένων διαστάσεων και η χωροθέτηση τους στην εκάστοτε επιφάνεια δημιουργεί ένα ξεχωριστό αισθητικό αποτέλεσμα στην πρόσοψη των κατοικιών, περιορίζοντας ταυτόχρονα την οπτική πρόσβαση στα υπνοδωμάτια από τον προαύλιο χώρο.

Μία ενιαία γυάλινη επιφάνεια μπορεί να προσδίδει ένα όμορφο αισθητικό αποτέλεσμα αλλά δημιουργεί δυσκολίες στη διαχείριση της ηλιακής ακτινοβολίας που μπορεί να αυξήσει σημαντικά τη θερμοκρασία κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Όπως προαναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3.7, σχετικά με τον φυσικό φωτισμό, η κλίση εισαγωγής του ήλιου μέσα σε μία κατασκευή, είναι διαφορετική κατά την καλοκαιρινή περίοδο σε σχέση με τη χειμερινή. Η κατασκευή χαμηλών τοίχων (βλ. σχέδιο 7.7), οι οποίοι δημιουργούν επαρκές κενό μέχρι την επαφή με την οροφή, εμποδίζουν την ανεξέλεγκτη ακτινοβολία να εισέλθει στην κατοικία αλλά επιτρέπουν την εισαγωγή του φωτός όταν αυτό χρειάζεται κατά τους χειμερινούς μήνες.

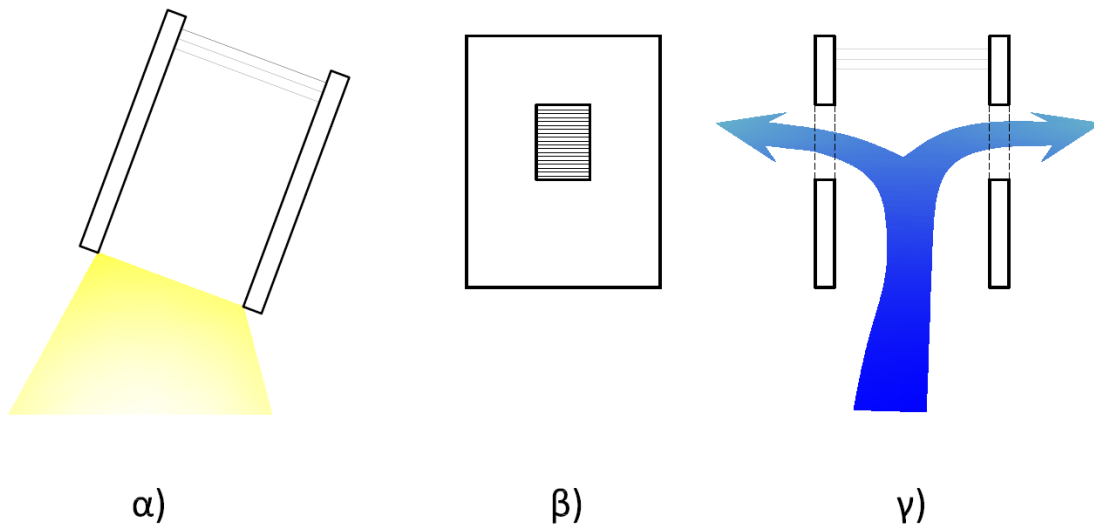


Σχέδιο 7.7 Τομή ΓΓ της υπόσκαφης κατασκευής που προσμοιάζει την εισαγωγή του ήλιου στο εσωτερικό της για κλίση  $74^\circ$  (21 Ιουνίου) και κλίση  $26^\circ$  (21 Δεκεμβρίου).

Επιπλέον φωτισμός στα δωμάτια με νοτιοδυτικό προσανατολισμό αλλά και στους χώρους όπου η διείσδυση του ηλίου δεν είναι εύκολη, παρέχεται μέσω ηλιακών καμινάδων τοποθετημένων στην οροφή της κατασκευής. Με αυτό τον τρόπο μεγιστοποιείται η διάρκεια εισαγωγής φυσικού φωτισμού.

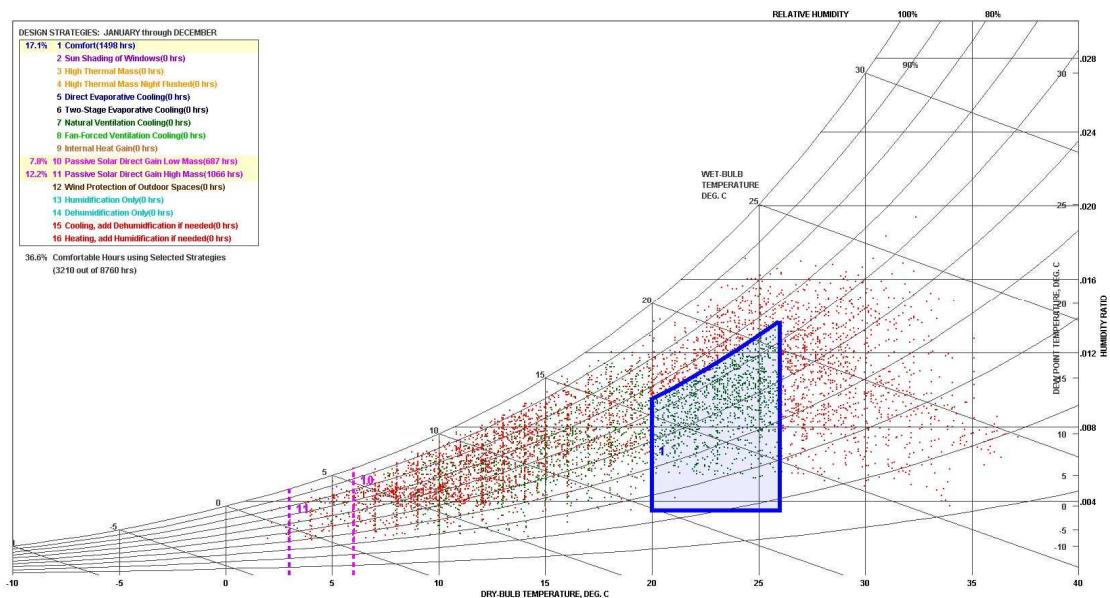
Οι ηλιακές αυτές καμινάδες έχουν διπλό ρόλο αφού με ανοίγματα στις δύο πλευρές τους παρέχουν και τη δυνατότητα λειτουργίας ως αγωγοί αέρα. Η ιδιότητα αυτή θα αναλυθεί αργότερα κατά την αναφορά στον φυσικό αερισμό.





Σχέδιο 7.8 Λεπτομέρεια της ηλιακής καμινάδας. α) Εισαγωγή φωτός, β) Οπές αερισμού, γ) Ροή αέρα

Στο διάγραμμα 7.7. Αποτυπώνεται η επίδραση των παθητικών ηλιακών κερδών στην επίτευξη συνθηκών θερμικής άνεσης στο εσωτερικό της κατασκευής. Τα παθητικά ηλιακά κέρδη αλλά και μέρος των έμμεσων θερμικών κερδών τα οποία θα αναφερθούν παρακάτω, είναι αποτέλεσμα της εισαγωγής ηλιακής ακτινοβολίας όταν αυτό είναι επιθυμητό, μέσω τεχνικών όπως οι ηλιακές καμινάδες.

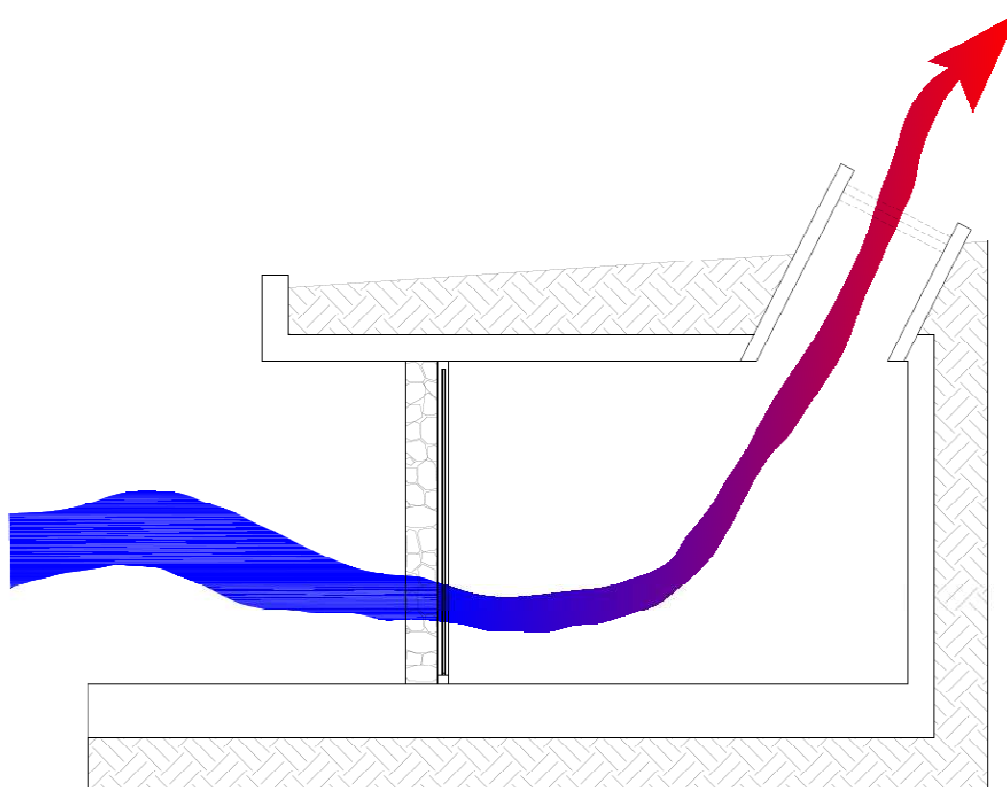


Διάγραμμα 7.7. Ψυχομετρικό Διάγραμμα με αποτυπωμένη τη ζώνη θερμικής άνεσης και την επίδραση των παθητικών ηλιακών κερδών.

Στην επαφή της κατασκευής με την πλαγιά υπάρχουν οπές που συνδέονται με φρέαρ αερισμού, με αποτέλεσμα να δημιουργείται φυσική κυκλοφορία του αέρα.

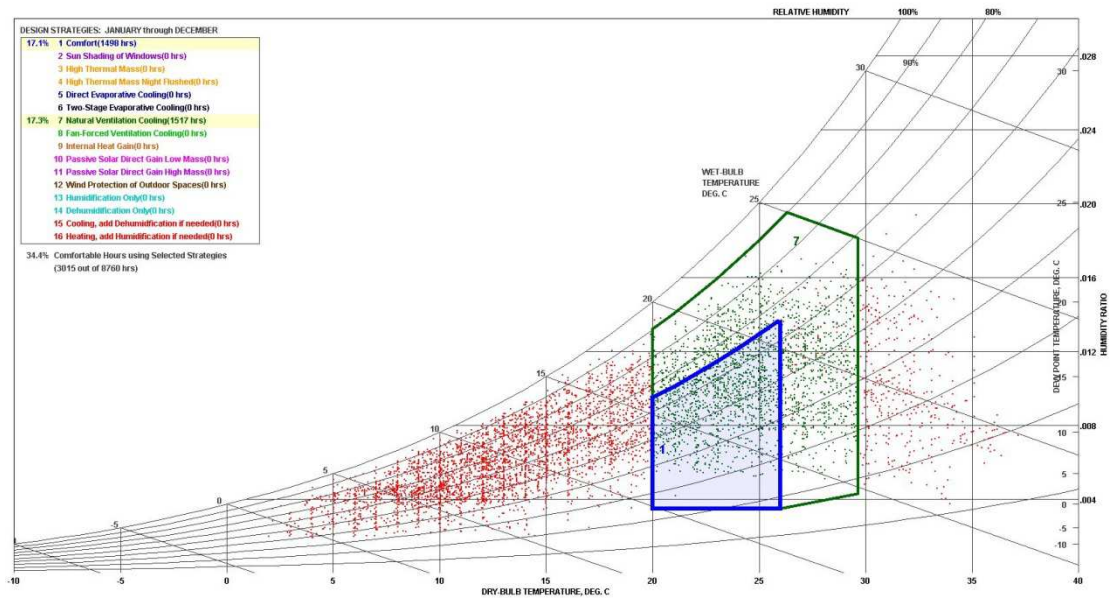
Η λειτουργία αυτή επιτυγχάνεται και μέσω των ηλιακών καμινάδων. ο φυσικός αερισμός επηρεάζει σε ποσοστό 17,3% την αίσθηση θερμικής άνεσης. Καλός φυσικός αερισμός μπορεί να μειώσει ή και να εξαλείψει τη χρήση κλιματισμού, εάν τα παράθυρα έχουν καλή σκίαση και είναι προσανατολισμένα ώστε να διευκολύνεται η ροή αέρα.

Οι κολυμβητικές δεξαμενές συνεισφέρουν και αυτές στον δροσισμό των κατοικιών. Στα υπνοδωμάτια όπου ο προσανατολισμός είναι νοτιοδυτικός, η κολυμβητική δεξαμενή έχει τοποθετηθεί πολύ κοντά στα ανοίγματα ώστε ο αέρας που διατρέχει τους χώρους να είναι πιο δροσερός αφού το υγρό στοιχείο μειώνει τη θερμοκρασία του θερμού αέρα πριν αυτός μέσω της φυσικής ροής εισαχθεί στο εσωτερικό της κατοικίας. Έπειτα όταν αυτός θερμαίνεται μέσω της φυσικής ιδιότητας του θερμού αέρα κινείται προς τα υψηλότερα επίπεδα και απάγεται μέσω του φρέατος αερισμού.



Σχέδιο 7.9 Τομή όπου φαίνεται η συμβολή των ηλιακών καμινάδων στον φυσικό αερισμό.

Η σημαντική συνεισφορά του φυσικού αερισμού στην διατήρηση συνθηκών θερμικής άνεσης παρουσιάζεται στο διάγραμμα 7.8.

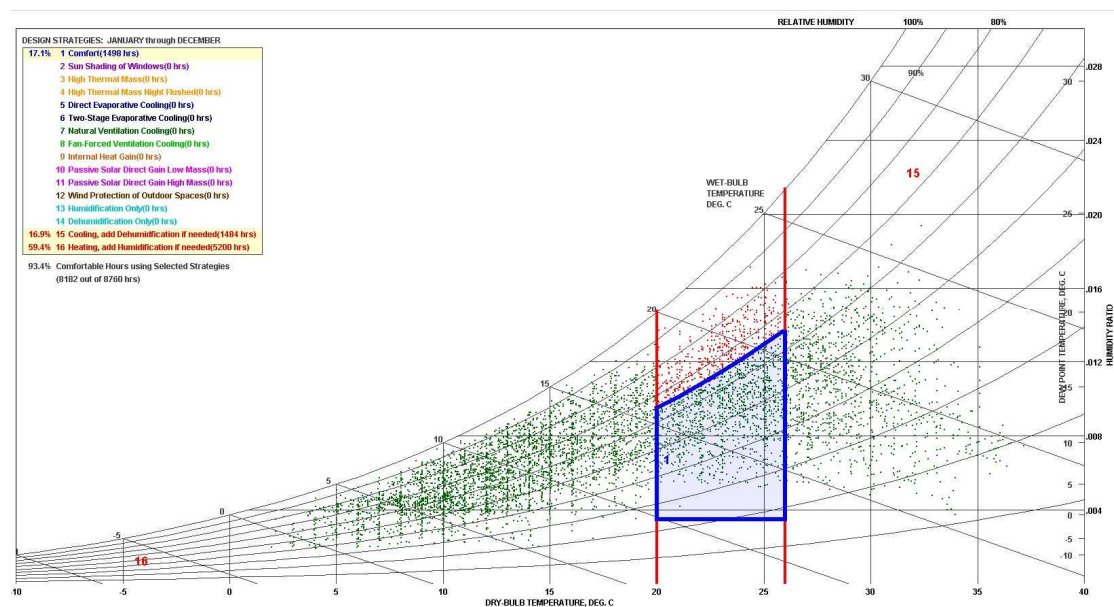


Διάγραμμα 7.8. Ψυχομετρικό Διάγραμμα με αποτυπωμένη τη ζώνη θερμικής άνεσης και την επίδραση του φυσικού αερισμού.



## 7.4. Θέρμανση και δροσισμός

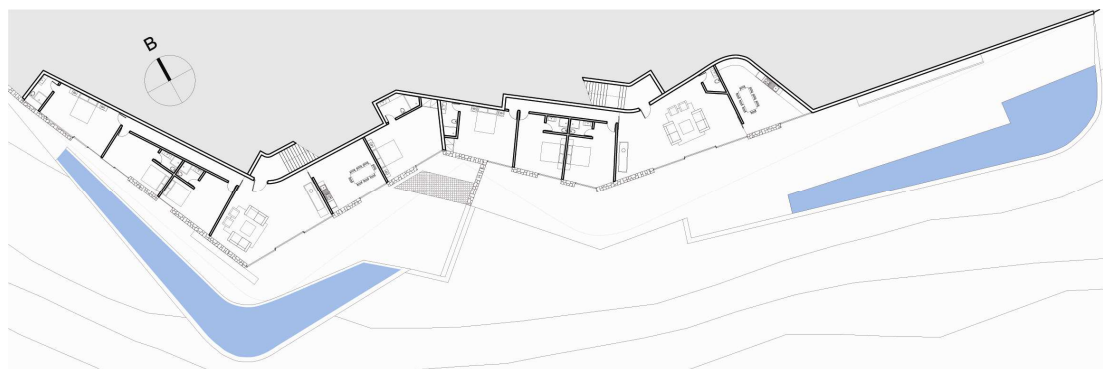
Για τις επιπλέον ανάγκες θέρμανσης και ψύξης, οι οποίες δεν μπορούν να καλυφθούν από τις τεχνικές σχεδίασης, απαιτείται η χρήση μηχανολογικού εξοπλισμού για την εξασφάλιση θερμικής άνεσης στο εσωτερικό της κατοικίας. Για αυτές τις ανάγκες προτείνεται η ενδοδαπέδια θέρμανση και δροσισμός με τη χρήση αντλιών θερμότητας. Τα οφέλη αυτής της εγκατάστασης είναι πολλά. Η μεγάλη αδράνεια κατά τη λειτουργία της σε συνδυασμό με τη χρήση υλικών με αυξημένη θερμική μάζα, (όπως η πέτρα) και τη συμβολή του εδάφους που περιβάλλει την κατασκευή, αποτελούν την καταλληλότερη λύση.



Διάγραμμα 7.9. Ψυχομετρικό Διάγραμμα με αποτυπωμένη τη ζώνη θερμικής άνεσης και την επίδραση της μηχανικής ψύξης και θέρμανσης.

## 7.5. Εσωτερικός σχεδιασμός και βιωσιμότητα

Στο κεφάλαιο του εσωτερικού σχεδιασμού κρίνεται σκόπιμο να αναλυθεί και η επιλογή της συγκεκριμένης διαρρύθμισης των κατοικιών.



Σχέδιο 7.10 Κάτοψη υπόσκαφης κατασκευής.

Ένα σύνολο από ορθογώνιους παραλληλεπίπεδους όγκους με διαφορετικές διευθύνσεις συνθέτουν την κατασκευή. Το βάθος στο οποίο εκτείνεται, δεν είναι ορατό από τους επιφανειακούς του όγκους. Αυτό δίνει τη δυνατότητα η διαρρύθμιση και η ανάπτυξη των κατοικιών να γίνεται χωρίς τους περιορισμούς που επιβάλλονται στις υπέργειες κατασκευές.

Η κατασκευή αποτελείται από 2 ανεξάρτητες κατοικίες. Η πρώτη αποτελείται από 3 υπνοδωμάτια και 1 ξενώνα, τον χώρο διημέρευσης και μία κουζίνα και εκτείνεται σε συνολικά 186μ<sup>2</sup> ωφέλιμου χώρου. Η διαρρύθμιση αυτή έχει σκοπό να μπορεί να εξυπηρετήσει τόσο μία οικογένεια τεσσάρων μέχρι έξι ατόμων, έχοντας και έναν ανεξάρτητο ξενώνα. Η δεύτερη κατοικία διαφοροποιείται όσον αφορά τον ανεξάρτητο ξενώνα. Στα 165 μ<sup>2</sup> της υπάρχουν 3 υπνοδωμάτια, ο χώρος διημέρευσης και η κουζίνα.

Οι χώροι έχουν ύψος 3 μέτρα τόσο για να υπάρχει η αίσθηση ευρυχωρίας και άνεσης μέσα στις κατοικίες αλλά και για να διευκολύνεται η φυσική ροή του αέρα μέσα από την κατασκευή.

Ο εσωτερικός σχεδιασμός έγινε με τέτοιο τρόπο, ώστε όλα τα δωμάτια να έχουν οπτική πρόσβαση με τον εξωτερικό χώρο. Η ιδιαιτερότητα αυτή, έχει αντίκρισμα και στην εξοικονόμηση ενέργειας από την μειωμένη χρήση ηλεκτρικού ρεύματος για φωτισμό.

## 7.6. Σύνδεση εσωτερικού, εξωτερικού χώρου

Το παραδοσιακό σπίτι, είτε ορεινό είτε νησιώτικο, βρίσκεται στη αυλή μία διέξοδο από όπου παίρνει φως, ήλιο και αέρα.



*Εικόνα 7.6 Νότια όψη της υπόσκαφης κατασκευής*

Η σύνδεση του εξωτερικού χώρου με τα υπνοδωμάτια και τους χώρους διημέρευσης είναι βασικό στοιχείο του εσωτερικού σχεδιασμού. Σκοπός είναι τα όρια να είναι διακριτά αλλά να εξαφανίζονται όταν αυτό είναι επιθυμητό. Έτσι εκπληρώνεται ο σκοπός της κατοικίας ως κατάλυμα και ταυτόχρονα δεν αποτελεί εμπόδιο στην άμεση επικοινωνία με το ευρύτερο περιβάλλον.



Εικόνα 7.7 Άποψη του εσωτερικού χώρου της υπόσκαφης κατασκευής

Κατά τους θερινούς μήνες, ο χώρος διημέρευσης μπορεί να εξυπηρετήσει τον σκοπό αυτό. Ο χώρος της κουζίνας και τα υπνοδωμάτια απομονώνονται, τα υαλοστάσια του χώρου διημέρευσης ανοίγουν διάπλατα και δημιουργείται ένας στεγασμένος υπαίθριος χώρος.

## 7.7. Κατασκευή

### 7.7.1. Μέθοδος

Η κατοικία προτείνεται να κατασκευαστεί με τη μέθοδο εκσκαφής και επανεπίχωσης. Καθώς η πλειοψηφία των οικοπέδων στο νησί έχουν σημαντική κλίση, η θεμελίωση γίνεται αρκετά χαμηλότερα από τη στάθμη φυσικού εδάφους της πλευράς με το μεγαλύτερο απόλυτο υψόμετρο. Έπειτα συνηθίζεται μέσω αναβαθμίδων και τοιχίων, η μεγάλη υψομετρική διαφορά να εξομαλύνεται. Η διαδικασία αυτή έχει πολλά κοινά στάδια με την προτεινόμενη για την κατασκευή της υπόσκαφης κατοικίας. Είναι πολύ σημαντικό ότι η παραπάνω κατασκευαστική διαδικασία είναι κατά βάση γνώριμη στο εργατικό προσωπικό και η αποπεράτωσή της δεν καθίσταται πολύπλοκη. Η εκσκαφή

γίνεται με τα ίδια μέσα, χρησιμοποιώντας δηλαδή εκσκαφέα, και σφυρί όπου οι όγκοι είναι συμπαγείς.

Το βάθος εκσκαφής βέβαια είναι μεγαλύτερο, αφού το επιθυμητό αποτέλεσμα μετά την ολοκλήρωση των δομικών στοιχείων είναι η εξομάλυνση του πεδίου με την εδαφοκάλυψη (βλ. σχέδιο 7.11).



Σχέδιο 7.11 Τομή με προβολή φυσικού εδάφους.

Ο όγκος εκσκαφής για το σύνολο του εκμεταλλευόμενου χώρου, συμπεριλαμβανομένων των δεξαμενών, ανέρχεται στα 3.100 m<sup>3</sup>, από αυτόν περίπου 1.950 μ<sup>2</sup> θα επαναχρησιμοποιηθούν στις επιχώσεις και στην εδαφοκάλυψη της κατασκευής.

Από την οικοδομική δραστηριότητα που υπάρχει σε παραπλήσια οικόπεδα δίδονται σημαντικές πληροφορίες για τη σύσταση του εδάφους και το τί μπορεί να αντιμετωπισθεί κατά την κατασκευή.

Αναμένεται λοιπόν η εκσκαφή εδαφικού υλικού και τμηματικά όγκων σχιστολίθου κυρίως κατακερματισμένου. Για την αφαίρεση πιο υγιών τμημάτων σχιστολίθου θα χρησιμοποιηθεί μηχανικός εκσκαφέας με σφυρί.

Οι υγιείς σχιστολιθικοί όγκοι θα χρησιμοποιηθούν για επενδύσεις. Αρχή της πράσινης κατασκευής είναι να μην δημιουργούνται μεγάλοι όγκοι απορριμμάτων-μπαζών που η μεταφορά από το εργοτάξιο στο χώρο απόθεσης θα έχει αντίκτυπο στο περιβάλλον.

Το επόμενο στάδιο μετά τη διαμόρφωση της επιφάνειας θεμελίωσης είναι η διαμόρφωση του κελύφους της κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα.

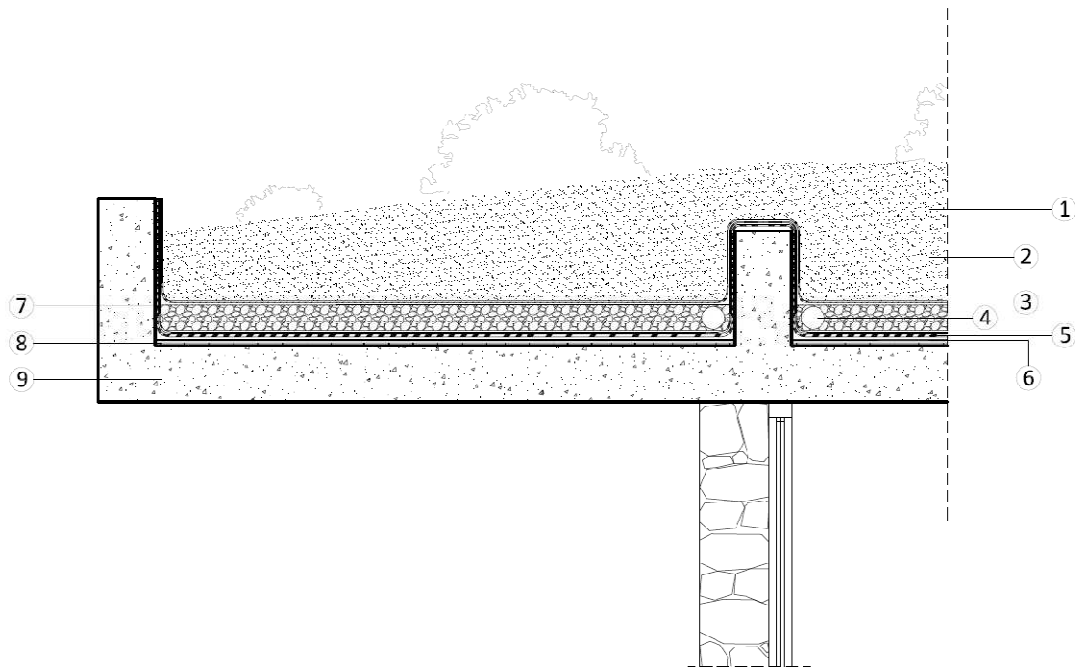
Η στατική επίλυση της οροφής λαμβάνει υπόψη τα σημαντικά φορτία εξαιτίας του εδαφικού όγκου κάλυψης. Οι περιμετρικοί τοίχοι που έχουν επαφή με το εδαφικό υλικό, θα είναι φτιαγμένοι και αυτοί από τοιχία οπλισμένου σκυροδέματος.

Η θεμελίωση θα γίνει με γενική κοιτόστρωση, τεχνική που εφαρμόζεται και στην ανέγερση των συμβατικών κατασκευών.

Η κάλυψη της οροφής θα ξεκινήσει από την άκρη του προβόλου με πάχος περίπου 30 εκ και βαθμιαία θα αυξάνεται με σκοπό να υπάρχει εδαφική κάλυψη πάχους 70εκ και άνω πάνω από τους θερμαινόμενους χώρους της κατασκευής.

### **7.7.2. Μόνωση**

Τα επίπεδα υγρασίας εντάσσονται στις συνηθέστερες προκαταλήψεις σχετικά με την υπόγεια κατασκευή. Θα ήταν λοιπόν ορθό να γίνει αναφορά στις προτεινόμενες τεχνικές και υλικά που μπορούν να αντιμετωπίσουν τέτοια προβλήματα.



Σχέδιο 7.12.Λεπτομέρεια υγραμόνωσης οροφής.

1. Χλωρίδα (φυτά εδαφοκάλυψης, πόες – θάμνοι)
2. Στρώση κηπευτικού χώματος
3. Γεώφασμα
4. Αγωγός αποστράγγισης
5. Γεωμεμβράνη
6. Στρώση κλίσεων
7. Ζώνη αποστράγγισης
8. Φράγμα υδρατμών
9. Φέρουσα πλάκα

Προτείνεται ένα σύστημα προστασίας της κατασκευής από το νερό. Στον δάπεδο της κατασκευής θα γίνει μια προεργασία και θα τοποθετηθεί πάνω από το εδαφικό υλικό γεώφασμα που θα το διαδεχθούν σε στρώσεις, κροκάλα, γεώφασμα και γεωμεμβράνη. Με τον τρόπο αυτό, δημιουργείται δίοδος μέσα από τις κροκάλες για να μπορεί να κινηθεί το νερό, ενώ η γεωμεμβράνη εμποδίζει την επαφή του με τα στοιχεία της κατασκευής.



Εφαρμογή του ίδιο συστήματος θα γίνει αντίστροφα στην οροφή της κατασκευής που καλύπτεται από εδαφικό υλικό, ενώ οι πλάγιες επιφάνειες που έχουν επαφή με το έδαφος, θα καλυφθούν από γεωμεμβράνη.

Στις περιοχές τις οποίες κατευθύνεται το νερό από την αποστράγγιση υπάρχουν διάτρητοι σωλήνες, συλλέγουν το νερό από την αποστράγγιση, εκτονώνοντας τα φορτία στην πλάκα, και το μεταφέρουν σε δεξαμενές.

### **7.7.3. Υλικά κατασκευής**

Τα υλικά κατασκευής προέρχονται όσο το δυνατόν από το ίδιο το νησί. Σκοπός είναι η δημιουργία μίας κατασκευής η οποία θα έχει μικρό ενεργειακό αποτύπωμα και κατά την κατασκευή. Αυτό συνεπάγεται τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για τη μεταφορά των υλικών από και προς το οικόπεδο.

Η εκμετάλλευση υλικών όπως η ιπτάμενη τέφρα στο σκυρόδεμα, μπορεί να αξιοποιήσει ένα υλικό το οποίο αποτελεί απόβλητο συμβάλλοντας στη μείωση του κόστους κατασκευής.

Ο όγκος εκσκαφθέντος υλικού θα επαναχρησιμοποιηθεί σε μεγάλο ποσοστό με την εδαφοκάλυψη της προτεινόμενης κατασκευής αλλά και με διαμορφώσεις του περιβάλλοντος.

Οι υγιείς σχιστολιθικοί όγκοι που αναμένεται να εκσκαφθούν θα χρησιμοποιηθούν για την δημιουργία λίθινων τοίχων, ενώ η τοιχοποιία της πρόσοψης της κατοικίας θα είναι φτιαγμένη από λίθους παρακείμενου λατομείου.

Αυτό έχει διπλό ρόλο, αφού από τη μία η τοιχοποιία της πρόσοψης απαλλάσσεται από το κόστος συντήρησης και επιχρίσματος, χρωματισμού και διαμορφώνοντας ένα επαρκές πάχος, εκμεταλλευόμαστε τη μεγάλη θερμική μάζα της κατασκευής.



#### **7.7.4. Διαχείριση νερού**

Στη νήσο Κέα, όπως και στα περισσότερα νησιά του Αιγαίου, η πλειονότητα των κατοικιών που βρίσκονται εκτός οικισμού δεν συνδέονται με το δίκτυο ύδρευσης.

Υπάρχουν δεξαμενές που αποθηκεύεται το νερό και χρησιμοποιείται για τις οικιακές ανάγκες. Στην συγκεκριμένη οικία, προτείνεται η δημιουργία ενός συστήματος που εκμεταλλεύεται τη βροχόπτωση κατά τη χειμερινή περίοδο και διοχετεύει το νερό στη δεξαμενή.

Με τις αποστραγγιστικές εφαρμογές που γίνονται στην οροφή και στον προαύλιο χώρο της πρόσοψης, τα νερά συλλέγονται και οδηγούνται με σύστημα σωληνώσεων στη δεξαμενή της οικίας που βρίσκεται κάτω από τον προαύλιο χώρο. Έτσι το διαθέσιμο νερό χρησιμοποιείται για τις ανάγκες της οικίας και συμπληρώνεται όταν χρειάζεται.

Η δεξαμενή τοποθετείται κάτω από τον προαύλιο χώρο καθώς είναι το χαμηλότερο δυνατό σημείο και το νερό μεταφέρεται εκεί με φυσική ροή χωρίς να καταναλώνεται επιπλέον ενέργεια.

Για τη μεταφορά του νερού από τη δεξαμενή προτείνεται η χρήση ηλιακής αντλίας με εφαρμογή μικρής φωτοβολταϊκής μονάδας για να μην δαπανάται ηλεκτρική ενέργεια. Προβλέπεται επίσης η επισκεψιμότητα της δεξαμενής για καθαρισμό από ιζήματα από φρεάτιο στον αύλειο χώρο.

#### **7.8. Σύγκριση με συμβατική κατασκευή**

Η κατασκευή των συγκεκριμένων υπόσκαφων κατοικιών δεν διαφέρει πολύ σε σχέση με τη διαδικασία που ακολουθείται για την κατασκευή αντίστοιχων διαστάσεων συμβατικών κατασκευών. Αυτό, όπως προαναφέρθηκε, κάνει πιο γνώριμη τη διαδικασία της ανέγερσης και μειώνει την πιθανότητα κατασκευαστικών λαθών.

Παρότι η υπόσκαφη κατοικία έχει μεγαλύτερο όγκο εκσκαφής, το κόστος κατασκευής της περιορίζεται καθώς μειώνεται η χρήση κατασκευαστικών υλικών για την κάλυψη των εξωτερικών επιφανειών. Κατά αυτόν τον τρόπο, αντισταθμίζεται το κατασκευαστικό

κόστος της υπόσκαφης κατοικίας σε σχέση με της συμβατικής.

Επιπροσθέτως, μεγάλο μέρος του εκσκαφθέντος όγκου μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για την επικάλυψη τμημάτων της κατασκευής, είτε για λιθοδομές.

Είναι πολύ σημαντικό να αναφερθεί ότι δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το σύνολο του σχιστόλιθου για λιθοδομές αφού αναμένεται χαμηλή ποιότητα.

Πολύ σημαντικό στοιχείο είναι ότι μια υπόσκαφη οικία σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να έχει ελάχιστες απώλειες ενέργειας. Αυτό εξασφαλίζεται τόσο μέσω της φυσικής μόνωσης του εδάφους αλλά και εξαιτίας της μειωμένης χρήσης ηλεκτρισμού για φωτισμό και δροσισμό, διεργασίες που καλύπτονται από την ροή του αέρα και τη διείσδυση ακτινοβολίας μέσω των ανοιγμάτων που διατρέχουν την οικία.

Ολοκληρώνοντας, η μεγαλύτερη διαφορά έγκειται στο βαθμό επιβάρυνσης του περιβάλλοντος, τόσο αισθητικά όσο και πρακτικά. Μια τέτοια κατασκευή δεν επηρεάζει τη μορφολογία των ορεινών όγκων αφού δεν παρεμβάλλεται στην κορυφογραμμή και επωφελείται από τις ιδιότητες του εδάφους και τις εφαρμογές που επιτρέπουν φυσικό αερισμό και φωτισμό, χωρίς να απειλεί το περιβάλλον και τη βιωσιμότητα του.

### **7.9. Ανάλυση κατανάλωσης ενέργειας**

Χρησιμοποιώντας τα στοιχεία σχετικά με τη θερμοκρασιακή διακύμανση του εδάφους τα οποία παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 7.3 μπορούμε να υπολογίσουμε τη ροή της θερμότητας δια μέσου των επιφανειών των δομικών στοιχείων. Η ενεργειακή απόδοση μίας επιφάνειας σε επαφή με το έδαφος σε διαφορετικά βάθη μελετάται για τον προσδιορισμό του μικροκλίματος που θα επικρατεί εντός της κατασκευής.

Με τη χρήση των στοιχείων για τις θερμικές συνθήκες από το λογισμικό Climate Consultant και την ενεργειακή ανάλυση του λογισμικού Epa-Cad γίνεται σύγκριση των ενεργειακών αναγκών και της κατανάλωσης ενέργειας μίας συμβατικής και μίας υπόσκαφης κατασκευής.

Τονίζεται ότι τα θερμικά χαρακτηριστικά του κελύφους της κατασκευής μίας συμβατικής κατοικίας έχει επιλεγεί να είναι κατά πολύ ανώτερα από τις απαιτήσεις των ισχυόντων κανονισμών.

Η ενεργειακή απόδοση των δύο αυτών κατοικιών υπολογίστηκε σύμφωνα με την οδηγία EN 13790, η οποία έχει υιοθετηθεί και από την ισχύουσα νομοθεσία στην Ελλάδα, με το ακρωνύμιο Κ.Εν.Α.Κ.

Οι ενεργειακές απαιτήσεις, για θέρμανση και κλιματισμό, έχουν υπολογιστεί λαμβάνοντας υπόψη τις ενεργειακές απώλειες και τα ενεργειακά κέρδη (ηλιακά και εσωτερικά). Οι υπολογισμοί έχουν γίνει σε ετήσια βάση. Ένα μοντέλο προσομοίωσης με τα ίδια γεωμετρικά χαρακτηριστικά με αυτά της υπόσκαφης κατοικίας, έχει δημιουργηθεί για να γίνει η απαιτούμενη σύγκριση. Η ενεργειακή απόδοση των κτιρίων υπολογίστηκε με τη χρήση του προγράμματος Epa-Cad, ένα εξειδικευμένο λογισμικό ενεργειακής ανάλυσης κτιρίων.

Στις υπό εξέταση περιπτώσεις, η κλιματική ζώνη κατατάσσεται στην κατηγορία Α. Παρότι η κατηγορία Α είναι η θερμότερη της Ελλάδας, εξαιτίας των θαλάσσιων ανέμων, οι οποίοι είναι συχνοί στο Αιγαίο, οι κλιματικές συνθήκες της τοποθεσίας που μελετάται, είναι πιο ήπιες και αυτό προσδίδει ένα ευχάριστο κλιματικό περιβάλλον για τον σχεδιασμό μίας κατασκευής. Τα βασικά χαρακτηριστικά των κελύφους της υπόσκαφης και της συμβατικής κατασκευής δίνονται παρακάτω.

### **Υπόσκαφη κατασκευή**

- Δεν εφαρμόζεται θερμομόνωση (εκτός των τμημάτων της εισόδου). Το στρώμα του εδάφους γύρω από την κατασκευή λειτουργεί ως μόνωση με αποτέλεσμα την πολύ χαμηλή τιμή του συντελεστή θερμικής μετάδοσης ( $U = 0.106 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ , για τους περιμετρικούς τοίχους).
- Ξύλινα κουφώματα, με διπλά υαλοστάσια χαμηλής θερμοπερατότητας ( $U = 1.250 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ )
- Συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας  $240 \text{ W/m}^2$ .

**Συμβατική κατασκευή**

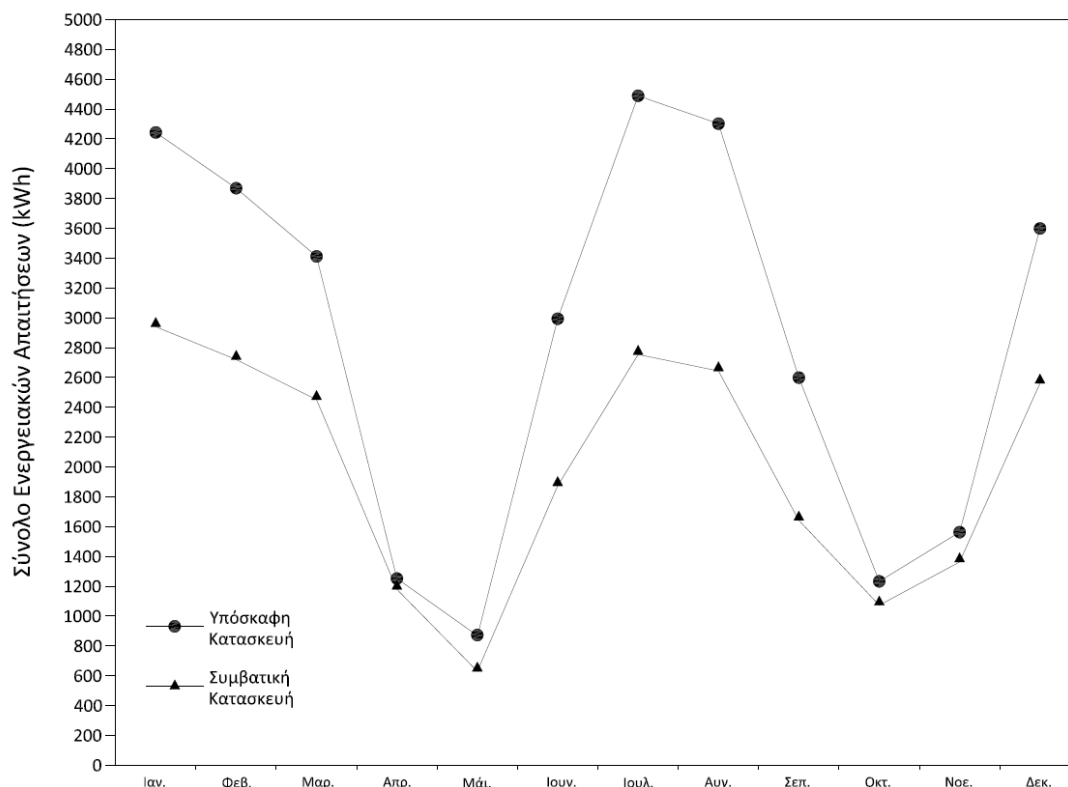
- Θερμομόνωση έχει τοποθετηθεί στους τοίχους και στην οροφή (εξιλασμένη πολυστερίνη πάχους 6εκ. με συντελεστή θερμοπερατότητας για τους εξωτερικούς τοίχους ( $U = 0.382 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ )
- Ξύλινα κουφώματα, με διπλά υαλοστάσια χαμηλής θερμοπερατότητας ( $U = 1.250 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ )
- Συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας  $290 \text{ W/m}^2$ .

Οι ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση και κλιματισμό, σε μηνιαία βάση, για την υπόσκαφη και τη συμβατική κατασκευή, δίδονται στον πίνακα 7.1. Οι συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις για κάθε μήνα παρουσιάζονται στο διάγραμμα 7.10.

**Πίνακας 7.1****Σύγκριση των ενεργειακών αναγκών για ψύξη και θέρμανση**

Μήνας	Υπόσκαφη Κατασκευή, Απαιτούμενη Ενέργεια για Θέρμανση (kWh)	Υπόσκαφη Κατασκευή, Απαιτούμενη Ενέργεια για Ψύξη (kWh)	Συμβατική Κατασκευή, Απαιτούμενη Ενέργεια για Θέρμανση (kWh)	Συμβατική Κατασκευή, Απαιτούμενη Ενέργεια για Ψύξη (kWh)
Ιανουάριος	2.940	0	4.243	0
Φεβρουάριος	2.720	0	3.869	0
Μάρτιος	2.451	0	3.412	0
Απρίλιος	1.180	0	1.252	0
Μάιος	0	630	0	873
Ιούνιος	0	1.874	0	2.994
Ιούλιος	0	2.754	0	4.489
Αύγουστος	0	2.644	0	4.302
Σεπτέμβριος	0	1.642	0	2.599
Οκτώβριος	0	1.073	0	1.233
Νοέμβριος	1.363	0	1.563	0
Δεκέμβριος	2.561	0	3.599	0
<b>Σύνολο</b>	<b>13.215</b>	<b>10.617</b>	<b>17.938</b>	<b>16.490</b>

Λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα του πίνακα, συμπεραίνεται ότι η συμβατική κατασκευή έχει κατά 26% μεγαλύτερες ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση, 36% μεγαλύτερες απαιτήσεις για δροσισμό και συνολικά 31% περισσότερες ενεργειακές απαιτήσεις από την υπόσκαφη κατασκευή.



Διάγραμμα 7.10 Ενεργειακές απαιτήσεις υπόσκαφης και συμβατικής κατασκευής ανά μήνα.

Σε αυτά τα αποτελέσματα αποτυπώνεται η πολύ μεγαλύτερη ενεργειακή αποδοτικότητα της υπόσκαφης κατασκευής.

Παρότι, η περίπτωση της συμβατικής κατασκευής έχει σημαντικά υψηλότερες ενεργειακές ανάγκες από ότι στην υπόσκαφη. Τονίζεται ότι σύμφωνα με την EN13790 δεν υπολογίζονται ακριβώς τα φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας, τα οποία προκύπτουν εξαιτίας της θερμοχωρητικότητας του κελύφους, αφού δεν είναι μία δυναμική αλλά μία ημιστατική μέθοδος ενεργειακής ανάλυσης. Παρόλα αυτά εκτιμάται ότι οι ενεργειακές απαιτήσεις της υπόσκαφης κατασκευής είναι ακόμη χαμηλότερες αν χρησιμοποιούνταν μία ανάλυση δυναμικότερου τύπου. (Perez- Lombard et al., 2008; Orlando, 2012).

Το οικονομικό αντίκτυπο της σύγκρισης υπολογίζεται για ενδοδαπέδια θέρμανση και δροσισμό με τη χρήση αντλίας θερμότητας. Οι συνολικές καταναλώσεις υπολογίζονται στις 7.669 kWh για την υπόσκαφη κατασκευή και 11.102 kWh για τη συμβατική. Θεωρώντας ότι το κόστος ανά kWh είναι 0,14 €/ kWh, η συνολική επιβάρυνση για ψύξη και θέρμανση ανά έτος για την υπόσκαφη κατασκευή ανέρχεται στα 1.074€, ενώ για τη συμβατική στα 1.554€, διαφορά της τάξεως του 31%.

Συμπερασματικά, η υπόσκαφη κατασκευή παρουσιάζει μεγάλη διαφορά στις ενεργειακές της ανάγκες για θέρμανση και κλιματισμό συγκριτικά με μία αντίστοιχη συμβατική. Αυτό, γίνεται με την εκμετάλλευση της εδαφοκάλυψης και τη διαφοροποίηση της μεθόδου κατασκευής. Η διαφορά αυτή έχει και οικονομικό αντίκρισμα, ενώ εάν συνυπολογιστεί η επίδραση του σχεδιασμού (διαχείριση ηλιακής ακτινοβολίας, προσανατολισμός κ.τ.λ.) στην κατανάλωση ενέργειας, είναι εμφανές ότι η υπόσκαφη κατασκευή αποτελεί μία σύγχρονη βιώσιμη λύση που αποδίδει άμεσα οικονομικά προάγοντας την περιβαλλοντική ευαισθησία.

### **7.10. Ανάλυση κόστους κατασκευής**

Η σύγκριση σε σχέση με τις ενεργειακές ανάγκες και του οικονομικού οφέλους από την κατασκευή μίας υπόσκαφης κατοικίας αναδεικνύει τα κύρια πλεονεκτήματα της προτεινόμενης κατασκευαστικής προσέγγισης. Με σκοπό να αντιμετωπιστούν οι προκαταλήψεις σχετικά με το αυξημένο κόστος κατασκευής ενός υπόσκαφου κτίσματος, στις επόμενες παραγράφους γίνεται ανάλυση αυτού του κόστους.

Αυτό επιτυγχάνεται αναλύοντας και ποσοτικοποιώντας τις διαφορές των δύο μεθόδων σε κόστος, συγκρίνοντας την κατασκευαστική διαδικασία.

Τα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν είναι ίδια με αυτά στα οποία έγινε η μελέτη ενεργειακών αναγκών και καταναλώσεων.

Οι διαφορές εντοπίζονται στα εξής κατασκευαστικά στάδια.

- Εκσκαφή και επανεπίχωση
- Δομή κτιρίου και υλικά δόμησης
- Υγρομόνωση και θερμομόνωση
- Αρχιτεκτονικές λεπτομέρειες, επιχρίσματα, χρωματισμοί

Και στις 2 περιπτώσεις απαιτείται η εκσκαφή μεγάλων όγκων υλικού εξαιτίας της κλίσης του οικοπέδου αλλά και της ανάγκης για θεμελίωση σε υγιές έδαφος.

Ο απαιτούμενος όγκος εκσκαφής σχεδόν διπλασιάζεται για την υπόσκαφη κατασκευή. Μεγάλο μέρος του υλικού όμως επαναχρησιμοποιείται για την εδαφική της κάλυψη. Στην περίπτωση της συμβατικής κατασκευής, η πλειονότητα αυτού του όγκου πρέπει να απομακρυνθεί.

Όσον αφορά τον κατασκευαστικό τομέα, ο φορέας και των δύο κατασκευών γίνεται από οπλισμένο σκυρόδεμα. Οι διαφορές εντοπίζονται στους εξωτερικούς τοίχους, οι οποίοι κατά την συμβατική κατασκευή γίνονται από τούβλα, ενώ για την υπόσκαφη οι περιμετρικοί τοίχοι είναι διαμορφωμένοι από τοιχία σκυροδέματος.

Οπτοπλινθοδομή θα χρησιμοποιηθεί στους εσωτερικούς τοίχους και των δύο κατασκευών.

Η υπόσκαφη κατασκευή χρειάζεται εκτεταμένες εργασίες υγραμόνωσης αφού πρέπει να προστατευθεί τόσο από την οροφή αλλά και περιμετρικές στις επιφάνειες όπου υπάρχει επαφή με το έδαφος.

Θερμομόνωση θα τοποθετηθεί σε όλες τις επιφάνειες της συμβατικής κατασκευής. Στην υπόσκαφη κατασκευή θερμομόνωση θα τοποθετηθεί μόνο στις εκτεθειμένες επιφάνειες των εισόδων των κατοικιών.

Ένα επιπλέον κόστος που βαραίνει την υπόσκαφη κατασκευή είναι η διαμόρφωση ηλιακών καμινάδων και καμινάδων αερισμού. Η υπέργεια κατασκευή όμως απαιτεί τη διαμόρφωση μεγαλύτερου αριθμού ανοιγμάτων.

Το κόστος για επιχρίσματα και χρωματισμούς είναι σημαντικά χαμηλότερο για το καλυμμένο με έδαφος κτίσμα, αφού η μόνη εκτεθειμένη επιφάνεια είναι η πρόσοψη. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα σημαντικά χαμηλότερα έξοδα συντήρησης.

Στον πίνακα 7.2 παρατίθεται η σύγκριση του κόστους ανάμεσα στις δύο κατασκευές για τα στάδια στα οποία παρατηρείται διαφοροποίηση. Εργασίες των οποίων το κόστος δεν διαφοροποιείται, (π.χ. ηλεκτρολογικές και υδραυλικές εργασίες), όπως και το κόστος του εξωτερικού χώρου δεν περιλαμβάνονται στην ανάλυση κόστους.



**Πίνακας 7.2****Σύγκριση κόστους σταδίων κατασκευής**

Στάδιο κατασκευής	Κόστος Υπόσκαφης Κατασκευής (€)	Κόστος Συμβατικής Κατασκευής (€)
Εκσκαφή και επανεπίχωση	29.000€	17.000€
Επιφάνειες από σκυρόδεμα	190.000€	160.000€
Τοίχοι από τούβλα και πέτρα	19.000€	40.000€
Θερμομόνωση	800€	6.000€
Υγρομόνωση	17.000€	10.000€
Στοιχεία φυσικού αερισμού και φωτισμού	9.000€	-
Παράθυρα	40.000€	45.000€
Επιχρίσματα, χρωματισμοί	20.000€	35.000€
<b>Συνολικό Κόστος</b>	<b>324.800€</b>	<b>313.000€</b>

## **8. Συμπέρασμα**

Η ανάγκη για τη δημιουργία φιλικότερων προς το περιβάλλον κατασκευών είναι πλέον επιτακτική. Οι αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις σε θέρμανση και ψύξη για την εξασφάλιση των απαιτούμενων συνθηκών θερμικής άνεσης επιβαρύνουν οικονομικά και αυξάνουν το ενεργειακό αποτύπωμα των κατασκευών.

Κύριος στόχος κατά την κατασκευή ενός κτίσματος πρέπει να είναι η εκμετάλλευση όσο το δυνατόν περισσότερων στοιχείων που μπορεί να προσφέρει το περιβάλλον στο οποίο τοποθετείται. Με αυτό τον τρόπο, παράμετροι όπως ο προσανατολισμός, συμβάλλουν στη βιωσιμότητα της κατασκευής.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται ο σχεδιασμός μίας υπόσκαφης κατασκευής στις Κυκλάδες, και συγκεκριμένα στην Κέα. Του σχεδιασμού προηγήθηκε θερμική μελέτη για την κατανόηση των θερμοκρασιακών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή τοποθέτησης, ώστε να αντιμετωπιστούν ανάλογα. Η διαδικασία αυτή, παρήγαγε ένα εντυπωσιακό κτίσμα που μπορεί να φιλοξενήσει δύο ανεξάρτητες κατοικίες.

Η εδαφική κάλυψη συμβάλει στη μείωση της οπτικής ρύπανσης που παράγεται από την κατασκευή αλλά και αντιστέκεται στις απότομες θερμοκρασιακές μεταβολές διατηρώντας ένα σταθερότερο θερμικό περιβάλλον. Η ιδιότητα αυτή σε συνδυασμό με τεχνικές που έχουν ενσωματωθεί κατά το σχεδιασμό για τη διαχείριση της εισαγωγής της ακτινοβολίας στο εσωτερικό των κατοικιών και τον φυσικό αερισμό έχουν σημαντικό αντίκτυπο στη διατήρηση συνθηκών θερμικής άνεσης για μεγαλύτερο χρονικό εύρος.

Η σύγκριση ενεργειακών αναγκών μεταξύ της προτεινόμενης υπόσκαφης κατασκευής και μίας συμβατικής ίδιων γεωμετρικών χαρακτηριστικών, αναδεικνύει τις σημαντικά χαμηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις της υπόσκαφης κατασκευής.

Συμπερασματικά, μια υπόσκαφη κατασκευή μπορεί να αναδείξει όλα τα πλεονεκτήματα που παρέχονται από το περιβάλλον, παρουσιάζει ενεργειακές ανάγκες χωρίς να αυξάνεται σημαντικά το κόστος κατασκευής. Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία μίας υπόσκαφης κατασκευής με μοντέρνο σχεδιασμό που προάγει την αειφορία, χαρακτηρίζοντας την περιοχή στην οποία τοποθετείται.

## 9. Βιβλιογραφία

### 9.1. Έντυπο Υλικό

Καλιαμπάκος, Δ. Υπόγεια Έργα: Σημειώσεις Μαθήματος. Αθήνα: Τμήμα: Μηχ. Μετ. Μετ., Αθήνα: ΕΜΠ., 2003.

Κορωνάιος Γ. Αιμ., Σαργέντης Γ. Φοίβος. "Δομικά Υλικά και Οικολογία.", Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2005.

Σίμου, Δήμητρα. ΔΙΚΤΥΟ ΑΕΙΦΟΡΩΝ ΝΗΣΩΝ ΔΑΦΝΗ. Αθήνα: Τομέας: Υδατικών Πόρων Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων, Αθήνα, ΕΜΠ., 2006

Ρόζος, Δ. Μέθοδοι Βελτίωσης – Αντιστήριξης Εδάφους – Υπεδάφους: Σημειώσεις Μαθήματος. Τμήμα: Μηχ. Μετ. Μετ., Αθήνα: Ε.Μ.Π., 2007.

Μάτζιου, Λένα. Βιοκλιματική αρχιτεκτονική στην Ελλάδα. Αθήνα: Έργον IV, 2008.

Αθανασιάδης, Ι., "Σχεδιασμός υπόσκαφων κατασκευών στη νήσο Κέα.", Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ., Αθήνα, 2011.

Σπανός. Π., "Ιπτάμενη τέφρα. Ένα παραπροϊόν ή ένα άριστο δομικό υλικό.", Περιοδικό Ανεμολογία, Μάιος-Ιούνιος 2012.

Μπουγιατιώτη, Φλώρα-Μαρία. "Το αστικό μικροκλίμα, βιοκλιματικές παρεμβάσεις για τη βελτίωση του". Αθήνα, ΕΜΠ., 2009.

Brachos, G., Benardos, A., "Thermal Loads Analysis of an Underground Cold Storage Facility in Attica", 11th ACUUS International Conference, Athens, 10-13 September, pp. 237-242. 2007.

W.R. van Wijk, D.A. de Vries, "Periodic temperature variations in a homogeneous soil", Physics of Plant Environment, North-Holland, Amsterdam, 1966.

P. O. Fanger, Thermal Comfort, Copenhagen: Danish Technical Press / New York: McGraw-Hill Book Company, 1973, σ. 13.

Canter, David V. Psychology for Architects. London: Applied Science, 1974.

K. Labs, "Underground building climate". Solar Age. 4(10), pp 44-50, 1979.

K. Labs, "The underground advantage: climate of soils", Proceedings of the Fourth National Passive Solar Conference, American Section of ISES, Kansas City, MO, 1979.

Roy, Robert L. *Underground Houses: How to Build a Low-cost Home*. New York: Sterling Pub., 1979.

Oehler, Mike. *The \$50 and up Underground House Book*. New York: Mole Pub., 1981.

Woong, Lee Shi, and Jang Yeul Shon. "The Thermal Environment in an Earth-Sheltered Home in Korea." *Tunnelling and Underground Space Technology* 3.4 (1988): 409-16.

Duffie, Beckman. "Solar engineering of thermal processes" New York: John Wiley, 1991.

Golany, Gideon, and Toshio Ojima. *Geo-space Urban Design*. New York: John Wiley, 1996.

John R. Goulding & J. Owen Lewis. *Bioclimatic Architecture: Thermie Programme Action*. Hoeilaart: Lior E.E.I.G., 1997.

Jingwen, X., "A comparative study between excavated dwellings in China and Greece", PhD Thesis, National Technical University of Athens. 1998.

A Niachou, K Papakonstantinou, M Santamouris, A Tsangrassoulis, G Mihalakakou., "Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance.", *Energy and Buildings*, Volume 33, Issue 7, September 2001, Pages 719–729.

Meijenfeldt, Ernst Von., and Marit Geluk. *Below Ground Level: Creating New Spaces for Contemporary Architecture*. Basel: Birkhäuser-Publishers for Architecture, 2003.

A.A Al-Temeemi, D.J Harris, "A guideline for assessing the suitability of earth-sheltered mass-housing in hot-arid climates". *Energy and Buildings*. Volume 36, Issue 3, March 2004, Pages 251–260

Stang, Alanna, and Christopher Hawthorne. *The Green House: New Directions in Sustainable Architecture*. New York: Princeton Architectural, 2005.

Kaliampakos, D.C., "Critical parameters in underground development", *Proceedings of the International Academic Conference on Underground Space (IACUS) conference*, 18-19 November, Beijing, China, 2006.

Lan, Bruce Q. *Life Logo: NL Architects*. Beijing: United Asia Art & Design Cooperation, 2007.

Nori, Paolo. "Una Tana in Montagna." *Abitare*, 499 (2010).

S. Bala Murugan, G. Mohan Ganesh and A. S. Santhi. "Sustainable concrete for the construction industry." *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences* Vol. 8, No. 10, October pp 829-833. 2013.

A. Benardos, I. Athanasiadis, N. Katsoulakos. "Modern earth sheltered constructions: A paradigm of green engineering." *Tunnelling and Underground Space Technology* 41 (2014): 46-52.

## 9.2. Διαδίκτυο

"Αντλίες Νερού – Ηλιακές Αντλίες." *ENERGOTECH : Research & Development of Renewable Energy Sources*. Web. 15 Sept. 2010. <<http://www.energotech.gr/>>.

Βαλιάκος, Ηλίας. "Γεωλογία του Αιγαίου." Πολιτιστική Πύλη του Αρχιπελάγους του Αιγαίου. Ίδρυμα μείζονος Ελληνισμού, 7 Oct. 2006. Web. <<http://www2.egeonet.gr/>>.

"Η αρχιτεκτονική των Κυκλαδων." *Kyklades*. 13 Oct. 2003. Web. <<http://kyklades.blogspot.com>>.

"Ξερολιθικές Κατασκευές Αιγαίου." Πανεπιστήμιο Αιγαίου. Web. 5 Sept. 2010. <<http://www.aegean.gr/>>.

"Σαντορίνη: Θήρα στο όνειρο." *Γεωτρόπιο* 168 (2003). Print.

"Τα σπίτια στη Σαντορίνη: Μορφή, διάταξη χώρων, κατασκευαστικά στοιχεία." *WELCOME TO SPITIA.GR - BUILDINGS.GR*. Web. 26 Aug. 2010. <<http://www.buildings.gr/>>.

Richard, Michael Graham. "Alex Michaelis' Underground Green House." *TreeHugger*. 22 Oct. 2005. Web. <<http://www.treehugger.com/>>.

"Bulla Regia." *Wikipedia, the Free Encyclopedia*. 30 June 2010. Web. 20 Aug. 2010. <<http://en.wikipedia.org/>>.

"Ecological Construction." *Sustainable Building, Development and ECO Construction Techniques at Sustainable Build (UK)*. Web. 16 Aug. 2010. <<http://www.sustainablebuild.co.uk/>>.

"Interactive Floorplan: Base Valley House, Japan | Architecture | Wallpaper\* Magazine." *Wallpaper.com | Home | Wallpaper\* Magazine*. Web. 05 Sept. 2010. <<http://www.wallpaper.com>>.

"Styles of Earth Sheltered Homes | Concrete Residential, Commercial & Multi-Family Construction." *Earth Sheltered Homes | Concrete Residential, Commercial & Multi-Family Construction*. Web. 25 Aug. 2010. <<http://www.earthshelteredhome.com/building-styles.htm>>.

"The Underground Village of Matmata." *HotelClub Hotel and Travel Blog*. 13 Oct. 2008. Web. <<http://blog.hotelclub.com/the-underground-village-of-matmata/>>.

"Underground Construction." Sustainable Building, Development and ECO Construction Techniques at Sustainable Build (UK). Web. 16 Aug. 2010. <<http://www.sustainablebuild.co.uk/>>.

"L.E.E.D." Διαδίκτυο. 25 Νοε 2014. <<http://www.usgbc.org/leed>>.

"Περιβαλλοντικές Πιστοποιήσεις Κτιρίων" Διαδίκτυο. 25 Νοε 2014. <<http://www.zeb.gr>>.

" Γεωγραφικά στοιχεία και κλίμα Κυκλάδων " Διαδίκτυο. 20 Σεπ. 2012. <<http://diocles.civil.duth.gr> >.

"Construction Process: Environmental impact." Web. 25 Okt. 2012. <<://www.worldwatch.org/>>.

" OUTrial house " Web. 22 Sep. 2014. <<http://www.kwkpromes.pl>>.

" Bolton Eco House " Web. 22 Sep. 2014. <<http://www.makearchitects.com>>.

" In a Village Far, Far Away, Star Wars Stirs Debate" Web. 24 Sep. 2014. <<http://news.nationalgeographic.com>>.

"New Tech Uses Fly Ash to Decrease Vehicle Weigh" Web. 24 Sep. 2014. <<http://www.earth911.com>>.

"Energy Plus Energy Simulation Software: Weather Data" Web. 13 Nov. 2014. <<http://energy.gov>>.

"Energy Design Tools: Climate Consultant" Web. 13 Nov. 2014. <<http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu>>.

"ΕΦΑΡΜΟΓΗ Κ.Εν.Α.Κ." Web. 10 Okt. 2014. <[http:// portal.tee.gr](http://portal.tee.gr)>.