



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗΣ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Βιβλιογραφική ανασκόπηση φυτεμένων δωματίων**

**Αρβανίτης Ιάσων**

Αριθμός Μητρώου: 1054468

Επιβλέπουσα:

**Μιχαλακάκου Παναγιώτα, Καθηγήτρια**

Σπουδαστική εργασία υποβληθείσα στο Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών του  
Πανεπιστημίου Πατρών

ΠΑΤΡΑ, Φεβρουάριος 2023

Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών  
Μηχανικών

ΑΡΒΑΝΙΤΗΣ ΙΑΣΩΝ

© 2023 – Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος

---

Η έγκριση της σπουδαστικής εργασίας δεν υποδηλοί την αποδοχή των γνωμών του συγγραφέα. Κατά τη συγγραφή τηρήθηκαν οι αρχές της ακαδημαϊκής δεοντολογίας.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

### Βιβλιογραφική ανασκόπηση φυτεμένων δωμάτων

Αρβανίτης Ιάσων

Η ολοένα και αυξανόμενη αστικοποίηση σε συνάρτηση με τον υπερπληθυσμό, έχει μετατρέψει τις σύγχρονες πόλεις σε ένα αχανές πυκνό τεχνητό σύμπλεγμα, με προτεραιότητα στην στέγαση όλο και περισσότερου πληθυσμού στον μικρότερο δυνατό χώρο, αδιαφορώντας πλήρως για το πράσινο και την ποιότητα ζωής. Όλα αυτά σε συνδυασμό με τους ξέφρενους ρυθμούς ζωής και την ραγδαία τεχνολογική εξέλιξη έχουν καταστήσει τις ενεργειακές απαιτήσεις να είναι υψηλότερες από ποτέ. Την κατάσταση όμως δυσχεραίνει το φαινόμενο της **αστικής θερμικής νησίδας**, κατά το οποίο η θερμοκρασία του αέρα στις πόλεις παρουσιάζει σημαντική αύξηση σε σχέση με την αντίστοιχη στα προάστια και στις γύρω αγροτικές περιοχές. Κυριότεροι λόγοι δημιουργίας της αποτελούν η προφανής έλλειψη πρασίνου, η γεωμετρία και το μέγεθος των αστικών κέντρων, η ανθρωπογενής δραστηριότητα, οι ιδιότητες των χρησιμοποιούμενων δομικών υλικών, η ατμοσφαιρική ρύπανση καθώς και οι τοπικοί μετεωρολογικοί παράμετροι. Επειδή αυτό το φαινόμενο έχει σοβαρές επιπτώσεις τόσο στον άνθρωπο όσο και στο περιβάλλον, κρίνεται απαραίτητο να το αντιμετωπίσουμε. Οι αποτελεσματικότερες μέθοδοι καταπολέμησης του έχουν αποδειχθεί η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η χρήση ψυχρών υλικών, ο ενεργειακός σχεδιασμός κτηρίων και η αύξηση του πρασίνου. Στην διπλωματική αυτή εργασία θα εστιάσουμε στον τελευταίο τρόπο και θα το επιτύχουμε μέσω της πράσινης οροφής. Ως **πράσινη στέγη** ή αλλιώς **φυτεμένο δώμα** θεωρούμε μία οροφή η οποία έχει επένδυση με φυτικό υπόστρωμα. Σαν κατασκευή, το φυτεμένο δώμα δεν αποτελεί κάτι το μοντέρνο και σύγχρονο αλλά έχει ρίζες από τα αρχαία χρόνια, και μάλιστα από την αρχαία Μεσοποταμία. Απλώς τα τελευταία χρόνια έχει γίνει πάλι σχετική σαν ιδέα, χάρη στις νέες τάσεις οικολογίας και αειφορίας. Τα φυτεμένα δώματα χωρίζονται ανάλογα με το πάχος του υποστρώματος και την «πυκνότητα» της βλάστησης κατά αύξουσα σειρά σε εκτατικό, ημιεντατικό και εντατικό. Για να είναι βέβαια ασφαλές και λειτουργικό ένα τέτοιο οικοδόμημα πρέπει να καλύπτονται ορισμένες

---

προδιαγραφές όπως η στατική αντοχή του κτηρίου με την προσθήκη της πράσινης στέγης, η ενδεχόμενη κλίση του δώματος και η επιλογή του κατάλληλου φυτικού υλικού. Η συνηθισμένη δομή μίας πράσινης στέγης αποτελείται από κάτω προς τα πάνω από το φράγμα υδρατμών, την θερμομόνωση, την στεγανωτική στρώση, την αντιριζική μεμβράνη, το επίπεδο προστασίας, την αποστραγγιστική στρώση, το διαχωριστικό επίπεδο, το φυτικό υπόστρωμα και το τέλος το φυτικό υλικό. Αφού λοιπόν έχουμε αναλύσει όλα τα παραπάνω στο τέλος της εργασίας θα ασχοληθούμε με τα ενεργειακά και τα περιβαλλοντικά οφέλη που προσφέρει η προσάρτηση μίας πράσινης στέγης σε ένα κτήριο, εξετάζοντας πειραματικά δεδομένα από όλον τον κόσμο.

### **Λέξεις κλειδιά:**

Φυτεμένο δώμα, αειφορία στο αστικό περιβάλλον, τεχνικές βασισμένες στη φύση, αστική θερμική νησίδα, πράσινη στέγη

## ABSTRACT

### Bibliographic research of green roof systems

Arvanitis Jason

The ever-increasing urbanization in relation to overpopulation has modified modern cities into a huge, dense, artificial complex that gives priority to the accommodation of more and more citizens in the smallest possible space totally neglecting, however, green and the quality of life. All the above combined with the hectic lifestyle and the rapid technological developments have led the energy demands to be higher than ever before. This situation, however, deteriorates due to the **urban heat island effect**, during which the temperature of the air in the cities is significantly increased in contrast to the air temperature in the suburbs and the surrounding rural areas. The main reasons behind this phenomenon is the obvious lack of green, the geometry and the size of urban areas, human activity, the qualities of the building materials, air pollution as well as local meteorological parameters. Since the urban heat island effect has serious consequences not only on humans but also on the environment, it is absolutely necessary to confront it. The most efficient ways to deal with it have proven to be the use of renewable energy sources, the use of cool materials, energy building design and the increase of greenery. The present thesis focuses on the final method being achieved through green roofs. A **green roof** also known as **planted roof** is a common roof insulated with plant-based bedding. Regarding the construction, the green roof is not a modern approach, but it has roots in ancient times and specifically in ancient Mesopotamia. However, it has recently become a relevant idea, thanks to the spring of ecology. Green roofs are divided according to the thickness of the soil layer and the density of vegetation in ascending order regarding extensive, semi-intensive and intensive. For such a construction to be safe and fully functional, certain requirements should be covered such as the static endurance of the building with the addition of a green roof, the possible inclination of the roof and the selection of the most suitable plants. The typical layers of a green roof include from bottom to top the following: vapor control, insulation, water-proving membrane, root barrier, support panel, drainage layer, filter fabric, soil layer and finally the vegetation. Having discussed the above issues, the thesis ends with the energy and environmental benefits that a green roof offers to a building, examining experimental data across the globe.

### Keywords:

Green roof, urban sustainability, nature-based solutions, urban heat island effect, planted roof

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Ενεργειακά πλεονεκτήματα φυτεμένων δωματίων.....σελ. 34

Πίνακας 2: Περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα φυτεμένων δωματίων.....σελ. 43

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| Εικόνα 1: Η επίδραση του φαινομένου της ΑΘΝ στις πόλεις.....σελ. | 11 |
| Εικόνα 2: Κρεμαστοί κήποι της Βαβυλώνας.....σελ.                 | 25 |
| Εικόνα 3: Εκτατικού τύπου φυτεμένο δώμα.....σελ.                 | 23 |
| Εικόνα 4: Ημιεντατικού τύπου φυτεμένο δώμα.....σελ.              | 26 |
| Εικόνα 5: Εντατικού τύπου φυτεμένο δώμα.....σελ.                 | 27 |
| Εικόνα 6: Στρώσεις ενός φυτεμένου δώματος.....σελ.               | 29 |



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|                                                |           |
|------------------------------------------------|-----------|
| <b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....</b>                           | <b>4</b>  |
| <b>ABSTRACT.....</b>                           | <b>6</b>  |
| <b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....</b>                  | <b>7</b>  |
| <b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....</b>                  | <b>8</b>  |
| <b>1. Αστική Θερμική Νησίδα.....</b>           | <b>10</b> |
| 1.1 Ορισμός και είδη.....                      | 10        |
| 1.2 Χαρακτηριστικά.....                        | 12        |
| 1.3 Παράγοντες δημιουργίας.....                | 14        |
| 1.4 Επιπτώσεις.....                            | 18        |
| 1.5 Τρόποι αντιμετώπισης.....                  | 20        |
| <b>2. Πράσινες οροφές.....</b>                 | <b>22</b> |
| 2.1 Ορισμός.....                               | 22        |
| 2.2 Ιστορική αναδρομή.....                     | 22        |
| 2.3 Τύποι πράσινων οροφών.....                 | 25        |
| 2.4 Προδιαγραφές.....                          | 28        |
| 2.5 Δομή φυτεμένου δώματος.....                | 29        |
| <b>3. Πλεονεκτήματα Φυτεμένων Δωμάτων.....</b> | <b>33</b> |
| 3.1 Ενεργειακά πλεονεκτήματα.....              | 33        |
| 3.2 Περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα.....          | 42        |
| <b>Συμπεράσματα.....</b>                       | <b>45</b> |
| <b>Βιβλιογραφία.....</b>                       | <b>46</b> |
| <b>Πηγές εικόνων.....</b>                      | <b>51</b> |

## **1. Αστική Θερμική Νησίδα(ΑΘΝ)**

### **1.1 Ορισμός και είδη**

Η Αστική Θερμική Νησίδα (ΑΘΝ) είναι ένα ατμοσφαιρικό φαινόμενο που ορίζεται ως η διαφορά της θερμοκρασίας του αέρα που παρατηρείται στις πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές και είναι υψηλότερη σε σχέση με την αντίστοιχη των γειτονικών ημιαστικών αγροτικών περιοχών [1]. Πρόκειται ουσιαστικά για την αλλαγή του μικροκλίματος στις πόλεις εξαιτίας της ανθρώπινης δραστηριότητας στην περιοχή. Το φαινόμενο αυτό λαμβάνει χώρα σε κάθε αστική περιοχή και η ένταση του κυμαίνεται ανάλογα με το μέγεθος και την πυκνότητα της, επηρεάζοντας αρνητικά τόσο το περιβάλλον όσο και τους κατοίκους [2].

Κορύφωση παρατηρείται κυρίως κατά τη διάρκεια απάνεμης νύχτας, ιδιαίτερα όταν ο ουρανός είναι καθαρός, γιατί τότε πραγματοποιείται ο παθητικός δροσισμός των κτηρίων και γίνεται εμφανής η καθυστέρηση και η μειωμένη αποδοτικότητα της διαδικασίας σε σχέση με τις προάστιες και αγροτικές περιοχές. Αυτό δεν σημαίνει όμως ότι δεν εμφανίζεται και κατά την διάρκεια της ημέρας, κατά την οποία έχει διαφορετική δράση [3].

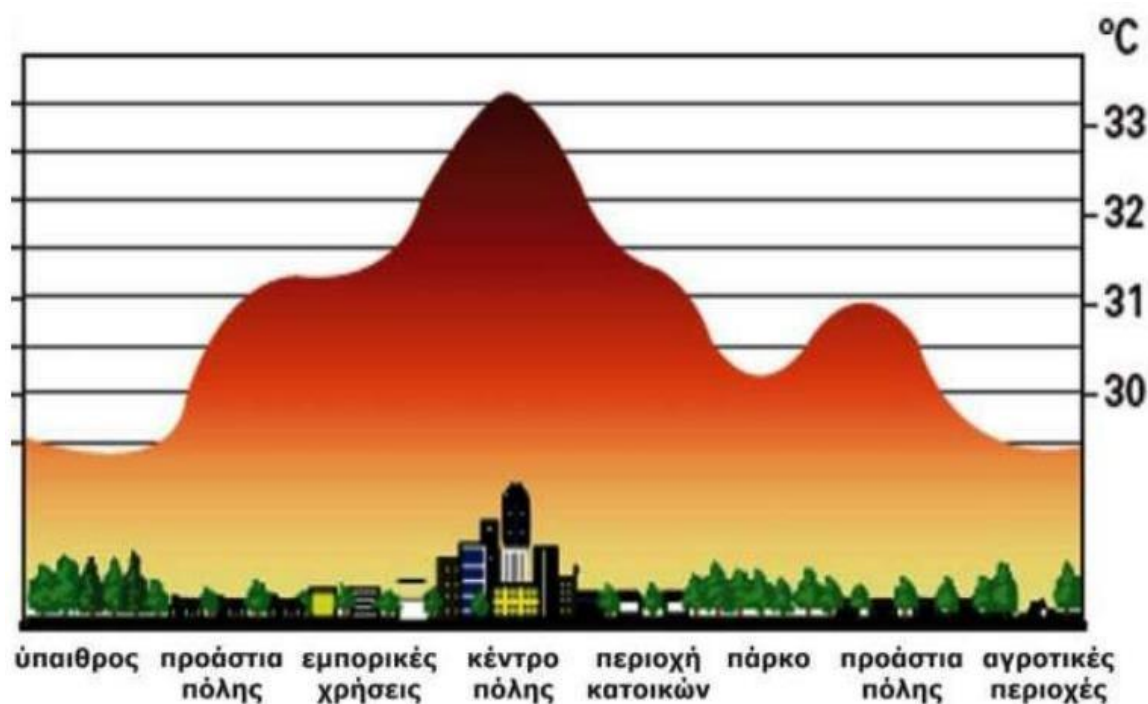
Η ΑΘΝ εμφανίζεται με δύο μορφές. Η πρώτη σχετίζεται με τις θερμές επιφάνειες που δημιουργούνται στα αστικά κέντρα. Οι πόλεις αποτελούνται επί το πλείστον από υλικά, τα οποία έχουν μεγάλη θερμική αγωγιμότητα και μικρή ανακλαστικότητα με αποτέλεσμα να θερμαίνονται οι επιφάνειες τους και να αποδίδουν θερμότητα στον περιβάλλοντα αέρα. Αυτό το είδος ΑΘΝ ονομάζεται ΑΘΝ επιφανείας. Το δεύτερο είδος ονομάζεται ΑΘΝ ατμόσφαιρας και αφορά την αυξημένη θερμοκρασία του αέρα των αστικών περιοχών σε σχέση με αυτή των γύρω αγροτικών. Συνεπώς στην πρώτη περίπτωση μας ενδιαφέρει η θερμοκρασία των θερμών επιφανειών και στην δεύτερη η θερμοκρασία του αέρα.

Η ΑΘΝ επιφανείας κυριαρχεί κατά τη διάρκεια της ημέρας, ιδιαίτερα τους θερινούς μήνες, αφού ο ήλιος θερμαίνει τις ξηρές, εκτεθειμένες αστικές επιφάνειες, όπως είναι οι οροφές και οι δρόμοι[4]. Κατά την διάρκεια της νύχτας εξακολουθεί να υπάρχει, αλλά η ένταση της είναι πολύ μικρότερη όπως είναι εύλογο. Το μέγεθός της ποικίλλει ανάλογα τις εποχές, λόγω των διακυμάνσεων της έντασης του ήλιου και τις εκάστοτε καιρικές συνθήκες. Πειράματα έχουν δείξει ότι η διαφορά στις θερμοκρασίες επιφανείας μεταξύ των αστικών και αγροτικών περιοχών κυμαίνεται στους 10-15°C την ημέρα και στους 5-10°C την νύχτα. Η μέτρηση της έντασης της ΑΘΝ επιφανείας γίνεται συνήθως έμμεσα με αέριους ή δορυφορικούς αισθητήρες, οι οποίοι λειτουργούν από ψηλά και καταγράφουν την θερμοκρασία του αέρα στην ίδια θέση.

Η ΑΘΝ ατμόσφαιρας έχει την ακριβώς αντίθετη δράση. Κατά την διάρκεια της ημέρας είναι σχεδόν αμελητέα, ενώ κορυφώνεται τις νυχτερινές ώρες. Αυτό συμβαίνει, διότι τα δομικά υλικά έχουν μεγάλη θερμοχωρητικότητα με αποτέλεσμα να υπάρχει χρονική καθυστέρηση στην απόδοση θερμότητας προς το περιβάλλον, με αποτέλεσμα η διαδικασία αυτή να πραγματοποιείται την νύχτα. Η ένταση της έχει μικρότερη διακύμανση σε σχέση με την ΑΘΝ επιφανείας και κυμαίνεται στους 1 -3° C την ημέρα και στους 7 -12° C την νύχτα. Η μέθοδος τυπικού προσδιορισμού της

είναι άμεση και προσδιορίζεται είτε μέσω σταθερών μετεωρολογικών σταθμών είτε μέσω ευέλικτων μετακινήσεων[1],[5],[6]. Η ΑΘΝ ατμόσφαιρας μπορεί να χωριστεί περαιτέρω σε δύο κατηγορίες: την ΑΘΝ χαράδρας και την ΑΘΝ οριακού στρώματος.

Οι δύο αυτές υποκατηγορίες ΑΘΝ ατμόσφαιρας ουσιαστικά χωρίζουν στα 2 τις περιοχές του επηρεασμένου από τις πόλεις αέρα και μαζί καλύπτουν όλο το φάσμα, από το οριακό στρώμα του αέρα στην επιφάνεια των δρόμων μέχρι τον ανεπηρέαστο πλέον αέρα της ατμόσφαιρας. Η ΑΘΝ Χαράδρας χαρακτηρίζει την κάτω περιοχή και εκτείνεται από το έδαφος μέχρι το επίπεδο των οροφών των κατοικιών και των κορυφών των δέντρων. Ουσιαστικά περιλαμβάνει το ενεργό στρώμα αέρα στην ανθρώπινη ζωή και πρακτικά αποτελεί τον κυρίαρχο τύπο ΑΘΝ ατμόσφαιρας. Η ΑΘΝ οριακού στρώματος δρα συμπληρωματικά και καλύπτει την πάνω περιοχή, δηλαδή από τις στέγες μέχρι τον θερμικά ανεπηρέαστο αέρα του περιβάλλοντος. Το ύψος αθροιστικά των δύο περιοχών από το επίπεδο του εδάφους συνήθως δεν ξεπερνά το 1,5 km[7].



Εικόνα 1: Η επίδραση του φαινομένου της ΑΘΝ στις πόλεις [1]

## 1.2 Χαρακτηριστικά ΑΘΝ

Όλα τα είδη Αστικής Θερμικής Νησίδας, παρόλες τις διαφορές τους, παρουσιάζουν ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά. Αυτά είναι η θερμοκρασία του αέρα, η θερμοκρασία επιφάνειας, οι καιρικές συνθήκες, η δομική ανάπτυξη της περιοχής και οι θερμικές αντιστροφές. Αναλυτικότερα:

- 1) **Θερμοκρασία αέρα:** Σε όλες τις ΑΘΝ παρατηρείται ότι πάντα η θερμοκρασία του αέρα στα αστικά περιβάλλοντα είναι αισθητά μεγαλύτερη από την αντίστοιχη των περιχώρων. Αυτό συμβαίνει λόγω την απόδοσης θερμότητας στον εξωτερικό αέρα είτε κατευθείαν από τον ήλιο είτε μέσω θερμών επιφανειών είτε μέσω της ανθρώπινης δραστηριότητας στην πόλη. Τέτοια θερμικά επιβαρυντικά προς το περιβάλλον δραστηριότητα μπορεί να περιλαμβάνει καυσαέριους ρύπους από εργοστάσια ή αυτοκίνητα ή ακόμα και από σπίτια.
- 2) **Θερμοκρασία επιφάνειας:** Η ηλιακή ακτινοβολία θερμαίνει τα δομικά υλικά των αστικών κέντρων με αποτέλεσμα αυτά με την σειρά τους να αποδίδουν θερμότητα στο περιβάλλον και να επηρεάζουν το μικρόκλιμα της περιοχής. Αυτή η διαδικασία όπως παρατηρούμε είναι έμμεση, αφού δεν θερμαίνεται ο αέρας άμεσα αλλά έχει ως μεσάζοντα τις θερμές επιφάνειες. Παρόλα αυτά παίζει σημαντικό ρόλο στην αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα. Στις αγροτικές περιοχές η ΑΘΝ είναι σημαντικά ασθενέστερη διότι κυριαρχεί η βλάστηση και όχι οι τεχνητές επιφάνειες. Οι φυτικές επιφάνειες παρουσιάζουν αρκετά μικρότερη θερμική αγωγιμότητα και μεγαλύτερη ανακλαστικότητα. Συνεπώς δεν πολύ θερμαίνονται και έτσι παραμένουν δροσερές, συμβάλλοντας στην παραμονή του αέρα σε επιθυμητές θερμοκρασίες. Βασική προϋπόθεση βέβαια είναι να υπάρχει επαρκής ποτισμός, φυσικός ή μη, για να ενισχύεται η εξατμισοδιαπνοή. Αντίθετα οι τεχνητές επιφάνειες θερμαίνονται ραγδαία, ειδικά τους θερινούς μήνες, και μάλιστα φτάνουν μέχρι και τους +27-50°C από την εκάστοτε θερμοκρασία του αέρα.
- 3) **Καιρικές συνθήκες:** Έρευνες έχουν δείξει ότι υπάρχει μεγάλη εξάρτηση μεταξύ των τοπικών καιρικών συνθηκών και των θερμοκρασιών αέρα και επιφάνειας. Η ΑΘΝ φτάνει στο ζενίθ της όταν ο ουρανός είναι καθαρός και επικρατεί νηνεμία. Από την άλλη η συνεχιζόμενη περιορίζει την ηλιακή ακτινοβολία και συνεπώς την θέρμανση των επιφανειών, ενώ η δημιουργία τοπικών ρευμάτων αέρα οδηγεί στην ανανέωση του με δροσερότερο της ατμόσφαιρας και στην αύξηση του ρυθμού συναγωγής ως μέσο δροσισμού των θερμών επιφανειών. Τέλος τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα συνεισφέρουν άμεσα στον παθητικό δροσισμό της πόλης.
- 4) **Δομική ανάπτυξη περιοχής:** Ο βαθμός αστικοποίησης μιας πόλης είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με την ένταση της ΑΘΝ. Αυτό σημαίνει, ότι όσο μεγαλύτερο και πυκνοκατοικημένο είναι ένα αστικό κέντρο, τόσο πιο έντονο θα είναι το φαινόμενο. Προφανώς παίζει επίσης ρόλο και κατά

πόσο περιέχεται «πράσινο» μέσα στην περιοχή, δηλαδή η ύπαρξη πάρκων, μεμονωμένων δέντρων κ.ο.κ.

- 5) **Αναστροφές Θερμοκρασίας:** Οι αναστροφές θερμοκρασίας δημιουργούνται όταν στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας κυριαρχούν κρύα ρεύματα αέρα και στα υψηλότερα θερμά, γεγονός που έρχεται σε αντίθεση με το φυσιολογικό ατμοσφαιρικό φαινόμενο της κατακόρυφης θερμοβαθμίδας μέσα στην τροπόσφαιρα. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται και ως αδιαβατική θερμοβαθμίδα και χαρακτηρίζεται από το ότι θερμοκρασία του αέρα μέσα στην τροπόσφαιρα είναι αντιστρόφως ανάλογη του υψομέτρου και μειώνεται με σταθερό ρυθμό  $0.65^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ . Για παράδειγμα σε ένα χωριό στο βουνό που έχει υψόμετρο 100m από την επιφάνεια της θάλασσας, η θερμοκρασία του αέρα είναι σημαντικά χαμηλότερη σε σχέση με ένα πανομοιότυπο παραθαλάσσιο, όπως όλοι έχουμε αντιληφθεί. Οι θερμοβαθμίδες είναι τριών ειδών και εξαρτώνται κυρίως από την υγρασία(κατακόρυφη, υγρή και ξηρή θερμοβαθμίδα). Οι αιτίες του φαινομένου αναλύονται στην διαστολή (μείωση πυκνότητας) και συνεπώς στην ψύχρανση του ατμοσφαιρικού αέρα, στην μείωση της ποσότητας των υδρατμών με το ύψος, στην ελάττωση της απορροφούμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας και τέλος στη μείωση του φαινομένου θερμοκηπίου. Υπάρχει όμως και μία ,αντιμαχόμενη στην θερμοβαθμίδα, τάση του αέρα και αυτή δεν είναι άλλη από την ανοδική κίνηση του θερμού αέρα λόγω διαφοράς πυκνότητας(ο θερμός αέρας είναι ελαφρύτερος από τον κρύο και έτσι ανέρχεται). Λογικό επακόλουθο είναι, τις θερμές νήνεμες μέρες να κυριαρχεί η ανταγωνιστική αυτή τάση του αέρα, έναντι των θερμοβαθμίδων. Συνεπώς η ζέστη τροφοδοτεί τις αναστροφές θερμοκρασίας. Η θερμοκρασιακή αναστροφή σχετίζεται άμεσα με την ΑΘΝ και επεκτείνει τα όρια δράσης της πέρα από τις στέγες των κτηρίων, καθώς συμβάλλει στην δημιουργία θερμών μαζών αέρα πάνω από τον αστικό ιστό.

### 1.3 Παράγοντες δημιουργίας ΑΘΝ

Το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας προκύπτει κυρίως για τους εξής λόγους:

- 1) **Μειωμένη βλάστηση:** Οι σύγχρονες πόλεις δίνουν βάση κυρίως στην εξάπλωση και στην πυκνοκατοίκηση τους, ώστε να χωρούν μέγιστο αριθμό ατόμων στα πλαίσια του αστικού ιστού, παραβλέποντας τις επερχόμενες συνέπειες. Αυτό όμως προϋποθέτει σχεδόν πλήρη κάλυψη των πράσινων επιφανειών με τεχνητές και συνεπώς στην σημαντική μείωση της βλάστησης στην περιοχή. Τέτοια αλλαγή βέβαια συνεπάγεται με πληθώρα αρνητικών επιδράσεων. Τα φυτά παρέχουν απαραίτητη σκίαση και αυξάνουν τα ποσοστά υγρασίας του αέρα χάρη στο φαινόμενο της εξατμισοδιαπνοής, και συνεπώς η απουσία τους οδηγεί σε αυξημένα επίπεδα θερμοκρασιών στις πόλεις.

Η εξατμισοδιαπνοή είναι βασική λειτουργία των φυτικών οργανισμών και είναι συνδυασμός δύο παράλληλων φαινομένων. Αυτά είναι η διαπνοή, κατά την οποία το φυτό λαμβάνει διοξείδιο του άνθρακα και αποβάλλει υδρατμούς, και την εξάτμιση νερού από το έδαφος. Δηλαδή πρόκειται για την συνολική εξάτμιση νερού στην ατμόσφαιρα, από το φυτικό σύστημα και συνεισφέρει ενεργά στον παθητικό δροσισμό των αστικών περιοχών.

- 2) **Ιδιότητες δομικών υλικών:** Τα κατασκευαστικά υλικά που απαρτίζονται οι αστικές περιοχές παρουσιάζουν αρκετά διαφορετικά χαρακτηριστικά από τα φυσικά υλικά που κυριαρχούν στις αγροτικές περιοχές. Οι ιδιότητες που θα εξετάσουμε εδώ είναι η απορροφητικότητα, η ανακλαστικότητα και η εκπεμπτικότητα της ηλιακής ακτινοβολίας από τα υλικά αυτά καθώς και η θερμοχωρητικότητα και η στεγανότητα.

Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε μία οποιαδήποτε αδιαφανή επιφάνεια είτε απορροφάται είτε ανακλάται. Συνεπώς η απορροφητικότητα και η ανακλαστικότητα είναι άρρηκτα συνδεδεμένες ως ιδιότητες και μάλιστα αντιστρόφως ανάλογες μεταξύ τους καθώς όσο περισσότερη ακτινοβολία ανακλάται τόσο λιγότερη απορροφάται και αντίστροφα. Τα δομικά υλικά των πόλεων παρουσιάζουν κυρίως μεγάλες τιμές απορροφητικότητας, καθώς είναι συνήθως σκουρόχρωμα και συνεπώς η ανακλαστικότητά τους είναι μικρή.

Γενικά η τιμή της ηλιακής ανακλαστικότητας (λευκαύγεια) εξαρτάται σχεδόν εξ ολοκλήρου από το χρώμα της επιφανείας προσβολής και αριθμητικά κυμαίνεται από 0-100%, ανάλογα με το ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που τελικά ανακλάται. Για τιμές κοντά στο 0 αντιστοιχεί το μαύρο χρώμα και για τιμές κοντά στο 100% το λευκό χρώμα. Συνεπώς οι σκουρόχρωμες επιφάνειες παρουσιάζουν χαμηλότερη λευκαύγεια σε σχέση με τις ανοιχτόχρωμες. Ο αστικός ιστός όμως βρίσκεται από σκουρόχρωμες επιφάνειες (δρόμοι, πεζοδρόμια κλπ), οι οποίες απορροφούν μεγάλα ποσά θερμότητας και ύστερα τα επανεκπέμπουν κατά τις βραδινές ώρες, μειώνοντας τον ρυθμό ψύξης και εντείνοντας έτσι

το φαινόμενο της ΑΘΝ. Τα τελευταία χρόνια βέβαια είναι υπό ανάπτυξη ειδικές ψυχρές βαφές, οι οποίες μπορεί να είναι σκουρόχρωμες αλλά η λευκαύγεια τους να προσεγγίζει εκείνη των ανοιχτόχρωμων, και μπορούν να βελτιώσουν το πρόβλημα αυτό της μικρής ανακλαστικότητας.

Εκτός της απορροφητικότητας και της ανακλαστικότητας σημαντικό ρόλο παίζει και η εκπεμπτικότητα. Επιφάνειες μεγάλης τιμής συντελεστή εκπομπής συνεπάγονται δροσερότερα υλικά, καθώς απελευθερώνουν θερμότητα στο περιβάλλον με μεγαλύτερο ρυθμό. Τα περισσότερα δομικά υλικά έχουν υψηλές τιμές εκπεμπτικότητας, πράγμα που «ανακουφίζει» το ίδιο το υλικό, αλλά από την άλλη συμβάλλει σε αυξημένη θερμοκρασία εξωτερικού αέρα.

Άλλη ιδιότητα που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι η θερμοχωρητικότητα των δομικών υλικών της αστικής περιοχής. Η θερμοχωρητικότητα ουσιαστικά καθορίζει το πόσο ικανό είναι ένα υλικό αποθηκεύει μεγάλα ποσά θερμότητας στην μάζα του. Επί το πλείστον τα δομικά υλικά των πόλεων είναι μεγάλης θερμοχωρητικότητας και συνεπώς συγκρατούν μεγάλο κομμάτι της ηλιακής ενέργειας, το οποίο θα επανεκπεμθεί στο περιβάλλον, εντείνοντας την ΑΘΝ.

Τέλος η στεγανότητα των υλικών αυτών, τα καθιστά υπεύθυνα για την απομάκρυνση των νερών της βροχής, αφού χαρακτηρίζονται ως αδιάβροχα και υδατοστεγή. Αντίθετα στις αγροτικές περιοχές το νερό απορροφάται από τα φυτά και επιστρέφει μέσω της εξατμισοδιαπνοής στο περιβάλλον, δροσίζοντας με αυτόν τον τρόπο τον αέρα[8].

- 3) Γεωμετρία και μέγεθος αστικής περιοχής:** Εξίσου σημαντικοί για την δημιουργία ΑΘΝ είναι οι παράγοντες που σχετίζονται με την αστική αρχιτεκτονική και αφορούν τόσο την αστική γεωμετρία όσο και το μέγεθος του αστικού ιστού. Η αστική γεωμετρία καθορίζεται από την διάταξη των κτηρίων σε όλη την έκταση της πόλης και συνεπώς είναι υπεύθυνη για ενδεχόμενη μη φυσική ροή αέρα δια μέσω του αστικού ιστού καθώς και για το «μπλοκάρισμα» της διαδικασίας εναπόθεσης των θερμικών φορτίων των κτηρίων στην θερμική δεξαμενή του ουρανού. Το μέγεθος της πόλης, όπως είναι αναμενόμενο, προφανώς επιβαρύνει την ΑΘΝ όσο αυτό αυξάνεται καθώς μεγαλώνει και η απόσταση του κέντρου της πόλης από τα περίχωρα.

Αυτό που μας ενδιαφέρει πιο πολύ όμως όσον αφορά την αστική γεωμετρία είναι η δημιουργία αστικών χαράδρων. Μια αστική χαράδρα εμφανίζεται όταν μία στενή οδός παρεμβάλλεται μεταξύ ψηλών κτηρίων. Η επίδραση που έχει αυτό το φαινόμενο στην ΑΘΝ μεταβάλλεται κατά την διάρκεια ενός 24ώρου. Κατά την διάρκεια της ημέρας έχουμε από την μία μεριά το όφελος της σκίασης λόγω των ψηλών κτηρίων, αλλά από την άλλη τέτοια ύψη κτηρίων εμποδίζουν την διαδικασία εκπομπής θερμότητας καθώς η θερμική ενέργεια που απελευθερώνεται από κάθε κτήριο απορροφάται από το διπλανό του αντί να καταλήγει στο περιβάλλον. Τις νυχτερινές ώρες οι αστικές χαράδρες θερμαίνουν τον παρερχόμενο αέρα, αφού τα περιβάλλοντα κτήρια ακτινοβολούν θερμότητα από το ένα στο

άλλο δημιουργώντας μεγάλες θερμοκρασίες αέρα.

Η προσέγγιση της επίδρασης της αστικής γεωμετρίας στο φαινόμενο της ΑΘΝ γίνεται κυρίως μέσω του συντελεστή θέασης ουράνιου θόλου(SVF), ο οποίος σχετίζεται με το ποσοστό της ορατής περιοχής του ουρανού από ένα δεδομένο σημείο. Με τον όρο ορατή περιοχή του ουρανού εννοούμε το κομμάτι της επιφάνειας ενός δομικού υλικού που είναι εκτεθειμένη στον ήλιο και συνεπώς «βλέπει» τον ουρανό. Ουσιαστικά αφορά τμήματα επιφανειών που έχουν ελεύθερη εκπομπή θερμότητας χωρίς παρεμβολές από την γύρω περιοχή. Τέτοιες επιφάνειες είναι επί το πλείστον οι οροφές και τα κάθετα τοιχώματα των κτηρίων, καθώς λόγω της αστικής γεωμετρίας που επικρατεί συνήθως στο έδαφος φτάνει μειωμένη ακτινοβολία. Συνεπώς μεγάλες τιμές του SVF συνεπάγονται ανοιχτές περιοχές, όπως για παράδειγμα μία πλατεία ή ένα ανοιχτό πάρκινγκ, καθώς ελαχιστοποιούνται οι παρεμβολές, ενώ μικρές τιμές σε αστικές χαράδρες που οι παρεμβολές είναι μέγιστες[9].

- 4) **Ανθρωπογενής θερμότητα:** Η θερμότητα που παράγεται εξ αιτίας των τοπικών ανθρώπινων δραστηριοτήτων έχει καθοριστική επίδραση στο μικρόκλιμα των πόλεων και επιδεινώνει το φαινόμενο της ΑΘΝ. Ανθρωπογενείς πηγές θερμότητας αποτελούν όλα τα καυσαέρια που απελευθερώνονται στον εξωτερικό αέρα. Αυτά μπορεί να προέρχονται είτε από τις καμινάδες των κτηρίων, εξ αιτίας αναγκών θέρμανσης-κλιματισμού και χρήσης ηλεκτρικών συσκευών, είτε από τα εργοστάσια, είτε από τα μεταφορικά μέσα με μηχανές εσωτερικής καύσης[10].

Δεν πρέπει όμως να αμελήσουμε την θερμότητα που εκλύεται από τα ίδια τα ανθρώπινα σώματα λόγω του μεταβολισμού τους, καθώς μία αστική περιοχή περιλαμβάνει συνήθως εκατοντάδες χιλιάδες ανθρώπους τουλάχιστον. Προφανώς βέβαια και όλοι οι παραπάνω παράγοντες ποικίλουν ανάλογα με το μέγεθος και την δραστηριότητα της εκάστοτε πόλης.

Η ανθρωπογενής θερμότητα κατά κύριο λόγο θερμαίνει το περιβάλλον άμεσα και στιγμιαία αφού εκλύεται απευθείας στον εξωτερικό αέρα. Το υπόλοιπο ποσοστό της θερμαίνει τα δομικά υλικά και συνεπώς έχει έμμεση δράση στην αύξηση της θερμοκρασίας. Μελέτες όμως έχουν δείξει ότι οι επιδράσεις αυτού του παράγοντα δημιουργίας ΑΘΝ παρατηρούνται πιο έντονες την χειμερινή περίοδο.

- 5) **Ατμοσφαιρική ρύπανση:** Τα καυσαέρια που παράγονται από όλες τις καύσεις στις πόλεις συμβάλλουν στην ρύπανση του ατμοσφαιρικού αέρα. Ο μολυσμένος αυτός αέρας προκαλεί αύξηση της απορροφητικότητας της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Επιπροσθέτως η ρύπανση του αέρα συνεπάγεται υψηλή συγκέντρωση ανεπιθύμητων σωματιδίων στην μάζα του, τα οποία έχουν μεγάλη απορροφητικότητα και εκπνευσιμότητα, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η θερμοκρασία του αέρα.

- 6) **Μετεωρολογικές παράμετροι:** Το μικροκλίμα των αστικών περιοχών είναι βασική παράμετρος για την ανάπτυξη της ΑΘΝ. Χαρακτηριστικά όπως η ταχύτητα του ανέμου, η ηλιακή ακτινοβολία, η νέφωση και η κυκλοφορία



του αέρα επηρεάζουν δραστικά την κατανομή της θερμοκρασίας στον αστικό ιστό. Συγκεκριμένα η παρουσία νηνεμίας ελαχιστοποιεί την συναγωγή θερμότητας και συνεπώς αποδυναμώνεται ο παθητικός δροσισμός των πόλεων. Η συννεφιά λειτουργεί ως φράγμα στην διέλευση ακτινοβολίας στην γη, οπότε οι επιφάνειες φορτίζονται λιγότερο θερμικά. Τέλος η κυκλωνική κυκλοφορία του αέρα ενισχύει και αυτή την συναγωγή θερμότητας. Συνεπώς η ύπαρξη αντικυκλωνικής κυκλοφορίας αέρα σε συνδυασμό με ασθενείς ανέμους και καθαρό ανέφελο ουρανό οδηγεί σε μεγιστοποίηση της ΑΘΝ[9].

Εκτός από τους μετεωρολογικούς παράγοντες που αναφέρθηκαν, σημαντικό ρόλο παίζει και η γεωγραφική θέση της αστικής περιοχής, καθώς τους επηρεάζει άμεσα. Το κλίμα και η τοπογραφία διαφέρει ανάλογα την γεωγραφική θέση. Για παράδειγμα σε περιοχές με βουνά τριγύρω εμποδίζεται η ελεύθερη ροή του αέρα ενώ σε παραθαλάσσια μέρη παρατηρείται αυξημένη υγρασία. Επίσης τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, που σε ορισμένες γεωγραφικές θέσεις είναι συχνότερα, συμβάλλουν στην άμεση μείωση της θερμοκρασίας των αστικών περιοχών.

### 1.4 Επιπτώσεις ΑΘΝ

Οι επιπτώσεις που έχει το φαινόμενο της ΑΘΝ είναι ποικίλες και επηρεάζουν σημαντικά την ζωή των ανθρώπων στις πόλεις. Το φαινόμενο αυτό είναι υπεύθυνο για τα ενδεχόμενα προβλήματα υγείας, που θα παρουσιάσουν οι κάτοικοι που ζουν υπό αυτές τις συνθήκες, καθώς και για την υποβάθμιση της ποιότητας ζωής τους, αφού το μικροκλίμα θα είναι υποβαθμισμένο. Σοβαρή επίδραση όμως έχει και στο περιβάλλον αφού η κατανάλωση ενέργειας κάθε κτηρίου αυξάνεται για να καλύψει τις ανάγκες κλιματισμού(η ΑΘΝ μας ενδιαφέρει το καλοκαίρι κυρίως) λόγω των αυξημένων θερμοκρασιών και συνεπώς οδηγεί σε περαιτέρω ρύπανση του αέρα εξ αιτίας των παραγόμενων καυσαερίων. Αύξηση των ενεργειακών απαιτήσεων βέβαια συνεπάγεται με επιπρόσθετη οικονομική επιβάρυνση των λογαριασμών των νοικοκυριών[11].

Παρόλα αυτά υπάρχει περίπτωση να έχει θετικές επιδράσεις, όπως για παράδειγμα στις πόλεις που βρίσκονται σε μεγάλο γεωγραφικό πλάτος και υψόμετρο. Εκεί θεωρείται ευεργετική η αύξηση της θερμοκρασίας καθώς υποφέρουν από παγετό ειδικά τον χειμώνα. Το μεγαλύτερο ποσοστό όμως των αστικών περιοχών, ιδιαίτερα σε θερμά-μεσογειακά κλίματα, αντιμετωπίζει μεγάλο πρόβλημα με το φαινόμενο της ΑΘΝ και είναι πολύ σημαντικό αφού το 75% περίπου της ανθρωπότητας ζει σε αυτές[8].

Αναλυτικότερα κάθε αρνητική επίδραση της ΑΘΝ μπορεί να είναι μία από τις εξής:

- 1) **Υπερκατανάλωση ενέργειας:** Μία από τις σημαντικότερες επιπτώσεις της ΑΘΝ είναι η αυξημένη κατανάλωση ενέργειας, ιδιαίτερα τις ώρες αιχμής και τα καλοκαιρινά απογεύματα, για την κάλυψη των αναγκών κλιματισμού και των λοιπών ηλεκτρικών συσκευών, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών. Σε ώρες αιχμής μάλιστα προκύπτει μεγάλο πρόβλημα, καθώς επιβαρύνεται το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας για να καλυφθεί η προκειμένη ζήτηση, πράγμα που μπορεί να επιφέρει πτώσεις τάσης ή ακόμα και διακοπές ρεύματος.

Έρευνες έχουν δείξει ότι η αύξηση στις ενεργειακές απαιτήσεις των πόλεων είναι της τάξεως του 5-10% για τον κατάλληλο δροσισμό τους. Πιο συγκεκριμένα στις περιόδους αιχμής προκύπτει αύξηση της ζήτησης σε ηλεκτρικό ρεύμα κατά 1,5-2% για κάθε άνοδο της θερμοκρασίας κατά 0.6°C[12].

- 2) **Ατμοσφαιρικοί ρύποι και αέρια θερμοκηπίου:** Αποτέλεσμα της υπερκατανάλωσης ενέργειας είναι η παραγωγή καυσαερίων, ως παραπροϊόντα της καύσης προκειμένου να καλυφθούν οι ενεργειακές ανάγκες. Αυτές οι καύσεις είναι επί το πλείστον ορυκτών καυσίμων, όπως για παράδειγμα ο λιγνίτης, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Η πλειοψηφία των καυσαερίων ατμοσφαιρικών ρύπων παράγονται από τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τα

οποία δουλεύουν σε τρελούς ρυθμούς για να ικανοποιήσουν την αυξημένη ζήτηση.

Οι εκλυόμενοι ρύποι και αέρια του θερμοκηπίου αποτελούνται από διοξείδιο του θείου(SO<sub>2</sub>), οξείδια αζώτου(NO<sub>x</sub>), αιωρούμενα σωματίδια(PM), μονοξείδιο του άνθρακα(CO) και υδράργυρο(Hg). Τέτοιου είδους αέρια είναι όχι μόνο άκρως επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία αλλά και προκαλούν επιβλαβή περιβαλλοντικά φαινόμενα όπως την όξινη βροχή. Τέλος συμβάλλουν στον σχηματισμό τροποσφαιρικού όζοντος, λόγω των αυξημένων θερμοκρασιών αέρα.

### 3) Ανθρώπινη υγεία, άνεση καθώς και η ποιότητα ζωής μέσα στον

αστικό ιστό: Η άνεση και η ανθρώπινη υγεία είναι άμεσα συνυφασμένα με το μικροκλίμα και τις γενικότερες συνθήκες της περιοχής διαβίωσης. Η ατμοσφαιρική ρύπανση, όπως αναφέραμε προηγουμένως, οδηγεί σε μολυσμένο αέρα, ακατάλληλο για το αναπνευστικό σύστημα των ανθρώπων. Επίσης οι μεγάλες θερμοκρασίες επιφέρουν θερμοπληξίες και εν δυνάμει θάνατο. Γενικότερα όμως και να μην υπάρξει πιθανότητα θανάτου ή σοβαρής κατάστασης υγείας, επηρεάζεται σημαντικά η θερμική άνεση των ατόμων στις πόλεις. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η εμφάνιση πρόωρης κόπωσης και η γενική δυσφορία, τα οποία επιδρούν αρνητικά στην ψυχολογία των κατοίκων. Προφανώς και μεγαλύτερο κίνδυνο διατρέχουν βέβαια ευπαθή άτομα, όπως μικρά παιδιά και ηλικιωμένοι με υποκείμενα νοσήματα.

Έχει αποδειχθεί ότι οι ευνοϊκότερες μετεωρολογικές συνθήκες για τον άνθρωπο είναι οι εξής: θερμοκρασία αέρα μεταξύ 18-22°C, σχετική υγρασία μεταξύ 30-60% και ταχύτητα ανέμου μέχρι 2m/s. Έχοντας αυτές τις συνθήκες ως πρότυπο χρησιμοποιούμε βιοκλιματικούς δείκτες με κατάλληλη επιλογή κλιματικών παραμέτρων, ώστε να μπορούμε να εκφράσουμε την σχετική δυσaréσκεια των ατόμων ως προς την θερμική άνεση. Ο πιο απλός χρησιμοποιούμενος δείκτης είναι ο δείκτης δυσφορίας του Thom, αλλά υπάρχουν και πιο σύνθετοι που λαμβάνουν υπόψη το ενεργειακό ισοζύγιο του ανθρώπινου οργανισμού, όπως η φυσιολογικά ισοδύναμη θερμοκρασία.

### 4) Ποιότητα νερού: Το φαινόμενο της ΑΘΝ, εκτός από την ατμοσφαιρική ρύπανση που δημιουργεί λόγω της υπερκατανάλωσης ενέργειας, δημιουργεί και θερμική ρύπανση εξ αιτίας των ακραίων θερμοκρασιών. Συγκεκριμένα η ΑΘΝ επιφανείας είναι υπεύθυνη για θερμική ρύπανση των όμβριων υδάτων, καθώς αυτά λιμνάζουν στις στέγες και στους δρόμους πριν να φτάσουν τελικά στην αποχέτευση, με αποτέλεσμα να πραγματοποιείται μεταφορά θερμότητας μεταξύ της υδάτινης μάζας και των θερμών επιφανειών[13].

Το ζεστό όμως πλέον νερό που αποχετεύεται στους υπονόμους συνήθως καταλήγει σε τοπικά ποτάμια και λίμνες. Το γεγονός αυτό

επηρεάζει αρνητικά τα υδρόβια οικοσυστήματα καθώς μεγάλες μεταβολές στην θερμοκρασία αποδιοργανώνουν εντελώς τους ρυθμούς ζωής των ζωντανών οργανισμών εκεί και μπορούν να αποφέρουν ακόμα και θάνατο. Σημαντικότερες επιδράσεις της αύξησης θερμοκρασίας παρατηρούνται κυρίως στον μεταβολισμό και στην αναπαραγωγή της τοπικής πανίδας και χλωρίδας.

### 1.5 Τρόποι αντιμετώπισης της Αστικής Θερμικής Νησίδας

Το φαινόμενο της ΑΘΝ όπως είδαμε παίζει σημαντικό ρόλο στην ζωή των ανθρώπων στις αστικές περιοχές, καθώς είναι υπεύθυνη για την υποβάθμιση όχι μόνο της υγείας και της ποιότητας ζωής αλλά και της οικονομίας. Για αυτό τον λόγο πρέπει να συνεισφέρουμε στην μείωση της έντασης του. Ουσιαστικά για να καταπολεμήσουμε την ΑΘΝ, θα πρέπει να καταστείλουμε τους παράγοντες δημιουργίας της, προτείνοντας αντίμετρα. Οι κυριότεροι τρόποι αντιμετώπισης είναι οι εξής:

- 1) **Χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας:** Όπως έχουμε αναλύσει παραπάνω το φαινόμενο της ΑΘΝ επιφέρει αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και συνεπώς και των παραγόμενων καυσαερίων. Αυτό συνεπάγεται με αύξηση του κόστους και επιβάρυνση της υγείας των κατοίκων. Οι ΑΠΕ όμως δίνουν λύση και για τους δύο αυτούς τομείς. Πηγές ενέργειας όπως η ηλιακή, η υδραυλική, η αιολική κ.α. μπορούν να καλύψουν ένα σημαντικό ποσοστό της συνολικής ενεργειακής ζήτησης σε μόνιμη βάση, χωρίς να εξαντλούνται ορυκτοί πόροι, μειώνοντας συμπληρωματικά το κόστος. Μεγάλο πλεονέκτημα επίσης παρουσιάζουν στο γεγονός ότι παράγουν μηδενικούς ρύπους και συνεπώς βελτιώνουν την ποιότητα του αέρα, αποφορτίζοντας το αναπνευστικό σύστημα των ανθρώπων.
- 2) **Χρήση ψυχρών υλικών:** Το πρόβλημα της χαμηλής εκπεμπτικότητας των δομικών υλικών των πόλεων μπορεί να λυθεί χρησιμοποιώντας, αντί για τις συνηθισμένες, ψυχρές βαφές. Τέτοιες βαφές παρουσιάζουν υψηλή λευκάγεια και μεγάλες τιμές εκπεμπτικότητας, με αποτέλεσμα να απορροφάται λιγότερη ηλιακή ακτινοβολία και να εκπέμπεται το μεγαλύτερο μέρος από αυτή που τελικά απορροφάται. Έτσι οι επιφάνειες των δομικών υλικών παραμένουν δροσερές και δεν συμβάλλουν στην αύξηση της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα και συνεπώς αποδυναμώνουν την ένταση της ΑΘΝ.
- 3) **Μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης:** Η ρύπανση του αέρα προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας του, οπότε είναι απαραίτητος ο περιορισμός της. Ελάττωση των ρύπων μπορεί να επιτευχθεί κυρίως μέσω ορθολογικής χρήσης. Δηλαδή οι κάτοικοι πρέπει να περιορίσουν την χρήση των αυτοκινήτων, να κλείνουν τον φωτισμό όταν δεν είναι απαραίτητος καθώς και να ντύνονται κατάλληλα για να περιορίσουν τις

καταναλώσεις θέρμανσης και κλιματισμού. Άλλος τρόπος καταπολέμησης της ρύπανσης αποτελεί η αντικατάσταση παλαιών τεχνολογιών με καινούργιες που έχουν πολύ καλύτερη κατανάλωση και παράγουν λιγότερους ρύπους.

- 4) **Αύξηση του πράσινου:** Η παράβλεψη της αξίας της βλάστησης στις αστικές περιοχές είναι από τις κύριους λόγους που η ΑΘΝ έχει αυτή την ένταση στις μέρες μας. Τα φυτά παρουσιάζουν εξαιρετική πηγή παθητικού δροσισμού εκτός από την αντιπλημμυρική δράση τους, καθώς μέρος του νερού που απορροφούν το αποβάλλουν μετά μέσω της εξατμισοδιαπνοής. Με αυτόν τον τρόπο δροσίζουν τον εξωτερικό αέρα, αφού εισέρχονται σε αυτόν υδρατμοί με αισθητά μικρότερη θερμοκρασία. Σημαντική επίσης ιδιότητα των φυτών είναι ότι λειτουργούν σαν φίλτρο αέρα, με αποτέλεσμα να τον καθαρίζουν από ρυπογόνους παράγοντες. Η ατμοσφαιρική ρύπανση όμως αυξάνει την θερμοκρασία και έτσι η βλάστηση δροσίζει περαιτέρω τον αστικό ιστό.

Συνεπώς κρίνεται αναγκαία η δημιουργία καινούργιων πάρκων, η φύτευση δέντρων στα πεζοδρόμια και προφανώς η κατασκευή πράσινων στεγών που είναι και το θέμα μας. Το φυτεμένο δώμα παρέχει συνολικά τεράστια επιφάνεια φυτικής επικάλυψης στις οροφές των κτηρίων, οι οποίες είναι έτσι και αλλιώς αναξιοποίητες επί το πλείστον. Επιπροσθέτως έχει το πλεονέκτημα, σε σχέση με τις υπόλοιπες περιπτώσεις ανάπλασης του πράσινου, ότι δεν απαιτεί την παρέμβαση του κρατικού μηχανισμού για την κατασκευή του, αλλά την πρωτοβουλία κυρίως του κάθε ιδιώτη κάτοχου των κτηρίων. Κάτι τέτοιο επιταχύνει την διαδικασία κατασκευής πράσινων στεγών καθώς δεν υπάρχουν μεσάζοντες και γλιτώνεται σημαντική σπατάλη χρόνου στα διαδικαστικά με το κράτος.

- 5) **Ενεργειακός σχεδιασμός κτηρίων:** Από τις πιο αποτελεσματικές μεθόδους καταπολέμησης της ΑΘΝ είναι ο ενεργειακός σχεδιασμός κτηρίων, καθώς κάθε κτήριο μέσω αυτού μπορεί να μειώσει δραστικά τις καταναλώσεις του. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο, πρέπει να βελτιώσουμε όλες τις πτυχές του κτηρίου, ώστε αυτό να καταναλώνει την ελάχιστη δυνατή ενέργεια.

Κύρια επέμβαση αποτελεί η δημιουργία παθητικού ηλιακού συστήματος. Η κατασκευή ηλιακού θερμοσίφωνα και κατάλληλων σκίαστρων είναι απαραίτητη για να εκμεταλλευόμαστε μόνο τα ωφέλημα ηλιακά κέρδη. Επίσης σημαντική είναι η διαμόρφωση των δομικών υλικών και των ανοιγμάτων, ώστε να έχουν κατάλληλη θερμομόνωση και συνεπώς να ελαχιστοποιούνται οι θερμικές απώλειες. Βασική προϋπόθεση βέβαια αποτελεί η ορθή τοποθέτηση του κτηρίου στον αστικό ιστό, ώστε να αξιοποιείται όσο το δυνατόν ο φυσικός φωτισμός και αερισμός. Τέλος η αντικατάσταση των υπάρχοντων συστημάτων κλιματισμού και θέρμανσης με αποδοτικότερα και φιλικότερα προς το περιβάλλον θα βελτιώσουν τις καταναλώσεις και θα περιορίσουν το περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

## **2. Πράσινες οροφές**

### **2.1 Ορισμός**

Πράσινη οροφή ονομάζουμε την στέγη ενός κτηρίου, η οποία είναι είτε εντελώς είτε μερικώς καλυμμένη από φυτικό υπόστρωμα. Δεν πρέπει λοιπόν η έννοια να συγχέεται με κυριολεκτικά βαμμένες πράσινες ταράτσες, αλλά αποδίδεται τέτοιο όνομα για να τονιστεί η τάση αειφορίας, δηλαδή η ενσωμάτωση της φύσης στον τεχνητό κόσμο των ανθρώπων (nature-based solutions to achieve urban sustainability). Γενικότερα όμως ο όρος χρησιμοποιείται και σε περιπτώσεις οροφών που δεν διαθέτουν βλάστηση αλλά κάποιου είδους «πράσινη τεχνολογία» όπως τα φωτοβολταϊκά και οι ηλιακοί θερμικοί συλλέκτες για ανάγκες ζεστού νερού χρήσης. Οι πράσινες οροφές αναφέρονται και με πληθώρα άλλων όρων. Πιο γνωστές ονομασίες αποτελούν οι πράσινες στέγες, τα φυτεμένα δώματα, οι οροφώκηποι και οι οικολογικές στέγες. Τα φυτεμένα δώματα έτσι αποτελούν μια από τις κορυφαίες λύσεις για την προστασία του περιβάλλοντος καθώς και την αναβάθμιση του βιοτικού επιπέδου των ανθρώπων.

### **2.2 Ιστορική αναδρομή**



Εικόνα 2: Κρεμαστοί κήποι της Βαβυλώνας[2]

Μπορεί το φυτεμένο δώμα σήμερα να φαίνεται κάτι το πρωτόγνωρο και σύγχρονο, αλλά οι ρίζες της φιλοσοφίας του φτάνουν μακριά πίσω στον χρόνο. Συγκεκριμένα στην αρχαία Μεσοποταμία, την περίοδο βασιλείας του βασιλιά Ναβουχοδονόσορ Β' (605-562 π.Χ.) κατασκευάστηκαν οι φημισμένοι κρεμαστοί κήποι της Βαβυλώνας, ένα από τα επτά θαύματα του αρχαίου κόσμου, και αποτελούν την πρώτη ουσιαστικά «επίσημη» εφαρμογή της πράσινης οροφής στην ιστορία. Ο λόγος πίσω από την δημιουργία των κήπων-φυτεμένων δωματίων φημολογείται ότι ήταν για την αντιμετώπιση της ετήσιας πλημμύρας των ποταμών Τίγρη και Ευφράτη, που μάζιζε τους κατοίκους της περιοχής. Οι ντόπιοι είχαν αντιληφθεί από τότε την αντιπλημμυρική δράση των φυτών και τα χρησιμοποιούσαν προς όφελος τους.

Ιδεολογικό πρόγονο βέβαια των κρεμαστών κήπων αποτελούν τα ζιγκουράτ, τα οποία ήταν οι θρησκευτικοί ναοί των Μεσοποταμίων και περιείχαν συνήθως φυτικές επικαλύψεις στις ελεύθερες οριζόντιες επιφάνειες της δομής τους. Παρουσιάζονται ως ογκώδεις κατασκευές που κάλυπταν έκταση περίπου 250 στρεμμάτων και είχαν την μορφή βαθμιδωτής πυραμίδας, με την κάθε βαθμίδα να είναι διαστάσεων 5mX3,5m (ύψος επί πλάτος), και το συνολικό ύψος ανέρχεται σε τουλάχιστον 20m. Κενά σημεία σε εκάστη βαθμίδα αξιοποιούνταν συνήθως με την φύτευση δέντρων και θάμνων. Για την στεγανότητα όμως των επιφανειών των δομικών υλικών που εφάπτονται με τους κήπους, κάτω από την στρώση χώματος τοποθετούνταν καλάμια καλυμμένα με φυσική ασφαλτο, κεραμίδια και φύλλα μολύβδου. Οι ανάγκες ποτισμού παρέχονταν από νερό του ποταμού Ευφράτη μέσω αντλιών της εποχής που το μετέφεραν σε δεξαμενές στην κορυφή της κατασκευής.

Από την εποχή αυτή μέχρι την Αναγέννηση, ελάχιστες ήταν οι εφαρμογές

των πράσινων οροφών και αφορούσαν κυρίως επαύλεις πλουσίων. Πιο αξιοσημείωτες αναφορές παρατηρούνται στην βυζαντινή περίοδο και μάλιστα επί Ιουστινιανού(527-565μ.Χ), όπου τα βασιλικά ανάκτορα περιείχαν εξώστες με φυτά. Στην Αναγέννηση όμως τα φυτεμένα δώματα επανήλθαν δυναμικά, καθώς παρουσιάστηκε αυξημένο ενδιαφέρον λόγω της φιλοσοφίας και των τεχνών της εποχής. Πιο συγκεκριμένα κοντά στην Φλωρεντία της Ιταλίας το 1400μ.Χ., ο Cosimo de Medici δημιούργησε έναν τεράστιο βοτανικό κήπο ποικίλλων ειδών φυτών στην οροφή της βίλας του.

Από την Ιταλία η μόδα των οροφώκηπων ταξίδεψε μετά βόρεια, στην σημερινή Γερμανία, όπου ο Καρδινάλιος Johann van Lamberg (1689-1712) με την καλλιτεχνική του φύση κατασκεύασε κομψούς κήπους στην ταράτσα της κατοικίας του στο Πασώ. Η περίτεχνη αυτή πράσινη στέγη αποτελούταν από τρεις εξωτερικούς τοίχους, διακοσμημένους με πίνακες, οι οποίοι σε συνδυασμό με τα φυτά δημιουργούσαν πιο ψευδαίσθηση διευρυμένου ορίζοντα, ενώ η τέταρτη πλευρά δεν είχε τοίχο για να φαίνεται το γύρω τοπίο.

Παρόλο που στην Αναγέννηση άναψε ξανά η σπίθα για κατασκευή πράσινων στεγών, μέχρι τον 19<sup>ο</sup> αιώνα οι αλλαγές που προέκυψαν μέσα σε αυτό το χρονικό διάστημα ήταν ελάχιστες και γενικότερα η τεχνολογία τους κινούνταν με βραδείς ρυθμούς. Την πρωτοτυπία πάλι στον χώρο την έφερε ο Γερμανός Carl Rabitz (1825-1891), ο οποίος ήταν εργολάβος και κατασκευαστής. Στην Παγκόσμια Έκθεση του 1867 στο Παρίσι παρουσίασε για πρώτη φορά φυτεμένο δώμα στο σπίτι του στο Βερολίνο της Γερμανίας, όπου εκεί το κλίμα δεν ήταν εύκρατο όπως στις προϋπάρχουσες περιπτώσεις πράσινων οροφών, αλλά χαρακτηριζόταν από βαρύ χειμώνα με υψηλές βροχοπτώσεις. Η συνεισφορά του Rabitz είναι τεράστια καθώς έδειξε ότι υπάρχει δυνατότητα κατασκευής πράσινων στεγών και σε άλλα κλίματα. Επίσης το φυτεμένο δώμα του χαρακτηριζόταν από υψηλή στεγανότητα, χάρη στην προσθήκη στρώσης βουλκανισμένης ασφάλτου, υλικό δικής του ανακάλυψης[14].

Ενώ στην Ευρώπη οι κατασκευές πράσινων οροφών συνεχίζονται δυναμικά και μάλιστα κυρίως για λόγους πυροπροστασίας, στην Αμερική κάνουν την πρώτη τους εμφάνιση το 1930 στο Rockefeller Center. Η Γερμανία όμως παραμένει το επίκεντρο της τεχνογνωσίας του αντικειμένου και από το 1960 και μετά γίνεται πλέον τοπική μόδα και αρχίζει σιγά σιγά να εξαπλώνεται σε πολλές χώρες.

Αυτό επιβεβαιώνεται με την ίδρυση της FLL το 1975 στην Γερμανία, η οποία αποτέλεσε την πρώτη εταιρεία που ασχολείται αποκλειστικά με τις πράσινες στέγες. Σε συνεργασία με διάφορα τοπικά πανεπιστήμια έκανε έρευνες σχετικά με τον ενεργειακό σχεδιασμό κτηρίων και την ενσωμάτωση φυτεμένων δωματίων για τον σκοπό αυτό. Συγκεκριμένα προτεραιότητα είχε για την εταιρεία η βελτιστοποίηση των ενεργειακών καταναλώσεων, η προτροπή προς περιβαλλοντισμό στις πόλεις, η αποθήκευση των όμβριων υδάτων για καταπολέμηση των πλημμύρων, ακόμα και η ορθή αρχιτεκτονική σχεδίαση των οροφώκηπων.

Σήμερα οι πράσινες οροφές είναι σε διαδεδομένες σε όλον τον εξελιγμένο κόσμο με κύριο εκπρόσωπο την Ευρώπη και μετά την Αμερική. Στην Γερμανία πλέον το 10% των στεγών έχουν πρασινίσει. Δυστυχώς στην χώρα μας όμως τα πράγματα βρίσκονται σε πρωτογενές στάδιο και έχουν μείνει πληθώρα ταρατσών ανεκμετάλλευτες, εντείνοντας το φαινόμενο της ΑΘΝ[15].





### 2.3 Τύποι πράσινων οροφών

Οι πράσινες οροφές καλύπτουν πολλές διαφορετικές χρήσεις και έτσι καθίσταται ανάγκη διαχωρισμού τους. Κατατάσσονται με βάση κυρίως το πάχος του υποστρώματος και συναντάμε τρία είδη: την εκτατική, την ημιεντατική και την εντατική. Συνήθως όμως προτιμούνται οι εκτατικές και οι ημιεντατικές περιπτώσεις, καθώς παρέχουν τα κλασσικά οφέλη των φυτεμένων δωμάτων, ενώ ταυτόχρονα δεν έχουν σημαντικές ανάγκες ποτισμού και γενικότερα απαιτούν ελάχιστη συντήρηση[16].

#### Εκτατική (Extensive green roof)

Η εκτατική κατάσταση φυτεμένου δώματος αποτελεί την πλειοψηφία σαν επιλογή μεταξύ των τριών. Το πάχος του στρώματος εδάφους κυμαίνεται από 4-15cm και το βάρος των φυτών που μπορεί να αντέξει είναι από 49 -150 kg/m<sup>2</sup>(μικρό φορτίο) . Γενικότερα όσο μεγαλύτερος είναι ο όγκος του χώματος τόσο βαρύτερα φυτά μπορούν να αναπτυχθούν, καθώς μεγαλύτερου μεγέθους φυτικά είδη έχουν βαθύτερες ρίζες και συνεπώς απαιτούν αρκετό βάθος χώματος.

Η χλωρίδα που ενδείκνυται για το συγκεκριμένο είδος πράσινης στέγης αποτελείται από βρύα, λειχήνες και γενικά ξηροφυτικά ποώδη είδη εδαφοκάλυψης. Τέτοια φυτά είναι ελάχιστου ύψους με υψηλή αντοχή σε ακραίες καιρικές συνθήκες. Πιο συνηθισμένη φυτική επικάλυψη αποτελεί ο χλοοτάπητας ή κοινώς το γνωστό σε όλους γρασίδι. Σε αυτό το οικοσύστημα δεν είναι απίθανο να παρατηρείται και στοιχειώδη πανίδα, όπως σκαθάρια και αράχνες.

Κύρια πλεονεκτήματα της εκτατικής πράσινης οροφής είναι το χαμηλό κόστος κατασκευής καθώς και η ελάχιστη συντήρηση που προϋποθέτει. Τα φυτά που περιέχει είναι εύκολα φυτεύσιμα και δεν χρειάζονται ποτισμό, γεγονός που προκαλεί μεγάλη διευκόλυνση. Μόνο μια τυπική επιτήρηση λίγες φορές τον χρόνο είναι αρκετή.

Το μόνο μειονέκτημα που παρουσιάζει η περίπτωση αυτή είναι η αδυναμία πρόσβασης, καθώς το σύστημα είναι αυτοσυντήρητο και δεν έχει λειτουργία κήπου αλλά είναι κυρίως για οικολογική χρήση.



Εικόνα 3: Εκτατικού τύπου φυτεμένο δώμα[3]

### Ημιεντατική (Semi-intensive green roof)

Η ημιεντατική πράσινη οροφή έχει μεγαλύτερο πάχος υποστρώματος, αφού φιλοξενεί και μεγαλύτερου μεγέθους φυτά. Το βάθος του χώματος σε αυτή την περίπτωση κυμαίνεται στα 12-25cm και το κορεσμένο βάρος των φυτών που περιέχει ανέρχεται στα 120-200kg/m<sup>2</sup>(μέτριο φορτίο).

Τα φυτά που προτείνονται για αυτή την περίπτωση είναι τα ίδια με την προηγούμενη με την προσθήκη θάμνων. Δηλαδή «επιτρέπονται» και φυτά μεγαλύτερου ύψους, εκτός από αυτά που βρίσκονται στην εκτατική περίπτωση, και συνεπώς για αυτό απαιτείται και μεγαλύτερο πάχος υποστρώματος. Μικροοργανισμοί του εδάφους αρχίζουν να εμφανίζονται σε αυτή την περίπτωση πράσινης στέγης, καθώς το χώμα πλέον έχει κατάλληλο βάθος για να ευδοκιμήσουν.

Το κόστος αυτή την φορά είναι μεγαλύτερο, καθώς εκτός από το επιπλέον κατασκευαστικό κόστος(περισσότερο χώμα, ακριβότερα φυτά), η συντήρηση δεν είναι πλέον αμελητέα. Απαιτείται περιοδική άρδευση και η προσβασιμότητα είναι πιθανή σε σχέση με την εκτατική κατάσταση. Η χρήση της ημιεντατικής πράσινης οροφής είναι παρόμοια με την εκτατική, δηλαδή χρησιμοποιείται για περιβαλλοντικούς και ενεργειακούς λόγους.



Εικόνα 4: Ημιεντατικού τύπου φυτεμένο δώμα[4]

### Εντατική (Intensive green roof)

Στην εντατική πράσινη οροφή τα πράγματα παίρνουν άλλες διαστάσεις, καθώς πλέον δεν έχουμε μια απλή φυτική επικάλυψη σε μία στέγη, αλλά μιλάμε για κανονικό κήπο ή ακόμα και πάρκο, οπότε αποτελεί χώρο προσβάσιμο σε κόσμο. Εδώ το πάχος του υποστρώματος δεν έχει συγκεκριμένο άνω όριο και συνεπώς εξαρτάται από την επιλογή του κατασκευαστή, έχοντας υπόψη βέβαια τις στατικές αντοχές του κτηρίου, ενώ το κάτω όριο του είναι στα 15cm. Αντίστοιχα το ίδιο ισχύει και για το βάρος των φυτών, αλλά συνήθως το περιορίζουμε ώστε να κυμαίνεται στα 180-2000 kg/m<sup>2</sup>(υψηλό φορτίο).

Η χλωρίδα σε αυτή την περίπτωση ακολουθεί το ίδιο μοτίβο, δηλαδή περιέχει ότι και η προηγούμενη κατηγορία(ημιεντατική στην προκειμένη) με την προσθήκη αυτή την φορά δέντρων(μικρών και μεγάλων). Με την «αναβάθμιση» της χλωρίδας, αναμενόμενη είναι και η εμφάνιση μεγαλύτερων ειδών πανίδας όπως διάφορα είδη πτηνών.

Το κόστος είναι με διαφορά το μεγαλύτερο και από τις τρεις καταστάσεις, καθώς τα δέντρα είναι πολύ πιο ακριβά από τα μικρά φυτά που έχουν οι άλλες περιπτώσεις, ο όγκος του χώματος είναι πολλαπλάσιος και η συντήρηση είναι εντατική. Κύριο μέρος της συντήρησης αποτελεί το συχνό πότισμα που απαιτείται, το οποίο συνήθως γίνεται αυτόματα με κατάλληλα συστήματα άρδευσης.

Αυτό το είδος πράσινης στέγης έχει το πλεονέκτημα πολλαπλών χρήσεων, καθώς προσφέρει και τα περιβαλλοντολογικά-ενεργειακά οφέλη και ένα μέσο ανθρώπινης αξιοποίησης, τόσο ψυχαγωγικά όσο και κηπευτικά. Βέβαια το αυξημένο κόστος του και η ανάγκη μεγάλων εκτάσεων για την κατασκευή του, το καθιστούν ανώφελο στις περισσότερες περιπτώσεις και για αυτό χρησιμοποιείται λιγότερο συχνά[17].



Εικόνα Α5: Εντατικού τύπου φυτεμένο δώμα(Ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος, Αθήνα)[5]

## 2.4 Προδιαγραφές φυτεμένων δωμάτων

Οι πράσινες οροφές προκειμένου να είναι αποτελεσματικές, χρειάζονται να πληρούν ορισμένα κριτήρια για κάθε περίπτωση. Τέτοια κριτήρια αφορούν την μελέτη της στατικής αντοχής του κτηρίου δεδομένου ύπαρξης πράσινης στέγης, την κλίση του δώματος και την επιλογή φυτικού υλικού.

Ο έλεγχος της στατικής αντοχής του κτηρίου λόγω πρόσθετου βάρους κατά την κατασκευή πράσινης στέγης είναι απαραίτητος. Πρέπει έτσι να ληφθεί υπόψη το βάρος των φυτών και του υποστρώματος του φυτεμένου δώματος, ώστε αυτό το περαιτέρω φορτίο να μην ξεπερνάει το όριο αντοχής της οροφής και οδηγήσει τελικά σε αστοχία. Εκτός βέβαια από τα βασικά υλικά της κατασκευής, στον υπολογισμό μπαίνουν και διάφορες αλλαγές στην δομή του κτηρίου που μπορεί να προκύψουν, όπως και επιπλέον βοηθητικά συστήματα.

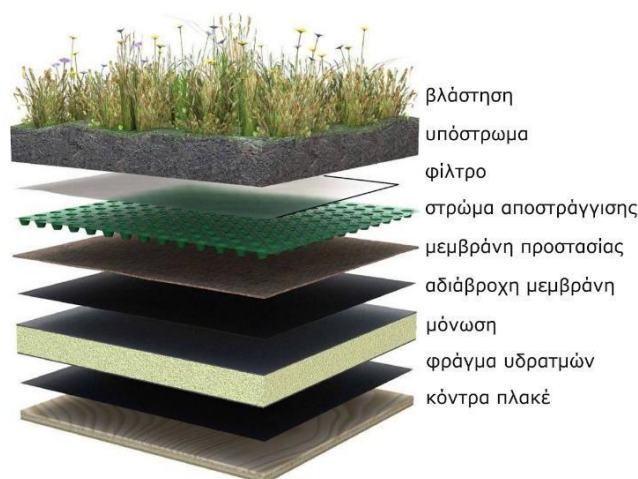
Συνήθως οι πράσινες στέγες δεν είναι επίπεδες, αλλά κρίνεται απαραίτητο να υπάρχει μια μικρή κλίση με το οριζόντιο επίπεδο. Αυτό ωφελεί την αποστράγγιση των υδάτων, καθώς δημιουργεί φυσική ροή απομάκρυνσης αυτών. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, κλίση της τάξεως του 2% θεωρείται αρκετή. Λογικό είναι βέβαια ότι όταν το δώμα έχει κλίση, δεν χρειάζεται αποστραγγιστική στρώση υποστρώματος. Συνεπώς σε περίπτωση που η κλίση είναι λιγότερο από 2%, η αποστραγγιστική στρώση πρέπει να υπάρχει οπωσδήποτε[18].

Η επιλογή του φυτικού υλικού είναι πολύ σημαντική, καθώς ουσιαστικά σηματοδοτεί την διαφορά μεταξύ των τριών ειδών φυτεμένου δώματος. Δηλαδή ανάλογα με τα φυτά που θα φυτέψουμε θα καθορίσουμε τον τύπο πράσινης στέγης(επιφανειακά φυτά-εκτατική, θάμνοι-ημιεντατική, δέντρα-εντατική). Την χλωρίδα αυτή όμως δεν την διαλέγουμε αυθαίρετα, αλλά εξαρτάται άμεσα από το κλίμα της ευρύτερης περιοχής. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να θέλουμε έναν συγκεκριμένο τύπο πράσινης οροφής, αλλά το μικροκλίμα να μην είναι ιδιαίτερα ευνοϊκό για την περίπτωση αυτή και συνεπώς να χρειαστεί να αλλάξουμε απόφαση. Για αυτό τον λόγο είναι αναγκαίο να ζυγίσουμε όλους τους παράγοντες(αντίδραση σε έκθεση ηλιακής ακτινοβολίας, ισχυροί άνεμοι, ξηρασία και ακραίες θερμοκρασίες) και να διαλέξουμε την κατάλληλη περίπτωση, ώστε να έχουμε την καλύτερη δυνατή απόδοση με ελάχιστο κόστος συντήρησης[19].



## 2.5 Δομή φυτεμένου δώματος

Από την στιγμή που έχουν ικανοποιηθεί οι παραπάνω προδιαγραφές, είμαστε σε θέση να κατασκευάσουμε την πράσινη οροφή. Μια συνηθισμένη πράσινη στέγη αποτελείται από τα εξής στρώσεις, ξεκινώντας από κάτω προς τα πάνω:



Εικόνα 6: Στρώσεις ενός φυτεμένου δώματος[6]

### 1. Φράγμα υδρατμών(προαιρετικό)

Το φράγμα υδρατμών αποτελεί την πρώτη στρώση του φυτεμένου δώματος, καθώς πρέπει οπωσδήποτε να προφυλαχθεί η οροφή από την υγρασία που θα επιφέρει μια τέτοια κατασκευή. Τα υλικά που προτείνονται για την συγκεκριμένη στρώση είναι ασφαλικά φύλλα, φύλλα πολυαιθυλενίου, συνθετικό καουτσούκ και πολυισοβουτιλένιο. Η στρώση αυτή συνδυάζεται πάντα με μία θερμομονωτική για να μην συγχέεται με την στεγανωτική[20].

### 2. Θερμομονωτικό επίπεδο(προαιρετικό)

Με την κατασκευή πράσινης οροφής, εκτός από τα περιβαλλοντικά οφέλη μας ενδιαφέρουν και τα ενεργειακά, οπότε εκμεταλλευόμαστε το γεγονός για να παρέχουμε στο κτήριο καλή θερμομόνωση. Σαν θερμομονωτικά υλικά χρησιμοποιούνται κυρίως τα εξής: διογκωμένη πολυστερίνη, εξηλασμένη πολυστερίνη, αφρός πολυουρεθάνης, υαλοβάμβακας και πετροβάμβακας.

### 3. Στεγανωτική στρώση

Η στεγανωτική στρώση έχει την ίδια λειτουργία με το φράγμα υδρατμών, δηλαδή προστατεύει το κτήριο από τις διαρροές που προκύπτουν από τον ποτισμό(φυσικό και μη) της χλωρίδας του φυτεμένου δώματος. Η διαφορά έγκειται

στο γεγονός ότι αυτή η στρώση είναι η βασική για χρήση στεγανότητας και το φράγμα υδρατμών τοποθετείται συμπληρωματικά μόνο όταν περιλαμβάνεται θερμομόνωση στην όλη κατασκευή.

Τα υλικά που παρουσιάζουν μεγάλη στεγανότητα και συνεπώς ενδείκνυνται για αυτή την διάστρωση διακρίνονται σε ασφαλτικά (ασφαλτικά φύλλα, πολυμερισμένες ασφαλτικές μεμβράνες), συνθετικά θερμοπλαστικά (ECB, EVA, PEC, PIB, PVC) και συνθετικά (CSM, EPDM, IIA)[20],[21].

Έτσι ανάλογα με το υλικό και την τεχνική εγκατάστασης ξεχωρίζουμε τρία είδη στεγανωτικής στρώσης. Στην πρώτη περίπτωση έχουμε τις ενισχυμένες οροφές, οι οποίες αποτελούνται από αλληπάλληλα επίπεδα ασφαλτικής πίσσας που παρεμβάλλονται από μεμβράνες με ίνες γυαλιού ή κυτταρίνης. Η πίσσα αναλαμβάνει τον ρόλο στεγανότητας και οι μεμβράνες είναι κυρίως για αυξημένη αντοχή και προστασία. Αυτή η τεχνική αποτελεί την δημοφιλέστερη, ιδιαίτερα σε οικιακά, εμπορικά και βιομηχανικά κτίρια.

Η δεύτερη κατηγορία χαρακτηρίζεται από μονές μεμβράνες, οι οποίες είναι χυτές σε μορφή ελασμάτων και είναι συνήθως από συνθετικό καουτσούκ ή πλαστικό. Αυτά τα φύλλα ενώνονται μεταξύ τους είτε θερμικά είτε με συγκόλληση και έτσι σχηματίζουν στεγανωτικό διάστρωμα. Το πρόβλημα βέβαια με αυτή την τεχνική αποτελούν τα σημεία ένωσης των ελασμάτων, τα οποία είναι επίφοβα για ενδεχόμενες διαρροές.

Η τελευταία τεχνική για δημιουργία στεγανότητας σε ένα φυτεμένο δώμα είναι οι μεμβράνες ρευστής εφαρμογής. Τέτοιου είδους μεμβράνες αποτελούνται από θερμό ή ψυχρό ρευστό, το οποίο ψεκάζεται ή βάφεται στην εν λόγω επιφάνεια. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για αυτή την ρευστή διάστρωση είναι κυρίως τσιμεντοειδή, ακρυλικά και πολυουρεθανικά. Η μέθοδος αυτή έχει μεγάλο πλεονέκτημα, καθώς εκτός από την ευκολία εγκατάστασης που παρουσιάζει, καλύπτει πλήρως «αδύναμα» σημεία της κατασκευής όσο αναφορά τις διαρροές, όπως οι γωνίες και τα σημεία συγκόλλησης[22],[23].

#### **4. Αντιριζική διάστρωση**

Ορισμένες φορές οι ρίζες των φυτών της πράσινης στέγης μεγαλώνουν ανεξέλεγκτα και έτσι ελλοχεύει ο κίνδυνος καταστροφής της στεγανωτικής στρώσης(αλλά και των υπολοίπων) από το επιθετικό αυτό ριζικό σύστημα. Για αυτό τον λόγο χρησιμοποιούμε για προστασία φύλλα PVC πάχους 1mm ή πλαστικά φύλλα μεγάλου πάχους ή χημικά τροποποιημένες στεγανωτικές μεμβράνες[20],[22].

#### **5. Επίπεδο προστασίας**

Εκτός όμως από την προστασία της κατασκευής σχετικά με ενδεχόμενο επιθετικό ριζικό σύστημα, πρέπει να μεριμνήσουμε και γενικότερα για τις μηχανικές καταπονήσεις που δέχεται το όλο σύστημα, ώστε να μην οδηγηθεί σε αστοχία. Έτσι είναι απαραίτητη η εισαγωγή μιας επιπλέον στρώσης προστασίας που να εξασφαλίζει την μηχανική επάρκεια και συνεπώς να προστατεύει τις υπόλοιπες στρώσεις. Αυτό το επίπεδο μπορεί να αποτελείται τα εξής υλικά: τσιμεντένια πλάκα χαμηλού φορτίου (πορομπετόν ή περλιτομπετόν) που προτιμάται όταν έχουμε

θερμομονωτική στρώση, άκαμπτα μονωτικά φύλλα, πλαστικά φύλλα μεγάλου πάχους, φύλλα χαλκού και χημικά τροποποιημένες στεγανωτικές μεμβράνες[20].

## **6. Αποστραγγιστική στρώση**

Όπως αναφέραμε παραπάνω, στην πλειονότητα των περιπτώσεων κατασκευάζουμε τα φυτεμένα δώματα με κλίση, έτσι ώστε να υπάρχει φυσική αποστράγγιση των υδάτων. Όταν συμβαίνει κάτι τέτοιο μπορούμε να παραλείψουμε την συγκεκριμένη στρώση, αλλιώς είμαστε υποχρεωμένοι να την συμπεριλάβουμε. Παρόλα αυτά ορισμένες φορές βάζουμε αποστραγγιστική στρώση, ακόμα και όταν υπάρχει κλίση δώματος, η οποία διαθέτει καμπυλότητες και έτσι μπορεί να λειτουργήσει και ως αποθήκη νερού. Το αποθηκευμένο νερό έπειτα δύναται να αξιοποιηθεί στον επόμενο ποτισμό.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται σε αυτή την στρώση είναι τριών κατηγοριών. Στην πρώτη περίπτωση έχουμε συναθροιστικού τύπου υλικά, όπως χαλίκι, λάβα και ελαφρόπετρα, σπασμένη διασταλτική άργιλος και σχιστόλιθος, μη σπασμένη διασταλτική άργιλος και σχιστόλιθος και ανακυκλώσιμα συναθροιστικού τύπου υλικά όπως τούβλα, κεραμίδια, μεταλλική σκωρία, αφρώδες γυαλί. Δεύτερο τύπο υλικού αποτελούν τα αποστραγγιστικά φύλλα, τα οποία μπορούν να είναι είτε συνθετικά μη υφαντά είτε πλαστικά με τρισδιάστατη δομή είτε με ενίσχυση φυτικών ινών. Το τελευταίο είδος υλικού απαρτίζεται από αποστραγγιστικά πλαίσια από αφρώδη τεμάχια, καουτσούκ, ή τροποποιημένο αφρό.

Η αποστραγγιστική στρώση συνδέεται με ένα αποστραγγιστικό δίκτυο, ώστε να απομακρύνονται τα πλεονάζοντα ύδατα. Οι σωλήνες που συντελούν το σύστημα αυτό είναι συνήθως πλαστικές ή μεταλλικές (ορείχαλκος ή σίδηρος) και οδηγούν τα ύδατα αυτά στην κεντρική αποχεύευση του κτηρίου.

## **7. Διαχωριστική στρώση**

Η διαχωριστική στρώση είναι στην πράξη ένα διηθητικό φίλτρο, δηλαδή επιτρέπει την ροή νερού αλλά μπλοκάρει την είσοδο στερεών σωματιδίων από την στρώση του χωμάτινου υποστρώματος. Εκτός από φίλτρο βέβαια, έχει και προστατευτικό ρόλο έναντι σε πιθανή διείσδυση ριζών.

Αποτελείται από ένα ή μπορεί και δύο επίπεδα μη υφαντού γεωυφάσματος. Το υλικό κατασκευής τους είναι ίνες, παράλληλα ή τυχαία πλεγμένες με μηχανικές, χημικές ή θερμικές διαδικασίες ή συνδυασμό τους. Τα άκρα της διαχωριστικής στρώσης πρέπει να αναδιπλώνονται ως την επιφάνεια του υποστρώματος[18].

## **8. Φυτικό υπόστρωμα**

Το φυτικό υπόστρωμα αποτελείται ουσιαστικά από χώμα και το πάχος του διαφέρει ανάλογα με το είδος της πράσινης στέγης. Αν και απλό σαν διάστρωση χρειάζεται παρόλα αυτά να πληρεί ορισμένες προϋποθέσεις, ώστε να καλύπτει τις



ανάγκες της εν λόγω κατασκευής. Αρχικά επιβάλλεται να περιέχει θρεπτικά συστατικά (κατάλληλα ιχνοστοιχεία, άλατα κλπ), ώστε να εξασφαλιστεί η υγιής ανάπτυξη των φυτών. Επίσης σημαντικό είναι να χαρακτηρίζεται από υψηλή υδατοϊκανότητα και υδατοπερατότητα ώστε να συγκρατεί την απαραίτητη ποσότητα νερού και να διευκολύνει την εισροή του με ταυτόχρονη αποβολή περιττής ποσότητας αυτού. Τέλος απαραίτητη καθίσταται η δυνατότητα προστασίας της κατασκευής από εξωτερικούς ή μη παράγοντες, όπως για παράδειγμα η παρεμπόδιση εξάπλωσης φωτιάς και ο περιορισμός ενός επιθετικού ριζικού συστήματος[17].

### **9. Φυτική επικάλυψη**

Τα φυτά που χρησιμοποιούνται στις πράσινες οροφές ποικίλλουν και διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο του φυτεμένου δώματος, όπως έχουμε αναλύσει παραπάνω.

### **3. Πλεονεκτήματα Φυτεμένων Δωμάτων**

#### ***3.1 Ενεργειακά Πλεονεκτήματα***

Τα ενεργειακά οφέλη της πράσινης οροφής είναι ποικίλλα και συνεισφέρουν στην μείωση του φαινομένου της ΑΘΝ, κάνοντας τις πόλεις περισσότερο ενεργειακά αποδοτικές. Αντί να αναφέρουμε τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν επιγραμματικά, θεωρούμε βέλτιστο να παρουσιάσουμε πειραματικές και θεωρητικές μελέτες και να δούμε στην πράξη τα κέρδη που προσφέρει μια τέτοια κατασκευή. Στον παρακάτω πίνακα γίνεται μια επισκόπηση διάφορων περιπτώσεων ανά τον κόσμο και αναφέρονται τα ενεργειακά αποτελέσματα που παρατηρούνται:

| Αναφορά | Μέθοδος Εφαρμογής         | Μέθοδος Διερεύνησης                                                                                                              | Περιοχή Πειραματικών/ Θεωρητικών Υπολογισμών | Αποτελέσματα Ενεργειακής Απόδοσης                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|---------|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [24]    | Προσομοιώσεις και πείραμα | Ψυκτική επίδραση                                                                                                                 | Οσάκα, Ιαπωνία                               | α) Μείωση της θερμοκρασίας επιφάνειας της πράσινης στέγης από τους 60°C στους 30°C.<br><br>β) Μείωση της τάξης του 50% των ροών θερμότητας στο χώρο που βρίσκεται κάτω από το φυτεμένο δώμα.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| [25]    | Προσομοιώσεις και πείραμα | Ψυκτική επίδραση για το πείραμα και μελέτη συμπεριφοράς του κτηρίου καθ' όλη την διάρκεια του έτους για θεωρητικούς υπολογισμούς | Περίχωρα Αθήνας, Ελλάδα                      | α) Εξοικονόμηση ενέργειας κατά 37% σύμφωνα με τους θεωρητικούς υπολογισμούς όλου του έτους για αμόνωτο κτήριο με πράσινη οροφή, η οποία μπορεί να φτάσει και το 48% με εκμετάλλευση νυχτερινού αερισμού.<br><br>β) Η θερμοκρασία αέρα στο εσωτερικό του κτηρίου είναι σημαντικά χαμηλότερη από ότι να μην υπήρχε πράσινη στέγη.                                                                                                                                                                                                                                                 |
| [26]    | Προσομοιώσεις και πείραμα | Ψυκτική επίδραση για το πείραμα και μελέτη συμπεριφοράς του κτηρίου καθ' όλη την διάρκεια του έτους για θεωρητικούς υπολογισμούς | Σιγκαπούρη                                   | α) Εξοικονόμηση ενέργειας από 17-79% στις καταναλώσεις ψύξης και 1-15% στην ετήσια κατανάλωση ενέργειας.<br><br>β) Το αργιλώδες έδαφος φάνηκε να είναι η καλύτερη επιλογή φυτικού υποστρώματος για μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας και συγκεκριμένα πετυχαίνει εξοικονόμηση 64% για τη ψύξη των χώρων του κτηρίου, 71% για το μέγιστο ψυκτικό φορτίο και 3% για την ετήσια κατανάλωση ενέργειας.<br><br>γ) Οι θάμνοι αποδείχτηκαν το καταλληλότερο είδος φυτικής επικάλυψης οδηγώντας σε 79% εξοικονόμηση ενέργειας για την ψύξη χώρων και 15% στην ετήσια κατανάλωση ενέργειας. |

|      |                                                                  |                                                                                                      |                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [27] | Προσομοιώσεις και πείραμα                                        | Ψυκτική επίδραση για θεωρητικούς υπολογισμούς και πειραματική διερεύνηση για την φθινοπωρινή περίοδο | Αθήνα, Ελλάδα                                           | <p>α) Μείωση ψυκτικού φορτίου κατά 6-49% για όλο το κτήριο και 12-87% για τον τελευταίο όροφο.</p> <p>β) Παρατηρήθηκε μια μηδαμινή αύξηση του θερμικού φορτίου.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| [28] | Προσομοιώσεις                                                    | Ψυκτική επίδραση                                                                                     | Αθήνα, Ελλάδα                                           | Εκπληκτική μείωση του ψυκτικού φορτίου που φτάνει μέχρι ακόμα και το 40%.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| [29] | Προσομοιώσεις                                                    | Ψυκτική και θερμική επίδραση                                                                         | Κινέζικα κλίματα                                        | <p>α) Η ενσωμάτωση πράσινης οροφής σε αμόνωτη οροφή οδηγεί σε σημαντική μείωση τόσο του ψυκτικού όσο και του θερμικού φορτίου.</p> <p>β) Το φυτεμένο δώμα προσφέρει μικρή βελτίωση στο θερμικό και ψυκτικό φορτίο του κτηρίου, αν η οροφή είναι ήδη μονωμένη.</p>                                                                                                                                                                                                                                                        |
| [30] | Προσομοιώσεις και πείραμα                                        | Ψυκτική και θερμική επίδραση                                                                         | Περίχωρα Αθήνας, Ελλάδα                                 | <p>α) Επιτεύχθηκε υψηλή εξοικονόμηση ενέργειας στην θέρμανση του κτηρίου, της τάξης του 21,4-21,8%, συγκριτικά με ένα πανομοιότυπο με αμόνωτη οροφή.</p> <p>β) Πολύ μικρότερη επίδραση στην εξοικονόμηση ενέργειας στην περίπτωση καλά μονωμένης οροφής.</p> <p>γ) Αξιοσημείωτη εξοικονόμηση ενέργειας(60,5-62,5%) στον κλιματισμό σε σχέση με αμόνωτη οροφή.</p> <p>δ) Όλα τα εξεταζόμενα συστήματα πράσινης στέγης παρουσίασαν σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας για ψύξη, χάρη στο φαινόμενο της εξατμισοδιαπνοής.</p> |
| [31] | Προσομοιώσεις και έλεγχος σε τρεις πόλεις με διαφορετικά κλίματα | Ψυκτική και θερμική επίδραση                                                                         | Αθήνα, Ελλάδα<br>Λα Ροσέλ, Γαλλία<br>Στοκχόλμη, Σουηδία | <p>α) Παρατηρήθηκε αξιοσημείωτη επίδραση στις ψυκτικές απαιτήσεις με μείωση ως και 52%.</p> <p>β) Το σύστημα του φυτεμένου δώματος δεν έχει αξιόλογη επίδραση στα θερμικά φορτία.</p> <p>γ) Παρατηρήθηκε μείωση των</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

|      |                         |                              |                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------|-------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      |                         |                              |                                                                                      | ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων σε ποσοστό 32% για την Αθήνα, 6% για το Λα Ροσέλ και 8% για το κρύο κλίμα της Στοκχόλμης.                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| [32] | Μέθοδος ANN και Πείραμα | Ψυκτική επίδραση             | Ουτζάιν, Ινδία                                                                       | Το σύστημα της πράσινης οροφής αποδείχθηκε κατέστη κατάλληλο για την μείωση της θερμοκρασίας του αέρα στους χώρους του κτηρίου και για την ελαχιστοποίηση των ενεργειακών καταναλώσεων κατά την διάρκεια του θέρους. Αναλυτικά η εσωτερική θερμοκρασία αέρα δεν ξεπέρασε τους 28°C και η εξοικονόμηση ενέργειας έχει ρυθμό 1,25kW την μέρα για μία συνηθισμένη καλοκαιρινή μέρα στην Ινδία. |
| [33] | Προσομοιώσεις           | Ψυκτική Επίδραση             | Ευρωπαϊκά κλίματα:<br><br>Κρήτη, Ελλάδα<br>Ρώμη, Ιταλία<br>Λονδίνο, Ηνωμένο Βασίλειο | Οι πράσινες και οι ψυχρές οροφές αποδείχτηκαν τέλεια λύση για την καταπολέμηση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας και συνεισφέρουν σημαντικά στη βελτίωση του αστικού μικροκλίματος και στη μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων των κτηρίων.                                                                                                                                         |
| [34] | Προσομοιώσεις           | Ψυκτική και Θερμική Επίδραση | Θερμά και ψυχρά ευρωπαϊκά κλίματα                                                    | α) Σε θερμά κλίματα, οι πράσινες στέγες συνεισφέρουν στη μείωση του ψυκτικού φορτίου χωρίς σημαντική αύξηση του θερμικού φορτίου, επιπροσθέτως οδηγώντας σε ετήσια μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων σε ποσοστό έως και 11%.<br><br>β) Στα ψυχρά κλίματα, παρατηρούμε θετική επίδραση και στα δύο είδη φορτίου(θερμικό και ψυκτικό) με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση ενέργειας μέχρι και 7%.  |

|      |                                             |                                 |                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------|---------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [35] | Προσομοιώσεις                               | Ψυκτική και<br>θερμική Επίδραση | Αμμάν, Ιορδανία                   | Τα φυτεμένα δώματα, ακόμα και στην απλούστερη μορφή της, μπορεί να προσφέρει ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας κατά 17%, το οποίο ποσοστό μπορεί όμως να αυξηθεί με χρήση περιπλοκότερων συστημάτων πράσινων οροφών.                                                                                                                                                                                                                               |
| [36] | Προσομοιώσεις και περιπτωσιολογικές μελέτες | Ψυκτική και<br>θερμική Επίδραση | Τρία διαφορετικά κλίματα του Ιράν | <p>α) Τα φυτεμένα δώματα οδηγούν σε μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων, ενώ περαιτέρω εξοικονόμηση είναι εφικτή μέσω είτε επέκτασης της επιφάνειας της βλάστησης είτε με πύκνωση αυτής.</p> <p>β) Η αύξηση του πάχους του υποστρώματος οδηγεί σε αύξηση της κατανάλωσης για ανάγκες ψύξης και μείωση αυτής για θέρμανση.</p> <p>γ) Παρατηρήθηκε ότι καλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας επιτυγχάνεται σε χαμηλότερα κτήρια(λιγότεροι όροφοι).</p> |
| [37] | Πείραμα Πεδίου                              | Ψυκτική και<br>θερμική Επίδραση | Σανγκάη, Κίνα                     | <p>α) Η πράσινη στέγη έχει αξιοθαύμαστη ψυκτική επίδραση κατά την διάρκεια του καλοκαιριού με μέγιστη διαφορά ροής θερμότητας μεταξύ πράσινης και συμβατικής οροφής να κυμαίνεται στα 25 W/m<sup>2</sup>.</p> <p>β) Το φυτεμένο δώμα συμβάλλει στη μείωση της θερμοκρασίας επιφάνειας της οροφής κατά 23.5°C.</p>                                                                                                                              |
| [38] | Προσομοιώσεις και περιπτωσιολογικές μελέτες | Ψυκτική και<br>θερμική Επίδραση | Λονδίνο, Ηνωμένο Βασίλειο         | <p>α) Οι πράσινες στέγες μπορούν να ελαττώσουν το ψυκτικό και το θερμικό φορτίο. Παρόλα αυτά, όσο αναφορά την ψύξη, η εξοικονόμηση ενέργειας εξαρτάται άμεσα από κατάσταση άρδευσης.</p> <p>β) Παρατηρήθηκε αυξημένη αποτελεσματικότητα των φυτεμένων δωμάτων κατά</p>                                                                                                                                                                         |

|      |                           |                              |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------|---------------------------|------------------------------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      |                           |                              |                      | την διάρκεια της νυκτός ως ψυκτική επίδραση.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| [39] | Προσομοιώσεις και πείραμα | Ψυκτική και θερμική Επίδραση | Λισαβόνα, Πορτογαλία | <p>α) Εξετάστηκε η αποτελεσματικότητα για τρία είδη πράσινων οροφών: εκτατική, ημιεντατική και εντατική.</p> <p>β) Αποδείχθηκε ότι για λόγους θέρμανσης και οι τρεις περιπτώσεις παρουσίασαν παρόμοια αποτελέσματα, ενώ για το ψυκτικό φορτίο η εντατική και η ημιεντατική κατάσταση οδήγησαν σε 36% εξοικονόμηση ενέργειας και η εκτατική σε ποσοστό 17%.</p>                                                                                                                  |
| [40] | Προσομοιώσεις και πείραμα | Ψυκτική και θερμική Επίδραση | Αθήνα, Ελλάδα        | <p>α) Παρατηρήθηκε διαφορά θερμοκρασίας επιφανείας 15K μεταξύ πράσινης και συμβατικής στέγης.</p> <p>β) Η εσωτερική θερμοκρασία αέρα μειώθηκε κατά 0,8K κατά την καλοκαιρινή περίοδο.</p> <p>γ) Υπολογίσθηκε ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας σε ποσοστό 19% για ψύξη και 11% για θέρμανση.</p>                                                                                                                                                                                    |
| [41] | Προσομοιώσεις και πείραμα | Ψυκτική επίδραση             | Σανγκάη, Κίνα        | <p>α) Η ηλιακή ακτινοβολία σχετίζεται ισχυρά με την ψυκτική επίδραση του συστήματος της πράσινης στέγης, η οποία είναι υψηλότερη στις ηλιόλουστες μέρες παρά στις συννεφιασμένες.</p> <p>β) Το φυτεμένο δώμα συνεισφέρει στην μείωση της διακύμανσης του πλάτους της θερμοκρασίας επιφανείας κατά 32,5°C, ενώ η διαφορά της θερμοκρασίας επιφανείας μεταξύ της πράσινης στέγης και μια συμβατικής αυξάνεται με την αύξηση της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας και μπορεί να</p> |

|      |                           |                              |                                    | φτάσει και τους 5°C.                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------|---------------------------|------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [42] | Προσομοιώσεις και πείραμα | Ψυκτική επίδραση             | Σικάγο, Η.Π.Α.                     | Η θερμοκρασία επιφανείας της πράσινης οροφής είναι αντιστρόφως ανάλογη με το ποσοστό κάλυψης αυτής με φυτά. Συγκεκριμένα ένα ποσοστό κάλυψης της τάξης του 25% δίνει μόνο 1°C χαμηλότερα σε σχέση με αμόνωτη στέγη, ενώ κάλυψη 100% οδηγεί σε τουλάχιστον 3°C διαφορά.        |
| [43] | Προσομοιώσεις και πείραμα | Ψυκτική και θερμική επίδραση | Συρακούσες, Ν.Υ., Η.Π.Α.           | Η ροή θερμότητας κυμαίνεται από $-5,76\text{Wm}^{-2}$ σε $9,46\text{Wm}^{-2}$ , με τις αρνητικές τιμές να λαμβάνονται το καλοκαίρι και τις θετικές τον χειμώνα, ενώ το συσσωρευμένο χιόνι λειτουργεί ως επιπλέον μόνωση τον χειμώνα.                                          |
| [44] | Πειραματική διερεύνηση    | Ψυκτική και θερμική επίδραση | Ισπανία                            | Πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν σημαντική μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στις εκτατικές πράσινες οροφές σε σύγκριση με συμβατικές, φθάνοντας μάλιστα εξοικονόμηση 16,7% το καλοκαίρι και 11,1% το χειμώνα.                                                                 |
| [45] | Προσομοιώσεις και πείραμα | Ψυκτική και θερμική επίδραση | Σανγκάη, Κίνα                      | α) Το συνδυασμένο σύστημα φυτεμένου δώματος-αερισμού μπορεί να οδηγήσει σε εξοικονόμηση έως και 26,7%.<br><br>β) Η θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό κτηρίου με ενσωματωμένο σύστημα πράσινης στέγης και περιοδικό αερισμό κρατήθηκε στους 29°C για την περίοδο κλιματισμού. |
| [46] | Προσομοιώσεις και πείραμα | Ψυκτική επίδραση             | Τρία διαφορετικά κλίματα της Κίνας | Ο συνδυασμός πράσινης οροφής με νυχτερινό αερισμό μπορεί να μειώσει τα θερμικά κέρδη σε ποσοστό 75-79%.                                                                                                                                                                       |



|      |                        |                  |                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------|------------------------|------------------|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [47] | Προσομοιώσεις          | Ψυκτική επίδραση | Τέσσερα διαφορετικά κλίματα:<br><br>Χονγκ Κονγκ<br>Παρίσι<br>Κάιρο<br>Τόκιο | Παρατηρήθηκε μείωση του ψυκτικού φορτίου κατά 5,2% για την θερμότερη μέρα του χρόνου σε θερμό και ξηρό κλίμα με ενσωμάτωση εντατικού συστήματος πράσινης στέγης, ενώ για εύκρατο κλίμα με χρήση ημιεντατικού τύπου σημειώθηκε εξοικονόμηση ενέργειας 0,1%. |
| [48] | Πειραματική διερεύνηση | Ψυκτική επίδραση | Ουτρέχτη, Ολλανδία                                                          | Ένα φυτεμένο δώμα καλυμμένο με φυτική επικάλυψη σέδου προσφέρει μια ελαφριά δόση θέρμανσης κατά την διάρκεια της μέρας και μια σημαντική ψυκτική επίδραση την νύχτα, συμβάλλοντας έτσι στον μετριασμό του φαινομένου της ΑΘΝ.                              |
| [49] | Προσομοιώσεις          | Ψυκτική επίδραση | Τροπικό κλίμα της Σιγκαπούρης                                               | Για μια καλοκαιρινή μέρα μπορεί να μειωθούν τα θερμικά κέρδη κατά 13,14 kWh/m <sup>2</sup> , δηλαδή κατά 31%, με ενσωμάτωση συστήματος πράσινης οροφής.                                                                                                    |
| [50] | Προσομοιώσεις          | Ψυκτική επίδραση | Πόλη του Μεξικό, Μεξικό                                                     | Η πράσινη στέγη παρουσίασε εξαιρετική ψυκτική δράση το καλοκαίρι, μειώνοντας την εσωτερική θερμοκρασία του κτηρίου έως και 12K.                                                                                                                            |

|      |                           |                              |                                   |                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [51] | Προσομοιώσεις και πείραμα | Ψυκτική και θερμική επίδραση | Καλαβρία, Ιταλία                  | Σε ετήσια κλίμακα σημειώθηκε εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 34,9% για αμόνωτη πράσινη οροφή σε συνεχή λειτουργία και 34,7% για διακοπτόμενη λειτουργία με την μέγιστη εξοικονόμηση να πραγματοποιείται το καλοκαίρι.                                    |
| [52] | Προσομοιώσεις και πείραμα | Ψυκτική και θερμική επίδραση | Οκτώ πόλεις στο Μεξικό            | α) Δυνατότητα μείωσης εσωτερικής θερμοκρασίας σε τοποθεσίες με θερμά κλίματα κατά 4,7°C.<br><br>β) Δυνατότητα μείωσης ενεργειακών απαιτήσεων ακόμα και έως 99% σε περιοχές με εύκρατο κλίμα, αλλά ταυτόχρονα αυξάνονται οι θερμικές απαιτήσεις μέχρι και 25%. |
| [53] | Πειραματική διερεύνηση    | Ψυχρές και θερμές περιόδους  | Υποαρκτικό κλίμα της Σουηδίας     | Σε τέτοιο κλίμα σε κτήρια με πλήρη μόνωση, τα οφέλη που μπορεί να προσφέρει ένα σύστημα φυτεμένου δώματος είναι αμιδρά.                                                                                                                                       |
| [54] | Πειραματική διερεύνηση    | Ψυκτική επίδραση             | Ναντσίνγκ, Κίνα(υποτροπικό κλίμα) | α) Μια ελαφριά θερμική επίδραση κατά την διάρκεια της μέρας, ειδικά το μεσημέρι.<br><br>β) Σημαντική ψυκτική επίδραση την νύχτα.<br><br>γ) Η βέλτιστη ψυκτική επίδραση παρατηρήθηκε για πάχος υποστρώματος 60cm.                                              |

| Μελέτη Φυτεμένου Δώματος Εκτατικής Κατάστασης |                                             |                  | ΑΡΒΑΝΙΤΗΣ ΙΑΣΩΝ      |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [55]                                          | Προσομοιώσεις και περιπτωσιολογικές μελέτες | Ψυκτική επίδραση | Ξηρά κλίματα (Κάιρο) | <p>α) Οι εκτατικές και οι εντατικές πράσινες στέγες μπορούν να συμβάλλουν στην μείωση των απαιτήσεων κλιματισμού.</p> <p>β) Ο εντατικός τύπος παρουσιάζει καλύτερη ενεργειακή απόδοση σε σχέση με τον εκτατικό, όσο αναφορά την εξοικονόμηση ενέργειας και την μείωση θερμοκρασίας.</p> |

Πίνακας 1: Ενεργειακά πλεονεκτήματα φυτεμένων δωμάτων

### 3.2 Περιβαλλοντικά Πλεονεκτήματα

Εκτός από τα ενεργειακά οφέλη που παρουσιάζει η εγκατάσταση μιας πράσινης οροφής σε ένα κτήριο, βαρυσήμαντη είναι επίσης και επίδραση της στην βελτίωση του αστικού περιβάλλοντος. Δηλαδή ο αστικός ιστός καθίσταται έτσι όχι μόνο πιο ενεργειακά αποδοτικός αλλά και λιγότερο περιβαλλοντικά επιβλαβής. Παρακάτω δίνονται σε μορφή πίνακα τα περιβαλλοντικά αποτελέσματα των φυτεμένων δωμάτων που διαπιστώθηκαν κατά την διάρκεια διαφόρων θεωρητικών και πειραματικών μελετών ανά την υφήλιο:

| Αναφορά | Περιγραφή Μεθοδολογίας                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Περιοχή                   | Ρύποι                                                      | Κύρια Αποτελέσματα                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [56]    | Ένα μοντέλο ξηρής εναπόθεσης χρησιμοποιήθηκε για μία εκτεταμένη περιοχή μελέτης 170 πράσινων στεγών(και των τριών ειδών).                                                                                                                                                                                                                   | Σικάγο, Ιλινόι, Η.Π.Α.    | NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , PM10, | Συνολικά αφαιρέθηκαν 1.675kg ρυπαντών του ατμοσφαιρικού αέρα από 19,8 εκτάρια(1 εκτάριο= 10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup> ) πράσινων οροφών σε χρονικό διάστημα ενός έτους με το 52% αυτών των ρύπων να αφορά την συγκέντρωση του O <sub>3</sub> , το 27% το NO <sub>2</sub> , το 14% το PM10 και 7% το SO <sub>2</sub> .                                                                                                                                                                           |
| [57]    | Μια πειραματική διερεύνηση του κατακόρυφου προφίλ του PM2,5 σε συνάρτηση με την υψομετρική κλίση σε μία φάρμα ταράτσας σε ύψος 26m από το έδαφος υπό διαφορετικές μετεωρολογικές συνθήκες.                                                                                                                                                  | Μπρούκλιν Γκράντζ, Η.Π.Α. | Σωματίδια PM2,5                                            | Παρατηρήθηκε μείωση των συγκεντρώσεων των PM2,5 από 7-33% σε σύγκριση με τα επίπεδα αυτών στο κράσπεδο.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| [58]    | Μετρήσεις πεδίου και μοντελοποίηση ξηρής εναπόθεσης.                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Πόρτλαντ, Η.Π.Α.          | O <sub>3</sub>                                             | Επιτεύχθηκε μείωση της συγκέντρωσης του O <sub>3</sub> , η οποία κυμαινόταν ανάμεσα σε 0,25 και 1,8 mgr/m <sup>3</sup> .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| [60]    | Μετρήσεις πεδίου, σε ένα φυτεμένο δώμα στο υποτροπικό κλίμα του Χόνγκ Κόνγκ, της ταχύτητας απορρόφησης του διοξειδίου του άνθρακα από τα φυτά και του ρυθμού εκπομπών σε ένα σφραγισμένο γυάλινο θάλαμο. Επίσης πραγματοποιήθηκαν θεωρητικοί υπολογισμοί του προφίλ των συγκεντρώσεων του διοξειδίου του άνθρακα πέριξ της πράσινης στέγης. | Χόνγκ Κόνγκ               | Δέσμευση άνθρακα                                           | α) Για μια τυπική καλοκαιρινή μέρα η απορρόφηση του διοξειδίου του άνθρακα είναι πολύ μεγαλύτερη κατά την διάρκεια της μέρας σε σχέση με την νύχτα, λόγω της φωτοσύνθεσης.<br><br>β) Η απορρόφηση του διοξειδίου του άνθρακα εξαρτάται από το είδος και την κατάσταση των φυτών, την θέση της πράσινης οροφής και κατάσταση ροής του αέρα του περιβάλλοντος.<br><br>γ) Για μια ηλιόλουστη μέρα το φυτεμένο δώμα μπορεί να μειώσει το διοξείδιο του άνθρακα στην γύρω περιοχή σχεδόν μέχρι και 2%. |
| [61]    | Η τεχνική συνδιακύμανσης Eddy χρησιμοποιήθηκε για την ποσοτικοποίηση της διάχυσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα για χρονική διάρκεια ενός έτους.                                                                                                                                                                               | Βερολίνο, Γερμανία        | Δέσμευση άνθρακα                                           | Η πράσινη οροφή αποδείχθηκε κατάλληλη στην δέσμευση του διοξειδίου του άνθρακα, το οποίο απορροφά με ρυθμό 85gC/m <sup>2</sup> , ενώ η διαδικασία μπορεί να βελτιστοποιηθεί μέσω επαρκούς άρδευσης καθώς και κατάλληλης βλάστησης και υποστρώματος.                                                                                                                                                                                                                                               |

| Μελέτη Φυτεμένου Δώματος Εκτατικής Κατάστασης |                                                                                                          |         | ΑΡΒΑΝΙΤΗΣ ΙΑΣΩΝ  |                                                                                                                                                                    |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [62]                                          | Η ικανότητα δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα μετρήθηκε για τρία διαφορετικά φυτικά είδη και υποστρώματα. | Ιαπωνία | Δέσμευση άνθρακα | Η ετήσια μείωση του διοξειδίου του άνθρακα, ως συνέπεια της εξοικονόμησης ενέργειας, κυμάνθηκε ανάμεσα 1.703 και 1.889kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ανά έτος. |

Πίνακας 2: Περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα φυτεμένων δωμάτων

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα φυτεμένα δώματα είναι τεχνικές του ενεργειακού σχεδιασμού κτηρίων και ιδιαίτερα του παθητικού δροσισμού, οι οποίες στηρίζονται στην μίμηση της φύσης και σχεδιάζονται και υλοποιούνται σαν τεχνητά οικοσυστήματα με σκοπό την μείωση της αστικής θερμικής νησίδας, την μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης στα κτήρια και την προώθηση αειφορίας στον αστικό ιστό.

Είναι φανερό από την προηγούμενη ανάλυση ότι τα φυτεμένα δώματα μπορούν να λειτουργήσουν και να είναι αποδοτικά σε πολλές κατευθύνσεις. Μπορούν να ρυθμίσουν π.χ. την εσωτερική θερμοκρασία του κτηρίου μειώνοντας το ψυκτικό φορτίο στην διάρκεια του καλοκαιριού και το θερμικό φορτίο κατά την χειμερινή περίοδο, καθώς επίσης μπορούν να συνεισφέρουν σημαντικά και με μετρήσιμα αποτελέσματα στην μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, του θορύβου και της απορροής υδάτων[63-66].

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Voogt, J.A. & Oke, T.R. (2003) Thermal remote sensing of urban areas. *Remote Sensing of Environment*, 86, 370–384
- [2] Synnefa A., Santamouris M. & Livada, I. (2006). A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment. *Solar Energy*, 80, 968-981
- [3] Barring, L., Mattsson, J.O. & Lindqvist, S. (1985). Canyon geometry, street temperatures and urban heat island in Malmo, Sweden. *Int. J. Climatol.*, 5, 433-444
- [4] Berdahl, P. & Bretz, S. (1997). Preliminary survey of the solar reflectance of cool roofing materials. *Energy and Buildings*, 25, 149-158
- [5] Oke, T.R. (1987). *Boundary Layer Climates*. Routledge, 2nd edition, London and New York
- [6] Roth, M., Oke, T.R. & Emery, W.J. (1989). Satellite-derived urban heat islands from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology. *Int. J. Remote Sens.*, 10, 1699–1720
- [7] Oke, T.R. (1982) The energetic basis of the urban heat island. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 108: 1-24
- [8] Gartland L. (2008) *Heat Islands. Understanding and Mitigating Heat in Urban Areas*. Earthscan, London
- [9] Mihalakakou G., Santamouris M., Papanikolaou N., Cartalis C. & Tsangrassoulis, A. (2004). Simulation of the Urban Heat Island Phenomenon in Mediterranean Climates. *Pure appl. geophys.* 161, 429–451
- [10] Voogt, J. (2002). Urban Heat Island. In Munn, T. (ed.) *Encyclopedia of Global Environmental Change*, Vol. 3. Chichester: John Wiley and Sons
- [11] Romilly, P. (2005). Time series modelling of global mean temperature for managerial decision-making. *Journal of Environmental Management*, 76, 61-70
- [12] Akbari, H. (2005). Energy saving potentials and air quality benefits of urban heat island mitigation. First International Conference on Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment, Athens, Greece, May 17-24
- [13] Roa-Espinosa A., Wilson T.B., Norman J.M. & Johnson K. (2003). Predicting the impact of urban development on stream temperature using a thermal urban runoff model (TURM). National Conference on Urban Stormwater: Enhancing Program at the Local Level, Chicago 17-20 February

- [14] Αθανασιάδης Α., Παπαγιώργας Π. Μελέτη, ανάπτυξη και εφαρμογή της τεχνικής του φυτεμένου δώματος (πράσινη στέγη, green roof) με σκοπό την βελτίωση του αστικού μικροκλίματος
- [15] Αντωνίου Α. Φυτεμένα δώματα: Παράδειγμα θεωρητικής εφαρμογής σε κτήριο
- [16] Ngan, G. (2004). Green roof policies: tools for encouraging sustainable design. Landscape Architecture Canada Foundation
- [17] FLL - Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (2008). Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen. Richtlinien für Dachbegrünungen (Guideline for the planning, execution and upkeep of green-roof sites). Selbstverlag, Troisdorf.
- [18] FLL - Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (2002). Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen. Richtlinien für Dachbegrünungen (Guideline for the planning, execution and upkeep of green-roof sites). Selbstverlag, Troisdorf.
- [19] Oberlander, C.H., E. Whitelaw, and E. Matsuzaki. (2002). Introductory manual for greening roofs. Public works and government services Canada
- [20] Townshend, D. and A. Duggie. (2007). Study on green roof application in Hong Kong.
- [21] Ευμορφοπούλου, Α. (1994). Οικολογική παρέμβαση στο δομημένο περιβάλλον με διαμόρφωση κήπων στα δώματα των κτηρίων, Τεχνικά Χρονικά 14:249-265.
- [22] Osmundson, Th. (1999). Roof Gardens. History, Design, and Constuction.W.W. Norton & Company, p.318. New York. London.
- [23] <https://kgreen.gr/blog/%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%BA%CE%BB%CE%B7%CF%81%CF%89%CE%BC%CE%AD%CE%BD%CE%B5%CF%82-%CE%BB%CF%8D%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82/steganopoihsh-me-asfaltikes-memvranes/>
- [24] S. Onmura, M. Matsumoto, S. Hokoi, (2001), Study on evaporative cooling effect of roof lawn gardens, Energy and Buildings 33, 653-666.
- [25] A. Niachou, K. Papakonstantinou, M. Santamouris, A. Tsagrassoulis, G. Mihalakakou, (2001), Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance, Energy and Buildings 33, 719-729.
- [26] N.H. Wong, D.K.W. Cheong, H. Yan, J. Soh, C.L. Ong, A. Sia, (2003), The effects of roof top garden on energy consumption of a commercial building in Singapore, Energy and Buildings 35, 353-364.



- [27] M. Santamouris, C. Pavlou, P. Doukas, G. Mihalakakou, A. Synnefa, A. Hatzibiros, P. Patargias, (2007), Investigating and analysing the energy and environmental performance of an experimental green roof system installed in a nursery school building in Athens, Greece, *Energy* 32, 1781-1788.
- [28] A. Spala, H.S. Bagiorgas, M.N. Assimakopoulos, J. Kalavrouziotis, D. Matthopoulos, G. Mihalakakou, (2008), On the green roof system. Selection, state of the art and energy potential, *Renewable Energy* 33, 173-177.
- [29] G. Kokogiannakis, A. Tietje, J. Darkwa, (2011), The role of green roofs on reducing heating and cooling loads: a database across Chinese Climates, *Procedia Environmental Sciences* 11, 604-610.
- [30] G. Kotsiris, A. Androutsopoulos, E. Polychroni, P.A. Nektarios, (2012), Dynamic U-value estimation and energy simulation for green roofs, *Energy and Buildings* 45, 240-249.
- [31] I. Jaffal, S.E. Ouldboukhite, R. Belarbi, (2012), A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance, *Renewable Energy* 43, 157-164.
- [32] S. Pandey, D.A. Hindoliya, Ritu mod, (2012), Artificial neural network for predation of cooling load reduction using green roof over building in Sustainable city, *Sustainable Cities and Society* 3, 37-45.
- [33] D. Kolokotsa, M. Santamouris, S.C. Zerefos, (2013), Green and cool roofs' urban heat island potential in European climates for office buildings under free floating conditions, *Solar Energy* 95, 118-130.
- [34] F. Ascione, N. Bianco, F. de' Rossi, G. Turni, G.P. Vanoli, (2013), Green roofs in European Climates. Are effective solutions for the energy savings in air-conditioning, *Applied Energy* 104, 845-859
- [35] J. Goussous, H. Siam, H. Alzoubi, (2014), Prospects of green roof technology for energy and thermal benefits in buildings: Case of Jordan, *Sustainable Cities and Society* 14, 425-440.
- [37] Y. He, H. Yu, and M. Zhao, (2015), Thermal performance of extensive green roof in Shanghai District: a case study of lightweight building in Winter, *Procedia Engineering* 121, 1597-1604.
- [38] G. Virk, A. Jansz, A. Mavrogianni, A. Mylona, J. Stocker, M. Davies, (2015), Microclimate effects of green and cool roofs in London and their impacts on energy use for a typical office building, *Energy and Buildings* 88, 214-228.
- [39] C.M. Silva, M.G. Gomes, M. Silva, (2016), Green roofs energy performance in Mediterranean climate", *Energy and Buildings* 116, 318-325.
- [40] P. Karachaliou, M. Santamouris, H. Pangalou, (2016), Experimental and

numerical analysis of the energy performance of a large scale intensive green roof system installed on an office building, *Energy and Building* 114, 256-264.

[41] Y. He, H. Yu, N. Dong, H. Ye, (2016), Thermal and energy performance of extensive green roof in Summer: A case study of a lightweight building in Shanghai, *Energy and Buildings* 127, 762-773.

[42] A. Sharma, P. Conry, S. Fernando, A.F. Hamlet, J.J. Hellmann, and F. Chen, (2016), Green and cool roofs to mitigate urban heat island effects in the Chicago metropolitan area: evaluation with a regional climate model, *Environmental Research Letters* 11, 064004, doi:10.1088/1748-9326/11/6/064004.

[43] M. Squier, C.I. Davidson, (2016), Heat flux and seasonal thermal performance of an external green roof, *Building and Environment* 107, 235-244.

[44] J. Coma, G. Perez, C. Sole, A. Castell, L.F. Cabezza, (2016), Thermal assessment of extensive green roofs as passive tool for energy saving in buildings, *Renewable Energy* 85, 1106-1115.

[45] J. Ran, M. Tang, (2017), Effect of green roofs combined with ventilation on indoor cooling and energy consumption, *Energy Procedia* 141, 260-266.

[46] L. Jiang, M. Tang, (2017), Thermal analysis of extensive green roofs combined with night ventilation for space cooling, *Energy and Buildings* 156, 238-249.

[47] T. E. Morakinyo, K.W.D. Kalani, C. Dahanayake, E. Ng, C.L. Chow, (2017), Temperature and cooling demand reduction by green-roof types in different climates and urban densities: A co-simulation parametric study, *Energy and Buildings* 145, 226-237.

[48] A. Solcerova, F. van de Ven, M. Wang, M. Rijdsdijk, N. van de Giesen, (2017), Do green roofs cool the air, *Building and Environment*, 111, 249-255.

[49] J. Yang, D.I.M. Kumar, A. Pyrgou, A. Chong, M. Santamouris, D. Kolokotsa, S.E. Lee, (2018), Green and cool roofs' urban heat island mitigation potential in tropical climate, *Solar Energy* 173, 597-609.

[50] M.A. Polo-Labarrios, S. Quezada-Garcia, H. Sancher-Mora, M.A. Escobedo-Izquierdo, G. Espinosa-Paredes, (2020), Comparison of thermal performance between green roofs and conventional roofs, *Case Studies in Thermal Engineering* 21, 100697.

[51] P. Bevilacqua, R. Bruno, N. Arcuri, (2020), Green roofs in a Mediterranean climate: energy performance based on in-situ experimental data, *Renewable Energy* 152, 1414-1430.

[52] A. Ávila-Hernández, E. Simá, J. Xamán, I. Hernández-Pérez, E. Téllez-Velázquez, M.A. Chagolla-Aranda, (2020), Test box experiment and simulations of a green-roof: Thermal and energy performance of a residential building standard for Mexico, *Energy and Buildings* 209, 109709.

- [53] J. Schade, S. Lidelöw, J. Lönnqvist, (2021), The thermal performance of a green roof on a highly insulated building in a sub-arctic climate, *Energy and Buildings*, 241, 110961.
- [54] X. Zheng, F. Kong, H. Yin, A. Middel, H. Liu, D. Wang, T. Sun, I. Lensky, (2021), Outdoor thermal performance of green roofs across multiple time scales: A case study in subtropical China, *Sustainable Cities and Society* 70, 102909
- [55] A.Aboelata, (2021), Assessment of green roof benefits on buildings' energy-saving by cooling outdoor spaces in different urban densities in arid cities, *Energy* 219, 119514
- [56] J. Yang, Q. Yu b, P. Gong, (2008), Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago, *Atmospheric Environment* 42, 7266-7273.
- [57] Z. Tong, T.H. Whitlow, A. Landers, B. Flanner, (2016), A case study of air quality above an urban roof top vegetable farm, *Environmental Pollution* 208, 256-260.
- [58] P. Ramasubramanian, O. Starry, T. Rosenstiel, E.T. Gall, (2019), Pilot study on the impact of green roofs on ozone levels near building ventilation air supply, *Building and Environment* 151, 45-53.
- [59] M. R. Seyedabadi, U. Eicker, Saghar Karimi, (2021), Plant selection for green roofs and their impact on carbon sequestration and the building carbon footprint, *Environmental Challenges* 4, 100119.
- [60] J.F. Li, O.W.H. Wai, Y.S. Li, J.M. Zhan, Y. A. Ho, J. Li, E. Lam, (2010), Effect of green roof on ambient CO<sub>2</sub> concentration, *Building and Environment* 45, 2644-2651.
- [61] J. Heusinger, S. Weber, (2017), Extensive green roof CO<sub>2</sub> exchange and its seasonal variation quantified by eddy covariance measurements, *Science of the Total Environment* 607-608, 623-632.
- [62] T. Kuronuma, H. Watanabe, T. Ishihara, D. Kou, K. Touda, M. Ando, and S. Shindo, (2018), CO<sub>2</sub> Payoff of Extensive Green Roofs with Different Vegetation Species, *Sustainability* 10.
- [63] Ferrante A, Mihalakakou G. The influence of water, green and selected passive techniques the rehabilitation of historical industrial buildings in urban areas. *Solar Energy* 2001;70:245–53.
- [64] Mihalakakou G, Papadaki MSM, Halkos G, Paravantis J, Makridis S, Papaefthymiou S. Applications of Earth-to Air Heat Exchangers: A holistic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2022.
- [65] Mihalakakou G, Santamouris M, Papanikolaou N, Cartalis C, Tsangrassoulis A. Simulation of the urban heat island phenomenon in Mediterranean climates. *Journal of Pure and Applied Geophysics* 2004; 161:429–51.

[66] Spala A, Bagiorgas HS, Assimakopoulos MN, Kalavrouziotis J, Matthopoulos D, Mihalakakou G. On the green roof system. Selection, state of the art and energy potential. Renewable Energy 2008; 33:173–7.

## ΠΗΓΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

- [1] Α. Γιαννόπουλος: «Μελέτη φαινομένου θερμικής νησίδας, επίδραση στην ενεργειακή συμπεριφορά κτηρίων», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, 2022
- [2] [https://www.valentine.gr/babylon-gardens\\_gr.php](https://www.valentine.gr/babylon-gardens_gr.php)
- [3] <https://content.ces.ncsu.edu/plant-selection-for-extensive-green-roofs-in-the-research-triangle-area-of-north-carolina>
- [4] <https://www.olympiagreenroofs.com/semiintensive-green-roof>
- [5] <https://www.snfcc.org/kpissn/parko-stavros-niarchos>
- [6] <https://ecologylearn.files.wordpress.com/2015/08/cf83cf84cf81cf89cebcecb1cf84cf89cf83ceb7-ceb4cf89cebcecb1cf84cebf82.jpg>



