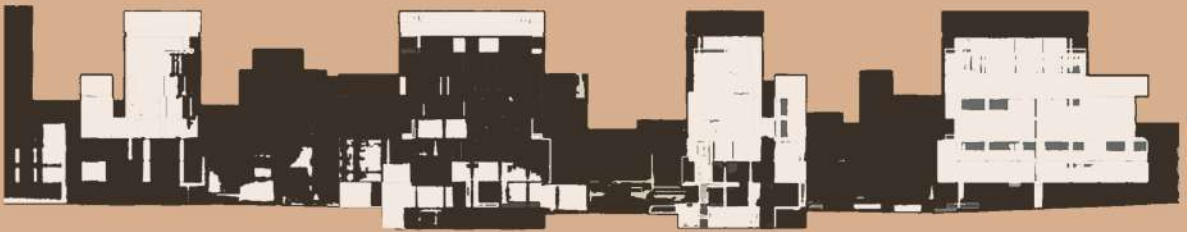


Χριστίνα Σάββα

Ο βιομιμητικός σχεδιασμός ως φυσική στρατηγική στην αντιμετώπιση της αστικής θερμικής νησίδας



Επιβλέπων καθηγητής: Ιωάννης Ζαβολέας
Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων
Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών
Ιούνιος 2024

Ευχαριστώ ιδιαιτέρως τον κύριο Ιωάννη Ζαβολέα επιβλέποντα καθηγητή της ερευνητικής μου εργασίας για την ανεκτίμητη καθοδήγηση και υποστήριξη. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την αμέριστη κατανόηση και ενθάρρυνση.

Περίληψη

Η παρούσα ερευνητική ασχολείται με εφαρμογές του βιομιμητικού σχεδιασμού στην αντιμετώπιση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας για τη δημιουργία βιώσιμων και ανθεκτικών πόλεων. Κατά προέκταση, θίγονται οι έννοιες των λύσεων που βασίζονται στη φύση και αναλύονται οι έννοιες της βιοφιλίας, της βίο-αξιοποίησης και του βιομορφισμού που είναι μέθοδοι σχεδιασμού που εμπνέονται από τη φύση. Το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας έχει απασχολήσει ιδιαίτερα την επιστημονική κοινότητα καθώς πλέον οι επιπτώσεις της είναι όχι μόνο ορατές αλλά και επικίνδυνες. Ανάλογα διερευνώνται οι δυνατότητες αντιμετώπισής του μέσω του αστικού σχεδιασμού, συγκεκριμένα μέσα από μοντέλα αντιμετώπισης βασισμένα σε λύσεις που προτείνει η φύση. Προς τον σκοπό αυτό, η φύση ανάγεται ως πηγή άντλησης μηχανισμών με βιώσιμη συμπεριφορά. Αρχικά εντοπίζονται μηχανισμοί από ζωντανούς οργανισμούς που απαντούν σε απαιτήσεις επιβίωσης και προσαρμογής στο περιβάλλον και στο κλίμα ενός τόπου, στη συνέχεια αυτοί μεταφράζονται σε μηχανισμούς παραγωγής του αστικού χώρου με ανάλογα επιθυμητά αποτελέσματα και απαιτήσεις. Ανάλογα επιστρατεύονται εφαρμογές βιομιμητικού σχεδιασμού που ασχολούνται με αυτή τη μέθοδο σχεδιασμού, προσανατολισμένου στην αποτελεσματική επίλυση προβλημάτων για το χώρο τα οποία οφείλονται κατά κύριο λόγο στην κλιματική αλλαγή. Όπως προτείνεται, μέσω του βιομιμητικού σχεδιασμού οι πόλεις αποκτούν ανθεκτικότητα και προσαρμοστικότητα στις κλιματικές αλλαγές και επομένως μπορούν να αντιμετωπίσουν το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας.

Λέξεις κλειδιά: κλιματική αλλαγή, αστική θερμική νησίδα, λύσεις που βασίζονται στη φύση, αστική ανθεκτικότητα, αστικό πράσινο, βιοφιλία, βίο-αξιοποίηση, βιομορφισμός, βιομιμητικός σχεδιασμός

Abstract

This research focuses on applications of biomimetic design in addressing the urban heat island effect for the creation of sustainable and resilient cities. By extension, the concepts of nature-based solutions are addressed and the concepts of biophilia, bio-utilization and biomorphism, which are design methods inspired by nature, are analyzed. The urban heat island effect has been of particular concern to the scientific community as its effects are now not only visible but also dangerous. Accordingly, the possibilities of addressing it through urban planning are explored, specifically through coping models based on solutions proposed by nature. To this end, nature is promoted as a source of mechanisms with sustainable behaviour. Initially, mechanisms are identified by living organisms that respond to the demands of survival and adaptation to the environment and climate of a place, then these are translated into mechanisms of production of urban space with similar desired results and demands. Accordingly, biomimetic design applications are employed that deal with this design method, oriented to the effective solution of problems for space that are mainly due to climate change. As proposed, through biomimetic design cities acquire resilience and adaptability to climate change and can therefore cope with the urban heat island effect.

Keywords: climate change, urban heat island, nature-based solutions, urban resilience, urban green, biophilia, bio-utilization, biomorphism, biomimetic design

Ορισμοί

Αστική Θερμική Νησίδα (Urban Heat Island): Το φαινόμενο όπου η θερμοκρασία στο κέντρο της πόλης είναι μεγαλύτερη από αυτή των προαστίων και της αγροτικής περιοχής που την περιβάλλει.

Αύξηση αστικού πρασίνου (urban greening): Αναφέρεται στη δημόσια διαμόρφωση τοπίου που δημιουργεί αμοιβαίες ωφέλιμες σχέσεις μεταξύ των κατοίκων των πόλεων και του περιβάλλοντος τους.

Λύσεις που Βασίζονται στη Φύση (Nature-Based Solutions): Ενέργειες για την προστασία, τη βιώσιμη διαχείριση και την αποκατάσταση φυσικών και τροποποιημένων οικοσυστημάτων που αντιμετωπίζουν τις κοινωνικές προκλήσεις αποτελεσματικά και προσαρμοστικά, ωφελώντας ταυτόχρονα τους ανθρώπους και τη φύση.

Αστική Ανθεκτικότητα (Urban Resilience): Η μετρήσιμη ικανότητα οποιουδήποτε αστικού συστήματος, συμπεριλαμβανομένων των κατοίκων του, να διατηρεί τη συνέχεια μέσα από όλους τους κραδασμούς και τις πιέσεις, ενώ παράλληλα προσαρμόζεται θετικά και μεταμορφώνεται με γνώμονα τη βιωσιμότητα.

Βιοφιλία (Biophilia): Υποθετική ανθρώπινη τάση να αλληλεπιδρά ή να συνδέεται στενά με άλλες μορφές ζωής στη φύση, μια επιθυμία ή τάση (του ανθρώπου) να επικοινωνεί με τη φύση.

Βιομίμηση (Biomimicry): Η μελέτη του σχηματισμού, της δομής, ή της λειτουργίας των βιολογικών παραγόμενων ουσιών και υλικών (όπως τα ένζυμα ή το μετάξι) και βιολογικών μηχανισμών και διεργασιών (όπως η σύνθεση πρωτεΐνης ή η φωτοσύνθεση) ειδικά με σκοπό τη σύνθεση παρόμοιων προϊόντων από τεχνητούς μηχανισμούς που μιμούνται φυσικούς.

Βιομορφισμός (Biomorphism): Αφορά οτιδήποτε μοιάζει ή υποδηλώνει μορφές ζωντανών οργανισμών.

Βιο-αξιοποίηση (Bio-utilization): Αφορά τη χρήση βιολογικών υλικών ή ζωντανών οργανισμών στο σχεδιασμό και την κατασκευή κτιρίων.

Περιεχόμενα

10	Εισαγωγή
11-12	Μεθοδολογία ερευνητικής
13	1. Κλιματική Αλλαγή
14	1.1 Ορισμός και η αύξηση θερμοκρασιών στις πόλεις ως κλιματική επίπτωση
15	2. Αστική Θερμική Νησίδα
16	2.1 Ορισμός και ιστορικό πλαίσιο
17	2.2 Αίτια εμφάνισης αστικής θερμικής νησίδας
18	2.3 Επίπτώσεις αστικής θερμικής νησίδας και παράγοντες επηρεασμού
19	2.4 Παραδείγματα ερευνών για τη μείωση των θερμοκρασιών στις πόλεις
20	3. Λύσεις που βασίζονται στη φύση
21	3.1 Ορισμός
22-24	3.2 Η φύση ως υπόδειγμα εφαρμογών στον αστικό σχεδιασμό
25-26	3.3 Κριτική αποτίμηση της εφαρμογής λύσεων βασισμένων στη φύση για την αντιμετώπιση της αστικής θερμικής νησίδας μέσω παραδειγμάτων
27-28	3.4 Η αστική ανθεκτικότητα ως «εργαλείο» αντιμετώπισης της αστικής θερμικής νησίδας
29	3.5 Τα τεχνολογικά μέσα ως πηγή γνώσης και αποτελεσματικής εφαρμογής της φύσης στον σχεδιασμό
30	4. Βιομημητικός Σχεδιασμός
31-33	4.1 Ορισμός και διαχωρισμός από τις υπόλοιπες βίο-προσεγγίσεις
34-35	4.2 Ο ρόλος της βιομίμησης στην αρχιτεκτονική και η συνεισφορά της στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής
36-37	4.3 Χαρακτηριστικά του βιομημητικού σχεδιασμού
38-44	4.4 Παραδείγματα βιομίμησης στην αρχιτεκτονική
45-48	4.5 Διερεύνηση φυσικών μηχανισμών ρύθμισης θερμότητας
49-51	4.6 Ενσωμάτωση φυσικών μηχανισμών απώλειας θερμότητας στον αστικό ιστό για αντιμετώπιση της αστικής θερμικής νησίδας
52-54	5. Συμπεράσματα
55-61	Πηγές

Εισαγωγή

Η κλιματική αλλαγή είναι ένα σοβαρό ζήτημα με επιπτώσεις στο περιβάλλον, όπως το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας. Το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας προκαλείται από την αστική ανάπτυξη και τις ανθρώπινες δραστηριότητες, ενώ οι επιπτώσεις του γίνονται ήδη αισθητές στη ζωή των κατοίκων των πόλεων και, όπως προβλέπεται στο εγγύς μέλλον, οι περισσότερες πόλεις θα έρθουν αντιμέτωπες σε μεγάλο βαθμό από τις ισχυρές επιπτώσεις του. Ερευνητές όπως ο Mark Jacobson¹ και ο Shobhakar Dhakal², μέσω του έργου τους, έχουν υποδείξει λύσεις που βασίζονται στη φύση για τον μετριασμό του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας.

Οι λύσεις που βασίζονται στη φύση βελτιώνουν την ανθεκτικότητα των πόλεων και αποτρέπουν την απώλεια βιοποικιλότητας. Αρχιτέκτονες όπως ο Jan Gehl³, ο Stefano Boeri⁴ και ο Ian McHarg⁵ έχουν τονίσει τη σημασία και την αναγκαιότητα της σχέσης μεταξύ αστικού και φυσικού περιβάλλοντος, έτσι ώστε οι λύσεις που βασίζονται στη φύση να μπορούν να ενσωματωθούν στο σχεδιασμό των πόλεων για να ενισχύσουν την ανθεκτικότητα και τη βιωσιμότητα. Οι ερευνητές Hashem Akbari⁶ και Cynthia Rosenzweig⁷ έχουν αναλύσει τη σημασία της βλάστησης για την επίτευξη αυτών των στόχων. Τα τεχνολογικά μέσα συμβάλλουν επίσης στην ενσωμάτωση της φύσης στον αστικό σχεδιασμό, καθώς παρέχουν γνώσεις και εργαλεία στους αρχιτέκτονες για την αποτελεσματική μεταφορά των μηχανισμών της φύσης στο σχεδιασμό.

Προσεγγίσεις σε σχέση με τη μεταφορά μηχανισμών από τη φύση στο σχεδιασμό αποτελούν η βιομίμηση, η βιοφιλία, ο βιομορφισμός και η βιο-αξιοποίηση. Η βιομίμηση μπορεί να βοηθήσει στην επίλυση περιβαλλοντικών προβλημάτων όπως η κλιματική αλλαγή και το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας. Η Janine Benyus⁸, ο Michael Pawlyn⁹ και ο Philip Ball¹⁰ έχουν αναλύσει τον ρόλο της βιομίμησης στην αρχιτεκτονική και την δημιουργία πιο βιώσιμων πόλεων που μπορεί να επιτευχθεί μέσω αυτής. Εκτός αυτού, μέσω της βιομίμησης, οι πόλεις αποκτούν προσαρμοστικότητα και ανθεκτικότητα απέναντι στις αλλαγές. Μαθαίνοντας πώς η φύση προσαρμόζεται και ευδοκimei υπό διαφορετικές συνθήκες, οι πόλεις μπορούν να σχεδιαστούν έτσι ώστε να είναι σε θέση να αντέξουν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Το χαρακτηριστικό αυτό επιτρέπει στα αστικά περιβάλλοντα να αντιμετωπίζουν και να προσαρμόζονται σε προκλήσεις που οφείλονται στο φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας.

¹ Mark Z. Jacobson, Cambridge University Press, 2020, 100% Clean, Renewable Energy and Storage for Everything, https://assets.cambridge.org/97811084/79806/frontmatter/9781108479806_frontmatter.pdf

² Shobhakar Dhakal, Springer, 2017, Creating Low Carbon Cities

³ Jan Gehl, Island Press 2010, Cities for People, https://umranica.wikido.xyz/repo/7/75/Cities_For_People_-_Jan_Gehl.pdf

⁴ Stefano Boeri, Springer, 2023, Transforming Biocities: Designing Urban Spaces Inspired by Nature, <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-29466-2>

⁵ Ian L. McHarg, American Museum of Natural History, 1969, Design with nature, <https://www.are.na/block/8413048>

⁶ Hashem Akbari, Springer, 2012, Urban Heat Islands: Consequences and Mitigation Measures, <https://thenextchapterhermiston.com/book/9783540883883>

⁷ Cynthia Rosenzweig, Cambridge University Press, 2018, Climate Change and Cities: Second Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network, https://unfccc.int/files/parties_observers/submissions_from_observers/application/pdf/787.pdf

⁸ Janine Benyus, Harper Perennial, 2002, Biomimicry Innovation Inspired by Nature, https://www.academia.edu/38300413/Janine_M_Benyus_Biomimicry_Innovation_Inspired_by_Nature_2002_Harper_Perennial_1_

⁹ Michael Pawlyn, RIBA Publishing, 2011, Biomimicry in Architecture

¹⁰ Philip Ball, University of Chicago Press, 2016, Patterns in Nature: Why the Natural World Looks the Way It Does

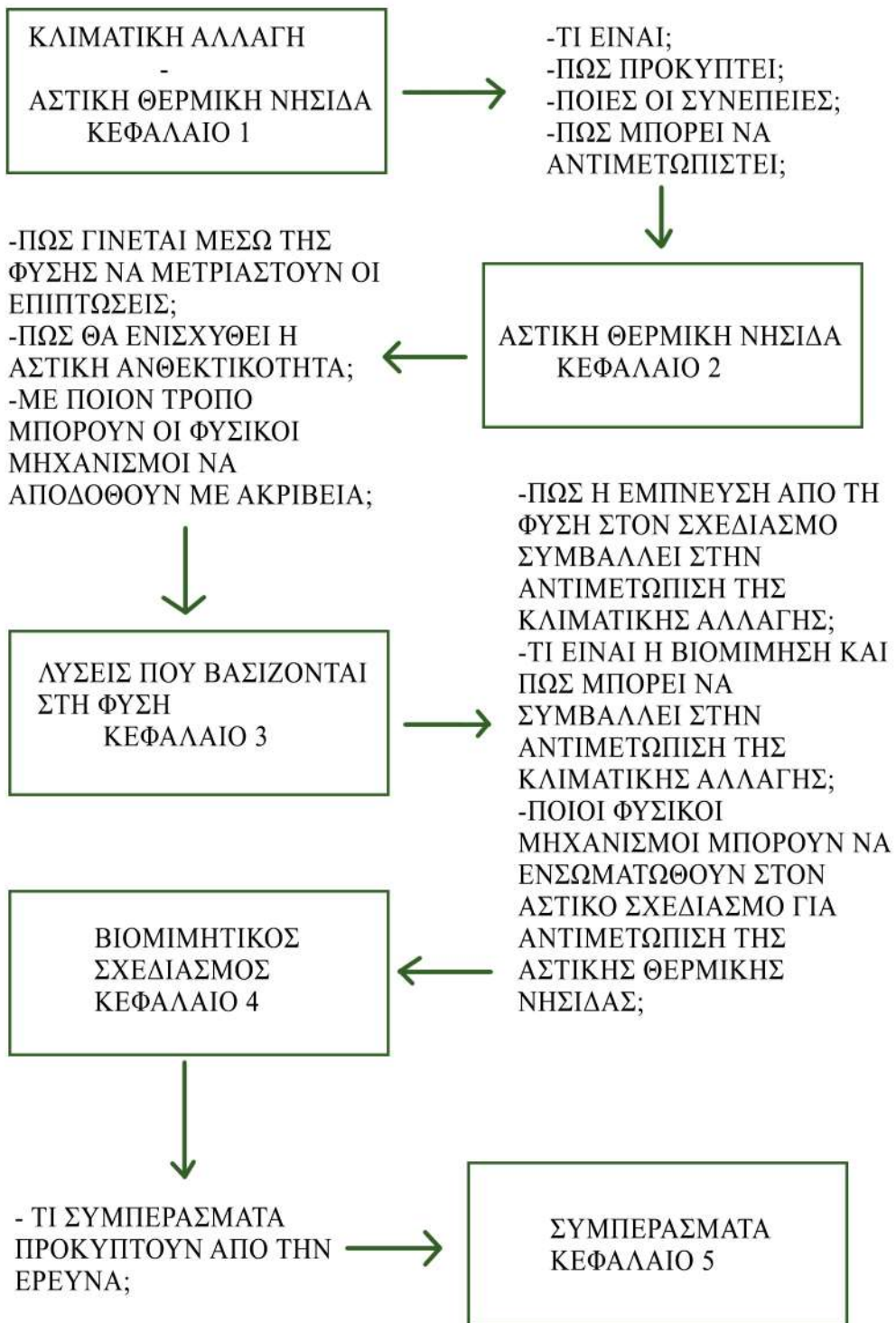
Μεθοδολογία ερευνητικής

Σκοπός της παρούσας ερευνητικής εργασίας είναι η εξήγηση και επισήμανση της αναγκαιότητας αντιμετώπισης του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας. Για την αντιμετώπιση αυτού του επίκαιρου προβλήματος, αναζητούνται λύσεις μέσα από τη μελέτη και μίμηση μηχανισμών που παρατηρούνται στη φύση. Μέσω του εντοπισμού των συμπεριφορών των ζωντανών οργανισμών για τη ρύθμιση της θερμότητας, μπορούν οι αρχιτέκτονες να εμπνευστούν ώστε να προσαρμόσουν αυτούς τους φυσικούς μηχανισμούς στον αστικό ιστό. Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε στην εκπόνηση της ερευνητικής εργασίας περιλαμβάνει ανάλογα παραδείγματα και παράθεση σχετικής βιβλιογραφίας. Μέσω των αναφορών αυτών, γίνεται καλύτερη κατανόηση των ορισμών και του θεωρητικού υποβάθρου της εργασίας ενώ επίσης παρουσιάζονται στη πράξη όσα αναφέρονται στη θεωρία, ενισχύοντας τον πρακτικό χαρακτήρα της ερευνητικής και οδηγώντας στην εύρεση βιομιμητικών μηχανισμών στην αντιμετώπιση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας.

Η ερευνητική, τέλος, στοχεύει να απαντήσει στα εξής ερωτήματα:

- Πώς από την προσπάθεια περιορισμού ή ακόμη και μηδενισμού των επιπτώσεων της Αστικής Θερμικής Νησίδας, που πράγματι είναι σε θέση να επιτύχουν οι λύσεις που βασίζονται στη φύση, θα ήταν δυνατό ο σχεδιασμός να στρέφεται σε λύσεις που προσφέρουν στο οικοσύστημα;
- Παρατηρώντας πώς λειτουργεί η φύση και πώς λύνει προβλήματα που εμφανίζονται και κατανοώντας τους μηχανισμούς αυτούς, πώς θα μπορούσαν να δημιουργηθούν πρότυπα σχεδιασμού με στόχο ένα θετικό αντίκτυπο στο οικοσύστημα;

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗΣ



Κεφάλαιο 1

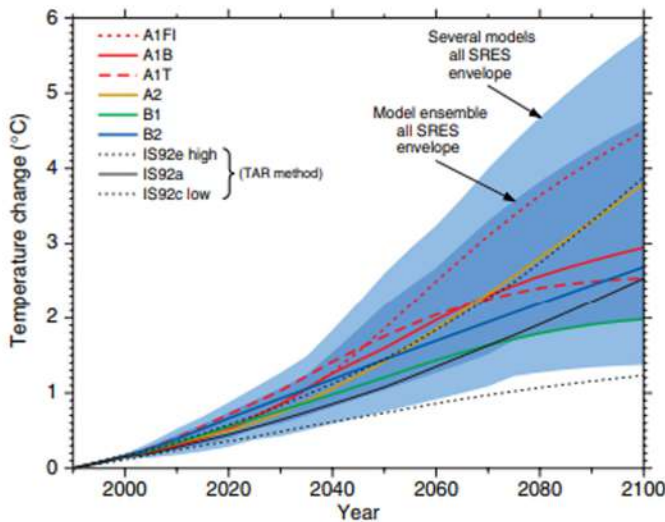
Κλιματική Αλλαγή

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θίγεται το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής και συγκεκριμένα της αύξησης των θερμοκρασιών εντός των αστικών ιστών, εισάγοντας έτσι την έννοια της αστικής θερμικής νησίδας.

1.1 Ορισμός και η αύξηση θερμοκρασιών στις πόλεις ως κλιματική επίπτωση

«Ως κλιματική αλλαγή νοείται μια αλλαγή του κλίματος που αποδίδεται άμεσα ή έμμεσα στην ανθρώπινη δραστηριότητα, η οποία μεταβάλλει τη σύνθεση της παγκόσμιας ατμόσφαιρας και η οποία προστίθεται στη φυσική κλιματική μεταβλητότητα που παρατηρείται σε συγκρίσιμες χρονικές περιόδους».¹¹

Η κλιματική αλλαγή είναι ένα πειστικό και σύνθετο ζήτημα που έχει οδηγήσει σε σοβαρές προκλήσεις, μία από τις οποίες είναι η αύξηση των υψηλών θερμοκρασιών μέσα στις πόλεις. Αυτό το φαινόμενο είναι γνωστό ως αστική θερμική νησίδα. Οι αυξανόμενες παγκόσμιες θερμοκρασίες λόγω της κλιματικής αλλαγής έχουν επιδεινώσει αυτό το φαινόμενο, οδηγώντας σε πολυάριθμες επιπτώσεις για τους κατοίκους των πόλεων και τις υποδομές. Ο πλανήτης πρώτη φορά βιώνει τόσο ακραίες θερμοκρασίες. Αυτό οφείλεται στις τωρινές υψηλότερες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου που εκλύονται στην ατμόσφαιρα, εντείνοντας έτσι το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής. Σύμφωνα με τον ερευνητή Shobhakar Dhakal, η κλιματική αλλαγή έχει ολέθριες επιπτώσεις στη φύση ειδικά στον χώρο της βιοποικιλότητας όπου τα ζώα και τα φυτά καλούνται να προσαρμοστούν σε αυτές τις έντονες κλιματικές αλλαγές. Βέβαια όπως έχει αποδειχθεί, τόσο τα φυτά όσο και τα ζώα δείχνουν να ανταποκρίνονται σε αυτές τις διαφορετικές συνθήκες και να παρουσιάζουν μηχανισμούς προσαρμογής ακόμη και στις πολύ υψηλές θερμοκρασίες.¹²



Εικόνα 1: Η αύξηση της θερμοκρασίας από το 1990 έως το 2100. (Climate Change 2001: The Scientific Basis, https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGI_TAR_full_report.pdf)

¹¹ United Nations Framework Convention on Climate Change, <https://unfccc.int/resource/ccsites/zimbab/conven/text/art01.htm>

¹² Tara Lohan, Adapt, The Revelator, 2024, Move or Die? Plants and Animals Face New Pressures in a Warming World, <https://therevelator.org/climate-plants-animals/>

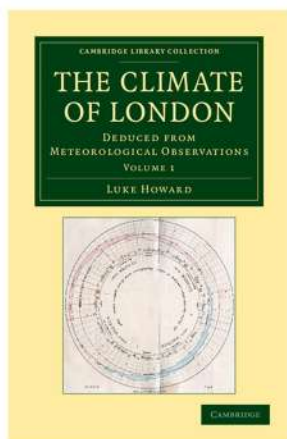
Κεφάλαιο 2

Αστική Θερμική Νησίδα

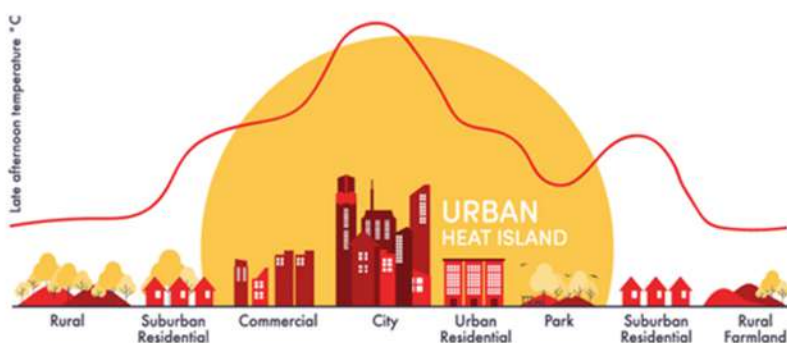
Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο αναλύεται το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας ως προς τον ορισμό του, τα αίτια που το προκαλούν και τις επιπτώσεις που επιφέρει. Τέλος, γίνεται αναφορά στο έργο των ερευνητών Mark Jacobson και Shobhakar Dhakal για την αντιμετώπιση της θερμικής νησίδας.

2.1 Ορισμός και ιστορικό πλαίσιο

«Λέγεται το φαινόμενο όπου η θερμοκρασία στο κέντρο της πόλης είναι μεγαλύτερη από αυτή των προαστίων και της αγροτικής περιοχής που την περιβάλλει».¹³ Πρώτη επιστημονική αναφορά στο φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας έγινε από τον Βρετανό χημικό και μετεωρολόγο Luke Howard το έτος 1818 μέσα από το βιβλίο του «The Climate of London» όπου καταγράφηκε ότι η θερμοκρασία στο κέντρο του Λονδίνου ήταν εμφανώς υψηλότερη από τη θερμοκρασία στα προάστια του. Σε αυτό το φαινόμενο μάλιστα, απέδωσε τη συγκέντρωση αιθαλομίχλης στο Λονδίνο.¹⁴ Συνεπώς το φαινόμενο αυτό δεν είναι κάτι καινούριο ή άγνωστο γι' αυτό και οι αιτίες που το προκαλούν είναι γνωστές.



Εικόνα 2: Το εξώφυλλο του βιβλίου του Luke Howard "THE CLIMATE OF LONDON." (Cambridge Library Collection - Earth Science Volume 1, <https://www.cambridge.org/core/books/climate-of-london/E5796F1775785528A606DCFAD883E979>)



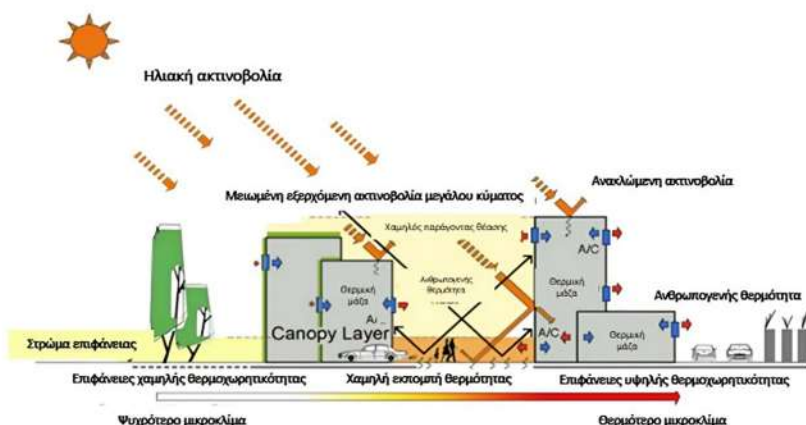
Εικόνα 3: Απεικόνιση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας. (Γκιόκας Κωνσταντίνος, Το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας στη δυτική Μητροπολιτική Αθήνα, http://oldwww.arch.ntua.gr/sites/default/files/project/14369_/gkiokas_konstantinos.pdf)

¹³ Heat Island Effect, EPA, <https://www.epa.gov/heatislands>

¹⁴ The Climate of London by Luke Howard, IAUC, https://docs.ufpr.br/~feltrim/LIVROS/LukeHoward_Climate-of-London-V1.pdf

2.2 Αίτια εμφάνισης αστικής θερμικής νησίδας

Το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας προκύπτει από την έντονη αστικοποίηση καθώς και από ανθρωπογενείς δραστηριότητες που εξελίσσονται εντός του αστικού ιστού. Πρώτος παράγοντας διαμόρφωσης του φαινομένου είναι η αστική γεωμετρία, δηλαδή ο τρόπος που είναι δομημένη μια πόλη επί παραδείγματι ως προς τα ύψη των κτιρίων της ή την απόσταση μεταξύ τους. Σε περιοχές με πυκνή δόμηση ο αέρας δεν ανακυκλώνεται και κατ' επέκταση αυξάνεται η θερμοκρασία. Άλλος παράγοντας διαμόρφωσης της αστικής θερμικής νησίδας είναι τα υλικά που χρησιμοποιούνται μέσα στις πόλεις. Για παράδειγμα το γυαλί, η άσφαλτος και το σκυρόδεμα απορροφούν μεγάλα ποσοστά ηλιακής ακτινοβολίας και θερμότητας. Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες είναι ένας ακόμη παράγοντας στον οποίο οφείλεται το φαινόμενο της θερμικής νησίδας στις πόλεις. Παραδείγματα τέτοιων δραστηριοτήτων αποτελούν η συχνή και συνεχής χρήση οχημάτων και η εξάρτηση από μηχανικά συστήματα ψύξης. Αυτές οι δραστηριότητες αυξάνουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, οδηγώντας σε αύξηση της θερμοκρασίας. Τέλος, η έλλειψη χώρων πρασίνου και βλάστησης εντός των αστικών ιστών είναι ένας ακόμη παράγοντας πρόκλησης της αστικής θερμικής νησίδας. Η αντικατάσταση του φυσικού πρασίνου με σκληρές επιφάνειες, όπως σκυρόδεμα και άσφαλτο, μειώνει τη διαδικασία εξάτμισης και αυξάνει την απορρόφηση θερμότητας από κτίρια, δρόμους και πεζοδρόμια. Αυτή η έλλειψη βλάστησης περιορίζει επίσης την επίδραση ψύξης που παρέχεται από τα φυτά μέσω της διαπνοής, εντείνοντας περαιτέρω το φαινόμενο της θερμικής νησίδας και των επιπτώσεων που επιφέρει.



Εικόνα 4: Παράγοντες που συμβάλλουν στη διαμόρφωση της αστικής θερμικής νησίδας. (Γκιόκας Κωνσταντίνος, Το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας στη δυτική Μητροπολιτική Αθήνα, http://oldwww.arch.ntua.gr/sites/default/files/project/14369/_gkiokas_konstantinos.pdf)

2.3 Επιπτώσεις αστικής θερμικής νησίδας και παράγοντες επηρεασμού

Η αστική ανάπτυξη έχει άμεσες και έμμεσες αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Άμεσα όσον αφορά το ίδιο το περιβάλλον που γίνεται η ανάπτυξη ενώ έμμεσα επειδή επηρεάζει το ευρύτερο πλανητικό οικοσύστημα από την παρέμβαση που υλοποιείται. Καθώς οι κάτοικοι στις πόλεις συνεχίζουν να αυξάνονται, η ζήτηση για στέγαση αυξάνεται επίσης, οδηγώντας στη συνεχή επέκταση των πόλεων. Αυτή η επέκταση έχει ως αποτέλεσμα τη μετατροπή των φυσικών τοπίων σε πυκνές αστικές δομές, με τα δέντρα και τα φυτά να αντικαθίστανται από αδιαπέραστα δομικά υλικά. Η μετατόπιση του τοπίου μεταβάλλει το κλίμα της πόλης, τη βιοποικιλότητα στις γύρω περιοχές και τα πρότυπα κατανάλωσης ενέργειας. Η συμπαγής κατασκευή των πόλεων, ο συγχρωτισμός των κτιρίων και οι ψηλές κατασκευές λειτουργούν ως τείχη που εμποδίζουν την κυκλοφορία του αέρα, παγιδεύοντας τον θερμό αέρα και αποτρέποντας την είσοδο του ψυχρού. Η υπερβολική χρήση υλικών όπως το σκυρόδεμα, η ασφαλτος και το γυαλί, τα οποία έχουν υψηλή θερμική αγωγιμότητα και θερμοχωρητικότητα, επιδεινώνει περαιτέρω το πρόβλημα μετατρέποντας την πόλη σε φυσικό θερμοσυσσωρευτή. Το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας οδηγεί επίσης σε μειωμένη εξωτερική θερμική άνεση στις πόλεις και αυξημένη εξάρτηση από μηχανικά συστήματα ψύξης, αυξάνοντας τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Η θερμική νησίδα συνδέεται συνεπώς και με την αύξηση των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης, επιδεινώνοντας τις περιβαλλοντικές προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι αστικές περιοχές και προκαλώντας αναπνευστικά προβλήματα. Εκτός όμως από την ατμοσφαιρική ρύπανση προβλήματα προκύπτουν και στην μόλυνση των υδάτων αφού με την αύξηση της θερμοκρασίας των δομικών υλικών αυξάνεται και η θερμοκρασία των όμβριων υδάτων αλλά και γενικότερα των υδάτινων οικοσυστημάτων της περιοχής. Αυτή η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί σημαντικά προβλήματα στην βιοποικιλότητα και στη βιωσιμότητα της υδρόβιας χλωρίδας και πανίδας.

Αυτές είναι κάποιες από τις επιπτώσεις που αντιμετωπίζουν σήμερα οι πόλεις και το οικοσύστημα εξαιτίας της αστικής θερμικής νησίδας και όπως προβλέπεται μελλοντικά οι επιπτώσεις αυτές θα ενταθούν. Επί παραδείγματι, το 2050 η πόλη της Αθήνας προβλέπεται ότι θα αντιμετωπίζει τριπλάσιες μέρες έντονου καύσωνα συγκριτικά με σήμερα.¹⁵ Ο καύσωνας είναι υπεύθυνος για τους περισσότερους θανάτους παγκοσμίως που προκαλούνται από φυσικό φαινόμενο και γι' αυτό είναι απαραίτητο να βρεθούν αποτελεσματικές λύσεις για την αντιμετώπιση της θερμικής νησίδας. Για την αντιμετώπιση του φαινομένου, απαιτούνται τόσο δράσεις μετριασμού (μείωση των εκπομπών) όσο και προσαρμογής (αύξηση της συνολικής ανθεκτικότητας).¹⁶

¹⁵ Hot Cities, Chilled Economies Athens Greece, Adrienne Arsht Rockefeller Foundation Resilience Center, <https://onebillionresilient.org/hot-cities-chilled-economies-athens/>

¹⁶ EU cities and heat extremes, JRC Publications Repository, <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC137891>

2.4 Παραδείγματα ερευνών για τη μείωση των θερμοκρασιών στις πόλεις

Αρκετοί ερευνητές έχουν ασχοληθεί με τον τρόπο που η κλιματική αλλαγή έχει οδηγήσει σε υψηλές θερμοκρασίες μέσα στις πόλεις. Ο Mark Jacobson, καθηγητής πολιτικής και περιβαλλοντικής μηχανικής στο Πανεπιστήμιο του Στάνφορντ, έχει ασχοληθεί εκτενώς με τις επιπτώσεις της αστικοποίησης και της κλιματικής αλλαγής στις τοπικές θερμοκρασίες, προτείνοντας λύσεις, όπως η αύξηση των χώρων πρασίνου, για τον μετριασμό του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας.¹⁷ Είναι γνωστός για το έργο του σχετικά με την πλήρη μετάβαση σε συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.¹⁸ Η έρευνα του Jacobson αποσκοπεί στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και στον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Οι αστικές περιοχές είναι ιδιαίτερα ευάλωτες στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής λόγω της αστικής θερμικής νησίδας. Η έρευνα του έχει επισημάνει την ανάγκη για βιώσιμες στρατηγικές αστικού σχεδιασμού που μπορούν να βοηθήσουν στην άμβλυνση του φαινομένου και στη δημιουργία πιο ανθεκτικών πόλεων.¹⁹

Επίσης, ο Shobhakar Dhakal, καθηγητής αστικής βιωσιμότητας στο Ασιατικό Ινστιτούτο Τεχνολογίας, μέσω της έρευνας του, έχει επικεντρωθεί στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ της αστικοποίησης, της κλιματικής αλλαγής και της κατανάλωσης ενέργειας, υπογραμμίζοντας την ανάγκη για στρατηγικές βιώσιμης αστικής ανάπτυξης για την αντιμετώπιση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας.²⁰ Η έρευνα του Dhakal επικεντρώθηκε στον ρόλο που έχουν οι πόλεις στον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και στην προσαρμογή στις μεταβαλλόμενες θερμοκρασίες.²¹ Μία από τις βασικές συνεισφορές της έρευνας του Dhakal είναι η έμφαση που δίνει στην ανάγκη λήψης αποφάσεων βάσει τεχνολογικών δεδομένων στις προσπάθειες μετριασμού της κλιματικής αλλαγής. Αξιοποιώντας τεχνολογικά μέσα, έχει αναπτύξει καινοτόμα εργαλεία και μεθοδολογίες για την αξιολόγηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής σε διάφορες περιοχές.²²

¹⁷ Mark Z. Jacobson, Stanford University, <https://web.stanford.edu/group/efmh/jacobson/>

¹⁸ Mark Z. Jacobson, AGU, 2017, Roadmaps to Transition Countries to 100% Clean, Renewable Energy for All Purposes to Curtail Global Warming, Air Pollution, and Energy Risk, <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2017EF000672>

¹⁹ Mark Z. Jacobson, JOURNAL OF CLIMATE, 2011, Effects of Urban Surfaces and White Roofs on Global and Regional Climate, <https://web.stanford.edu/group/efmh/jacobson/Arti->

²⁰ Professor Shobhakar Dhakal, AIT, <https://faculty.ait.ac.th/shobhakar/>

²¹ Shobhakar Dhakal, ScienceDirect, 2010, GHG emissions from urbanization and opportunities for urban carbon mitigation, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1877343510000394>

²² What the latest science on climate change mitigation means for cities and urban areas, Indian Institute for Human Settlements, https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/18411/1/SUPVol3_15Nov-reduced.pdf

Κεφάλαιο 3

Λύσεις που βασίζονται στη φύση

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο εισάγεται η έννοια των λύσεων που βασίζονται στη φύση (nature-based solutions) ως στρατηγική μετριασμού των επιπτώσεων της αστικής θερμικής νησίδας. Επίσης, εισάγονται οι όροι αστική ανθεκτικότητα (urban resilience) και αύξηση αστικού πρασίνου (urban greening). Η αύξηση του αστικού πρασίνου συμβάλλει σημαντικά στην μείωση της θερμοκρασίας μέσα στις πόλεις ενώ μέσα από αναφορές των έργων των αρχιτεκτόνων Ian McHarg, Jan Gehl και Stefano Boeri αλλά και των ερευνητών Hashem Akbari και Cynthia Rosenzweig τονίζεται η σημασία ενίσχυσης της αστικής ανθεκτικότητας για τη βιωσιμότητα των πόλεων. Τέλος, αναφέρεται ο σημαντικός ρόλος των τεχνολογικών μέσων στην κατανόηση και μεταφορά στοιχείων της φύσης στον σχεδιασμό.

3.1 Ορισμός

Οι πόλεις σήμερα επιλέγουν λύσεις που βασίζονται στη φύση (nature-based solutions) για να αντιμετωπίσουν τα προβλήματα που έχει προκαλέσει η κλιματική αλλαγή όπως είναι η υπερθέρμανση, η απώλεια βιοποικιλότητας, η εξάντληση των πόρων και το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας. «Οι λύσεις που βασίζονται στη φύση είναι ενέργειες για την προστασία, τη βιώσιμη διαχείριση και την αποκατάσταση φυσικών και τροποποιημένων οικοσυστημάτων που αντιμετωπίζουν τις κοινωνικές προκλήσεις αποτελεσματικά και προσαρμοστικά, ωφελώντας ταυτόχρονα τους ανθρώπους και τη φύση. Αντιμετωπίζουν τις κοινωνικές προκλήσεις μέσω της προστασίας, της αιωφόρου διαχείρισης και της αποκατάστασης τόσο των φυσικών όσο και των τροποποιημένων οικοσυστημάτων, προς όφελος τόσο της βιοποικιλότητας όσο και της ανθρώπινης ευημερίας. Οι λύσεις που βασίζονται στη φύση υποστηρίζονται από οφέλη που απορρέουν από υγιή οικοσυστήματα. Στοχεύουν σε μεγάλες προκλήσεις όπως η κλιματική αλλαγή, η μείωση του κινδύνου καταστροφών, η ασφάλεια των τροφίμων και του νερού, η απώλεια βιοποικιλότητας και η ανθρώπινη υγεία και είναι κρίσιμα για τη βιώσιμη οικονομική ανάπτυξη».²³

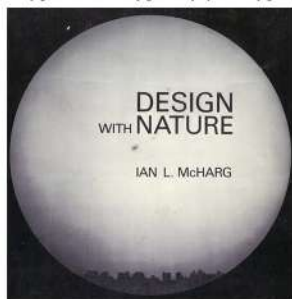


Εικόνα 5: Στρατηγικές μετριασμού της αστικής θερμικής νησίδας μέσω λύσεων που βασίζονται στη φύση. (Sustainable Mitigation Strategies for Urban Heat Island Effects in Urban Areas, MDPI, <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/14/10767#>)

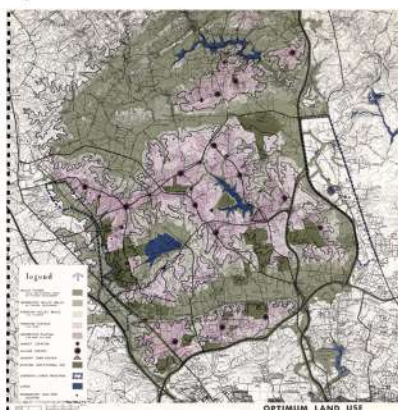
²³ Nature-based Solutions, IUCN, <https://www.iucn.org/our-work/nature-based-solutions>

3.2 Η φύση ως υπόδειγμα εφαρμογών στον αστικό σχεδιασμό

Με βάση την φυσιολογία του τοπίου στην εκάστοτε περιοχή, οι αρχιτέκτονες αφού έχουν παρατηρήσει τον τρόπο που λειτουργεί η φύση, οφείλουν να εναρμονίζουν στην συνέχεια τον αστικό ιστό μέσα στο φυσικό τοπίο. Μέσα από το βιβλίο «Design with Nature» του Σκωτσέζου αρχιτέκτονα τοπίου Ian McHarg που εκδόθηκε το 1969, επαναπροσδιορίζεται η σχέση του ανθρώπου με τη φύση και τονίζεται η σπουδαιότητα της αλληλεπίδρασής τους. Το «Design with Nature» αποτελεί το πρώτο περιβαλλοντικό μανιφέστο που περιέγραψε το σχεδιαστικό ήθος απέναντι στη φύση κατά τον 20ο αιώνα.²⁴ Μέσα από το βιβλίο του ο Ian McHarg στόχευε να καταστεί κατανοητό ότι ο τρόπος με τον οποίο σχεδιάζεται μία πόλη και διαχειρίζεται μια έκταση είναι πολύ καλύτερος όταν λαμβάνεται υπόψιν από τους σχεδιαστές η οικολογία και η φυσιολογία του τοπίου ειδικά υπό το πρίσμα της απειλής της κλιματικής αλλαγής στην οποία οδηγήθηκε ο πλανήτης εξαιτίας της αδιαφορίας των ανθρώπων απέναντι στο φυσικό περιβάλλον. Ο McHarg δεν αρκέστηκε μόνο στο να γράψει και να μιλήσει για αυτές τις ιδέες αλλά ανέπτυξε πρακτικές τεχνικές σχεδιασμού ώστε να τις υλοποιήσει. Για παράδειγμα στο «The Plan for the Valleys», ο Ian McHarg πρότεινε μια ιδέα που δίνει έμφαση στην ενσωμάτωση των φυσικών συστημάτων στο δομημένο περιβάλλον για τη δημιουργία πιο βιώσιμων πόλεων. Η ενσωμάτωση εκτεταμένων πράσινων υποδομών όπως πάρκα, χώροι πρασίνου και πράσινες διαδρομές στις αστικές περιοχές, ο σχεδιασμός χρήσης γης που εξετάζει τα οικολογικά συστήματα παράλληλα με την αστική ανάπτυξη ώστε να διατηρηθούν οι φυσικοί οικοτόποι καθώς και οι αποτελεσματικές στρατηγικές διαχείρισης νερού, όπως συλλογή βρόχινου νερού, είναι χαρακτηριστικά που αναλύονται στο «The Plan for the Valleys» και μπορούν να εφαρμοστούν ώστε να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας.²⁵



Εικόνα 6: Το εξώφυλλο του βιβλίου του Ian McHarg "DESIGN WITH NATURE" (Architectural Archives of the University of Pennsylvania, How Ian McHarg Taught Generations to 'Design With Nature', Bloomberg, <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-06-10/the-legacy-of-design-with-nature-50-years-later>)



Εικόνα 7: Η εικόνα δείχνει έναν χάρτη από το «The Plan for the Valleys». Περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με τη χωροταξική χρήση της γης, τους περιορισμούς ανάπτυξης και διαφορετικούς τύπους περιοχών όπως κοιλάδες, δάση και οροπέδια. Ο χάρτης περιλαμβάνει επίσης σύμβολα που υποδεικνύουν διάφορα στοιχεία όπως λίμνες, κτίρια και αστικά κέντρα. (Plan for the Valleys, Wallace-McHarg Associates, 1964, MIT LIBRARIES, <https://dome.mit.edu/handle/1721.3/175667>)

²⁴ Ιωάννης Τσαλικίδης, Όλγα Μπακιριτζή, επίκεντρο, 2014, Τοπία και Κήποι των Ανθρώπων, Θεώρηση της Αρχιτεκτονικής Τοπίου από την αρχαιότητα έως τον 21ο αιώνα

²⁵ George Hundt, Thomas L. Daniels, ResearchGate, 2016, The Plan for the Valleys: Assessing the Vision of Ian McHarg and David Wallace, https://www.researchgate.net/publication/312640850_The_Plan_for_the_Valleys_Assessing_the_Vision_of_Ian_McHarg_and_David_Wallace

Άλλα παραδείγματα αρχιτεκτόνων, που έχουν ασχοληθεί με τη βιώσιμη σχεδίαση πόλεων και ενσωμάτωση φυσικών στοιχείων εντός του αστικού ιστού, αποτελούν ο Jan Gehl και ο Stefano Boeri. Ο Jan Gehl είναι Δανός αρχιτέκτονας, γνωστός για το έργο του στη σχεδίαση πόλεων με επίκεντρο τον άνθρωπο. Η προσέγγιση του Jan Gehl τονίζει τη σημασία του αστικού σχεδιασμού σε ανθρώπινη κλίμακα, δίνοντας προτεραιότητα σε περιβάλλοντα φιλικά προς τους πεζούς και σε χώρους πρασίνου. Το έργο του για αστική βιωσιμότητα και ανθεκτικότητα έχει αποτελέσει πηγή έμπνευσης για πολλές πόλεις σε όλο τον κόσμο. Ένα από τα πιο διάσημα έργα του Jan Gehl είναι το έργο του στην Κοπεγχάγη της Δανίας, μετατρέποντάς την σε πρότυπη πόλη για βιώσιμη αστική ανάπτυξη. Μέσω της πεζοδρόμησης, της βελτίωσης των ποδηλατικών υποδομών και της επέκτασης των χώρων πρασίνου η Κοπεγχάγη έχει γίνει ένα παράδειγμα για το πώς οι πόλεις μπορούν να καταπολεμήσουν τις θερμικές νησίδες.²⁶ Σε άλλο παράδειγμα, σε συνεργασία με το Υπουργείο Μεταφορών της Νέας Υόρκης, ο Jan Gehl εργάστηκε για την ενίσχυση των δημόσιων χώρων και την προώθηση διαδρομών φιλικών για τους πεζούς σε περιοχές όπως η Times Square και το Broadway. Με τον επανασχεδιασμό των δρόμων, την προσθήκη πρασίνου και τη δημιουργία φιλικών προς τους πεζούς διαδρομών, αυτές οι πρωτοβουλίες όχι μόνο βελτιώνουν την αστική βιωσιμότητα, αλλά συμβάλλουν επίσης στη μείωση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας.²⁷ Η επιρροή του Jan Gehl μπορεί επίσης να φανεί στη Μελβούρνη της Αυστραλίας, όπου οι ιδέες του έχουν εφαρμοστεί για τη δημιουργία ανθρωποκεντρικών περιβαλλόντων δίνοντας προτεραιότητα στους πεζούς και τους ποδηλάτες έναντι των αυτοκινήτων. Με την αναδιαμόρφωση των δρόμων, την ενίσχυση των δημόσιων χώρων και την ενσωμάτωση της φύσης στον αστικό ιστό, η Μελβούρνη έχει λάβει μέτρα για την αντιμετώπιση των αστικών θερμικών νησίδων.²⁸



Εικόνα 8: Η εικόνα παρουσιάζει τη μετατροπή ενός ασφαλτοστρωμένου χώρου σε πάρκο στην περιοχή της Κοπεγχάγης. Πρόκειται για χώρο φιλικό προς τους πεζούς χωρίς οχήματα με πλούσια φύτευση που αποτελεί καταφύγιο για την τοπική πανίδα. (Katherine Notman, Secret København, 2020, Copenhagen Is Getting An Exciting New Green City Park In Front Of Tivoli, <https://secretkopenhagen.com/urban-park-copenhagen/>)



Εικόνα 9: Η εικόνα παρουσιάζει έναν δρόμο φιλικό για πεζούς και ποδηλάτες στη Μελβούρνη με φύτευση κατά μήκος του (David Schout, CBD NEWS, 2019, Pedestrians take priority in new strategy, <https://www.cbdnews.com.au/pedestrians-take-priority-in-new-strategy/>)



Εικόνα 10: Η εικόνα δείχνει την πλέον πεζοδρομημένη Times Square με χώρους για τους πεζούς (Kriston Capps, ARCHITECT, 2014, Jan Gehl, Copenhagen, and the Trajectory of City Planning, https://www.architectmagazine.com/design/urbanism-planning-jan-gehl-copenhagen-and-the-trajectory-of-city-planning_o)

²⁶ Eduardo Souza, archdaily, 2022, Multi-Use Public Spaces and Urban Design: Copenhagen and Social Integration, <https://www.archdaily.com/992621/multi-use-public-spaces-and-urban-design-copenhagen-and-social-integration>

²⁷ The architects who kickstarted the transformation of Times Square, FINANCIAL TIMES, <https://www.ft.com/content/ade7892c-159a-11e5-be54-00144feabd0>

²⁸ Hayter, Jason Alexander, PLACES, 2006, Places for People 2004 - Melbourne, Australia by Gehl Architects and the City of Melbourne, <https://placesjournal.org/assets/legacy/pdfs/places-for-people-2004.pdf>

Μια άλλη σημαντική προσωπικότητα είναι ο Stefano Boeri, ένας Ιταλός αρχιτέκτονας γνωστός για την καινοτόμο προσέγγισή του στη βιώσιμη αστική ανάπτυξη. Τα έργα του στο Μιλάνο και σε άλλες πόλεις αφορούν την ενσωμάτωση της φύσης στον αρχιτεκτονικό και αστικό σχεδιασμό. Ένα από τα πιο αξιοσημείωτα έργα του είναι το «Vertical Forest» στο Μιλάνο της Ιταλίας. Αυτό το συγκρότημα κατοικιών αποτελείται από δύο κτίρια με πυκνή φύτευση διάσπαρτη στις προσόψεις τους. Το έργο όχι μόνο παρέχει στέγαση, αλλά βοηθά επίσης στον μετριασμό του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας.²⁹ Άλλο έργο βιώσιμης αστικής ανάπτυξης του Stefano Boeri είναι το «The Forest City Shijiazhuang», στην Κίνα. Το συγκεκριμένο έργο βρίσκεται στο Shijiazhuang και είναι γνωστό για τα φιλικά προς το περιβάλλον χαρακτηριστικά του, τα οποία συμβάλλουν στον μετριασμό των επιπτώσεων της θερμικής νησίδας. Η βλάστηση στα μπαλκόνια των κτιρίων λειτουργεί ως φίλτρο μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού περιβάλλοντος, μειώνοντας τη διαφορά θερμοκρασίας των κτιρίων. Δημιουργώντας ένα μεγάλο αριθμό επιφανειών που καλύπτονται από φυτά, συμπεριλαμβανομένων κάθετων δασών και χώρων πρασίνου, το «The Forest City Shijiazhuang» μπορεί να μειώσει τις αυξημένες θερμοκρασίες που οφείλονται στην θερμική νησίδα. Τα φυτά παρέχουν σκιά, απελευθερώνουν υγρασία μέσω της διαπνοής και απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία, συμβάλλοντας σε ένα ψυχρότερο μικροκλίμα μέσα στην πόλη. Η παρουσία διαφόρων ειδών φύτευσης φιλοξενούν διάφορα έντομα και ζώα της περιοχής με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα πλούσιο οικοσύστημα που μπορεί να βοηθήσει στη ρύθμιση των θερμοκρασιών. Η βιοποικιλότητα συμβάλλει στη διατήρηση της οικολογικής ισορροπίας και στον μετριασμό της συσσώρευσης θερμότητας στις αστικές περιοχές.³⁰



Εικόνα 11: Η εικόνα παρουσιάζει το σχέδιο του ερευνητικού προγράμματος για την πόλη Shijiazhuang η οποία αποτελείται από κτίρια καλυμμένα με φυτά, τα λεγόμενα «Κάθετα Δάση». Αποτελεί ένα αστικό οικοσύστημα που φιλοξενεί πολλά είδη χλωρίδας, τα οποία με τη σειρά τους αποτελούν ενδιαιτήματα για την τοπική πανίδα. (Stefano Boeri, STEFANO BOERI ARCHITETTI, 2015, Forest City Shijiazhuang, <https://www.stefanoboeriarchitetti.net/en/project/forest-city/>)



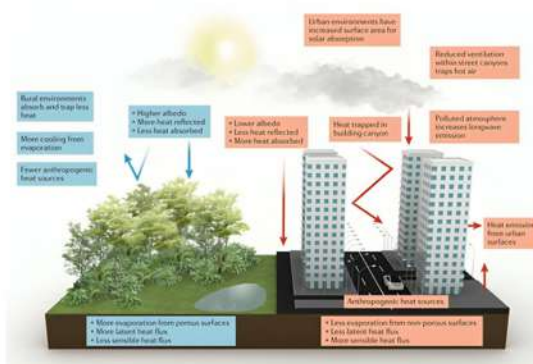
Εικόνα 12: Η εικόνα δείχνει τα δύο κτίρια του έργου «Vertical Forest» στο Μιλάνο. Τις προσόψεις πλαισιώνουν 900 δέντρα και 2.000 θάμνοι, ενισχύοντας τη συνύπαρξη ανάμεσα σε ανθρώπους και άλλα ζωντανά είδη. Εκτός από την χλωρίδα αποτελεί βιότοπο και για την τοπική πανίδα της πόλης αφού φιλοξενεί μεγάλο αριθμό πουλιών και πεταλούδων. (Stefano Boeri, STEFANO BOERI ARCHITETTI, 2014, Vertical Forest Milan, <https://www.stefanoboeri-architetti.net/en/project/vertical-forest/>)

²⁹ Stefano Boeri, STEFANO BOERI ARCHITETTI, 2014, Vertical Forest Milan, <https://www.stefanoboeriarchitetti.net/en/project/vertical-forest/>

³⁰ Stefano Boeri, STEFANO BOERI ARCHITETTI, 2015, Forest City Shijiazhuang, <https://www.stefanoboeriarchitetti.net/en/project/forest-city/>

3.3 Κριτική αποτίμηση της εφαρμογής λύσεων βασιζόμενων στη φύση για την αντιμετώπιση της αστικής θερμικής νησίδας μέσω παραδειγμάτων

Οι λύσεις που βασίζονται στη φύση μπορούν αποδειχθούν ιδιαίτερα αποτελεσματικές στον μετριασμό του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας. Το φαινόμενο αυτό πλήττει τις πόλεις παγκοσμίως διότι αυτές έχουν την κυρίαρχη ευθύνη στην πρόκληση του. Ουσιαστική λοιπόν λύση στο πρόβλημα της θερμικής νησίδας μπορεί να επιτευχθεί με την ένταξη του φυσικού στοιχείου εντός των πόλεων. Η αύξηση του αστικού πρασίνου (urban greening)³¹ για παράδειγμα, προσφέρει βιώσιμες λύσεις αφού αξιοποιεί τις ιδιότητες των φυσικών οικοσυστημάτων και των ευεργετικών επιδράσεων που παρέχουν. Η δεινρόδης βλάστηση στις πόλεις συμβάλλει σημαντικά στη μείωση της θερμοκρασίας λειτουργώντας ως μηχανισμός παθητικού δροσισμού. Μέσω της σκίασης τα δένδρα μειώνουν τη θερμότητα που απορροφάται από τα δομικά υλικά και έτσι παρατηρείται μείωση της θερμοκρασίας τόσο στο εσωτερικό των κτιρίων όσο και στο εξωτερικό περιβάλλον. Επίσης, τα δένδρα μέσω της λειτουργίας της εξατμισοδιαπνοής³² μειώνουν σε τοπικό επίπεδο τη θερμοκρασία προκαλώντας συνθήκες δροσισμού από τις οποίες επωφελείται και ο άνθρωπος. Το πράσινο στις πόλεις λειτουργεί σαν ένα φυσικό φίλτρο που απορροφά το διοξείδιο του άνθρακα και άλλους ρυπαντές με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, καθιστώντας καλύτερη την ποιότητα του αέρα. Η βλάστηση βοηθάει και στην ενίσχυση της βιοποικιλότητας καθώς τα δένδρα επί παραδείγματι, μπορούν να λειτουργήσουν ως καταφύγια αυτόχθονων ειδών της πανίδας της περιοχής. Έτσι, τα δένδρα στις πόλεις συμβάλλουν στον μετριασμό των κλιματικών επιπτώσεων με την σκίαση και την εξατμισοδιαπνοή που προσφέρουν.



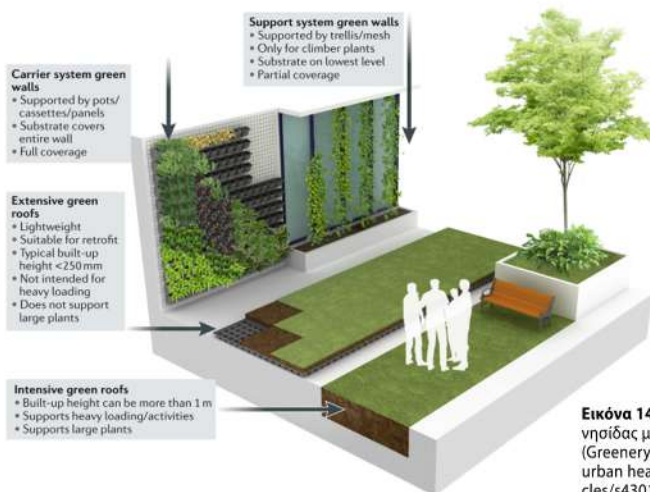
Εικόνα 13: Μετριασμός της αστικής θερμικής νησίδας μέσω της αύξησης του αστικού πρασίνου. (Greenery as a mitigation and adaptation strategy to urban heat, <https://www.nature.com/articles/s43017-020-00129-5>)

³¹ Η αύξηση αστικού πρασίνου(urban greening) αναφέρεται στη δημόσια διαμόρφωση τοπίου που δημιουργεί αμοιβαίες ωφέλιμες σχέσεις μεταξύ των κατοίκων των πόλεων και του περιβάλλοντος τους, Episode 51: Urban Greening with Sandra Albro (Holden Forests & Gardens), <https://sustainabilitydefined.com/urbangreening>

³² Εξατμισοδιαπνοή, Noesis <https://www.noesis.edu.gr/noesis-online/wiki-texnologias/environment/%CE%B1%CF%84%CE%BC%CF%8C%CF%83%CF%86%CE%B1%CE%B9%CF%81%CE%B1/%CE%B5%CE%BE%CE%B1%CF%84%CE%BC%CE%B9%CF%83%CE%BF%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CF%80%CE%BD%CE%BF%CE%AE/>

Ο ρόλος της βλάστησης στην αντιμετώπιση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας στις πόλεις έχει τονιστεί από πολλούς ερευνητές. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί ο Hashem Akbari, επιστήμονας στο Πανεπιστήμιο Concordia, ο οποίος έχει διεξάγει εκτεταμένη έρευνα σχετικά με το ρόλο του πρασίνου στην καταπολέμηση των αστικών θερμικών νησίδων. Οι μελέτες του τονίζουν τη σημασία της αύξησης της κάλυψης της βλάστησης, όπως τα δέντρα και οι πράσινες στέγες, για τη μείωση των επιφανειακών θερμοκρασιών και τη βελτίωση της συνολικής θερμικής άνεσης στις αστικές περιοχές. Το έργο του Hashem Akbari ήταν καθοριστικό για την υποστήριξη λύσεων που βασίζονται στη φύση για την αντιμετώπιση των θερμικών νησίδων και την ενίσχυση της αστικής ανθεκτικότητας.³³

Άλλο παράδειγμα αποτελεί η Cynthia Rosenzweig, ερευνήτρια για την κλιματική αλλαγή στο Ινστιτούτο Διαστημικών Μελετών Goddard της NASA, η οποία ηγείται μιας ερευνητικής ομάδας που επικεντρώνεται στην κατανόηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ πόλεων και κλίματος. Το έργο της ομάδας της δίνει έμφαση στον κρίσιμο ρόλο της βλάστησης στον μετριασμό της αστικής θερμικής νησίδας μέσω της εξατμισοδιαπνοής και των στοιχείων σκίασης. Αναλύοντας δεδομένα από πόλεις σε όλο τον κόσμο, η έρευνα της Cynthia Rosenzweig υπογραμμίζει τη σημασία της ενσωμάτωσης πράσινων στρατηγικών στην αστική ανάπτυξη για την προώθηση της ανθεκτικότητας και την καταπολέμηση της αύξησης της θερμοκρασίας.³⁴



Εικόνα 14: Μετριασμός της αστικής θερμικής νησίδας μέσω της φύτευσης. (Greenery as a mitigation and adaptation strategy to urban heat, <https://www.nature.com/articles/s43017-020-00129-5>)

³³ Hashem Akbari, ScienceDirect, 2016, The effects of street tree planting on Urban Heat Island mitigation in Montreal, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221067071630066X>

³⁴ Cynthia Rosenzweig, ResearchGate, 2006, Mitigating New York City's heat island with urban forestry, living roofs, and light surfaces, https://www.researchgate.net/publication/242139673_Mitigating_New_York_City's_heat_island_with_urban_forestry_living_roofs_and_light_surfaces

3.4 Η αστική ανθεκτικότητα ως «εργαλείο» αντιμετώπισης της αστικής θερμικής νησίδας

Η ενσωμάτωση φυσικών στοιχείων εντός των αστικών περιοχών συντείνει στην ενίσχυση της αστικής ανθεκτικότητας και την προώθηση της βιοποικιλότητας. Ως αστική ανθεκτικότητα ορίζεται «η μετρήσιμη ικανότητα οποιουδήποτε αστικού συστήματος, συμπεριλαμβανομένων των κατοίκων του, να διατηρεί τη συνέχεια μέσα από όλους τους κραδασμούς και τις πιέσεις, ενώ παράλληλα προσαρμόζεται θετικά και μεταμορφώνεται με γνώμονα τη βιωσιμότητα»³⁵. Ουσιαστικά η αστική ανθεκτικότητα αναφέρεται στην ικανότητα των πόλεων να διατηρούν τις λειτουργίες τους ακόμη και κατά τη διάρκεια κάποιας καταστροφής συνεχίζοντας την εξέλιξή τους. Η αστική ανθεκτικότητα συμβάλλει στην αντιμετώπιση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας μέσω στρατηγικών που επικεντρώνονται στον μετριασμό της συσσώρευσης θερμότητας στις αστικές περιοχές. Με την ενσωμάτωση ανθεκτικών αρχών σχεδιασμού, οι αρχιτέκτονες μπορούν να συμβάλλουν στη μείωση των επιπτώσεων των ακραίων θερμικών επεισοδίων και στη δημιουργία πιο βιώσιμων και άνετων αστικών περιβαλλόντων. Η αστική ανθεκτικότητα περιλαμβάνει την υιοθέτηση μιας ολοκληρωμένης προσέγγισης στον αστικό σχεδιασμό που λαμβάνει υπόψη τη διασύνδεση των κοινωνικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών συστημάτων μέσα σε μια πόλη. Με την ενσωμάτωση των παραμέτρων της κλιματικής αλλαγής στις διαδικασίες σχεδιασμού, οι πόλεις μπορούν να αναπτύξουν στρατηγικές που ενισχύουν την ικανότητά τους να αντιμετωπίζουν ακραία καιρικά φαινόμενα. Η ενσωμάτωση στοιχείων πρασίνου στον αστικό σχεδιασμό αποτελεί βασικό στοιχείο στη δημιουργία ανθεκτικών πόλεων στην κλιματική αλλαγή. Οι πράσινες υποδομές, όπως οι πράσινες στέγες, τα διαπερατά πεζοδρόμια και οι αστικοί χώροι πρασίνου, συμβάλλουν στον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής μειώνοντας τις επιπτώσεις της θερμικής νησίδας.



Εικόνα 15: Τα στοιχεία μιας ανθεκτικής πόλης. (Research Progress and Framework Construction of Urban Resilience Computational Simulation, MDPI, <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/19/11929>)

³⁵ What is Urban Resilience, URBAN RESILIENCE HUB, <https://urbanresiliencehub.org/what-is-urban-resilience/>

Παράδειγμα περιοχής που ενσωματώνει λύσεις που βασίζονται στη φύση εντός του αστικού ιστού για ενίσχυση της βιωσιμότητας και της ανθεκτικότητας είναι ο Πειραιάς. Στόχος του έργου «Piraeus Urban Plan» της proGReg είναι η εφαρμογή λύσεων που βασίζονται στη φύση μέσα στο αστικό περιβάλλον του Πειραιά και στην κύρια περιοχή μελέτης που είναι ο δρόμος Μαρίας Κιουρί, για βιώσιμη ανάπτυξη. Το έργο επικεντρώνεται στη χρήση πράσινων υποδομών για την αντιμετώπιση περιβαλλοντικών προκλήσεων και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής σε γειτονιές με υψηλή αστική πυκνότητα. Σκοπός είναι η ενσωμάτωση πράσινων υποδομών, όπως αστικοί κήποι, πράσινοι τοίχοι και πράσινες στέγες, στο αστικό περιβάλλον για την ενίσχυση της βιοποικιλότητας, τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και την προώθηση βιώσιμων πρακτικών. Οι λύσεις που βασίζονται στη φύση που εφαρμόζονται στο «Piraeus Urban Plan» στοχεύουν στην ενίσχυση της ανθεκτικότητας στην κλιματική αλλαγή. Μέσω λοιπόν αυτών των λύσεων, ο Πειραιάς μπορεί να ανταπεξέλθει στις κλιματικές επιπτώσεις αποκτώντας παράλληλα μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα και ανθεκτικότητα.³⁶



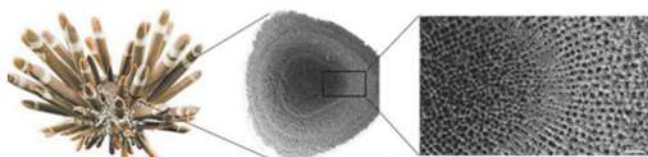
Εικόνα 16: Η εικόνα παρουσιάζει την πρόταση επί της οδού Μαρίας Κιουρί, όπου η λύση που βασίζεται στη φύση σε αυτό το σημείο αφορά έναν πράσινο διάδρομο μικτής χρήσης που περιλαμβάνει πεζόδρομο και ποδηλατόδρομο. Η συγκεκριμένη λύση βασισμένη στη φύση παρέχει νέες σκιασμένες περιοχές, αναζωογονώντας τους υπάρχοντες χώρους, χρησιμοποιώντας διαπερατό πεζοδρόμιο και φυσικά υλικά. Βελτιώνεται έτσι η ποιότητα του αέρα και μετριάζονται οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. (Piraeus Urban Plan, proGReg, <https://progireg.eu/piraeus/urban-plan/>)

³⁶ Piraeus Urban Plan, proGReg, <https://progireg.eu/piraeus/urban-plan/>

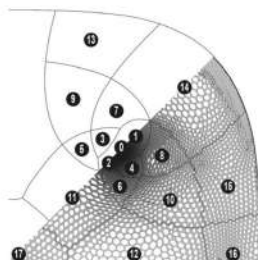
3.5 Τα τεχνολογικά μέσα ως πηγή γνώσης και αποτελεσματικής εφαρμογής της φύσης στον σχεδιασμό

Η συνειδητοποίηση της σπουδαιότητας της σχέσης ανθρώπου-φύσης ωστόσο, δεν σημαίνει αποκοπή από τα τεχνολογικά μέσα, αντιθέτως ο τεχνολογικός και φυσικός κόσμος είναι στενά συνυφασμένοι αφού η τεχνολογία δεν είναι ξεχωριστή από τη φύση αλλά προέκτασή της, με τους δύο τομείς να αλληλεπιδρούν συνεχώς καθώς η τεχνολογία βασίζεται σε φυσικούς πόρους, διαδικασίες και συστήματα για την ανάπτυξη και τη λειτουργία της. Αυτή η προσέγγιση έχει συμβάλει στο αυξημένο ενδιαφέρον από πλευράς αρχιτεκτόνων ως προς στρατηγικές σχεδιασμού βασιζόμενες στη φύση όπως είναι η βιοφιλία και η βιομίμηση.³⁷

Η τεχνολογία μπορεί να ενισχύσει την κατανόηση για τον φυσικό κόσμο. Μέσω εργαλείων όπως η ψηφιακή μοντελοποίηση οι αρχιτέκτονες μπορούν να αναλύσουν πολύπλοκα φυσικά συστήματα και μοτίβα και να ενσωματώσουν αυτή τη γνώση στα σχέδιά τους. «Συγκρίνοντας τη χρήση προτύπων στην αρχιτεκτονική πριν και μετά τους υπολογιστές, ο υπολογισμός σε συνδυασμό με τη φύση εμπλουτίζει τη σχεδιαστική σκέψη με πρακτικούς αλλά και συμβολικούς συνειρμούς σχετικά με τους στόχους και τις μεθόδους του σχεδιασμού στην πράξη».³⁸ Η ενσωμάτωση υπολογιστικών εργαλείων συμβάλλει στη μετάβαση από τα άκαμπτα γεωμετρικά μοντέλα σε μοτίβα εμπνευσμένα από τη φύση. Αυτή η συμβιωτική σχέση μεταξύ τεχνολογίας και φύσης επιτρέπει μια πιο ολιστική προσέγγιση στην αρχιτεκτονική που λαμβάνει υπόψη όχι μόνο τις ανθρώπινες ανάγκες αλλά και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα.



Εικόνα 17: Η εσωτερική πορώδης δομή των σπονδυλών του είδους αχινού *Heterocentrotus mammillatus*. (Biomimetics for Architecture: Learning from Nature, Jan Knippers, Ulrich Schmid, Thomas Speck)



Εικόνα 18: Μεταφορά της δομής των σπονδυλών του *Heterocentrotus mammillatus* σε σχεδιαστικό πρόγραμμα. (Biomimetics for Architecture: Learning from Nature, Jan Knippers, Ulrich Schmid, Thomas Speck)



Εικόνα 19: Το Rosenstein Pavilion κατασκευασμένο με βάση τη δομή του οργανισμού του αχινού. (Biomimetics for Architecture: Learning from Nature, Jan Knippers, Ulrich Schmid, Thomas Speck)

³⁷ Blaine Brownell, Marc Swackhamer, Princeton Architectural Press, 2015, *Hypernatural: Architecture's New Relationship with Nature*

³⁸ Yannis Zavoleas, ScienceDirect, 2021, *Patterns of nature: Bio-systemic design thinking in meeting sustainability challenges of an increasingly complex world*, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666165921000077>

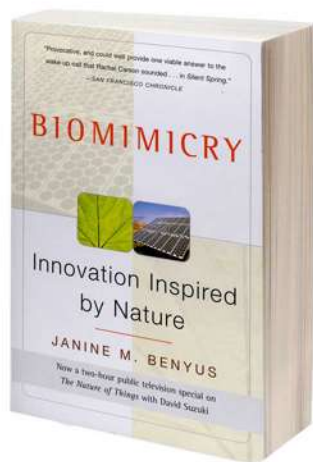
Κεφάλαιο 4

Βιομιμητικός Σχεδιασμός

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο εισάγονται οι έννοιες της βιομίμησης, της βιοφιλίας, του βιομορφισμού και της βιο-αξιοποίησης ως προσεγγίσεις βασιζόμενες στη φύση. Αναλύονται τα χαρακτηριστικά της βιομίμησης, παραδείγματα βιομίμησης στον αρχιτεκτονικό και αστικό σχεδιασμό και εξηγείται ο τρόπος που μπορεί να αντιμετωπίσει επιπτώσεις από την κλιματική αλλαγή. Αναφέρονται επίσης η Janine Benyus, ο Michael Pawlyn και ο Philip Ball καθώς μέσα από τα έργα τους εξηγείται η έννοια της βιομίμησης αλλά και ο ρόλος που μπορεί να έχει ως προς την αστική βιωσιμότητα. Τέλος, αναλύονται μηχανισμοί ρύθμισης της θερμότητας εστιάζοντας στην εύρεση φυσικών μηχανισμών απώλειας θερμότητας ώστε να μεταφερθούν στον αστικό σχεδιασμό αντιμετωπίζοντας την αστική θερμική νησίδα.

4.1 Ορισμός και διαχωρισμός από τις υπόλοιπες βιο-προσεγγίσεις

Ως βιομίμηση ορίζεται «η μελέτη του σχηματισμού, της δομής, ή της λειτουργίας των βιολογικώς παραγόμενων ουσιών και υλικών (όπως τα ένζυμα ή το μετάξι) και βιολογικών μηχανισμών και διεργασιών (όπως η σύνθεση πρωτεΐνης ή η φωτοσύνθεση) ειδικά με σκοπό τη σύνθεση παρόμοιων προϊόντων από τεχνητούς μηχανισμούς που μιμούνται φυσικούς».³⁹ Ο όρος της βιομίμησης επινοήθηκε από την Αμερικανίδα βιολόγο Janine M. Benyus το 1997 στο βιβλίο της «Biomimicry: Innovation Inspired by Nature». Σ' αυτό το βιβλίο η Janine M. Benyus διερευνά πώς η φύση λύνει σύνθετα προβλήματα εξελισσόμενη εκατομμύρια χρόνια αλλά και πώς οι άνθρωποι μπορούν να μάθουν μελετώντας τις λύσεις αυτές ώστε να δημιουργήσουν βιώσιμα και ανθεκτικά περιβάλλοντα. Στο βιβλίο τονίζεται πως λειτουργώντας σε αρμονία με τη φύση οι άνθρωποι μπορούν να δημιουργήσουν αποτελεσματικές, βιώσιμες και φιλικές προς το περιβάλλον τεχνολογίες. Η ίδια έχει δώσει διάφορους ορισμούς για την βιομίμηση με κάποιους από αυτούς να είναι «Βιομίμηση είναι να μαθαίνεις και να μιμείσαι από φυσικές μορφές, διαδικασίες και οικοσυστήματα για να δημιουργήσεις πιο βιώσιμα σχέδια»⁴⁰ και «Βιομίμηση είναι μία πρακτική του να μαθαίνεις και να μιμείσαι τις στρατηγικές που βρίσκονται στη φύση για να λύσεις ανθρώπινες σχεδιαστικές προκλήσεις».⁴¹



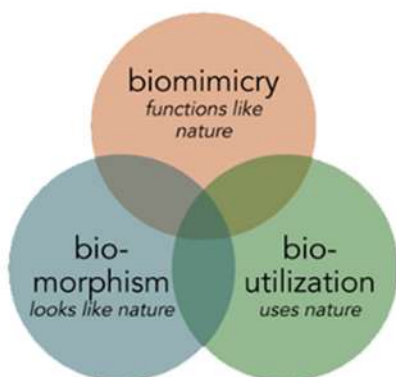
Εικόνα 20: Το εξώφυλλο του βιβλίου της Janine Benyus "BIOMIMICRY: Innovation Inspired by Nature" (Janine Benyus, Biomimicry: Innovation Inspired by Nature, BIOMIMICRY INSTITUTE, <https://biomimicry.org/chapterone/>)

³⁹ Biomimetics, Merriam-Webster, <https://www.merriam-webster.com/dictionary/biomimetics>

⁴⁰ What is Biomimicry?, Biomimicry 3.8, <https://biomimicry.net/what-is-biomimicry/>

⁴¹What is Biomimicry?, Biomimicry Institute, <https://biomimicry.org/what-is-biomimicry/>

Ο βιομιμητικός σχεδιασμός μπορεί να συνδυαστεί με άλλες βίο-προσεγγίσεις που αφορούν μεθόδους σχεδιασμού που βασίζονται στη φύση. Αναφέροντας συνοπτικά τα χαρακτηριστικά των υπολοίπων, μπορεί να αποδοθεί και να κατανοηθεί καλύτερα ο όρος της βιομίμησης. Εκτός λοιπόν αυτής, υπάρχουν και οι όροι της βιοφιλίας (biophilia), του βιομορφισμού (biomorphic) και της βιο-αξιοποίησης (bio-utilization).



Εικόνα 21: Η εικόνα παρουσιάζει τη διαφορά ανάμεσα στις έννοιες της βιομίμησης, της βιο-αξιοποίησης και του βιομορφισμού. (What isn't biomimicry?, BIOMIMICRY INSTITUTE, <https://biomimicry.org/what-is-biomimicry/>)

Ως βιοφιλία ορίζεται «μια υποθετική ανθρώπινη τάση να αλληλεπιδρά ή να συνδέεται στενά με άλλες μορφές ζωής στη φύση, μια επιθυμία ή τάση (του ανθρώπου) να επικοινωνεί με τη φύση».⁴² Αυτή η έννοια εισήχθη για πρώτη φορά από τον Γερμανοαμερικάνο ψυχαναλυτή Erich Fromm το 1973 και αργότερα διαδόθηκε ως έννοια από τον βιολόγο Edward O. Wilson το 1984 μέσα από το βιβλίο του “The Biophilia Hypothesis” (Η Υπόθεση της Βιοφιλίας). Στο βιβλίο αυτό, υποδηλώνεται ότι ο άνθρωπος έχει μια αυθόρμητη έλξη για τα φυτά, την άγρια ζωή και γενικότερα για ό,τι έχει ζωή. Αυτή η έμφυτη επιθυμία και η ανάγκη σύμφωνα με τον Edward Osborne Wilson οφείλεται στη βιοφιλική φύση του ανθρώπινου εγκεφάλου. Ο βιοφιλικός σχεδιασμός περιλαμβάνει την ενσωμάτωση στοιχείων της φύσης στο δομημένο περιβάλλον για τη δημιουργία χώρων που ωφελούν τόσο τους ανθρώπους όσο και τον πλανήτη. Με την ενσωμάτωση φυσικών στοιχείων όπως το πράσινο, το φυσικό φως και τα στοιχεία νερού στους αστικούς χώρους, ο βιοφιλικός σχεδιασμός μπορεί να έχει σημαντικό αντίκτυπο στη βιωσιμότητα των πόλεων. Για παράδειγμα ολόκληρη η πόλη της Σιγκαπούρης έχει μετατραπεί σε μια «βιοφιλική πόλη» με εκτεταμένη ενσωμάτωση φυτών, υδάτινων χαρακτηριστικών και άγριας ζωής σε κτίρια και δημόσιους χώρους.⁴³ Ο βιοφιλικός σχεδιασμός συνεπώς επικεντρώνεται στη δημιουργία περιβαλλόντων που προάγουν την ανθρώπινη ευημερία μέσω της ενσωμάτωσης φυσικών στοιχείων, ενώ ο βιομιμητικός σχεδιασμός αναζητά στη φύση λύσεις σε τεχνικές προκλήσεις μιμούμενος βιολογικές στρατηγικές.

⁴² Biophilia, Merriam-Webster, <https://www.merriam-webster.com/dictionary/biophilia>

⁴³ SINGAPORE'S BIOPHILIC URBANISM, i2C, <https://i2c.com.au/biophilic-urbanism/>

Ο βιομορφικός σχεδιασμός ως ο όρος επινοήθηκε από τον Άγγλο συγγραφέα Geoffrey Grigson το 1935 και περιγράφει οτιδήποτε μοιάζει ή υποδηλώνει μορφές ζωντανών οργανισμών.⁴⁴ Η βιομορφική αρχιτεκτονική προωθεί φυσικά σχήματα και μοτίβα στο σχεδιασμό των δομών. Περιλαμβάνει τη μετατροπή φυσικά οργανικών σχημάτων σε λειτουργικά κτίρια. Αυτά τα σχήματα είναι εμπνευσμένα από μορφές που βρίσκονται στη φύση, που χαρακτηρίζονται από καμπύλες γραμμές και περιγράμματα αντί για αυστηρές ευθείες. Στόχος της βιομορφικής αρχιτεκτονικής είναι να αντικατοπτρίζεται το περιβάλλον τόσο στη μορφή όσο και στη λειτουργία, δημιουργώντας μια αρμονική σχέση μεταξύ του δομημένου περιβάλλοντος και της φύσης. Γνωστό παράδειγμα στην αρχιτεκτονική περιλαμβάνει την εκκλησία Sagrada Familia στη Βαρκελώνη από τον Antoni Gaudí. Η εσωτερική δομή περιλαμβάνει κολώνες που μιμούνται το σχήμα δέντρων και κλαδιών.⁴⁵ Η διαφορά λοιπόν του βιομορφισμού με τη βιομίμηση είναι ότι ο πρώτος όρος αναφέρεται σε σχέδια που μοιάζουν οπτικά με στοιχεία από τη φύση («μοιάζουν» με τη φύση), ενώ ο δεύτερος επικεντρώνεται στη λειτουργία της φύσης (λειτουργούν σαν τη φύση).⁴⁶

Η βιο-αξιοποίηση στην αρχιτεκτονική αναφέρεται στη χρήση βιολογικών υλικών ή ζωντανών οργανισμών στο σχεδιασμό και την κατασκευή κτιρίων.⁴⁷ Αυτή η προσέγγιση περιλαμβάνει την ενσωμάτωση στοιχείων από τη φύση απευθείας σε αρχιτεκτονικά έργα, αξιοποιώντας τις μοναδικές ιδιότητες και τη βιωσιμότητα των βιολογικών πόρων. Ένα παράδειγμα βιο-αξιοποίησης στον σχεδιασμό είναι η ανάπτυξη αυτοθεραπευτικών υλικών εμπνευσμένων από τη φύση. Στη φύση, οι οργανισμοί έχουν την ικανότητα να επαναφέρονται όταν καταστρέφονται και οι επιστήμονες και οι μηχανικοί έχουν προσπαθήσει να μιμηθούν αυτή την ικανότητα σε συνθετικά υλικά. Για παράδειγμα, οι ερευνητές έχουν δημιουργήσει πολυμερή που μπορούν να θεραπεύσουν αυτόνομα ρωγμές αντλώντας έμπνευση από τους μηχανισμούς επούλωσης που βρίσκονται σε βιολογικά συστήματα όπως το ανθρώπινο δέρμα ή οι φυτικοί ιστοί.⁴⁸ Ενώ η βιομίμηση δίνει έμφαση στη μίμηση των στρατηγικών της φύσης για λύση σχεδιαστικών προκλήσεων, η βιο-αξιοποίηση περιλαμβάνει τη άμεση χρήση ζωντανών οργανισμών ή βιολογικών υλικών.

⁴⁴ Biomorphic, Merriam-Webster, <https://www.merriam-webster.com/dictionary/biomorphic>

⁴⁵ Breezes of biomorphism in architecture, BACKSTONE CONSTRUCTION, <https://backstone.az/en/media-and-blog/breezes-of-biomorphism-in-architecture/>

⁴⁶ What isn't biomimicry?, BIOMIMICRY INSTITUTE, <https://biomimicry.org/what-is-biomimicry/>

⁴⁷ What isn't biomimicry?, BIOMIMICRY INSTITUTE, <https://biomimicry.org/what-is-biomimicry/>

⁴⁸ Nazneen Pathan, Pravin Shende, ScienceDirect, 2021, Strategic conceptualization and potential of self-healing polymers in biomedical field, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0928493121002381>

4.2 Ο ρόλος της βιομίμησης στην αρχιτεκτονική και η συνεισφορά της στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής

Η βιομίμηση είναι μία καινοτόμος στρατηγική η οποία μιμείται στρατηγικές και σχέδια βάσει λειτουργιών που διαδραματίζονται στη φύση με στόχο την ανάπτυξη βιώσιμων λύσεων. Η μίμηση δεν αναφέρεται στην επιφανειακή αποτύπωση της αισθητικής της φύσης αλλά στην παρατήρηση, μελέτη και ενσωμάτωση των αρχών και λειτουργιών της. Πρόκειται για ένα ταχέως αναπτυσσόμενο ερευνητικό πεδίο που απαιτεί τη συνεργασία διαφόρων επιστημονικών κλάδων όπως αυτών της βιολογίας, της φυσικής, της πληροφορικής και της αρχιτεκτονικής. Οι αρχιτέκτονες μαθαίνοντας και ερχόμενοι σε επαφή με τον διεπιστημονικό κλάδο της βιολογίας μπορούν να αποκομίσουν σημαντικές γνώσεις αλλά και στρατηγικές από τη φύση ώστε να επιλύσουν δικά τους σχεδιαστικά προβλήματα. Ο βιομιμητικός σχεδιασμός στον χώρο της αρχιτεκτονικής ασχολείται με την ένταξη λειτουργιών που συναντώνται στη φύση στον σχεδιασμό. Σχετίζεται με τη χρήση υλικών και μορφών που συναντώνται στη φύση αλλά και με την ενσωμάτωση στοιχείων που επιτρέπουν στις πόλεις να λειτουργούν ως φυσικά οικοσυστήματα.

Σημαντικό βιβλίο που εξηγεί τη σημασία της βιομίμησης είναι αυτό του Βρετανού επιστημονικού συγγραφέα Philip Ball «Patterns in Nature: Why the Natural World Looks the Way It Does» που εκδόθηκε το 2016. Ο Philip Ball μελετάει τις βασικές αρχές που βρίσκονται στα μοτίβα που υπάρχουν στο φυσικό κόσμο υποστηρίζοντας ότι δεν είναι τυχαία η ύπαρξη τους αλλά αποτέλεσμα σύνθετων φυσικών και μαθηματικών διαδικασιών. Μέσω της παρατήρησης και κατανόησης αυτών των μοτίβων μπορούμε να καταλάβουμε καλύτερα τη φύση και τον τρόπο που λειτουργεί. Μία από τις βασικές ιδέες που αναλύεται στο βιβλίο είναι η έννοια της αυτοοργάνωσης, θεμελιώδους αρχής της φύσης που συναντάται παντού. Επίσης, διερευνάται ο ρόλος της συμμετρίας στη φύση που αντικατοπτρίζει την ισορροπία και την αρμονία που την διακατέχει. Μελετώντας τη συμμετρία που εμφανίζεται στα μοτίβα, οι επιστήμονες μπορούν να κατανοήσουν συνδέσεις που υφίστανται ανάμεσα σε φαινόμενα που εκ πρώτης όψεως φαίνονται άσχετα μεταξύ τους.

Έτσι, μιμούμενοι τις συμπεριφορές και τις λειτουργίες των ζωντανών οργανισμών στη φύση οι αρχιτέκτονες αποκτούν σημαντικές μεθόδους για την δημιουργία ανθεκτικότητας και προσαρμοστικότητας στο αστικό περιβάλλον, στοιχεία που παρατηρούνται και στους ζωντανούς οργανισμούς. Η βιομίμηση προσφέρει στους αρχιτέκτονες τη γνώση να βλέπουν το αστικό περιβάλλον όχι ως κάτι στατικό και προβλέψιμο αλλά ως κάτι το πολύπλοκο, το απρόβλεπτο και το μεταβλητό. Συνεπώς με αυτή τη στρατηγική σχεδιασμού οι αρχιτέκτονες είναι σε θέση να σχεδιάσουν βιώσιμες και ανθεκτικές πόλεις που θα μπορούν να προσαρμοστούν και να επιβιώσουν σε οποιεσδήποτε αλλαγές, συμπεριλαμβανομένης της κλιματικής αλλαγής.

Η κλιματική αλλαγή έχει αναδειχθεί ως η κύρια πρόκληση που καλείται να αντιμετωπίσει ο πλανήτης για τον 21ο αιώνα. Το δομημένο περιβάλλον είναι υπεύθυνο για ένα μεγάλο ποσοστό αερίων του θερμοκηπίου, γι' αυτό και γίνεται αποδέκτης πολλών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Μάλιστα ακόμη και αν οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου σταματήσουν εντελώς, οι επιπτώσεις τους θα συνεχίσουν να υφίστανται.⁴⁹ Η επιδίωξη για ουδέτερο ή μηδενικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα μειώνοντας την ενέργεια, τον άνθρακα και τα απόβλητα που αποβάλλονται από τα κτίρια είναι σημαντικοί στόχοι. Ωστόσο, είναι σαφές πως ο σχεδιασμός πρέπει να εξελιχθεί περαιτέρω ώστε ο αστικός ιστός να μπορεί να έχει μελλοντικά θετικό αντίκτυπο στο περιβάλλον και όχι να περιορίζεται στον μετριασμό των επιπτώσεων καθώς αυτό σημαίνει την διαίωναση του υπάρχοντος προβλήματος. Ειδικά η μελέτη φυτών και ζώων ικανών να επιβιώσουν και να ανταπεξέλθουν σε ακραία κλίματα και που παρουσιάζουν μεγάλη προσαρμοστικότητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον σχεδιασμό πόλεων. Η λεπτομερής μελέτη του τρόπου με τον οποίο οι οργανισμοί και τα οικοσυστήματα έχουν καταφέρει ήδη να προσαρμοστούν, μπορεί να βοηθήσει στην ανθεκτικότητα του αστικού ιστού και στη δημιουργία θετικού περιβαλλοντικού αντίκτυπου.

Αυτή την πρόκληση μπορεί να επιλύσει ο βιομιμητικός σχεδιασμός καθώς μπορεί να προσφέρει οφέλη στις πόλεις και στους ανθρώπους που ζουν σε αυτές όπως ενεργειακή απόδοση αφού μειώνεται η εξάρτηση για θέρμανση και ψύξη από μηχανολογικά συστήματα. Ο βιομιμητικός σχεδιασμός μπορεί να μειώσει τα αέρια του θερμοκηπίου και συνεπώς να συμβάλλει στην αντιμετώπιση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί πρώτον μέσω της μίμησης του τρόπου με τον οποίο οι ζωντανοί οργανισμοί και τα οικοσυστήματα μετατρέπουν την ενέργεια και τα υλικά ώστε να απαιτείται η χρήση λιγότερων πόρων. Ουσιαστικά καθώς οι πόλεις είναι σχεδιασμένες να είναι περισσότερο ενεργειακά αποδοτικές χρειάζονται λιγότερα ορυκτά καύσιμα και επακολούθως εκπέμπονται μικρότερες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου. Δεύτερον, μέσω της μελέτης των ζωντανών οργανισμών που μπορούν να δεσμεύουν άνθρακα. Στόχος είναι η αποφυγή των αερίων του θερμοκηπίου που προκαλούνται από ανθρώπινες δραστηριότητες να φτάσουν στην ατμόσφαιρα επιβαρύνοντας το υπάρχον πρόβλημα της αυξημένης θερμοκρασίας μέσα στις πόλεις.

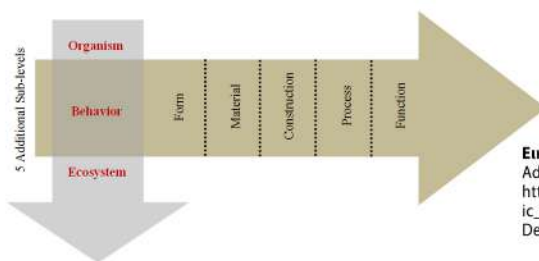
Για την σπουδαιότητα του βιομιμητικού σχεδιασμού όσον αφορά την επίλυση σημαντικών προβλημάτων που αντιμετωπίζουν τα αστικά κέντρα όπως είναι η κλιματική αλλαγή, η εξάντληση των πόρων και η απώλεια της βιοποικιλότητας έχει ασχοληθεί το 2011 στο βιβλίο του «Biomimicry in Architecture» ο Βρετανός αρχιτέκτονας Michael Pawlyn. Στο βιβλίο του διερευνά την έννοια της βιομίμησης και εμβαθύνει στους τρόπους που οι στρατηγικές της φύσης μπορούν να εφαρμοστούν στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό δίνοντας έμφαση στην επίτευξη βιωσιμότητας και διατήρησης του περιβάλλοντος. Μελετάει πώς οι οργανισμοί εξελίχθηκαν για να επιβιώνουν και να ευδοκιμούν στο περιβάλλον τους παρά τις προκλήσεις, προκλήσεις που ακόμη προσπαθούν να αντιμετωπίσουν οι αρχιτέκτονες στη δουλειά τους. Μέσα από το βιβλίο αυτό του Michael Pawlyn αντλούνται πληροφορίες για τον τρόπο που οι αρχιτέκτονες μπορούν να αξιοποιήσουν στρατηγικές βιομιμητικού σχεδιασμού για την αντιμετώπιση προκλήσεων όπως το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας.

⁴⁹ If emissions of greenhouse gases were stopped, would the climate return to the conditions of 200 years ago?, THE ROYAL SOCIETY, <https://royalsociety.org/news-resources/projects/climate-change-evidence-causes/question-20/>

4.3 Χαρακτηριστικά του βιομιμητικού σχεδιασμού

Η βιομίμηση διακρίνεται σε 3 κατηγορίες σύμφωνα με την Janine Benyus οι οποίες είναι: α) η μίμηση σε επίπεδο οργανισμού: πρόκειται για τη μελέτη της μορφής ενός οργανισμού και την αντιγραφή αυτής της μορφής ώστε να λυθεί ένα πρόβλημα με επιτυχία, β) η μίμηση σε επίπεδο φυσικής διαδικασίας ή συμπεριφοράς: πρόκειται για την κατανόηση του πώς λειτουργεί μια φυσική διαδικασία και την χρήση της ώστε να βρεθούν καινοτόμες και βιώσιμες λύσεις στον σχεδιασμό γ) η μίμηση σε επίπεδο φυσικού οικοσυστήματος: πρόκειται για τη μελέτη του τρόπου με τον οποίο λειτουργεί ένα οικοσύστημα ώστε να δημιουργηθεί ένα πιο βιώσιμο περιβάλλον βάσει αυτού και θεωρείται ως το ανώτερο επίπεδο εφαρμογής της φιλοσοφίας της βιομίμησης. Είναι το μοναδικό από τα τρία επίπεδα που δεν προσφέρει μόνο βιώσιμες λύσεις αλλά μπορεί να προσφέρει και θετικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Ωστόσο, πρέπει να επισημανθεί πως στα επίπεδα βιομίμησης χρειάζεται προσοχή ως προς τον τρόπο που θα χρησιμοποιηθούν και ως προς την επιλογή τους. Για παράδειγμα, η μίμηση σε επίπεδο οργανισμού δεν σημαίνει ότι ως στρατηγική στοχεύει απαραίτητα στην ενίσχυση της βιωσιμότητας. Για να γίνει αυτό θα πρέπει ο οργανισμός να μελετηθεί σε επίπεδο του πώς αυτός ζει στο ευρύτερο περιβάλλον. Επίσης, στο επίπεδο μίμησης ως προς συμπεριφορά ενός οργανισμού, δεν σημαίνει πως όλες οι συμπεριφορές είναι κατάλληλες για να αντληθούν ως έμπνευση στον σχεδιασμό ακόμη και αν είναι αποτελεσματικές στη φύση. Πρέπει να δίνεται προσοχή στο ποια από τις συμπεριφορές ενός οργανισμού θα επιλεγεί και φυσικά εάν είναι οι κατάλληλες για το συγκεκριμένο πρόβλημα και στην συγκεκριμένη περιοχή μελέτης.

Ο σχεδιασμός μπορεί να θεωρηθεί βιομιμητικός με βάση 5 στοιχεία τα οποία είναι: ως προς την μορφή του δηλαδή στο πώς μοιάζει, ως προς τα υλικά του δηλαδή από τι έχει κατασκευαστεί, ως προς την κατασκευή του δηλαδή με ποιόν τρόπο έχει κατασκευαστεί, ως προς την διαδικασία δηλαδή με ποιόν τρόπο εκτελεί τις λειτουργίες του και τέλος ως προς την λειτουργία δηλαδή τι μπορεί να κάνει.⁵¹



Εικόνα 22: Τα επίπεδα της βιομίμησης (Biomimetic Approaches for Adaptive Building Envelopes: Applications and Design Considerations, https://www.researchgate.net/publication/357828843_Biomimetic_Approaches_for_Adaptive_Building_Envelopes_Applications_and_Design_Considerations)

⁵⁰ Understanding Biomimicry The three levels of Mimicry, Rethinking The Future, <https://www.re-thinkingthefuture.com/rtf-fresh-perspectives/a1285-understanding-biomimicry-the-three-levels-of-mimicry/>

⁵¹ Moheb Sabry Aziz, Amr Y. El sherif, ScienceDirect, 2016, Biomimicry as an approach for bio-inspired structure with the aid of computation, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016815001702>

Παράδειγμα κατασκευής που μιμείται τα πουλιά. Ανάλυση παραδείγματος βάσει των επιπέδων Βιομίμησης.

Βιομίμηση σε επίπεδο οργανισμού:

Μορφή: Η κατασκευή μοιάζει με πουλί ή είναι κατασκευασμένη με υλικά που θυμίζουν εξωτερικά το πώς είναι ένα πουλί.

Υλικό: Τα υλικά με τα οποία έχει κατασκευαστεί η κατασκευή μιμούνται την εξωτερική επιδερμίδα του πουλιού.

Κατασκευή: Η κατασκευή μιμείται τον τρόπο που αναπτύσσεται ένα πουλί.

Διαδικασία: Η κατασκευή λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο που λειτουργεί και ένα πουλί σαν μονάδα.

Λειτουργία: Η κατασκευή λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο που λειτουργεί και ένα πουλί στο περιβάλλον του.

Βιομίμηση σε επίπεδο συμπεριφοράς:

Μορφή: Η κατασκευή μοιάζει σαν να κατασκευάστηκε από πουλί.

Υλικό: Τα υλικά με τα οποία έχει κατασκευαστεί η κατασκευή είναι παρόμοια με αυτά που χρησιμοποιεί ένα πουλί για να φτιάξει τη φωλιά του.

Κατασκευή: Η κατασκευή ακολουθεί τη μεθοδολογία που χρησιμοποιεί ένα πουλί για το χτίσιμο της φωλιάς του.

Διαδικασία: Η κατασκευή λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο που λειτουργεί και η φωλιά που φτιάχνει ένα πουλί.

Λειτουργία: Η κατασκευή λειτουργεί με τρόπο ώστε να φαίνεται σαν να κατασκευάστηκε από πουλί.

Βιομίμηση σε επίπεδο οικοσυστήματος:

Μορφή: Η κατασκευή μοιάζει με ένα οικοσύστημα μέσα στο οποίο θα ζούσε ένα πουλί. **Υλικό:** Τα υλικά με τα οποία έχει κατασκευαστεί η κατασκευή είναι ίδια με τα υλικά που θα χρησιμοποιούσε ένα οικοσύστημα πουλιών για να φτιάξουν τη φωλιά τους.

Κατασκευή: Η κατασκευή έχει υλοποιηθεί με τον τρόπο που θα έκανε και ένα οικοσύστημα πουλιών.

Διαδικασία: Η κατασκευή λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο που λειτουργεί και ένα οικοσύστημα πουλιών.

Λειτουργία: Η κατασκευή λειτουργεί με τρόπο ώστε να φαίνεται σαν ένα αναπόσπαστο μέρος οικοσυστήματος πουλιών.

4.4 Παραδείγματα βιομίμησης στην αρχιτεκτονική

Ακολουθούν παραδείγματα βιομίμησης στην αρχιτεκτονική βάσει των επιπέδων βιομίμησης ώστε να καταστούν περισσότερο σαφή τα χαρακτηριστικά της και πώς λύνει αποτελεσματικά αστικά ζητήματα.

Παραδείγματα σε επίπεδο οργανισμού:

Πρώτο παράδειγμα είναι η ίριδα του ματιού. Ο ρόλος της ίριδας είναι να ελέγχει το μέγεθος της κόρης και έτσι καθορίζει πόσο φως φτάνει στον αισθητικό ιστό του αμφιβληστροειδούς.⁵² Κτίριο εμπνευσμένο από τη λειτουργία της ίριδος του ματιού είναι το Institut du Monde Arabe στο Παρίσι στη Γαλλία που σχεδιάστηκε το 1987 από τον Γάλλο αρχιτέκτονα Jean Nouvel. Η βιομίμηση σε αυτό το παράδειγμα είναι σε επίπεδο οργανισμού καθώς μιμείται την μορφή ενός οργανισμού. Για να ρυθμίζεται η ποσότητα του ηλιακού φωτός που εισέρχεται στο κτίριο τα παράθυρα έχουν σχεδιαστεί να λειτουργούν όπως η ίριδα. Χρησιμοποιώντας φωτοηλεκτρικά κύτταρα, οι μηχανισμοί αυτοί της «ίριδας» στα παράθυρα ανοιγοκλείνουν ανάλογα το ηλιακό φως. Ρυθμίζοντας με αυτόν τον τρόπο τα επίπεδα του φωτός που εισέρχονται στο εσωτερικό του κτιρίου, μειώνεται η σπατάλη ενέργειας για φωτισμό και χρήση κλιματιστικών. Έτσι παρέχεται θερμική άνεση στο εσωτερικό του κτιρίου.⁵³



Εικόνα 23: Η εικόνα δείχνει το κτίριο Institut du Monde Arabe όπου φαίνεται η ιδιαίτερη μορφή των παραθύρων. (Tim Winstanley, ArchDaily, AD Classics: Institut du Monde Arabe / Enrique Jan + Jean Nouvel + Architecture-Studio, <https://www.archdaily.com/162101/ad-classics-institut-du-monde-arabe-jean-nouvel>)



Εικόνα 24: Η εικόνα δείχνει εστιασμένα τη μορφή από ένα από τα παράθυρα του κτιρίου. Το σχήμα του φακού στα παράθυρα είναι μεταβαλλόμενο ανάλογα με τη ποσότητα φωτός που είναι επιθυμητή να εισέλθει εντός του κτιρίου. (Tim Winstanley, ArchDaily, AD Classics: Institut du Monde Arabe / Enrique Jan + Jean Nouvel + Architecture-Studio, <https://www.archdaily.com/162101/ad-classics-institut-du-monde-arabe-jean-nouvel>)

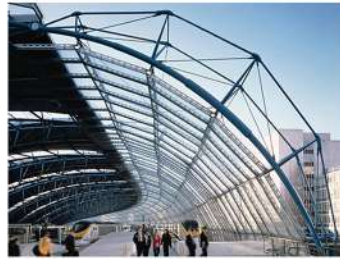
⁵² Iris, Britannica, <https://www.britannica.com/science/iris-eye>

⁵³ Tim Winstanley, ArchDaily, AD Classics: Institut du Monde Arabe / Enrique Jan + Jean Nouvel + Architecture-Studio, <https://www.archdaily.com/162101/ad-classics-institut-du-monde-arabe-jean-nouvel>

Δεύτερο παράδειγμα είναι της επιδερμίδας ενός είδους μυρμηγκοφάγου, του pangolin. Τα επικαλυπτόμενα λέπια στο σώμα αυτού του θηλαστικού, του επιτρέπουν να κινείται ελεύθερα ενώ του προσφέρουν και άμυνα έναντι στις απειλές.⁵⁴ Ένα παράδειγμα βιομίμησης σε επίπεδο οργανισμού είναι το Waterloo International Terminal που σχεδιάστηκε από τον Nicholas Grimshaw and Partners το 1994, το οποίο μιμείται την εύκαμπτη φολιδωτή επιδερμίδα ενός pangolin στα γυάλινα πάνελ ώστε να μπορούν να κινηθούν ανταποκρινόμενοι στις επιβαλλόμενες δυνάμεις. Μιμούμενοι την ευελιξία και την προσαρμοστικότητα των λεπιών του pangolin, οι αρχιτέκτονες ήταν σε θέση να δημιουργήσουν μια δομή που θα μπορούσε να ανταποκριθεί στις αλλαγές της πίεσης του αέρα καθώς τα τρένα περνούσαν από τον τερματικό σταθμό.⁵⁵



Εικόνα 25: Το θηλαστικό pangolin από το οποίο είναι εμπνευσμένο το Waterloo International Terminal (Sofia Qureshi, Medium, 2020, Making Everyday Items Better with Biomimetics: The Pangolin Backpack, <https://medium.com/@sofia.mii-na.qureshi/making-everyday-items-better-with-biomimetics-the-pangolin-backpack-1467e2c5b58b>)



Εικόνα 26: Η εικόνα παρουσιάζει την καμπύλη οροφή του τερματικού σταθμού η οποία είναι κατασκευασμένη βάσει της επιδερμίδας του pangolin. (International Terminal Waterloo, GRIMSHAW, <https://grimshaw.global/projects/rail-and-mass-transit/international-terminal-waterloo/>)

Τρίτο παράδειγμα αποτελεί το σφουγγάρι με το όνομα Venus' flower basket. Χαρακτηριστικά αυτού του σφουγγαριού είναι οι αιχμές πυριτίου που παρέχουν ακαμψία και ευελιξία, επιτρέποντάς του να αντέχει σε ισχυρά ρεύματα κάτω από το νερό και η ικανότητα του να φιλτράρει το νερό για θρεπτικά συστατικά.⁵⁶ Ένα παράδειγμα βιομίμησης σε επίπεδο οργανισμού είναι ουρανοξύστης Gherkin στο Λονδίνο, που σχεδιάστηκε το 2003 από τον αρχιτέκτονα Norman Foster, και μιμείται το σχήμα και τη δομή πλέγματος του Venus Flower Basket Sponge. Η δομή του που μοιάζει με πλέγμα επιτρέπει μια ανοιχτή κάτοψη χωρίς εσωτερικές κολώνες και παρέχει αποτελεσματική κάθετη στήριξη. Το φυσικό σύστημα εξαερισμού, σχεδιασμένο σύμφωνα με την ικανότητα του σφουγγαριού να φιλτράρει το νερό και να το κυκλοφορεί μέσω της δομής του πλέγματος, μειώνει την κατανάλωση ενέργειας.⁵⁷



Εικόνα 27: Το σφουγγάρι Venus' flower basket από το οποίο είναι εμπνευσμένος ο ουρανοξύστης Gherkin. Πρόκειται για ένα σκληροειδές, καμπύλο σφουγγάρι το οποίο είναι διάτρητο με πολλά ανοίγματα. (Venus flower basket sea sponge, issuu, https://issuu.com/tkoga/docs/koga_tessa_des116_process_manual-final-pretolia-1/s/10471883)



Εικόνα 28: Ο ουρανοξύστης Gherkin μιμείται το σχήμα και τη δομή του πλέγματος του σφουγγαριού Venus' flower basket για να ρυθμίζει τη ροή του αέρα όπως αντίστοιχα κάνει το σφουγγάρι με το νερό. (Paula Pintos, ArchDaily, 30 St Mary Axe Tower / Foster + Partners, <https://www.archdaily.com/928285/30-st-mary-axe-tower-foster-plus-partners>)

⁵⁴ Pangolins, NATIONAL GEOGRAPHIC, <https://www.nationalgeographic.com/animals/mammals/facts/pangolins>

⁵⁵ International Terminal Waterloo, GRIMSHAW, <https://grimshaw.global/projects/rail-and-mass-transit/international-terminal-waterloo/>

⁵⁶ Venus's flower basket, Britannica, <https://www.britannica.com/animal/Venuss-flower-basket>

⁵⁷ Paula Pintos, ArchDaily, 30 St Mary Axe Tower / Foster + Partners, <https://www.archdaily.com/928285/30-st-mary-axe-tower-foster-plus-partners>

Παραδείγματα σε επίπεδο συμπεριφοράς:

Πρώτο παράδειγμα είναι αυτό των τερμιτών και συγκεκριμένα των τύμβων που δημιουργούν, δηλαδή αυτοεπιζόμενων πόλεων με εξειδικευμένους θαλάμους. Αν και οι τύμβοι εξωτερικά φαίνονται συμπαγείς, τα τοιχώματά τους είναι πορώδη επιτρέποντας κατ' αυτόν τον τρόπο στον αέρα να ανακυκλώνεται. Το ανώτερο τμήμα ενός τύμβου αποτελείται από την καμινάδα στην οποία ο ζεστός αέρας αναμειγνύεται με τον καθαρό αέρα απέξω που εισέρχεται μέσω τούνελ και θαλάμων ενώ ο ψυχρός αέρας εγκλωβίζεται προς τα κάτω ώστε να αποφεύγονται συνθήκες υπερθέρμανσης. Έτσι μέσω της καμινάδας γίνεται ο έλεγχος της διατήρησης της θερμοκρασίας στο εσωτερικό των πόλεων αυτών. Οι τύμβοι χτίζονται από χώμα, σάλιο και κοπριά και το εσωτερικό τους είναι διαρρυθμισμένο με πολλούς θαλάμους κατηγοριοποιημένους ανάλογα με τη χρήση. Στο κατώτερο τμήμα του τύμβου βρίσκονται κάποια ανοίγματα που λειτουργούν ως είσοδοι και έξοδοι. Ένα κτίριο εμπνευσμένο από τη λειτουργία των τύμβων των τερμιτών είναι το Eastgate Center στη Harare της Zimbabwe που υλοποιήθηκε το 1996 από τον Mick Pearce με στόχο την κάλυψη θερμικής άνεσης μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας. Η βιομίμηση στο παράδειγμα αυτό είναι σε επίπεδο συμπεριφοράς καθώς μιμείται τον τρόπο που οι τερμίτες χτίζουν τους τύμβους. Το υποτροπικό κλίμα της περιοχής ήταν ιδανική περίπτωση για τη χρήση της συγκεκριμένης τεχνικής. Έτσι είναι σχεδιασμένο ώστε να παρέχει καλό αερισμό και ψύξη με φυσικά μέσα χωρίς να χρειάζεται η χρήση κλιματιστικών. Επίσης σχηματίστηκαν κενά στην σκυροδεματένια κατασκευή για να μπορεί να ανακυκλώνεται ο αέρας ενώ το σκυρόδεμα και η τοιχοποιία λειτουργούν ως θερμικές αποθήκες. Το καλοκαίρι οι τερμίτες αντιμετωπίζουν πρόβλημα με τον αέρα στις καμινάδες όπου δεν πραγματοποιείται αρκετή άνωση ώστε να ανακυκλωθεί ο αέρας και γι' αυτό ανασχηματίζουν τις καμινάδες τους. Προφανώς στο κτίριο δεν γίνεται να πραγματοποιηθεί αυτή η διαδικασία καταστροφής και επαναδημιουργίας των καμινάδων ανάλογα με την διεύθυνση και την ταχύτητα του αέρα και γι' αυτό έχουν εγκατασταθεί ηλεκτρικοί ανεμιστήρες που δίνουν ώθηση στον αέρα να φτάσει στις καμινάδες όταν αυτό δεν γίνεται να υλοποιηθεί από μόνο του. Αποτελεί ένα πετυχημένο παράδειγμα βιομίμησης αφού το κτίριο χρησιμοποιεί μόνο το 10% της ενέργειας που χρειάζεται ένα παρόμοιο κτίριο.⁵⁸



Εικόνα 29: Τύμβος από τερμίτες.
(THE BUILDING MASTERY OF TERMITES, Shape of Life, <https://www.shapeoflife.org/news/dyk/2023/10/03/building-mastery-termites>)



Εικόνα 30: Το Eastgate Center του οποίου η δομή είναι εμπνευσμένη από τη λειτουργία των τύμβων των τερμιτών.
(Watch how the Eastgate Center in Zimbabwe Cools Itself Without Air Conditioning, 2018, <https://livinspaces.net/ls-tv/watch-how-the-eastgate-center-in-zimbabwe-cools-itself-without-air-conditioning/>)

⁵⁸ EASTGATE, <https://www.mickpearce.com/Eastgate.html>

Δεύτερο παράδειγμα επίσης μιμούμενο το σύστημα εξαερισμού των τύμβων των τερμιτών είναι το κτίριο CH2 στη Μελβούρνη που σχεδιάστηκε το 2006 από τον Mick Pearce. Ακριβώς όπως οι τερμίτες διατηρούν μια σταθερή θερμοκρασία μέσα στα αναχώματά τους για να καλλιεργήσουν έναν συγκεκριμένο τύπο μύκητα που μπορεί να ευδοκιμήσει μόνο μέσα σε ένα στενό εύρος θερμοκρασιών, η βιομίμηση σε επίπεδο συμπεριφοράς του κτιρίου CH2 ενσωματώνει ένα σύστημα εξαερισμού εμπνευσμένο από αυτό το φυσικό μηχανισμό. Το σύστημα εξαερισμού των τύμβων των τερμιτών διασφαλίζει ότι η εσωτερική θερμοκρασία παραμένει σταθερή παρά τις εξωτερικές διακυμάνσεις, παρόμοια με τον τρόπο με τον οποίο το κτίριο CH2 ρυθμίζει την εσωτερική του θερμοκρασία. Μιμούμενο τον αποτελεσματικό μηχανισμό ελέγχου θερμοκρασίας που βρίσκεται στα αναχώματα τερμιτών, το κτίριο CH2 βελτιστοποιεί τη χρήση ενέργειας και δημιουργεί ένα βιώσιμο περιβάλλον που μειώνει το αποτύπωμα άνθρακα, παρέχοντας παράλληλα θερμική άνεση.⁵⁹



Εικόνα 31: Το κτίριο CH2 διαθέτει σύστημα εξαερισμού εμπνευσμένο από το φυσικό μηχανισμό εξαερισμού στους τύμβους. (Council House 2 (CH2) Melbourne, Australia, basillabs, <https://quantifyplacemaking.org/2021/02/15/melbourne.html>)

Τρίτο παράδειγμα είναι το Bullitt Center από το γραφείο Miller Hull το 2013 όπου ο σχεδιασμός του είναι εμπνευσμένος από φυσικούς μηχανισμούς, συγκεκριμένα από το δάσος ελάτης Douglas. Αυτή η εμπνευση είναι εμφανής σε διάφορα στοιχεία του κτιρίου, όπως τα συστήματα ενέργειας και νερού. Η φωτοβολταϊκή συστοιχία του κτιρίου έχει σχεδιαστεί για να μιμείται ένα θόλο δέντρου. Αυτή η καινοτόμος προσέγγιση επιτρέπει στη συστοιχία να αποθηκεύει περισσότερη ενέργεια από ό,τι καταναλώνει το κτίριο, ειδικά κατά τη διάρκεια ηλιόλουστων περιόδων. Παρόμοια με τον τρόπο με τον οποίο τα δέντρα απορροφούν το νερό της βροχής, το Bullitt Center συλλέγει και χρησιμοποιεί αποτελεσματικά το βρόχινο νερό. Αυτή η βιώσιμη πρακτική μειώνει τη σπατάλη νερού και προάγει την αποτελεσματική διαχείριση των πόρων.⁶⁰



Εικόνα 32: Το κτίριο Bullitt Center το οποίο είναι εμπνευσμένο από το δάσος ελάτης Douglas, επαναχρησιμοποιεί το νερό και την περίσσεια την επιστρέφει στο έδαφος. (Bullitt Center, MILLER HULL, <https://millerhull.com/project/bullitt-center/>)



Εικόνα 33: Έλατο Douglas. (Douglas fir, Britannica, <https://www.britannica.com/plant/Douglas-fir>)

⁵⁹ COUNCIL HOUSE 2 MELBOURNE, MickPearce, <https://www.mickpearce.com/CH2.html>

⁶⁰ Douglas fir, Britannica, <https://www.britannica.com/plant/Douglas-fir>

⁶¹ Bullitt Center, MILLER HULL, <https://millerhull.com/project/bullitt-center/>

Παραδείγματα σε επίπεδο οικοσυστήματος:

Το πρώτο παράδειγμα αφορά το σχήμα των φυσαλίδων που σχηματίζονται από το σαπούνι. «Το σχήμα τους είναι πάντα σφαιρικό και αυτό οφείλεται στη φυσική και στη γεωμετρία καθώς η επιφανειακή τάση που υπάρχει στην επιφάνεια του σαπουνιού «αναγκάζει» τη φυσαλίδα να λάβει το μικρότερο δυνατό σχήμα για τον όγκο αέρα που καταλαμβάνει».⁶² Ένα παράδειγμα εμπνευσμένο από το σχήμα των φυσαλίδων του σαπουνιού είναι το Eden Project από τους Grimshaw Architects που υλοποιήθηκε το 2001 στο Cornwall του Ηνωμένου Βασιλείου και είναι το μεγαλύτερο θερμοκήπιο παγκοσμίως. Η βιομίμηση στην συγκεκριμένη περίπτωση γίνεται σε επίπεδο οικοσυστήματος και αφορά τη βιώσιμη μορφή της βιομίμησης αφού έχει θετική επίδραση συνολικά στο περιβάλλον. Στο Eden Project η έννοια της βιομίμησης είναι εμφανής καθώς το σχέδιο του έχει εμπνευστεί από τις σαπουνόφουσκες. Έτσι αποτελείται από μια σειρά από θόλους, σε σχήμα φυσαλίδων, οι οποίοι είναι κατασκευασμένοι από διαφανές πολυμερές ώστε να εισέρχεται περισσότερο ηλιακό φως στο εσωτερικό του, μειώνοντας έτσι την ενέργεια που χρησιμοποιείται για τη θέρμανσή του. Με αυτό το σχήμα παρέχεται μεγαλύτερη επιφάνεια ζυγίζοντας όμως ελάχιστα ως κατασκευή. Το Eden Project αποδεικνύει ότι μπορούν να δημιουργηθούν βιώσιμα σχέδια που όχι απλά διακατέχονται από ουδέτερη εκπομπή άνθρακα αλλά και θετική, και που κοστίζουν λιγότερο από τα συμβατικά μοντέλα κατασκευής.⁶³



Εικόνα 34: Εξωτερική λήψη του Eden Project. (eden project, <https://www.edenproject.com/mission/architecture>)



Εικόνα 35: Εσωτερική λήψη από το Eden Project. (eden project, <https://www.edenproject.com/mission/architecture>)

⁶² Why do soap bubbles form?, OpenALG, <https://alg.manifoldapp.org/read/science-of-everyday-materials-4-11-2022/section/c359dcb0-e64a-4758-b07e-2ed7a7fbfdf5>

⁶³ Biomimicry and the Eden Project, ecobrooklyn, <https://ecobrooklyn.com/design/biomimicry-eden-project/>

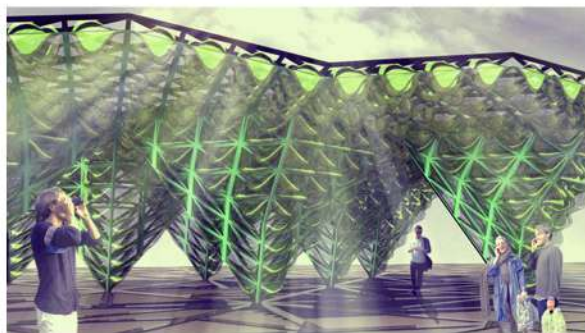
Το δεύτερο παράδειγμα βιομημητικής αρχιτεκτονικής σε επίπεδο οικοσυστήματος είναι το California Academy of Sciences Museum το οποίο είναι ένα διάσημο ίδρυμα που βρίσκεται στο Σαν Φρανσίσκο της Καλιφόρνιας. Το κτίριο που στεγάζει το California Academy of Sciences Museum σχεδιάστηκε από τον Ιταλό αρχιτέκτονα Renzo Piano το 2008. Ένα από τα πιο εντυπωσιακά χαρακτηριστικά του μουσείου είναι η ζωντανή οροφή του, η οποία καλύπτει σχεδόν δύομισι στρέμματα και είναι μία από τις μεγαλύτερες πράσινες στέγες στον κόσμο. Η κυματιστή πράσινη στέγη μιμείται τα φυσικά οικοσυστήματα παρέχοντας βιότοπο για την τοπική άγρια ζωή, προωθώντας τη βιοποικιλότητα, μειώνοντας την απορροή των ομβρίων υδάτων, μονώνοντας το κτίριο και μειώνοντας το ενεργειακό κόστος. Ο σχεδιασμός του μουσείου ενσωματώνει στρατηγικές φυσικού αερισμού εμπνευσμένες από τον τρόπο με τον οποίο τα οικοσυστήματα αυτορρυθμίζουν τη θερμοκρασία και τη ροή του αέρα. Αυτό βοηθά στη μείωση της ανάγκης για μηχανικά συστήματα ψύξης και ενισχύει την ενεργειακή απόδοση. Εμπνευσμένο από τον τρόπο με τον οποίο το φως του ήλιου αλληλεπιδρά με το φυσικό περιβάλλον, το μουσείο μεγιστοποιεί το φυσικό φως μέσω στρατηγικά τοποθετημένων παραθύρων και φεγγιτών. Μειώνεται συνεπώς η εξάρτηση από τον τεχνητό φωτισμό κατά τη διάρκεια της ημέρας.⁶⁴



Εικόνα 36: Το California Academy of Sciences Museum στο οποίο φαίνεται η πράσινη στέγη του που μιμείται φυσικά οικοσυστήματα.

⁶⁴ Efficient Building Design, CALIFORNIA ACADEMY OF SCIENCES, <https://www.calacademy.org/efficient-building-design>

Το τρίτο παράδειγμα βιομιμητικής αρχιτεκτονικής σε επίπεδο οικοσυστήματος είναι το Urban Algae Canopy που σχεδιάστηκε από το eco-LogicStudio. Αυτή η καινοτόμος δομή μιμείται τη συμπεριφορά των οργανισμών μικροφυκών στα φυσικά οικοσυστήματα για την παραγωγή οξυγόνου και βιομάζας ενώ απορροφά διοξείδιο του άνθρακα. Ο θόλος αποτελείται από μια σειρά βιοπλαστικών σωλήνων γεμάτων με φύκια που εκτελούν φωτοσύνθεση, παρόμοια με τον τρόπο με τον οποίο τα φύκια στα υδάτινα οικοσυστήματα συμβάλλουν στην παραγωγή οξυγόνου και τη δέσμευση άνθρακα.⁶⁵ Με την ενσωμάτωση αυτού του ζωντανού συστήματος στην αρχιτεκτονική, το Urban Algae Canopy δείχνει πώς η βιομίμηση μπορεί να εφαρμοστεί σε επίπεδο οικοσυστήματος για τη δημιουργία βιώσιμων και αναγεννητικών δομών.⁶⁶



Εικόνα 37: Φωτορεαλιστική απεικόνιση του Urban Algae Canopy (Benedict Hobson, Dezeen, 2015, Eco-LogicStudio transforms cladding system into a bioreactor with Urban Algae Canopy, <https://www.dezeen.com/2015/05/01/movie-ecologicstudio-etfe-cladding-algae-bioreactor-urban-algae-canopy/>)

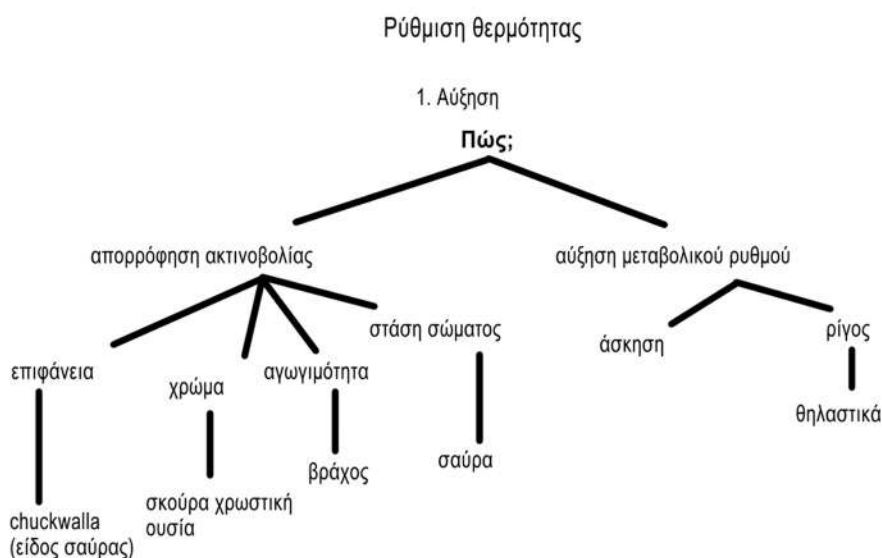
Μέσα από την μελέτη αυτών των παραδειγμάτων φαίνεται πόσο χρήσιμος μπορεί να αποδειχθεί ο βιομιμητικός σχεδιασμός στην αντιμετώπιση σχεδιαστικών προκλήσεων και στην ενίσχυση της βιωσιμότητας και της ανθεκτικότητας στις πόλεις. Μιμούμενοι τους μηχανισμούς της φύσης όχι μόνο λύνονται σχεδιαστικά προβλήματα αλλά επιπλέον εναρμονίζονται οι κατασκευές με το φυσικό περιβάλλον. Καθώς ο πλανήτης αντιμετωπίζει τον κίνδυνο της κλιματικής αλλαγής και της μείωσης της βιοποικιλότητας, ο βιομιμητικός σχεδιασμός προσφέρεται για τη μείωση κατανάλωσης ενέργειας με αποτέλεσμα να μειώνονται και οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που μέσα στις επιπτώσεις που προκαλούν είναι και η αύξηση της θερμοκρασίας. Εντός του αστικού ιστού λοιπόν, αποφεύγεται η αύξηση της θερμοκρασίας, εξαλείφοντας έτσι, το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας που αποτελεί ανησυχητικό παράγοντα κινδύνου στα αστικά κέντρα.

⁶⁵ Microalgae, ScienceDirect, <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/microalgae>

⁶⁶ Benedict Hobson, Dezeen, 2015, EcoLogicStudio transforms cladding system into a bioreactor with Urban Algae Canopy, <https://www.dezeen.com/2015/05/01/movie-ecologicstudio-etfe-cladding-algae-bioreactor-urban-algae-canopy/>

4.5 Διερεύνηση φυσικών μηχανισμών ρύθμισης θερμότητας

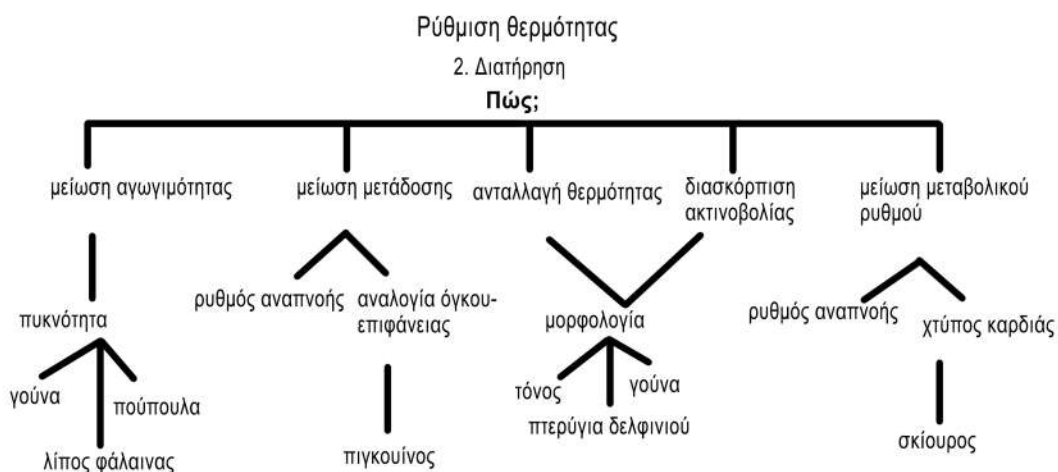
Οι οργανισμοί έχουν αναπτύξει μηχανισμούς ώστε να μπορούν να ρυθμίσουν την θερμότητα ανάλογα με τις ανάγκες τους. Μελετώντας τους τρόπους που οι οργανισμοί κερδίζουν, διατηρούν, αποβάλλουν και αποτρέπουν θερμότητα, οι αρχιτέκτονες μπορούν να τους χρησιμοποιήσουν για την επίτευξη αντίστοιχων στόχων. Ο τρόπος με τον οποίο ένας οργανισμός μπορεί να κερδίσει θερμότητα είναι μέσω της απορρόφησης ακτινοβολίας και μέσω της αύξησης του μεταβολικού ρυθμού. Τα έντομα και τα ερπετά κερδίζουν θερμότητα μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας. Παράγοντες όπως η επιφάνεια, το χρώμα, η αγωγιμότητα, ο προσανατολισμός σε σχέση με τον ήλιο επηρεάζουν τον βαθμό απορρόφησης. Όσον αφορά την επιφάνεια, οι μικρότεροι οργανισμοί απορροφούν ταχύτερα θερμότητα συγκριτικά με μεγαλύτερους ενώ όσον αφορά το χρώμα, τα σκούρα χρώματα απορροφούν περισσότερη ακτινοβολία από ότι τα ανοιχτά. Αυτός είναι και ο λόγος που τα ερπετά αλλάζουν κάποιες φορές χρώμα εκκρίνοντας σκούρες χρωστικές στο δέρμα τους. Άλλος σημαντικός παράγοντας που συμβάλλει στην απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας και οδηγεί κατ' επέκταση σε αύξηση της θερμότητας είναι και ο σωστός προσανατολισμός του σώματος του οργανισμού στρέφοντάς το προς τον ήλιο. Ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να απορροφηθεί από έναν οργανισμό και με έμμεσο τρόπο μέσω της αγωγιμότητας στην περίπτωση που έρθει σε επαφή για παράδειγμα, με έναν βράχο που είναι εκτεθειμένος στον ήλιο. Σε αύξηση της θερμότητας οδηγείται ένας οργανισμός και μέσω της αύξησης του μεταβολικού ρυθμού. Αυτό επιτυγχάνεται είτε μέσω της άσκησης είτε μέσω του ρίγους.⁶⁷



Διάγραμμα 1: Μηχανισμοί αύξησης θερμότητας

⁶⁷ Lidia Badarnah, Science Direct, 2015, A Biophysical Framework of Heat Regulation Strategies for the Design of Biomimetic Building Envelopes, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815021293>

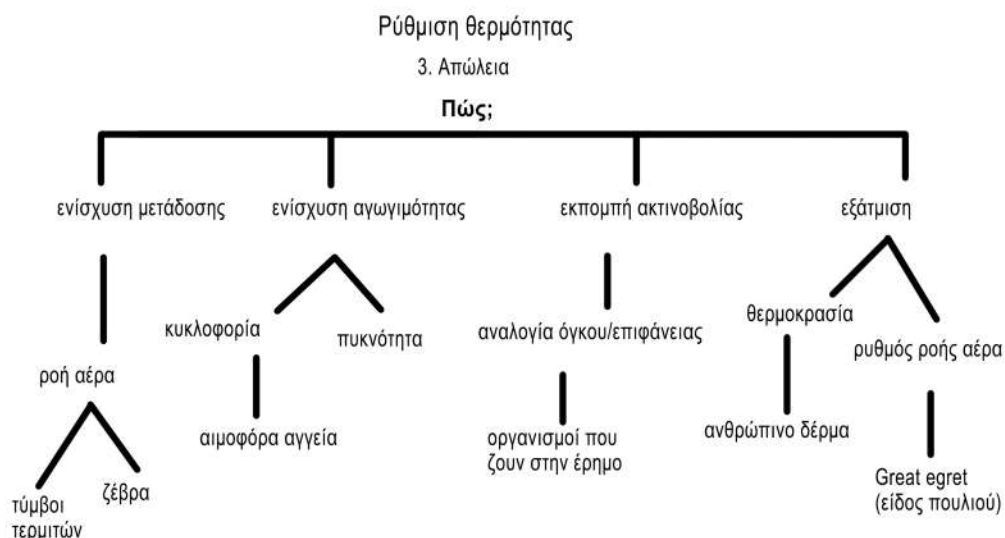
Σε ψυχρά κλίματα, η διατήρηση της σωστής θερμοκρασίας του σώματος επιτυγχάνεται για παράδειγμα μέσω της μόνωσης, της μείωσης του μεταβολικού ρυθμού και μείωση της αναλογίας επιφάνειας/όγκου. Όταν η μόνωση είναι υψηλή, η μεταφορά θερμότητας είναι χαμηλή. Η γούνα στα ζώα τους παρέχει προστασία και μόνωση. Το πάχος της αλλάζει ανάλογα με τις αλλαγές της θερμοκρασίας. Για παράδειγμα, η μαύρη αρκούδα το καλοκαίρι χάνει το 52% της μονωτικής αξίας της χειμερινής της γούνας. Τα πουλιά χρησιμοποιούν διάφορες στρατηγικές ώστε να διατηρήσουν θερμότητα. Οι νεοσσοί, μειώνουν την αγωγιμότητα στο κρύο, σηκώνοντας τα φτερά τους και βάζοντας το κεφάλι και τα πόδια τους μέσα στα φτερά. Παγιδεύεται έτσι ένα στρώμα μόνωσης αέρα κοντά στο σώμα μειώνοντας τις απώλειες θερμότητας. Οι φώκιες και οι φάλαινες που ζουν στη θάλασσα της Αρκτικής και της Ανταρκτικής έχουν ένα παχύ στρώμα υποδόριου λίπους το οποίο τους προσφέρει μόνωση. Τα υδρόβια θηλαστικά ρυθμίζουν την απώλεια θερμότητας από το δέρμα μέσω της κυκλοφορίας του αίματος παρακάμπτοντας τη μόνωση. Οι πιγκουίνοι κουλουριάζονται μειώνοντας την αναλογία όγκου/επιφάνειας στις δύσκολες καιρικές συνθήκες της Ανταρκτικής. Η ανταλλαγή θερμότητας είναι ένας ακόμη τρόπος για τη διατήρησή της. Μηχανισμοί ανταλλαγής θερμότητας βρίσκονται σε πολλούς οργανισμούς όπως στο κυκλοφορικό σύστημα των ψαριών και των φαλαινών, στα πτερύγια των φαλαινών και λειτουργεί ψύχοντας το αρτηριακό αίμα και θερμαίνοντας το φλεβικό αίμα και έτσι δεν χάνεται θερμότητα από το κρύο νερό. Η μείωση του μεταβολικού ρυθμού οδηγεί σε μείωση της θερμοκρασίας του σώματος. Αυτό γίνεται διότι καθώς μειώνεται η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στον οργανισμό και το περιβάλλον, μειώνεται έτσι και η απώλεια θερμότητας. Κάποια ζώα πέφτουν σε χειμερία νάρκη για να εξοικονομούν ενέργεια όταν οι πόροι τροφής είναι περιορισμένοι, ρυθμίζοντας τη θερμοκρασία τους να είναι κοντά στην εξωτερική.⁶⁸



Διάγραμμα 2: Μηχανισμοί διατήρησης θερμοότητας

⁶⁸ Lidia Badarnah, Science Direct, 2015, A Biophysical Framework of Heat Regulation Strategies for the Design of Biomimetic Building Envelopes, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815021293>

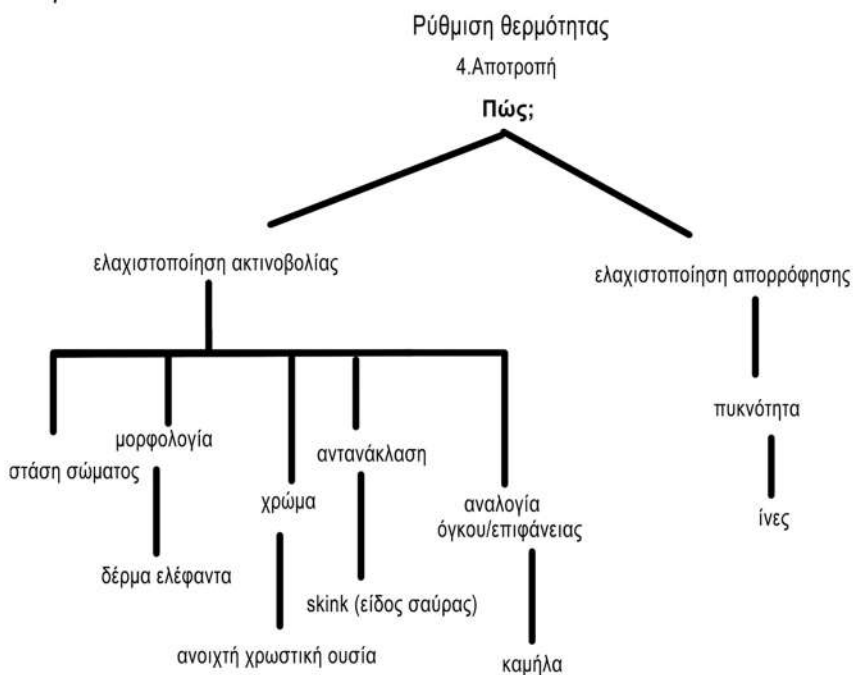
Σε συνθήκες όπου η θερμοκρασία του σώματος είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, το σώμα προκειμένου να αποκτήσει θερμοκρασία παρόμοια με την εξωτερική αποβάλλει θερμότητα με μετάδοση, αγωγιμότητα, ακτινοβολία και εξάτμιση. Παράδειγμα φυσικής μετάδοσης είναι ο θερμαινόμενος ανδρικός αέρας. Ο ζεστός αέρας έχει μικρότερη πυκνότητα από τον ψυχρότερο αέρα της ατμόσφαιρας με αποτέλεσμα να ανεβαίνει. Ενώ ανεβαίνει, χάνει ενέργεια και ψύχεται με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πυκνότητά του και να πέφτει. Για παράδειγμα οι εναλλασσόμενες ασπρόμαυρες ρίγες της ζέβρας προσφέρουν ψύξη χάρη στη μετάδοση αέρα από τις μαύρες στις άσπρες ρίγες στην επιφάνεια του σώματος. Η αγωγιμότητα ενός οργανισμού επηρεάζεται από το πάχος, την πυκνότητα και την επιφάνεια του υλικού. Όσο πιο παχύ είναι το υλικό τόσο χαμηλότερη η αγωγιμότητα ενώ όσο πιο πυκνό και με μεγαλύτερη επιφάνεια είναι το υλικό τόσο μεγαλύτερη είναι η αγωγιμότητα. Πολλοί οργανισμοί που ζουν στην έρημο προκειμένου να αποφύγουν τις έντονες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της ημέρας δραστηριοποιούνται κυρίως τη νύχτα όπου εκπέμπουν αποτελεσματικότερα ακτινοβολία. Τέλος, όταν ο αέρας ρέει πάνω από μια υγρή επιφάνεια προκαλεί εξάτμιση όπου αφαιρείται ορισμένη ποσότητα θερμότητας από την επιφάνεια. Ο ιδρώτας για παράδειγμα που υπάρχει σε διάφορα είδη αυξάνει την ψύξη μέσω της εξάτμισης. Η ικανότητα εφίδρωσης βρίσκεται σε ορισμένα θηλαστικά όπως είναι ο άνθρωπος, τα άλογα και τα καγκουρό. Ορισμένα πτηνά και σαύρες διατηρούν το στόμα τους ανοιχτό, αυξάνοντας τον ρυθμό της ροής του αέρα πάνω από την υγρή επιφάνεια του στόματος με αποτέλεσμα να αυξάνεται η διαδικασία της εξάτμισης.⁶⁹



Διάγραμμα 3: Μηχανισμοί απώλειας θερμοότητας

⁶⁹ Lidia Badarnah, Science Direct, 2015, A Biophysical Framework of Heat Regulation Strategies for the Design of Biomimetic Building Envelopes, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815021293>

Σε θερμά περιβάλλοντα με υψηλές θερμοκρασίες οι οργανισμοί πρέπει να αποτρέπουν την αύξηση της θερμότητας μέσω της μείωσης της έκθεσης στην ακτινοβολία και τη μείωση της απορρόφησης. Για παράδειγμα οι ρυτίδες στην επιφάνεια του δέρματος εμποδίζουν την έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία καθώς δημιουργούν σκιασμένες περιοχές που διατηρούν την υγρασία αποτρέποντας έτσι την υπερβολική άμεση έκθεση στον ήλιο. Οι καμήλες όπως και άλλα ζώα με μεγάλο όγκο παρόλο που κατοικούν σε θερμά κλίματα δεν απορροφούν υπερβολική θερμότητα λόγω της αναλογίας της επιφάνειας προς τον όγκο τους. Η αντανάκλαση, το χρώμα και η πυκνότητα διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Στα θηλαστικά και στα πτηνά όσο πιο ανοιχτό είναι το χρώμα του δέρματος, των μαλλιών και των φτερών τόσο λιγότερη θερμότητα απορροφούν συγκριτικά με τα σκούρα.⁷⁰



Διάγραμμα 4: Μηχανισμοί αποτροπής θερμότητας

⁷⁰ Lidia Badarnah, Science Direct, 2015, A Biophysical Framework of Heat Regulation Strategies for the Design of Biomimetic Building Envelopes, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815021293>

4.6 Ενσωμάτωση φυσικών μηχανισμών απώλειας θερμότητας στον αστικό ιστό για αντιμετώπιση της αστικής θερμικής νησίδας

Η φύση έχει αναπτύξει διάφορους μηχανισμούς ώστε να μπορεί να αποβάλλει θερμότητα. Μελετώντας αυτούς τους μηχανισμούς, μπορούν να σχεδιαστούν πόλεις που θα διαθέτουν χαρακτηριστικά ώστε να αποβάλλουν θερμότητα και συνεπώς να μην αυξάνεται η θερμοκρασία εντός αυτών προκαλώντας το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας.

Ακολουθούν τρεις στρατηγικές της φύσης ενσωματωμένες στο αστικό περιβάλλον.

I. Ο σχεδιασμός πόλεων εμπνευσμένων από τους φυσικούς μηχανισμούς στους τύμβους των τερμιτών μπορεί να μειώσει τη θερμοκρασία τους. Η εφαρμογή παθητικών συστημάτων εξαερισμού που επιτρέπουν τη φυσική ροή αέρα εντός των κτιρίων, επί παραδείγματι, μπορεί να συμβάλει στη ρύθμιση των θερμοκρασιών χωρίς να εξαρτώνται από μηχανικά συστήματα ψύξης. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει το σχεδιασμό στρατηγικά τοποθετημένων ανοιγμάτων για την καλύτερη κυκλοφορία του αέρα. Επίσης, το σχήμα και η δομή των τύμβων των τερμιτών βελτιστοποιούν τη ροή του αέρα. Οι αρχιτέκτονες μπορούν να σχεδιάσουν κτίρια με αεροδυναμικά σχήματα για την ενίσχυση των φυσικών μηχανισμών αερισμού και ψύξης. Τέλος, βάσει των τεχνικών εξάτμισης νερού, μπορούν να εισαχθούν στοιχεία νερού ή χώρων πρασίνου σε αστικές περιοχές ώστε να μειωθεί η θερμοκρασία αυτών μέσω της εξατμισοδιαπνοής, μιας διαδικασίας που μιμείται την ανταλλαγή υγρασίας που συμβαίνει σε τύμβους τερμιτών μέσω σηράγγων. Μελετώντας τις εξόδους των τύμβων, οι οποίες διευκολύνουν την κίνηση και τη ροή του αέρα, οι αρχιτέκτονες μπορούν να δημιουργήσουν ανοίγματα εντός των πόλεων που θα επιτρέπουν στον αέρα να ανακυκλώνεται.



Διάγραμμα 5: Ενσωμάτωση λειτουργιών των τύμβων των τερμιτών

II. Η ενσωμάτωση στρατηγικών εμπνευσμένων από τους μηχανισμούς ψύξης του ανθρώπινου σώματος συμβάλλει στην απώλεια θερμότητας εντός των πόλεων. Ακριβώς όπως το ανθρώπινο δέρμα ρυθμίζει τη θερμοκρασία του σώματος μέσω διαδικασιών όπως η εφίδρωση, μια πόλη σχεδιασμένη κατ' αυτόν τον τρόπο μπορεί να ενσωματώσει υλικά που διευκολύνουν την απώλεια θερμότητας. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση αντανακλαστικών επιφανειών, σκιασμένων πεζοδρομίων και χώρων πρασίνου ώστε να μιμηθούν την ψυκτική επίδραση της εφίδρωσης και της διαπνοής. Το εξωτερικό στρώμα του δέρματος λειτουργεί ως μόνωση και προστασία από εξωτερικά στοιχεία. Οι πόλεις μπορούν να μιμηθούν τη διαδικασία εξάτμισης στο ανθρώπινο δέρμα ενσωματώνοντας υδάτινα στοιχεία που προάγουν την ψύξη με εξάτμιση. Αυτά τα στοιχεία μπορούν να βοηθήσουν στη μείωση των θερμοκρασιών και να δημιουργήσουν πιο άνετους εξωτερικούς χώρους για τους κατοίκους. Η ικανότητα του ανθρώπινου δέρματος να προσαρμόζεται σε ποικίλες συνθήκες μπορεί να εμπνεύσει ευέλικτες στρατηγικές αστικού σχεδιασμού που ανταποκρίνονται στις εποχιακές αλλαγές και τα ακραία καιρικά φαινόμενα. Αυτή η προσαρμοστική προσέγγιση μπορεί να ενισχύσει την ανθεκτικότητα έναντι των κυμάτων καύσωνα και της αστικής θερμικής νησίδας.



Διάγραμμα 6: Ενσωμάτωση μηχανισμών ψύξης του ανθρώπινου δέρματος

III. Οι πόλεις μπορούν να μιμηθούν τις λειτουργίες από τις ρίγες της ζέβρας για να μειώσουν τη θερμότητα σε δημόσιους χώρους. Ένας τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι με τη δημιουργία εναλλασσόμενων ανοιχτόχρωμων και σκοτεινών επιφανειών ή μοτίβων, παρόμοιων με τις ασπρόμαυρες ρίγες στις ζέβρες. Αυτά τα μοτίβα μπορούν να εφαρμοστούν σε πεζοδρόμια, τοίχους, στέγες ή άλλες επιφάνειες σε αστικές περιοχές για να αποτρέψουν την απορρόφηση θερμότητας και να την αντανακλούν. Οι ασπρόμαυρες ρίγες στις ζέβρες δημιουργούν ένα μικροκλίμα γύρω τους διακόπτοντας τη ροή του αέρα και δημιουργώντας περιοχές διαφόρων θερμοκρασιών. Έτσι τοποθετώντας στρατηγικά αυτές τις αντίθετες επιφάνειες μέσα στις πόλεις μπορούν να δημιουργηθούν μικροκλίματα που βοηθούν στην ψύξη του περιβάλλοντος χώρου. Επιπλέον, η ενσωμάτωση της βλάστησης σε ένα μοτίβο που μιμείται την απόσταση των λωρίδων της ζέβρας μπορεί να προσφέρει σκιά και να συμβάλει περαιτέρω στη μείωση της θερμότητας στους δημόσιους χώρους. Ομοίως, οι αστικοί χώροι που έχουν σχεδιαστεί με μοτίβα που μοιάζουν με ρίγες ζέβρας μπορούν να δημιουργήσουν ψυχρότερα μικροκλίματα μέσω του χειρισμού της ηλιακής ακτινοβολίας και της απορρόφησης θερμότητας.



Διάγραμμα 7: Ενσωμάτωση μηχανισμών από τις ρίγες της ζέβρας

Κεφάλαιο 5

Συμπεράσματα

Η παρούσα ερευνητική διαπραγματεύτηκε την αντιμετώπιση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας μέσω του βιομημητικού σχεδιασμού. Αρχικά, μέσω της διερεύνησης της θερμικής νησίδας ως προς τους παράγοντες που την προκαλούν καθώς και τις επιπτώσεις που έχει στο αστικό περιβάλλον, καταλήγουμε στο ότι πρόκειται για ένα φαινόμενο που οφείλεται τόσο από την έντονη αστική εξάπλωση όσο και από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Ειδικά βάσει των αναφορών του έργου των ερευνητών Mark Jacobson και Shobhakar Dhakal έγινε αντιληπτός ο καθοριστικός ρόλος που μπορεί να έχει η ένταξη φυσικών λύσεων, επί παραδείγματι με την ενίσχυση του αστικού πρασίνου, στον αστικό ιστό για τον μετριασμό των επιπτώσεων της θερμικής νησίδας.

Έτσι, στη συνέχεια αναλύθηκαν οι λύσεις που βασίζονται στη φύση (nature-based solutions) και προέκυψε το συμπέρασμα πως μέσω της υιοθέτησής τους στον σχεδιασμό μπορεί να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας. Με την αύξηση του αστικού πρασίνου (urban greening) αλλά και την ανάλυση των μηχανισμών της βλάστησης στην απώλεια θερμότητας, όπως τονίστηκε και μέσα από το έργο των Hashem Akbari, Cynthia Rosenzweig, Stefano Boeri, Jan Gehl και Ian McHarg, οι πόλεις μπορούν να χαρακτηρίζονται από βιωσιμότητα και αστική ανθεκτικότητα (urban resilience) μετριάζοντας σημαντικά το φαινόμενο της θερμικής νησίδας. Στην καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας της φύσης και μηχανισμών της για ενσωμάτωσή τους στον αστικό ιστό, συμβάλλουν τα τεχνολογικά μέσα, όπως αναφέρθηκε και από το έργο του Shobhakar Dhakal. Μέσω λοιπόν της τεχνολογίας οι αρχιτέκτονες είναι σε θέση να μεταφέρουν μοτίβα της φύσης στον αστικό σχεδιασμό λύνοντας προκλήσεις και δημιουργώντας βιώσιμα περιβάλλοντα.

Στην αξιοποίηση των τεχνολογικών μέσων για την επίτευξη αυτού του στόχου, βασίζεται η βιομίμηση αλλά και η βιοφιλία, ο βιομορφισμός και η βιο-αξιοποίηση. Μέσω της ανάλυσης της σημασίας της βιομίμησης από τους Philipp Ball και Janine Benyus και του ρόλου που μπορεί να διαδραματίσει στην δημιουργία πιο βιώσιμων πόλεων όπως αναφέρει ο Michael Pawlyn, γίνεται κατανοητό πως μέσω της μίμησης φυσικών στρατηγικών μπορούν να σχεδιαστούν πόλεις που θα είναι σε θέση να προσαρμοστούν και να αντιμετωπίσουν κλιματικές επιπτώσεις, συμπεριλαμβανομένης της αστικής θερμικής νησίδας. Ως απόρροια της μελέτης τρόπων με τους οποίους οι οργανισμοί κερδίζουν, διατηρούν, αποβάλλουν και αποτρέπουν τη θερμότητα, αντλούμε σημαντικές γνώσεις ώστε να ενσωματωθούν στον αστικό σχεδιασμό. Οι πόλεις μπορούν να σχεδιαστούν να διαχέουν τη θερμότητα και να μην αυξάνουν τη θερμοκρασία τους, αποτρέποντας έτσι το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας. Για παράδειγμα, τα παθητικά συστήματα εξαερισμού μπορούν να μιμηθούν τους τύμβους των τερμιτών, που χρησιμοποιούν τεχνικές κυκλοφορίας αέρα για να διατηρήσουν μια σταθερή θερμοκρασία μέσα στις φωλιές τους. Οι τεχνικές εξάτμισης του νερού εμπνευσμένες από τους μηχανισμούς ψύξης του ανθρώπινου σώματος, μπορούν να βοηθήσουν στη μείωση των θερμοκρασιών στις αστικές περιοχές. Επιπλέον, μοτίβα εμπνευσμένα από ρίγες ζέβρας μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίσης στις πόλεις για να αντανakλούν το φως του ήλιου και να μειώνουν την απορρόφηση θερμότητας, δημιουργώντας τελικά πιο δροσερά αστικά περιβάλλοντα. Αυτά τα ευρήματα υποδηλώνουν ότι η βιομίμηση μπορεί να συμβάλλει αποτελεσματικά στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και στη δημιουργία πιο βιώσιμων και ανθεκτικών αστικών περιβαλλόντων που όχι απλώς μετριάζουν τις κλιματικές επιπτώσεις αλλά και έχουν θετικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Σημαντική θα ήταν βέβαια, η μελλοντική διερεύνηση των ενδεχόμενων ακούσιων συνεπειών στα τοπικά οικοσυστήματα ή στη βιοποικιλότητα από την ένταξη μηχανισμών από φυσικούς οργανισμούς μέσα στις πόλεις.

ΠΗΓΕΣ

APOPA

Akbari Hashem, The effects of street tree planting on Urban Heat Island mitigation in Montreal, ScienceDirect, 2016 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221067071630066X>

Aziz Sabry Moheb, Amr Y. El sherif, Biomimicry as an approach for bio-inspired structure with the aid of computation, ScienceDirect, 2016, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016815001702>

Badarnah Lidia, A Biophysical Framework of Heat Regulation Strategies for the Design of Biomimetic Building Envelopes, Science Direct, 2015, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815021293>

Boeri Stefano, Forest City Shijiazhuang, STEFANO BOERI ARCHITETTI, 2015, <https://www.stefanoboeriarchitetti.net/en/project/forest-city/>

Boeri Stefano, Vertical Forest Milan, STEFANO BOERI ARCHITETTI, 2014, <https://www.stefanoboeriarchitetti.net/en/project/vertical-forest/>

Daniels L. Thomas, Hundt George, The Plan for the Valleys: Assessing the Vision of Ian McHarg and David Wallace, ResearchGate, 2016, https://www.researchgate.net/publication/312640850_The_Plan_for_the_Valleys_Assessing_the_Vision_of_Ian_McHarg_and_David_Wallace

Dhakar Shobhakar, GHG emissions from urbanization and opportunities for urban carbon mitigation, ScienceDirect, 2010, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1877343510000394>

Hayter Alexander, Places for People 2004 - Melbourne, Australia by Gehl Architects and the City of Melbourne, PLACES, 2006 <https://placesjournal.org/assets/legacy/pdfs/places-for-people-2004.pdf>

Hobson Benedict, EcoLogicStudio transforms cladding system into a bioreactor with Urban Algae Canopy, Dezeen, 2015, <https://www.dezeen.com/2015/05/01/movie-ecologicstudio-et-fe-cladding-algae-bioreactor-urban-algae-canopy/>

Jacobson Z. Mark, Effects of Urban Surfaces and White Roofs on Global and Regional Climate, JOURNAL OF CLIMATE, 2011, <https://web.stanford.edu/group/efmh/jacobson/Articles/IV/HeatIsWhitRoofJCLim12.pdf>

Jacobson Z. Mark, Roadmaps to Transition Countries to 100% Clean, Renewable Energy for All Purposes to Curtail Global Warming, Air Pollution, and Energy Risk, AGU, 2017, <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2017EF000672>

Lohan Tara, Move or Die? Plants and Animals Face New Pressures in a Warming World, Adapt, The Revelator, 2024, <https://therevelator.org/climate-plants-animals/>

Pathan Nazneen, Shende Pravin, Strategic conceptualization and potential of self-healing polymers in biomedical field, ScienceDirect, 2021 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0928493121002381>

Pintos Paula, 30 St Mary Axe Tower / Foster + Partners, ArchDaily, <https://www.archdaily.com/928285/30-st-mary-axe-tower-foster-plus-partners>

Rosenzweig Cynthia, Mitigating New York City's heat island with urban forestry, living roofs, and light surfaces, ResearchGate, 2006, https://www.researchgate.net/publication/242139673_Mitigating_New_York_City's_heat_island_with_urban_forestry_living_roofs_and_light_surfaces

Souza Eduardo, Multi-Use Public Spaces and Urban Design: Copenhagen and Social Integration, ArchDaily, 2022, <https://www.archdaily.com/992621/multi-use-public-spaces-and-urban-design-copenhagen-and-social-integration>

Winstanley Tim, AD Classics: Institut du Monde Arabe / Enrique Jan + Jean Nouvel + Architecture-Studio, ArchDaily, <https://www.archdaily.com/162101/ad-classics-institut-du-monde-arabe-jean-nouvel>

Zavoleas Yannis, Patterns of nature: Bio-systemic design thinking in meeting sustainability challenges of an increasingly complex world, ScienceDirect, 2021, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666165921000077>

BIBΛΙΑ

- Akbari Hashem, *Urban Heat Islands: Consequences and Mitigation Measures*, Springer, 2012
- Ball Philip, *Patterns in Nature: Why the Natural World Looks the Way It Does*, University of Chicago Press, 2016
- Benyus Janine, *Biomimicry Innovation Inspired by Nature*, Harper Perennial, 2002, https://www.academia.edu/38300413/Janine_M_Benyus_Biomimicry_Innovation_Inspired_by_Nature_2002_Harper_Perennial_1_
- Boeri Stefano, *Transforming Biocities: Designing Urban Spaces Inspired by Nature*, Springer, 2023
- Brownell Blaine, Swackhamer Marc, *Hypernatural: Architecture's New Relationship with Nature*, Princeton Architectural Press, 2015
- Dhakar Shobhakar, *Creating Low Carbon Cities*, Springer, 2017
- Gehl Jan, *Cities for People*, Island Press, 2010, https://umranica.wikido.xyz/repo/7/75/Cities_For_People_-_Jan_Gehl.pdf
- Howard Luke, *The Climate of London*, Cambridge University Press, 1818
- Jacobson Z. Mark, *100% Clean, Renewable Energy and Storage for Everything*, Cambridge University Press, 2020
- Knippers Jan, Schmid Ulrich, Speck Thomas, *Biomimetics for Architecture: Learning from Nature*, Birkhäuser, 2019
- McHarg Ian, *DESIGN WITH NATURE*, American Museum of Natural History, 1969, <https://www.are.na/block/8413048>
- Pawlyn Michael, *Biomimicry in Architecture*, RIBA Publishing, 2011
- Rosenzweig Cynthia, *Climate Change and Cities: Second Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network*, Cambridge University Press, 2018, https://unfccc.int/files/parties_observers/submissions_from_observers/application/pdf/787.pdf
- Μπακιρτζή Όλγα, Τσαλικίδης Ιωάννης, *Τοπία και Κήποι των Ανθρώπων, Θεώρηση της Αρχιτεκτονικής Τοπίου από την αρχαιότητα έως τον 21ο αιώνα, επίκεντρο*, 2014

EIKONEΣ

Architectural Archives of the University of Pennsylvania, How Ian McHarg Taught Generations to 'Design With Nature, Bloomberg, <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-06-10/the-legacy-of-design-with-nature-50-years-later> (Εικόνα 6)

Benyus Janine, Biomimicry: Innovation Inspired by Nature, BIOMIMICRY INSTITUTE, <https://biomimicry.org/chapterone/> (Εικόνα 20)

Biomimetic Approaches for Adaptive Building Envelopes: Applications and Design Considerations, https://www.researchgate.net/publication/357828843_Biomimetic_Approaches_for_Adaptive_Building_Envelopes_Applications_and_Design_Considerations (Εικόνα 22)

Boeri Stefano, STEFANO BOERI ARCHITETTI, 2015, Forest City Shijiazhuang, <https://www.stefanoboeriarchitetti.net/en/project/forest-city/> (Εικόνα 11)

Boeri Stefano, STEFANO BOERI ARCHITETTI, 2014, Vertical Forest Milan, <https://www.stefanoboeriarchitetti.net/en/project/vertical-forest/> (Εικόνα 12)

Bullitt Center, MILLER HULL, <https://millerhull.com/project/bullitt-center/> (Εικόνα 32)

California Academy of Sciences / Renzo Piano Building Workshop + Stantec Architecture, ArchDaily, <https://www.archdaily.com/6810/california-academy-of-sciences-renzo-piano> (Εικόνα 36)

Cambridge Library Collection - Earth Science Volume 1) <https://www.cambridge.org/core/books/climate-of-london/E5796F1775785528A606DCFAD883E979> (Εικόνα 2)

Capps Kriston, ARCHITECT, 2014, Jan Gehl, Copenhagen, and the Trajectory of City Planning, https://www.architectmagazine.com/design/urbanism-planning/-jan-gehl-copenhagen-and-the-trajectory-of-city-planning_o (Εικόνα 10)

Climate Change 2001: The Scientific Basis, https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGI_TAR_full_report.pdf (Εικόνα 1)

Council House 2 (CH2) Melbourne, Australia, basillabs, <https://quantifyplace-making.org/2021/02/15/melbourne.html> (Εικόνα 31)

Douglas fir, Britannica, <https://www.britannica.com/plant/Douglas-fir>
(Εικόνα 33)

Eden project, <https://www.edenproject.com/mission/architecture>
(Εικόνες 34,35)

Greenery as a mitigation and adaptation strategy to urban heat,
<https://www.nature.com/articles/s43017-020-00129-5> (Εικόνα 13)

Hobson Benedict, Dezeen, 2015, EcoLogicStudio transforms cladding system into a bioreactor with Urban Algae Canopy, <https://www.dezeen.com/2015/05/01/movie-ecologicstudio-et-fe-cladding-algae-bioreactor-urban-algae-canopy/> (Εικόνα 37)

International Terminal Waterloo, GRIMSHAW, <https://grimshaw-global/projects/rail-and-mass-transit/international-terminal-waterloo/>
(Εικόνα 26)

Knippers Jan, Schmid Ulrich, Speck Thomas, Biomimetics for Architecture:

Learning from Nature, Birkhäuser, 2019 (Εικόνες 17, 18, 19)

Notman Katherine, Secret København, 2020, Copenhagen Is Getting An Exciting New Green City Park In Front Of Tivoli, <https://secretkopenhagen.com/urban-park-copenhagen/> (Εικόνα 8)

Pintos Paula, ArchDaily,30

St Mary Axe Tower / Foster + Partners, <https://www.archdaily.com/928285/30-st-mary-axe-tower-foster-plus-partners> (Εικόνα 28)

Piraeus Urban Plan, proGireg, <https://progireg.eu/piraeus/urban-plan/>
(Εικόνα 16)

Plan for the Valleys, Wallace-McHarg Associates, 1964, MIT LIBRARIES, <https://dome.mit.edu/handle/1721.3/175667> (Εικόνα 7)

Qureshi Sofia, Medium, 2020, Making Everyday Items Better with Biomimetics: The Pangolin Backpack, <https://medium.com/@sofia.mina.qureshi/making-everyday-items-better-with-biomimetics-the-pangolin-backpack-1467e2c5b58b> (Εικόνα 25)

Research Progress and Framework Construction of Urban Resilience Computational Simulation, MDPI, <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/19/11929> (Εικόνα 15)

Schout David, CBD NEWS, 2019, Pedestrians take priority in new strategy, <https://www.cbdnews.com.au/pedestrians-take-priority-in-new-strategy/> (Εικόνα 9)

Sustainable Mitigation Strategies for Urban Heat Island Effects in Urban Areas, MDPI, <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/14/10767#>

(Εικόνα 5)

THE BUILDING MASTERY OF TERMITES, Shape of Life, <https://www.shapeoflife.org/news/dyk/2023/10/03/building-mastery-termites>

(Εικόνα 29)

Venus flower basket sea sponge, issuu, https://issuu.com/tkoga/docs/koga_tessa_des116_process_manual-final-pretsofia-1/s/10471883

(Εικόνα 27)

Watch how the Eastgate Center in Zimbabwe Cools Itself Without Air Conditioning, 2018, <https://livinspaces.net/ls-tv/watch-how-the-eastgate-center-in-zimbabwe-cools-itself-without-air-conditioning/>

(Εικόνα 30)

What isn't biomimicry?, BIOMIMICRY INSTITUTE, <https://biomimicry.org/what-is-biomimicry/> (Εικόνα 21)

Winstanley Tim, ArchDaily, AD Classics: Institut du Monde Arabe / Enrique Jan + Jean Nouvel + Architecture-Studio, <https://www.archdaily.com/162101/ad-classics-institut-du-monde-arabe-jean-nouvel>

(Εικόνα 23,24)

Γκιόκας Κωνσταντίνος, Το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας στη δυτική Μητροπολιτική Αθήνα, http://oldwww.arch.ntua.gr/sites/default/files/project/14369/_gkiokas_konstantinos.pdf (Εικόνα 3,4)

Ερευνητικές εργασίες

Βασιλάκη Ελένη, Πολύχρωμο αστικό μέλλον: Πρακτικές βιοκλιματικής αναβάθμισης δημοσίων υπαίθριων χώρων, ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ, 2017, http://oldwww.arch.ntua.gr/sites/default/files/project/11947/_elena_vasilaki_polyhromo_astiko_mellon.pdf

Γκιόκας Κωνσταντίνος, Το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας στη δυτική Μητροπολιτική Αθήνα. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2019, http://oldwww.arch.ntua.gr/sites/default/files/project/14369/_gkiokas_konstantinos.pdf

Θεοδωρίδου Ελένη, Η ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ

ΑΣΤΙΚΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΝΗΣΙΔΑΣ, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2020, https://ikee.lib.auth.gr/record/324664/files/THEODORIDOU_ELENIH876_EE.pdf

