



ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

Διπλωματική Εργασία

«Εξέταση της βιοκλιματικής και περιβαλλοντικής απόδοσης των
πράσινων κάθετων τοίχων στο αστικό περιβάλλον»

ΣΠΥΡΙΔΩΝ ΝΑΝΗΣ

Επιβλέπων καθηγητής

Ιωάννης Χαραλαμπίδης

Πάτρα, Σεπτέμβριος 2022

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Σπυρίδωνα Νάνη που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.



Πηγή: www.smartcitiesworld.net



«Εξέταση της βιοκλιματικής και περιβαλλοντικής απόδοσης των
πράσινων κάθετων τοίχων στο αστικό περιβάλλον»

Σπυρίδων Νάνης

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Δρ. Ιωάννης Χαραλαμπίδης

«Ιδιότητα & Ίδρυμα Υπαγωγής»

Συν-Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Δρ. Αγγελική Χατζηδημητρίου

«Ιδιότητα & Ίδρυμα Υπαγωγής»

Πάτρα, Σεπτέμβριος 2022

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε με την επίβλεψη του καθηγητή Δρ. Ιωάννη Χαραλαμπίδου και της καθηγήτριας Δρ. Αγγελικής Χατζηδημητρίου.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου και την ευγνωμοσύνη μου στους ανθρώπους που στάθηκαν δίπλα μου, καθοριστικοί, κατά τη διάρκεια της προσπάθειάς μου σε αυτή τη φάση της ζωής μου και με την ηθική και έμπρακτη στήριξή τους με βοήθησαν στη συγγραφή και ολοκλήρωσης της διπλωματικής μου μελέτης.

Θα ξεκινήσω από τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Δρ. Ιωάννη Χαραλαμπίδου, που οι γνώσεις του, η εμπειρία του και η αδιάλειπτη στήριξή του, με βοήθησαν να κατανοήσω τον τρόπο εργασίας και με καθοδήγησαν βήμα βήμα κατά την εκπόνηση της έρευνάς μου. Υπήρξε σύμμαχος και οδηγός μου από την αρχή μέχρι το τέλος της εργασίας μου. Τον ευχαριστώ μέσα από την καρδιά μου για την υπομονή του, την άμεση ανταπόκριση και επικοινωνία μαζί μου, κάθε φορά που χρειάστηκα την καθοδήγησή του, για τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσε, καθώς και για την άοκνη συνδρομή του στην όλη οργάνωση, δομή και επεξεργασία της παρούσας εργασίας.

Επίσης, ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στην επιβλέπουσα καθηγήτρια, Δρ. Αγγελική Χατζηδημητρίου, για την υποστήριξη και την εποικοδομητική συνεργασία που είχαμε, καθώς και για τις εύστοχες και γόνιμες παρατηρήσεις της.

Επιπλέον, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω από καρδιάς τους γονείς μου, ιδιαίτερα τη μητέρα μου για τη διαρκή εμπύχωση και στήριξή της. Οφείλω πολλά ευχαριστώ στη σύντροφό μου για την τεράστια υπομονή και υποστήριξή της.

Περίληψη

Η παρούσα εργασία εξετάζει τη βιοκλιματική και περιβαλλοντική απόδοση των πράσινων κάθετων τοίχων και των πράσινων στεγών, ως ρυθμιστές του αστικού περιβάλλοντος και μικροκλίματος εντός και εκτός των κτηρίων.

Το αστικό κλίμα εξαρτάται από την ηλιακή ακτινοβολία, τη θερμοκρασία, την ταχύτητα, τη διεύθυνση του αέρα και την υγρασία, που επηρεάζονται από την αστική δόμηση και τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

Η ανάγκη που οδήγησε στην ανάπτυξη του βιοκλιματικού σχεδιασμού με κατασκευή πράσινων τοίχων και οροφών, είναι η ανάγκη δημιουργίας συνθηκών θερμικής άνεσης κυρίως στο εσωτερικό των κτηρίων, αλλά και στο εξωτερικό αυτών, με χρήση λιγότερης ενέργειας. Η εφαρμογή πράσινων κάθετων τοίχων στα κτήρια μειώνει τη θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας των προσόψεων μέχρι και 21,5°C το καλοκαίρι και μέχρι και 16,5°C το χειμώνα. Επίσης μειώνει τη θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας των προσόψεων των κτηρίων έως 7,7°C και τη θερμοκρασία στο εξωτερικό του κτηρίου μέχρι 10°C. Καταγράφεται εξοικονόμηση ενέργειας ψύξης από 15,2% έως 58,9% ανάλογα με τον προσανατολισμό της πρόσοψης και την απόσταση του πράσινου τοίχου από την πρόσοψη του κτηρίου.

Τα οφέλη είναι μεγαλύτερα σε κτήρια χωρίς θερμοπροσόψεις, σε ανατολικές και δυτικές προσόψεις, κατά το καλοκαίρι και κυρίως σε μεσογειακά κλίματα, ενώ μειώνονται κατά τη διάρκεια του χειμώνα.

Λέξεις κλειδιά: *πράσινοι κάθετοι τοίχοι, βιοκλιματική απόδοση, αστικό περιβάλλον.*

Abstract

The present work examines the bioclimatic and environmental performance of green vertical walls and green roofs, as regulators of the urban environment and microclimate inside and outside buildings.

The urban climate depends on solar radiation, temperature, speed, air direction and humidity, which are influenced by urban construction and anthropogenic activities.

The need that led to the development of bioclimatic design with the construction of green walls and ceilings, is the need to create conditions of thermal comfort mainly inside buildings, but also outside them, using less energy. The application of green vertical walls in buildings reduces the temperature of the outer surface of the facades up to 21.5°C in summer and up to 16.5°C in winter. It also reduces the temperature of the inner surface of the facades of buildings up to 7.7°C and the temperature outside the building up to 10°C. Cooling energy savings from 15.2% to 58.9% are recorded depending on the orientation of the facade and the distance of the green wall from the facade of the building.

The benefits are greater in buildings without thermal facades, in east and west facades, in summer and mainly in Mediterranean climates, while they decrease during winter.

Keywords: green vertical walls, bioclimatic performance, urban environment

Ευρετήριο εικόνων

Εικόνα 3-1: Συγκέντρωση του πληθυσμού σε αστικά κέντρα – ιστορική εξέλιξη και πρόβλεψη για το 2030 (United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2019).....	24
Εικόνα 3-2: Εξέλιξη αστικών και επαρχιακού πληθυσμού 1950 – 2050 (United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2019)	25
Εικόνα 3-3: Εξέλιξη και πρόβλεψη της εξέλιξης του πληθυσμού των μεγαλύτερων πόλεων στον κόσμο με πληθυσμό άνω των 20 εκατομμυρίων στο τέλος του 2018 (United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2019).....	26
Εικόνα 3-4: Εξέλιξη και πρόβλεψη της εξέλιξης του πληθυσμού των μεγαλύτερων πόλεων στον κόσμο με πληθυσμό άνω των 20 εκατομμυρίων στο τέλος του 2018 (United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2019).....	27
Εικόνα 3-5: Περιοχές της Αττικής (εικόνες από το Google Earth).....	32
Εικόνα 3-6: Περιοχές της Θεσσαλονίκης (εικόνες από το Google Earth).....	33
Εικόνα 3-7: Μεγάλα αστικά κέντρα της Ελλάδας (Πάτρα, Ηράκλειο, Λάρισα, Βόλος, Ιωάννινα, Καλαμάτα) (εικόνες από το Google Earth).....	34
Εικόνα 3-8: Κέντρο Άμστερνταμ: οικοδομικά τετράγωνα (από το Google Earth και το Google Maps)	36
Εικόνα 3-9: Κέντρο Άμστερνταμ: οικοδομικά τετράγωνα (από το Google Earth και το Google Maps)	36
Εικόνα 3-10: Κέντρο Στοκχόλμης: οικοδομικά τετράγωνα (από το Google Earth και το Google Maps)	37
Εικόνα 3-11: Κέντρο Στοκχόλμης: οικοδομικά τετράγωνα (από το Google Earth και το Google Maps)	37
Εικόνα 3-12: Κέντρο Βερολίνου: οικοδομικά τετράγωνα (από το Google Earth και το Google Maps)	38

Εικόνα 3-13: Κέντρο Βερολίνου: οικοδομικά τετράγωνα (από το Google Earth και το Google Maps)	38
Εικόνα 3-14: Ποσόστωση πληθυσμού σε διαφορετικού μεγέθους πόλεις 2018 παγκοσμίως και ανά ήπειρο (United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2019).....	40
Εικόνα 3-15: Φασματοσκοπία δομικών υλικών· συντελεστές ανάκλασης και θερμικής εκπομπής (Kotthaus, et al., 2014)	43
Εικόνα 3-16: Δομικά υλικά με χαμηλή απορροφητικότητα και υψηλή υδατοπερατότητα (Honjo, et al., 2015)	45
Εικόνα 3-17: Ροή ενέργειας κατά το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας (Silva, et al., 2009)	58
Εικόνα 3-18: Επίδραση του albedo στην μέση θερμοκρασία στο αστικό περιβάλλον (Phelan, et al., 2015).....	61
Εικόνα 3-19: Επίδραση της εκπεμπιμότητας στην μέση θερμοκρασία στο αστικό περιβάλλον (Phelan, et al., 2015).....	62
Εικόνα 3-20: Επίδραση της πυκνότητας πρασίνου στην μέση θερμοκρασία στο αστικό περιβάλλον (Phelan, et al., 2015)	63
Εικόνα 4-1: Δείκτης PPD σε συνάρτηση με τον δείκτη PMV	72
Εικόνα 4-2: Διάγραμμα θερμικής άνεσης Olgyay.....	73
Εικόνα 4-3: Χαρακτηριστικά ψυχρών υλικών δόμησης (Santamouris & Asimakopoulos, 2001).....	75
Εικόνα 4-4: Διαδικασία εξατμισοδιαπνοής, συμπύκνωσης και εξάτμισης (Zhang, et al., 2020)	79
Εικόνα 4-5: Επίδραση της βλάστησης στη θερμοκρασία αέρα (Moufida & Djamel, 2012).....	81
Εικόνα 4-6: Μείωση της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας και αύξηση της απορρόφησής της (Ragheb, et al., 2016)	82

Εικόνα 4-7: Η βλάστηση προστατεύει τα κτήρια από ισχυρούς ανέμους (Kershaw, 2017).....	84
Εικόνα 5-1: Κατηγοριοποίηση πράσινων τοίχων (Ottele, 2011)	88
Εικόνα 5-2: Άμεση πράσινη πρόσοψη (Manso & Gomes, 2015)	90
Εικόνα 5-3: Έμμεση πράσινη πρόσοψη (Manso & Gomes, 2015)	91
Εικόνα 5-4: Κρεμαστή πράσινη πρόσοψη (Abdullahi & Alibaba, 2016).....	92
Εικόνα 5-5: Κατηγορίες κλιμάτων κατά Koppen (Kottek, et al., 2006).....	106

Ευρετήριο πινάκων

Πίνακας 3-1: Δομικά υλικά, συντελεστής ανάκλασης και θερμικής εκπομπής (Datu, et al., 2005)	42
Πίνακας 3-2: Βασικές ιδιότητες των συνηθέστερα χρησιμοποιούμενων δομικών υλικών των αστικών επιφανειών (Μακροπούλου, 2016)	48
Πίνακας 4-1: Αίσθηση θερμικής άνεσης	71
Πίνακας 6-1: Στατιστικά μελετών για την απόδοση συστημάτων κάθετης φύτευσης	123



Συντομογραφίες

VGS	Vertical Greenery Systems
GR	Green Roofs
UHI	Urban Heat Island
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
PPD	Predicted Percentage Dissatisfied
PMV:	Predicted Mean Vote



Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	vi
Abstract	vii
Ευρετήριο εικόνων	8
Ευρετήριο πινάκων	11
Συνοτομογραφίες	12
Πίνακας περιεχομένων	13
1.....Εισαγωγή	
.....	16
2.Σκοπός	και μέθοδος
.....	20
2.2. Σκοπός της εργασίας.....	20
2.3. Τρόπος εργασίας, βάσεις δεδομένων και διαδικασίες	21
3.Γενικές	έννοιες
.....	23
3.1. Αστικό περιβάλλον	23
3.1.1. Δόμηση στο αστικό περιβάλλον.....	28
3.1.2. Υλικά στο αστικό περιβάλλον	41
3.2. Αστικό κλίμα.....	49
3.2.1. Ακτινοβολία στο αστικό περιβάλλον.....	50
3.2.2. Θερμοκρασία στο αστικό περιβάλλον	51
3.2.3. Υγρασία στο αστικό περιβάλλον	54
3.2.4. Ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου στο αστικό περιβάλλον.....	54



3.2.5. Φαινόμενο Αστικής θερμικής Νησίδας	56
4.Τεχνικές και μέθοδοι για βελτίωση των συνθηκών στο αστικό περιβάλλον	64
4.1. Βιοκλιματικός σχεδιασμός	64
4.1.1. Θερμική άνεση	70
4.1.2. Βιοκλιματική και περιβαλλοντική αξιολόγηση αστικού περιβάλλοντος	73
4.2. Νέα υλικά δόμησης	74
4.3. Η βλάστηση ως μέσο βελτίωσης των βιοκλιματικών συνθηκών	78
4.1.3. Μείωση της θερμοκρασίας.....	79
4.1.4. Έλεγχος της ηλιακής ακτινοβολίας.....	81
4.1.5. Επίδραση στη ροή του αέρα	83
5.Οι πράσινοι τοίχοι	85
5.1.1. Πράσινες προσόψεις (green facades).....	89
5.1.2. Ζωντανοί τοίχοι (living walls)	92
5.2. Πράσινες στέγες (green roofs).....	95
5.3. Τροποποίηση των περιβαλλοντικών συνθηκών από τους πράσινους τοίχους	100
5.4. Απόδοση των πράσινων τοίχων ανάλογα με το κλίμα, τα πολεοδομικά χαρακτηριστικά, τα υλικά δόμησης	105
6.Ανάλυση της επιλεγμένης βιβλιογραφίας	123



7.Συμπεράσματα με βάση τη βιβλιογραφία που αναλύθηκε	133
8..... Βιβλιογραφία	147

1. Εισαγωγή

Η αστικοποίηση στις ανεπτυγμένες χώρες έχει αρχίσει να εντείνεται από το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα, οδηγώντας στη συγκέντρωση μεγάλων πληθυσμών στα αστικά κέντρα. Σύμφωνα με έκθεση του ΟΗΕ, στο τέλος του 2017, το 55% του παγκόσμιου πληθυσμού κατοικούσε σε αστικά κέντρα, ενώ σύμφωνα με εκτιμήσεις Ο.Η.Ε., μέχρι το 2050 αναμένεται περίπου το 65% του ανθρώπινου πληθυσμού να κατοικεί σε αστικά κέντρα, το οποίο αντιστοιχεί σε περίπου 6,5 δισεκατομμύρια ανθρώπους (United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2019).

Η διαρκής αύξηση των πληθυσμών που κατοικούν στα αστικά κέντρα αναμένεται να οδηγήσει σε σωρεία αρνητικών επιπτώσεων, μεταξύ των οποίων στην επιδείνωση του κλίματος. Ταυτόχρονα, η ανάγκη για τη δημιουργία ποιοτικότερου περιβάλλοντος στα αστικά κέντρα, μέσα από τη στροφή σε μοντέλα βιώσιμης αστικής ανάπτυξης, εντείνεται προκειμένου να βελτιωθεί το βιοτικό επίπεδο των κατοίκων. Η ανάγκη μπορεί να ικανοποιηθεί μέσα από διάφορες παρεμβάσεις, με τον βιοκλιματικό αστικό σχεδιασμό να κατέχει σημαντικές δυνατότητες παρέμβασης στα ήδη επιβαρυσμένα αστικά περιβάλλοντα.

Εκτός από τεχνικές, όπως η κάθετη φύτευση στα κτήρια, εντοπίζονται στη βιβλιογραφία στρατηγικές όπως αυτή της δημιουργίας χώρων πρασίνου, καταδεικνύοντας τη σημασία της ένταξης της πυκνότητας της βλάστησης στα αστικά κέντρα ως μέσο ρύθμισης του αστικού κλίματος. Σαφώς απαιτείται η ταυτόχρονη αποδέσμευση από ανθρωπογενείς δραστηριότητες με έντονη επιβάρυνση του περιβάλλοντος, ωστόσο η παρούσα διπλωματική εργασία θα εστιάσει στο ρόλο της φύτευσης και συγκεκριμένα στον ρόλο των πράσινων κάθετων τοίχων ως ρυθμιστή του αστικού κλίματος.

Η αστική δόμηση και ανάπτυξη, ειδικά υπό το πρίσμα της ένταξης των πράσινων κάθετων τοίχων πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε η επέκταση των αστικών κέντρων να προκαλεί την κατά το δυνατόν ελάχιστη αλλοίωση του φυσικού περιβάλλοντος και να συμβάλει στην προστασία της τοπικής βιοποικιλότητας,

προκειμένου οι παρεμβάσεις βιοκλιματικού αστικού σχεδιασμού να μπορούν να επιτυγχάνουν οφέλη μακροπρόθεσμα.

Άλλωστε, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός ως στρατηγική βασίζεται στην αρχή της προστασίας της βιοποικιλότητας, ώστε μέσα από μία ήπια διαχείριση του τεχνητού και φυσικού περιβάλλοντος να διατηρείται ο χαρακτήρας των οικοσυστημάτων στα αστικά κέντρα.

Ο αστικός βιοκλιματικός σχεδιασμός εισάγει νέες στρατηγικές και μεθόδους μέσα από τις οποίες επαναπροσδιορίζεται η αρχιτεκτονική και η δόμηση στα αστικά κέντρα, με την τήρηση της αρμονίας μεταξύ του φυσικού και του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος. Οι πράσινοι κάθετοι τοίχοι, τα καινοτόμα υλικά δόμησης, η αύξηση των υδάτινων όγκων, ο φυσικός φωτισμός των κτηρίων, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός των κτηρίων προκειμένου να ενσωματώνονται με τον βέλτιστο δυνατό τρόπο στο περιβάλλον, εκμεταλλευόμενα την ηλιακή ακτινοβολία και τον άνεμο, και η διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αποτελούν τις κυριότερες τεχνικές τις οποίες εισάγει ο αστικός βιοκλιματικός σχεδιασμός.

Μία κοινή αντίληψη των ερευνητών αποτελεί ότι ο σκοπός του αστικού βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι η επαναφορά της ισορροπίας μεταξύ του φυσικού και του δομημένου αστικού περιβάλλοντος. Ο βιοκλιματικός αστικός σχεδιασμός αποτελεί μία ολιστική προσέγγιση και στρατηγική για την επίλυση προβλημάτων και την αντιμετώπιση προκλήσεων οι οποίες αφορούν στην ενεργειακή συμπεριφορά των κτηρίων στον αστικό χώρο, συμπεριφορά η οποία μπορεί να επηρεάζει τόσο τη ζωή και την κατανάλωση ενέργειας εντός των κτηρίων όσο και το περιβάλλον εκτός του κτηρίου, συνεπώς και το βιοτικό επίπεδο των πολιτών της εκάστοτε περιοχής.

Ο αστικός βιοκλιματικός σχεδιασμός αποτελείται από τεχνικές οι οποίες στοχεύουν στην επαναρρύθμιση του αστικού κλίματος και του μικροκλίματος, στην βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτηρίων, στη βελτίωση της θερμικής άνεσης εντός και εκτός των κτηρίων και γενικότερα στη βελτίωση του βιοτικού επιπέδου στα αστικά κέντρα. Μέσα από αυτούς τους σκοπούς, ο αστικός βιοκλιματικός σχεδιασμός συμβάλλει στην αειφορία στα αστικά κέντρα και στη βιώσιμη αστική

ανάπτυξη είτε αυτός αφορά σε νέα κτήρια είτε αυτός αφορά σε υφιστάμενα αστικά κτήρια, υπό το πρίσμα της βιώσιμης αστικής ανάπτυξης.

Μία από τις κύριες τεχνικές που εισάγει ο αστικός βιοκλιματικός σχεδιασμός αποτελούν τα συστήματα κάθετης φύτευσης ή Vertical Greenery Systems (VGS), όπως αυτά αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία. Τα συστήματα κάθετης φύτευσης αποτελούν ανερχόμενες επενδύσεις προσόψεων κτιρίων που αποκαθιστούν την επαφή της πόλης και της φύσης, επαναφέροντας την υγιή σχέση ανάμεσα στο φυσικό και το ανθρωπογενές αστικό περιβάλλον, ενώ ταυτόχρονα παρέχουν θερμικά οφέλη τόσο στο ίδιο το κτίριο όσο και στον περιβάλλοντα χώρο. Οι πράσινες προσόψεις και οι ζωντανοί τοίχοι των συστημάτων κάθετης φύτευσης (VGS) αποκτούν ολοένα και μεγαλύτερη σημασία ως βιώσιμα στοιχεία σχεδιασμού κτιρίων, επειδή μπορούν να μειώσουν το περιβαλλοντικό αποτύπωμα ενός κτιρίου. Το πεδίο θα μπορούσε να επωφεληθεί από μια ολοκληρωμένη καταγραφή των τύπων VGS, από ένα βελτιωμένο σύστημα ταξινόμησης και ονοματολογίας, καθώς και από τη σύνδεση πλεονεκτημάτων με κάθε συγκεκριμένο τύπο κατασκευής.

Για τον λόγο αυτόν, η παρούσα ανασκόπηση εξετάζει τους υπάρχοντες τύπους συστημάτων κάθετης φύτευσης (VGS) και τους συνδέει με τα σχετικά με αυτούς οφέλη, διαχωρίζοντας τα εμπειρικά από τα περιγραφικά δεδομένα.

Η θερμική απόδοση, ως ένα από τα πλεονεκτήματα των VGS, είναι αυτό που μπορεί να διαπιστωθεί πιο εύκολα εμπειρικά. Ωστόσο, απαιτούνται περαιτέρω ποιοτικές μελέτες, συμπεριλαμβανομένης της αντίληψης του μέσου ανθρώπου για θερμική άνεση. Οι βελτιώσεις στην ποιότητα του αέρα, η μείωση του θορύβου, οι θετικές επιδράσεις στην βιοκλιματική απόδοση των κτιρίων καθώς και τα οπτικά οφέλη χρειάζονται πολύ περισσότερες εμπειρικές δοκιμές, καθώς τα τρέχοντα υποστηρικτικά δεδομένα είναι κυρίως περιγραφικά και βασίζονται στις ομοιότητες με τις πράσινες στέγες.

Η μελλοντική πρόοδος του πεδίου εξαρτάται από την υιοθέτηση ενός σαφούς συστήματος ονοματολογίας των VGS και από περαιτέρω ποιοτικές και ποσοτικές εμπειρικές δοκιμές των πλεονεκτημάτων των VGS, οι οποίες θα πρέπει να συνδέονται

σαφώς με έναν συγκεκριμένο τύπο VGS, ώστε να είναι δυνατή η πολλαπλή σύγκριση των μελετών.

2. Σκοπός και μέθοδος

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται ο σκοπός της παρούσης και η ερευνητική μεθοδολογία η οποία ακολουθήθηκε. Επιπλέον, παρατίθενται τα ερευνητικά ερωτήματα τα οποία η παρούσα καλείται να απαντήσει.

2.2. Σκοπός της εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία σκοπεύει να εξετάσει την υφιστάμενη βιβλιογραφία καθώς και μελέτες περίπτωσης εφαρμογής των πράσινων κάθετων τοίχων στο αστικό περιβάλλον και να καταλήξει σε ένα σύνολο συμπερασμάτων για την εφαρμογή των πράσινων κάθετων τοίχων στο αστικό περιβάλλον βάσει της αποτελεσματικότητάς τους στη βελτίωση του αστικού περιβάλλοντος.

Αρχικά αναλύονται βασικές πτυχές που αφορούν στο αστικό περιβάλλον και στο αστικό κλίμα, με έμφαση στις συνιστώσες εκείνες του αστικού κλίματος οι οποίες καθορίζουν τη θερμική άνεση και την ενεργειακή συμπεριφορά των αστικών κέντρων. Οι συνιστώσες αυτές αναλύονται σε βάθος, καθώς στη βάση βελτίωσης αυτών των συνιστωσών, όπως είναι η θερμοκρασία, η θερμική άνεση και το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας, πραγματοποιείται η αξιολόγηση των προτεινόμενων από τη βιβλιογραφία πράσινων κάθετων τοίχων.

Επιπλέον, σκοπός της παρούσης εργασίας αποτελεί η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σε ό,τι αφορά σε τεχνικές και μεθόδους βελτίωσης των συνθηκών στο αστικό περιβάλλον, μέσα από τον βιοκλιματικό σχεδιασμό και τις βιοκλιματικές παρεμβάσεις στα κτήρια των αστικών κέντρων. Παρατίθενται μέθοδοι για την αξιολόγηση του αστικού περιβάλλοντος και του εφαρμοζόμενου βιοκλιματικού σχεδιασμού, καθώς και ευρήματα από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση στο πεδίο των νέων και καινοτόμων υλικών δόμησης, υπό το πρίσμα του βιοκλιματικού σχεδιασμού, με ιδιαίτερη αναφορά στη φύτευση ως μέσο βελτίωσης των βιοκλιματικών συνθηκών κτηρίων και γενικότερα των αστικών περιοχών.

Η αποτελεσματικότητα των πράσινων κάθετων τοίχων θα αξιολογηθεί βάσει των ευρημάτων από τη βιβλιογραφία στη βάση της ρύθμισης της θερμοκρασίας, της υγρασίας, στη βάση της απομείωσης του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας.

Κατόπιν παράθεσης και συζήτησης των ευρημάτων από τη βιβλιογραφία σε ό,τι αφορά στον βιοκλιματικό σχεδιασμό, με έμφαση στους πράσινους κάθετους τοίχους παρατίθενται στατιστικά στοιχεία από μελέτες εφαρμογής διαφορετικών τύπων και τεχνολογιών πράσινων κάθετων τοίχων, γίνεται η αξιολόγησή τους με ανάδειξη των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων και παρατίθεται ένα πλαίσιο καλών πρακτικών για τον βιοκλιματικό σχεδιασμό με χρήση πράσινων κάθετων τοίχων.

2.3. Τρόπος εργασίας, βάσεις δεδομένων και διαδικασίες

Για την εκπόνηση της παρούσης διπλωματικής εργασίας ακολουθήθηκε ένας συνδυασμός ποιοτικής και ποσοτικής ερευνητικής προσέγγισης καθώς για την απάντηση των ερευνητικών ερωτημάτων απαιτείται ο συνδυασμός της ποιοτικής και ποσοτικής ανάλυσης των διαφόρων παραμέτρων από την υπάρχουσα βιβλιογραφία.

Κατά την ποιοτική ερευνητική προσέγγιση, η έρευνα αποτελείται από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικά με τη βιοκλιματική και περιβαλλοντική απόδοση των πράσινων κάθετων τοίχων στο αστικό περιβάλλον, αλλά και με το θεωρητικό υπόβαθρο για τον βιοκλιματικό σχεδιασμό· του αστικού περιβάλλοντος και κλίματος, των τεχνικών για τη βελτίωση των συνθηκών στο αστικό περιβάλλον, συμπεριλαμβανομένων των καινοτόμων υλικών τα οποία βρίσκουν εφαρμογή στις εφαρμογές βιοκλιματικού σχεδιασμού. Στο πλαίσιο της ποσοτικής έρευνας, μελετήθηκε η ποσοτική απόδοση των πράσινων κάθετων τοίχων, όσον αφορά στη βελτίωση βασικών συνιστωσών του αστικού κλίματος.

Στη συνέχεια, ακολουθήθηκε ένας συνδυασμός ερευνητικών στρατηγικών αποτελούμενος από τη στρατηγική της αρχειακής ανάλυσης και αυτή της έρευνας για την εξέταση του ερευνητικού θέματος της παρούσης, προκειμένου να απαντηθούν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τα ερευνητικά ερωτήματα τα οποία καλείται να απαντήσει η παρούσα:

- Πώς ορίζεται το αστικό περιβάλλον και πώς αυτό διαμορφώνεται μέσα από τη δόμηση και τα χρησιμοποιούμενα υλικά δόμησης;
- Πώς ορίζεται το αστικό κλίμα και ποιες είναι οι κύριες διαστάσεις – συνιστώσες αυτού;
- Ποιες τεχνικές και μέθοδοι προτείνονται για τη βελτίωση των συνθηκών στο αστικό περιβάλλον;
- Πώς ορίζονται οι πράσινοι κάθετοι τοίχοι και ποια η συνεισφορά τους στη βελτίωση του αστικού περιβάλλοντος;
- Ποια διαφορετικά είδη πράσινων κάθετων τοίχων προτείνονται από τη βιβλιογραφία;
- Ποια είναι η αποτελεσματικότητα των προτεινόμενων από τη βιβλιογραφία πράσινων κάθετων τοίχων σε ό,τι αφορά στη βελτίωση των συνθηκών στο αστικό περιβάλλον;

Τα παραπάνω ερευνητικά ερωτήματα περιμένουν απαντήσεις για το «τι», «πού», «πόσο» και «γιατί». Επιπλέον, σύμφωνα με τον Yin (2003), η παρούσα έρευνα καλείται να εξετάσει σύγχρονα φαινόμενα χωρίς να απαιτείται ο έλεγχος συμπεριφορικών συμβάντων, για αυτό επιλέχθηκε ο συνδυασμός έρευνας και ανάλυσης των στοιχείων/δεδομένων ως η καλύτερη ερευνητική στρατηγική.

Η έρευνα για την εκπόνηση της παρούσης διεξήχθη με συλλογή και ανάλυση ποιοτικών και ποσοτικών δευτερογενών δεδομένων από βάσεις δεδομένων, ακαδημαϊκά περιοδικά και ακαδημαϊκές εφημερίδες, αλλά και μέσα από επιστημονικά βιβλία τα οποία ήταν διαθέσιμα κατά το στάδιο της έρευνας.

Αξίζει να σημειωθεί, ότι ειδικά για την ποσοτική ανάλυση των δεδομένων, τα άρθρα και οι δημοσιεύσεις, οι οποίες εντοπίστηκαν στο ερευνητικό πεδίο της παρούσης οργανώθηκαν, ταξινομήθηκαν και κατηγοριοποιήθηκαν βάσει της προτεινόμενης τεχνολογίας βιοκλιματικού σχεδιασμού και εφαρμογής πράσινων κάθετων τοίχων, με ιδιαίτερη αναφορά στα αποτελέσματα των παρεμβάσεων αυτά σε συνθήκες βελτίωσης της

θερμοκρασίας των κτηρίων ή των αστικών περιοχών, της θερμοπερατότητας των κτηρίων, της μείωσης του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας κ.α..

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται μία πρώτη προσπάθεια δημιουργίας ενός κατανοητού συστήματος ονοματολογίας των VGS και συνοπτικής παρουσίασης των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων αυτών, στη βάση προηγούμενων ερευνών και δημοσιεύσεων.

3. Γενικές έννοιες

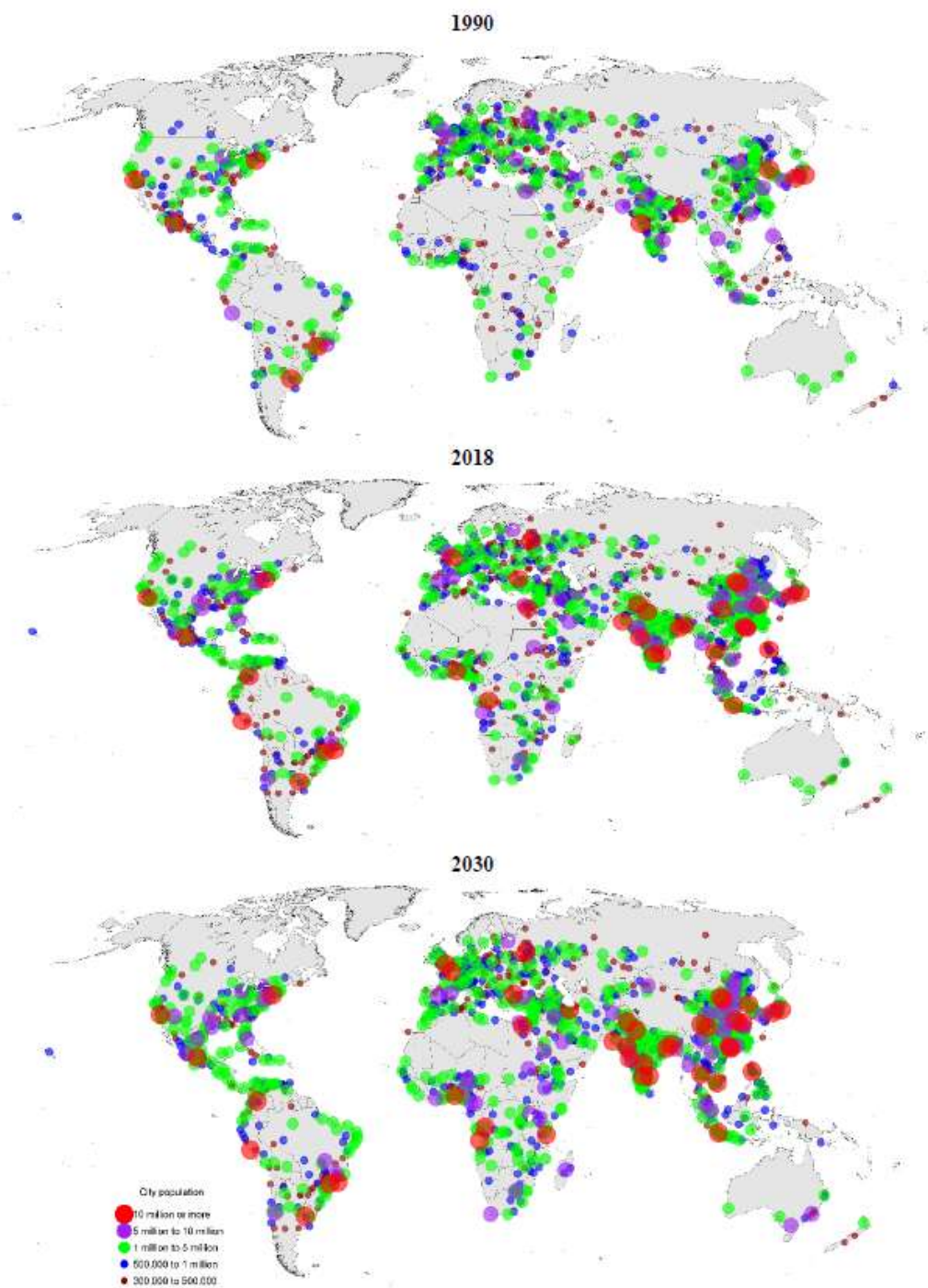
Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται και εξετάζονται οι γενικές έννοιες οι οποίες συνθέτουν το γνωστικό υπόβαθρο για την παρούσα μελέτη και πιο συγκεκριμένα εξετάζεται το αστικό περιβάλλον και οι συνιστώσες του καθώς και το αστικό κλίμα και οι βασικές παράμετροι οι οποίες το χαρακτηρίζουν.

3.1. Αστικό περιβάλλον

Ο αστικός χώρος και το αστικό περιβάλλον είναι έννοιες άρρηκτα συνδεδεμένες, με όποιες παρεμβάσεις πραγματοποιούνται στο αστικό τοπίο να μπορούν να έχουν τις περισσότερες φορές θετικό περιβαλλοντικό πρόσημο. Για το λόγο αυτό, πολλοί ερευνητές εξετάζουν και αξιολογούν ως ιδιαίτερα σημαντική δυνατότητα τον αστικό βιοκλιματικό σχεδιασμό για τη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης στα αστικά κέντρα, για την ανάσχεση της κλιματικής αλλαγής και τη βελτίωση του βιοτικού επιπέδου στα αστικά κέντρα.

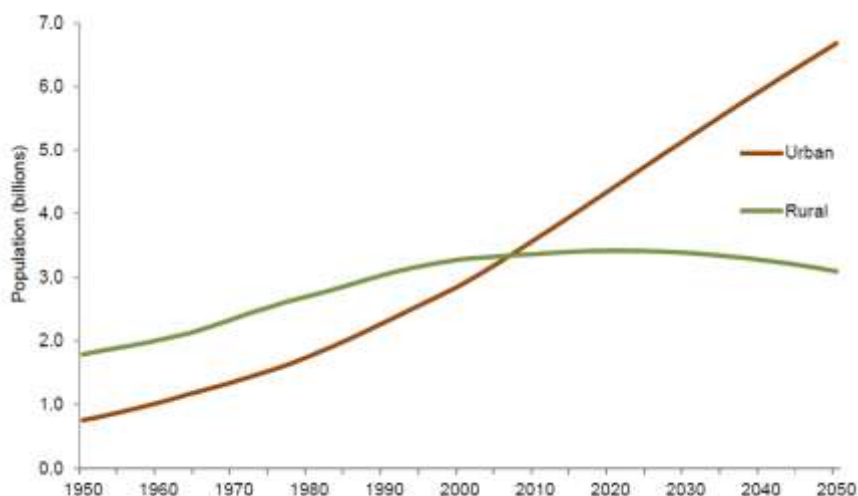
Όπως προαναφέρεται, τις τελευταίες δεκαετίες έχει ενταθεί και επιταχυνθεί η ανάπτυξη των πόλεων, η οποία οδήγησε παράλληλα στην ανάπτυξη των αστικών οικονομιών και τη δημιουργία μεγάλου εύρους δραστηριοτήτων γύρω από τα αστικά κέντρα για την υποστήριξη των αναγκών των αστικών κέντρων.

Συνολικά τα αστικά κέντρα μετασχηματίζονται διαρκώς, με διαφορετικές περιοχές να αναβαθμίζονται και διαφορετικές περιοχές να υποβαθμίζονται, δημιουργώντας αστικές ζώνες διαφορετικών ταχυτήτων.



Εικόνα 3-1: Συγκέντρωση του πληθυσμού σε αστικά κέντρα – ιστορική εξέλιξη και πρόβλεψη για το 2030 (United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2019)

Οι αστικοί χώροι αποτελούν εξάλλου μία μικρογραφία μιας χώρας, καθώς πλέον ενσωματώνουν ολοένα περισσότερες δραστηριότητες. Στο πλαίσιο αυτό η σημασία των πόλεων αυξάνεται διαρκώς. Σύμφωνα με προβλέψεις του Ο.Η.Ε., μέχρι το 2050 αναμένεται περίπου το 65% του ανθρώπινου πληθυσμού να κατοικεί σε αστικά κέντρα, το οποίο αντιστοιχεί σε περίπου 6,5 δισεκατομμύρια ανθρώπους. (United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2019).



Εικόνα 3-2: Εξέλιξη αστικών και επαρχιακού πληθυσμού 1950 – 2050

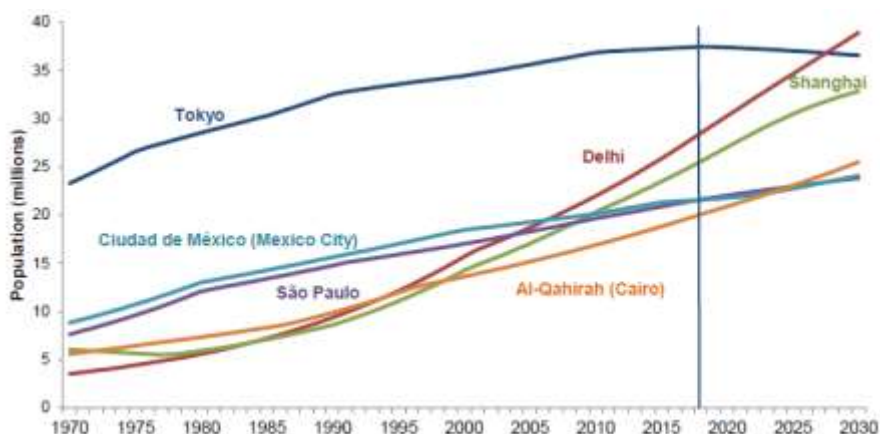
(United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2019)

Η διαρκής αύξηση των πληθυσμών που κατοικούν σε αστικά κέντρα αναμένεται να οδηγήσει σε σωρεία αρνητικών επιπτώσεων, για το περιβάλλον και επακόλουθα για τον ίδιο τον άνθρωπο.

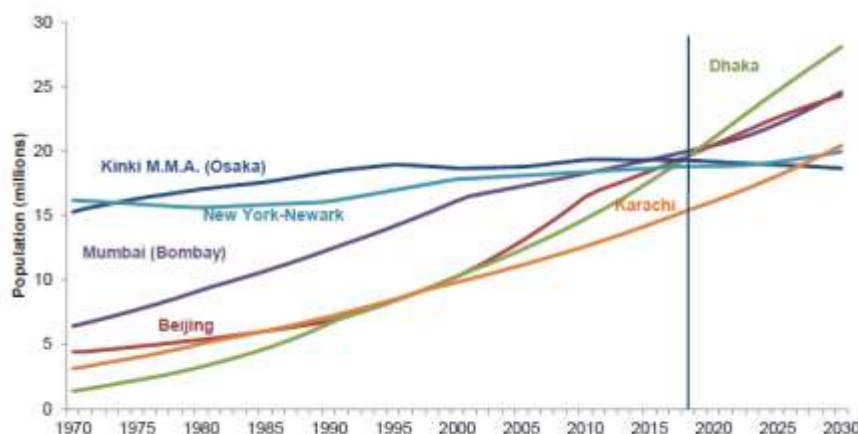
Οι σύγχρονες πόλεις είναι υπεύθυνες για την κατανάλωση περίπου του 75% της παγκόσμιας ενέργειας και συνεπώς είναι υπεύθυνες για το 75% της παγκόσμιας μόλυνσης του περιβάλλοντος. Σύμφωνα με τον Rogers (1998) τα αστικά κέντρα αναπτύσσονται και λειτουργούν σε βαθμό καταχρηστικό σε βάρος του υπόλοιπου κόσμου.

Η στροφή σε μοντέλα βιώσιμης ανάπτυξης και βιώσιμης αστικής ανάπτυξης, σημαντικό μέρος της οποίας αποτελεί ο βιοκλιματικός σχεδιασμός, καθίσταται επιτακτική ανάγκη για να ανακοπεί η υποβάθμιση του περιβάλλοντος.

Στο σημείο αυτό παρατίθενται δύο γραφήματα στα οποία αναπαρίσταται η εξέλιξη του πληθυσμού των μεγαλύτερων πόλεων ανά τον κόσμο, μεταξύ των οποίων συμπεριλαμβάνεται και η Νέα Υόρκη, το οποίο έχει ιδιαίτερη σημασία καθώς στα πλαίσια της παρούσης εξετάζεται η ανάπλαση του High Line στη Νέα Υόρκη.



Εικόνα 3-3: Εξέλιξη και πρόβλεψη της εξέλιξης του πληθυσμού των μεγαλύτερων πόλεων στον κόσμο με πληθυσμό άνω των 20 εκατομμυρίων στο τέλος του 2018 (United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2019)



Εικόνα 3-4: Εξέλιξη και πρόβλεψη της εξέλιξης του πληθυσμού των μεγαλύτερων πόλεων στον κόσμο με πληθυσμό άνω των 20 εκατομμυρίων στο τέλος του 2018 (United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2019)

Ειδικά σε ό,τι αφορά στη Νέα Υόρκη, ο πληθυσμός της αναμένεται να αυξηθεί μέχρι το 2030 φτάνοντας τα 20 εκατομμύρια από τα 16 εκατομμύρια που βρισκόταν στο τέλος του 2018. (United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2019)

Το αστικό περιβάλλον αποτελεί μικρογραφία του περιβάλλοντος της εκάστοτε ευρύτερης περιοχής με αποτέλεσμα να επηρεάζονται σημαντικά από την αστική ανάπτυξη, δηλαδή τη δόμηση, τα χρησιμοποιούμενα υλικά και τις αναπτυσσόμενες ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

Τις τελευταίες δεκαετίες οι βιομηχανικές δραστηριότητες οι οποίες είχαν ανθίσει κατά το δεύτερο μισό του 19^{ου} αιώνα μετακινούνται έξω από τα αστικά κέντρα, δημιουργώντας σημαντικές ευκαιρίες για την αύξηση των χώρων πρασίνου καθώς και των αδόμητων χώρων.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, τα σύγχρονα αστικά κέντρα, στη Μεσόγειο και συγκεκριμένα στην Ελλάδα μαστίζονται από τις παρακάτω προκλήσεις: (Theodorou-Sotiriou, et al., 2007).

- έντονη κυκλοφοριακή συμφόρηση

- πυκνή και συχνά άναρχη δόμηση
- έλλειψη αδόμητων χώρων
- έλλειψη υπαίθριων χώρων
- έλλειψη πρασίνου
- ελλιπής – λανθασμένος χωροταξικός σχεδιασμός

Η αστική ανάπλαση μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική βελτίωση του βιοτικού επιπέδου στα αστικά κέντρα, διαμέσου της βελτίωσης των συνθηκών διαβίωσης των κατοίκων αυτών και μπορεί να οδηγήσει στην αντιμετώπιση των παραπάνω προκλήσεων σε ένα σημαντικό βαθμό.

Ο μετασχηματισμός των αστικών κέντρων βρίσκεται στο επίκεντρο ακόμη και της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η οποία χρηματοδοτεί πλειάδα ερευνητικών προγραμμάτων για την έρευνα και ανάπτυξη γύρω από την αστική ανάπλαση.

Επιπλέον, η αστική βιώσιμη ανάπλαση, συμπεριλαμβανόμενης της ανάπλασης των προσόψεων και των οροφών των κτηρίων με την εισαγωγή της φύτευσης, αλλά και με την ανάπλαση των ανοικτών χώρων και την κατασκευή περισσότερων πράσινων χώρων, αποτελεί μία από τις προτεραιότητες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, στη βάση της οποίας έχει σχεδιαστεί η στρατηγική για την ανάπτυξη των πόλεων στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

3.1.1. Δόμηση στο αστικό περιβάλλον

Η δόμηση στο αστικό περιβάλλον αναφέρεται στη φύση των κτηρίων, των χώρων, του πρασίνου και στα χαρακτηριστικά αυτών. Ειδικά σε ό,τι αφορά στην ελληνική πραγματικότητα, τα κυριότερα χαρακτηριστικά της αστικής δόμησης στα ελληνικά αστικά κέντρα είναι τα παρακάτω: (Ιωάννου & Σερράος, 2007).

- ο κυβικός όγκος
- η καθ' ύψος ανάπτυξη σε ορόφους (συνήθως μεταξύ πέντε και έξι ορόφων)
- η βαθμηδόν υποχώρηση στους ανώτερους ορόφους

- οι συνεχείς και συμπαγείς όψεις, οι οποίες απέκλιναν μόνον στο ισόγειο είτε παρουσία καταστημάτων είτε παρουσία πυλωτής
- τα στενά μπαλκόνια που διατρέχουν τις όψεις, με εξαίρεση τους ανώτερους ορόφους όπου λόγω της βαθμιδόν υποχώρησης δημιουργούνταν φαρδύτερα μπαλκόνια
- οι τυφλές μεσοτοιχίες
- τα αδιαμόρφωτα και μη εκμεταλλεύσιμα δώματα
- ο ακάλυπτος χώρος, απόρροια της διαφοράς του συντελεστής δόμηση από το 100% του οικοπέδου
- η ομοιόμορφα, σχεδόν καθολική έλλειψη χρώματος

Το παραπάνω μοντέλο οικιστικής ανάπτυξης κατέστησε εφικτή την ταχεία αστικοποίηση της χώρας, με τη μετακίνηση μεγάλου μέρους του ελληνικού πληθυσμού από την επαρχία στα αστικά κέντρα και κυριάρχησε μεταξύ άλλων σε όλη την ελληνική επικράτεια, ειδικά τη μεταπολεμική περίοδο. (Ασπρογέρακας, 2003), (Μαλούτας, 2002), (Ιωάννου & Σερράος, 2006).

Αντίθετα, στις χώρες της Κεντρικής και Δυτικής Ευρώπης, η αστικοποίηση και η αστική ανάπτυξη συνέβησαν σε ένα μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, λιγότερο βίαια και σε αστικά περιβάλλοντα τα οποία καταλαμβάνονταν ήδη από ογκώδη κτίσματα από τον 18ο και 19ο αιώνα. Σε αυτό το πλαίσιο, η αστική δόμηση στις χώρες της Δυτικής και Κεντρικής Ευρώπης ακολούθησε ένα σημαντικά διαφορετικό μοντέλο οικιστικής ανάπτυξης, απόρροια του οποίου είναι τα μεγαλύτερα οικοδομικά τετράγωνα, τα κτίσματα με αίθρια και αυλές στο κέντρο τους, καθώς και οι αυξημένοι, σε σχέση με τα ελληνικά αστικά κέντρα, χώροι πρασίνου.

Ο πολεοδομικός ιστός των ελληνικών πόλεων διαμορφώθηκε με το προαναφερόμενο οικιστικό σύστημα ανάπτυξης υπό τις πιέσεις της αστικοποίησης, αλλά ταυτόχρονα κατευθύνθηκε και από την ανεπάρκεια και την αστοχία του επίσημου σχεδιασμού και των σχετικών με τη δόμηση κανονιστικών ρυθμίσεων. Σημαντική ήταν η επίδραση των διαδικασιών κατασκευής – με την επικράτηση του θεσμού της αντιπαροχής και της αστικής πολυκατοικίας - και ο κατακερματισμός της αστικής γης,

όπου και στις δύο περιπτώσεις στόχος ήταν η μεγιστοποίηση της γαιοπροσόδου, δηλαδή των οικονομικών οφελών των γαιοκτημόνων από ενοίκια γης κλπ., και η επικράτηση της ιδιοκατοίκησης ως ισχυρού κοινωνικού προτύπου (Γοσποδίνη, 2007, Ιωάννου & Σερράος, 2006 & 2007, Μαντουβάλου, 1996).

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, ο αστικός σχεδιασμός περιορίστηκε και παραμένει ακόμη και σήμερα περιορισμένος, σε μεμονωμένες και ήπιες παρεμβάσεις μικρής κλίμακας. Σε ό,τι αφορά στην ανοικοδόμηση της ιδιωτικής γης στα αστικά κέντρα, το ρυθμιστικό πλαίσιο κρίνεται μινιμαλιστικό και περιορίζεται στον Γενικό Οικοδομικό Κανονισμό, το Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο, εκάστης περιοχής, την Πολεοδομική Μελέτη (εκάστης περιοχής), ενώ αναμένεται η ολοκλήρωση του Εθνικού Κτηματολογίου, που προφανώς θα διευρύνει τους ελληνικούς αστικούς ιστούς με τρόπο πιο υγιή και πιο δομημένο κατά τις επόμενες δεκαετίες. Σύμφωνα μάλιστα με τη βιβλιογραφία, η κύρια ακολουθούμενη οικιστική πολιτική είναι αυτή της κατάτμησης των χώρων στα αστικά κέντρα σε όσο το δυνατόν μικρότερα μερίδια, μέσα από την οποία προωθείται ο αστικός σχεδιασμός στο επίπεδο του οικοπέδου (Γοσποδίνη & Μπεριάτος, 2006).

Ο αστικός ιστός των πόλεων αποτέλεσε προϊόν των ποικίλων προαναφερόμενων κοινωνικό-οικονομικών δυνάμεων και κρατικών πολιτικών, όπου η εξυπηρέτηση των ιδιωτικών προθέσεων υπερετερούσε έναντι του κοινωνικού συνόλου και της ποιότητας της αστικής ζωής.

Επίσης, αναφέρεται, ότι τα ελληνικά αστικά κέντρα εμφανίζουν αυξημένη ομοιομορφία, καθώς αποτελούνται από επαναλαμβανόμενα ομοιογενή υποσύνολα κατασκευών, τόσο σε ό,τι αφορά στα κτήρια, όσο και σε ό,τι αφορά στις δημόσιες υποδομές, όπως δρόμοι, πεζοδρόμια, χώροι πρασίνου κ.α.. (Γοσποδίνη & Μπεριάτος, 2006, Ιωάννου & Σερράος, 2006).

Ως προς τη δομή του ελληνικού αστικού χώρου, αυτή χαρακτηρίζεται από τη σημαντική ανεπάρκεια των δημόσιων χώρων, την έντονη διάσπαση των όγκων, την στενότητα σε κοινόχρηστους χώρους και τη μεγάλη έως παντελή έλλειψη χώρων πρασίνου (Ιωάννου & Σερράος, 2006).

Στις σημερινές ελληνικές πόλεις οι υφιστάμενοι υπαίθριοι χώροι είναι άνισα κατανεμημένοι, η ποσότητά τους είναι περιορισμένη και η ποιότητά τους σε καμία περίπτωση δεν είναι υψηλή. Αυτό οφείλεται κυρίως στους διάφορους μετασχηματισμούς που υπόκεινται οι πόλεις, καθώς επίσης και στη θέση και το ρόλο που κατέχει η περιοχή στην οποία οι υπαίθριοι χώροι βρίσκονται. (Κοσμάκη, 2002).

Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν επαρχιακές πόλεις, όπως ο Βόλος, όπου οι υπαίθριοι χώροι εντοπίζονται μόνο κατά μήκος του παράκτιου μετώπου, ενώ στο εσωτερικό της πόλης δεν υπάρχουν. Στη Λάρισα, γίνεται προσπάθεια μέσα από την πεζοδρόμηση κεντρικών τμημάτων της να αντισταθμισθεί το έλλειμμα σε δημόσιους υπαίθριους χώρους. (Μακροπούλου & Γοσποδίνη, 2010).

Ως προς τον αστικό ιστό, σύμφωνα με τους Ιωάννου και Σερράο (2006), η Αθήνα αποτελεί ένα κεφαλαιώδες μοντέλο και ένα καίριο σημείο αναφοράς για τον ελληνικό αστικό ιστό, καθώς σε όλο το φάσμα των διαφόρων περιοχών της Αθήνας συναντώνται όλα τα μοτίβα και όλες οι διεργασίες οι οποίες συναντώνται σε άλλα αστικά κέντρα σε όλη την ελληνική επικράτεια.

Σε αυτή την κατεύθυνση, οι μεγαλύτερες ελληνικές πόλεις της επαρχίας, όπως η Θεσσαλονίκη, η Πάτρα, τα Ιωάννινα, η Κοζάνη, το Ηράκλειο και άλλες ακολουθούν τα παραπάνω αναφερόμενα μοτίβα, διεργασίες και τάσεις οι οποίες μπορούν να συνθέσουν μία συνολική περιγραφή όλου του αστικού ιστού της Αθήνας. (Ιωάννου & Σερράος, 2006)

Στο σημείο αυτό παρατίθενται κάποιες ενδεικτικές εικόνες και αεροφωτογραφίες από τα μεγαλύτερα αστικά κέντρα της χώρας, με πρώτες αυτές της Αθήνας, για την αποτύπωση των ελληνικών αστικών ιστών καθώς και για την εμπέδωση της συμπύκνωσης των τάσεων αστικής ανάπτυξης των ελληνικών αστικών κέντρων στην Αθήνα.



Εικόνα 3-5: Περιοχές της Αττικής (εικόνες από το Google Earth)



Εικόνα 3-6: Περιοχές της Θεσσαλονίκης (εικόνες από το Google Earth)



Εικόνα 3-7: Μεγάλα αστικά κέντρα της Ελλάδας (Πάτρα, Ηράκλειο, Λάρισα, Βόλος, Ιωάννινα, Καλαμάτα) (εικόνες από το Google Earth)

Τα οικοδομικά τετράγωνα μπορούν να διαφέρουν στους παρακάτω παράγοντες: (Γερόλυμπου, et al., 1986).

- Μέγεθος
- Σχήμα, ομοιότητα μεταξύ των οικοδομικών τετραγώνων
- Τύπος δόμησης (συνεχής ή διακοπτόμενη με κοινόχρηστους και αδόμητους χώρους)
- Αρχιτεκτονικό στυλ

- Χρήσεις των κτηρίων

Στα ελληνικά αστικά κέντρα, παρά το γεγονός ότι έχουν αλλάξει σημαντικά με την πάροδο του χρόνου, τα δύο βασικά συστατικά που μπορούν να τα χαρακτηρίσουν και να τα διακρίνουν από τα αστικά κέντρα άλλων χωρών είναι τα χαρακτηριστικά των κτηρίων και τα χαρακτηριστικά των οικοδομικών τετραγώνων και των οδών. (Γερόλυμπου, et al., 1986)

Στα ελληνικά αστικά κέντρα εντοπίζονται επαναλαμβανόμενες δομές και κυρίως άναρχη δόμηση, όπου, σε συγκεκριμένες περιοχές των μεγαλύτερων ελληνικών αστικών κέντρων, εντοπίζονται εγκαταλελειμμένα κτήρια και εγκαταλελειμμένοι αδόμητοι ή δομημένοι, γραμμικοί ή μη, χώροι, απομεινάρια μιας άλλης εποχής. (Κυριαζής, 2008).

Τα ελληνικά αστικά κέντρα είναι έντονα κατακερματισμένα, με έλλειψη κοινόχρηστων, αδόμητων, πράσινων ή μη χώρων. Το παραπάνω δεν συμβαίνει στα αστικά κέντρα άλλων ευρωπαϊκών χωρών, όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό από τις παρακάτω εικόνες μέσω της σύγκρισης των ελληνικών με τα ευρωπαϊκά οικοδομικά τετράγωνα.

Η δόμηση στα ελληνικά αστικά κέντρα είναι ιδιαίτερα συνεχής, όπως έγινε εμφανές από τις παραπάνω εικόνες, ενώ σε αντίθεση με τα αστικά κέντρα άλλων πόλεων απουσιάζει ο τετραγωνισμός των οικοδομικών τετραγώνων και οι κοινόχρηστοι αδόμητοι χώροι στο κέντρο των οικοδομικών τετραγώνων.

Παρακάτω παρατίθενται κάποιες ενδεικτικές εικόνες από οικοδομικά τετράγωνα από πόλεις της Ευρώπης.



Εικόνα 3-8: Κέντρο Άμστερνταμ: οικοδομικά τετράγωνα (από το Google Earth και το Google Maps)



Εικόνα 3-9: Κέντρο Άμστερνταμ: οικοδομικά τετράγωνα (από το Google Earth και το Google Maps)



Εικόνα 3-10: Κέντρο Στοκχόλμης: οικοδομικά τετράγωνα (από το Google Earth και το Google Maps)



Εικόνα 3-11: Κέντρο Στοκχόλμης: οικοδομικά τετράγωνα (από το Google Earth και το Google Maps)



Εικόνα 3-12: Κέντρο Βερολίνου: οικοδομικά τετράγωνα (από το Google Earth και το Google Maps)



Εικόνα 3-13: Κέντρο Βερολίνου: οικοδομικά τετράγωνα (από το Google Earth και το Google Maps)

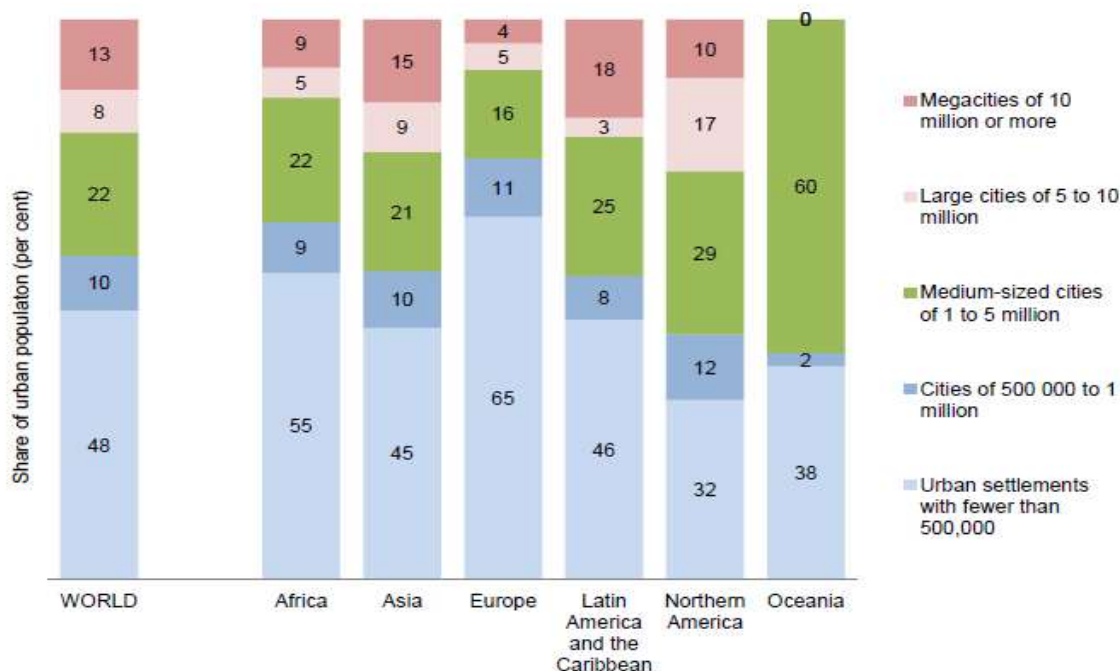
Κύριοι λόγοι που οδήγησαν στη συγκεκριμένη διαμόρφωση είναι η έλλειψη χώρου στα αστικά κέντρα, η ταχεία αστικοποίηση που βίωσε η Ελλάδα, η ανάγκη για εκμετάλλευση όσο το δυνατόν μεγαλύτερης έκτασης των αστικών οικοπέδων, καθώς και οι παράλληλα αυξημένοι συντελεστές δόμησης. Σαφώς η δημιουργία χώρων πρασίνου, η ύπαρξη αδόμητων χώρων και η δημιουργία κοινόχρηστων χώρων δεν αποτέλεσε προτεραιότητα της αστικής δόμησης κατά τον περασμένο μισό αιώνα (Αραβαντινός, 1998).

Μάλιστα, σε αντίθεση με τα παραπάνω οικοδομικά τετράγωνα από αστικά κέντρα άλλων ευρωπαϊκών χωρών, όπου εντοπίζονται κοινόχρηστοι αδόμητοι χώροι, αυτοί συχνά μπορεί να μην είναι καν προσβάσιμοι όχι μόνον από το δρόμο αλλά ούτε και από τους χρήστες των κτηρίων, απόρροια των πυκνοκατοικημένων ελληνικών αστικών κέντρων. (Κυριαζής, 2008).

Σύμφωνα με τον ΟΟΣΑ και την Ευρωπαϊκή Ένωση, διαχωρίζονται τα παρακάτω μεγέθη πόλεων βάσει πληθυσμού:

- μεγάλου μεγέθους με πληθυσμό άνω των 250.000 κατοίκων
- μεσαίου μεγέθους
 - με πληθυσμό μεταξύ των 50.000 έως 250.000 κατοίκων και
 - πυκνότητα κατοίκησης μεγαλύτερη από 1.500 κατοίκους ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο
- μικρού μεγέθους
 - με πληθυσμό κάτω των 50.000 κατοίκων ή
 - με πυκνότητα κατοίκησης μικρότερη από 1.500 κατοίκους ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο

Δεδομένου του πληθυσμού της χώρας, τα περισσότερα μεγάλα αστικά κέντρα στην Ελλάδα, πλην της Αθήνας και Θεσσαλονίκης, καταταράσσονται στο μεσαίο μέγεθος όχι μόνον λόγω του πληθυσμού αλλά και λόγω της πυκνότητας κατοίκησης, η



οποία σε πολλά αστικά κέντρα είναι μικρότερη των 1.500 κατοίκων ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο.

Εικόνα 3-14: Ποσοστ看ση πληθυσμού σε διαφορετικού μεγέθους πόλεις 2018 παγκοσμίως και ανά ήπειρο (United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2019)

Σύμφωνα με την Ψαθά (2014), στην Ελλάδα εντοπίζονται δύο πόλεις μεγάλου μεγέθους, η Αθήνα και η Θεσσαλονίκη, και επτά πόλεις μεσαίου και μικρού μεγέθους: Πάτρα, Ηράκλειο, Βόλος, Ιωάννινα, Καβάλα, Λάρισα, Καλαμάτα.

Τέλος, ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας ο οποίος συνέβαλε στην άναρχη δόμηση και στη μετέπειτα ύπαρξη μεγάλων εκτάσεων οι οποίες παραμένουν εγκαταλελειμμένες, είναι η ανάγκη για μαζική στέγαση προσφυγικών πληθυσμών (Ιωάννου & Σερράος, 2006, Καρύδης, 2006, Κυριαζής, 2008).

Καθίσταται σαφές, ότι η δόμηση στο αστικό περιβάλλον συνθέτει μία παγιωμένη κατάσταση, η οποία υπό το πρίσμα του βιοκλιματικού αστικού σχεδιασμού καθιστά επιτακτική την ανάγκη για παρεμβάσεις στα υφιστάμενα κτήρια, ειδικά για την περίπτωση της Ελλάδας, προκειμένου να ρυθμιστεί το μικρόκλιμα, να βελτιωθούν οι συνθήκες θερμικής άνεσης και να αναβαθμιστεί το βιοτικό επίπεδο των κατοίκων.

3.1.2. Υλικά στο αστικό περιβάλλον

Τα υλικά στο αστικό περιβάλλον, περιλαμβανομένων των υλικών των δρόμων, πεζοδρομίων, κτηρίων, των συστημάτων σκίασης και της βλάστησης, παίζουν σημαντικό ρόλο ως ρυθμιστές του μικροκλίματος, συμβάλλοντας ή επιδεινώνοντας τις συνθήκες θερμικής άνεσης. Η θερμοκρασία στην επιφάνεια των υλικών δόμησης επηρεάζει άμεσα και έμμεσα τη θερμοκρασία στον θόλο και στην ατμόσφαιρα, μέσω της αντανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας, της εξάτμισης και άλλων φαινομένων, διαταράσσοντας τη θερμική ισορροπία γύρω από τις επιφάνειες δόμησης.

Σημαντικό δε ρόλο στον τρόπο και στους μηχανισμούς με τους οποίους τα δομικά υλικά στα αστικά περιβάλλοντα επηρεάζουν τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας παίζει το ύψος της δόμησης, το άνοιγμα μεταξύ των κτηρίων, ο προσανατολισμός των δρόμων και ο προσανατολισμός των κτηρίων. Τα φαινόμενα διαταραχής της θερμικής ισορροπίας και απώλειας των συνθηκών θερμικής άνεσης είναι πιο έντονα σε αστικά περιβάλλοντα με υψηλή δόμηση, μικρά ανοίγματα μεταξύ των κτηρίων και ιδίως στο επίπεδο του δρόμου, όπου η αντανακλώμενη από τα δομικά υλικά ηλιακή ακτινοβολία εγκλωβίζεται οδηγώντας σε ραγδαία αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα.

Τα τελευταία χρόνια εντοπίζεται έντονο ερευνητικό ενδιαφέρον γύρω από καινοτόμα δομικά υλικά, τα οποία ονομάζονται ψυχρά υλικά και τα οποία παρουσιάζονται λεπτομερώς στο τέταρτο κεφάλαιο. Στο σημείο αυτό ωστόσο αναφέρεται πως τα υλικά αυτά έχουν κατασκευαστεί με τρόπο τέτοιο ώστε να έχουν τα επιθυμητά χαρακτηριστικά, όπως υψηλούς δείκτες αντακλαστικότητας και θερμικής εκπομπής, ώστε να μπορούν να ενσωματωθούν στο αστικό περιβάλλον και να επιδράσουν θετικά στις συνθήκες θερμικής άνεσης.

Οι ιδιότητες των δομικών υλικών οι οποίες επηρεάζουν τη θερμοκρασία στη επιφάνεια των υλικών αλλά και στον αέρα παρατίθενται παρακάτω:

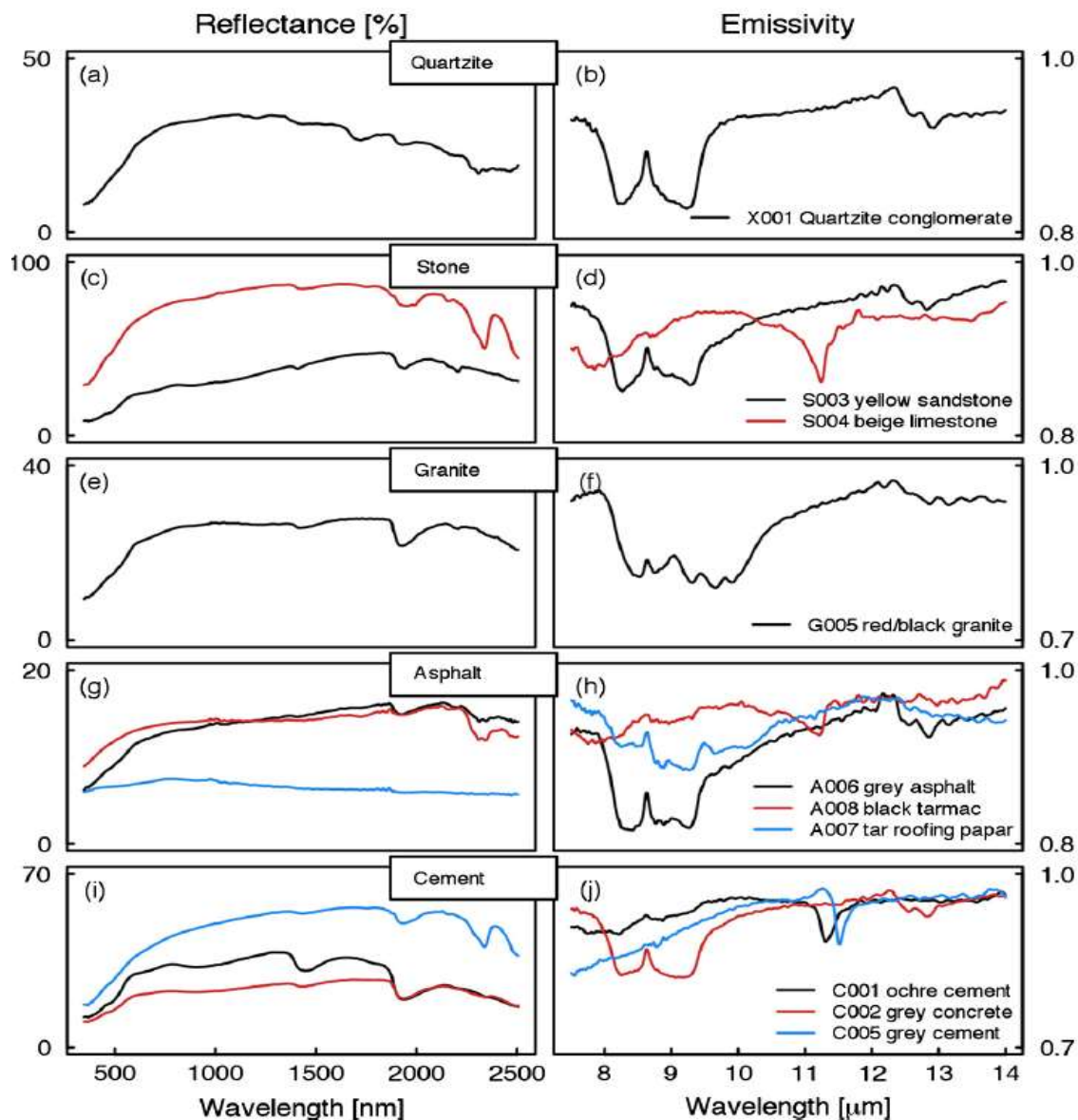
- αντανakλαστικότητα ηλιακής ακτινοβολίας ή albedo
- απορροφητικότητα ηλιακής ακτινοβολίας
- συντελεστής θερμικής εκπομπής ή συντελεστής υπέρυθρης εκπομπής
- θερμοχωρητικότητα
- θερμική αντίσταση

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα δομικά υλικά τα οποία συναντώνται στα αστικά περιβάλλοντα με τους συντελεστές ανάκλασης και υπέρυθρης εκπομπής τους:

Πίνακας 3-1: Δομικά υλικά, συντελεστής ανάκλασης και θερμικής εκπομπής (Datu, et al., 2005)

Υλικό	Συντελεστής ανάκλασης	Συντελεστής θερμικής εκπομπής
Βλάστηση	0,25	0,8
Πεζόδρομοι	0,1	0,95
Προσόψεις κτηρίων	0,7	0,95
Ταράτσες κτηρίων	0,25	0,9
Μικτοί χώροι πρασίνου	0,45	0,94

Παρακάτω παρατίθεται η φασματοσκοπία διαδεδομένων δομικών υλικών τα οποία συναντώνται στα σύγχρονα κτήρια, τόσο στις προσόψεις όσο και στις στέγες τους:



Εικόνα 3-15: Φασματοσκοπία δομικών υλικών συντελεστές ανάκλασης και θερμικής εκπομπής (Kotthaus, et al., 2014)

Γενικότερα, όσο πιο ανοιχτό είναι το χρώμα των δομικών υλικών, τόσο μεγαλύτερο συντελεστή ανάκλασης παρουσιάζουν και αντίστροφα τόσο χαμηλότερο συντελεστή θερμικής εκπομπής έχουν. Η αντίστροφη αυτή σχέση μεταξύ των δύο αυτών ιδιοτήτων είναι ένας από τους παράγοντες που οδήγησε το ερευνητικό ενδιαφέρον για τη δημιουργία νέων υλικών (ψυχρών υλικών) και για τον σχεδιασμό παρεμβάσεων στα

δομικά υλικά προκειμένου να βελτιωθούν οι συντελεστές ανάκλασης και θερμικής εκπομπής.

Ενδεικτικά, αξίζει να αναφερθεί ότι ενώ η μαύρη ασφαλτος έχει συντελεστή ανάκλασης από 0,1 έως 0,3, τα λευκά επιχρίσματα έχουν συντελεστή ανάκλασης από 0,7 έως 0,9 (Blumthaler & Ambach, 1988).

Τα σύγχρονα αστικά περιβάλλοντα παρουσιάζουν χαμηλούς συντελεστές ανάκλασης, της τάξεως του 0,15 έως 0,30, και αυξημένους συντελεστές θερμοχωρητικότητας, καθώς στην αστική δόμηση κυριαρχούν οι σκούρες επιφάνειες τόσο στους δρόμους και τα πεζοδρόμια, όσο και στις προσόψεις και στις στέγες των κτηρίων.

Στα πλαίσια τόσο του βιοκλιματικού αστικού σχεδιασμού όσο και ευρύτερα στα πλαίσια της επιβράδυνσης της κλιματικής αλλαγής, μέσα από τη βιώσιμη αστική ανάπτυξη, στην κατεύθυνση της βελτίωσης των συνθηκών θερμικής άνεσης των κατοίκων των πόλεων, το παραπάνω φαινόμενο πρέπει να αντιστραφεί.

Για τη βελτίωση των συντελεστών ανάκλασης των σύγχρονων αστικών περιβαλλόντων πρέπει να επιλέγονται υλικά ή επιστρώσεις με συντελεστή ανάκλασης πάνω από 50%. Τα υλικά αυτά και οι επιστρώσεις πρέπει επιπλέον να έχουν ανοιχτό χρώμα για να έχουν μεγαλύτερους συντελεστές θερμικής εκπομπής προκειμένου να εντείνεται η ανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας από το επίπεδο των δρόμων, των στεγών και των προσόψεων των κτηρίων έξω από τον θόλο της πόλης, έτσι ώστε να βελτιώνονται οι συνθήκες θερμικής άνεσης.

Μάλιστα, τα δομικά υλικά αυτά έχουν την ικανότητα να ενισχύουν τον φυσικό φωτισμό των κτηρίων, ειδικά σε αστικά περιβάλλοντα με μεγάλο ύψος δόμησης και μικρό άνοιγμα μεταξύ των κτηρίων.

Επίσης, για τη βελτίωση των συνθηκών θερμικής άνεσης πρέπει να επιλέγονται δομικά υλικά με χαμηλούς συντελεστές απορροφητικότητας και υψηλούς δείκτες υδατοπερατότητας, για τη δόμηση όλων των επιφανειών. Τα υλικά αυτά, αφενός δεν ευνοούν την αποθήκευση της ηλιακής ακτινοβολίας και αφετέρου έχουν την τάση να

αποθηκεύουν υγρασία και νερό, το οποίο κατά τη διάρκεια της νύχτας οδηγεί σε μείωση της θερμοκρασίας τόσο των επιφανειών όσο και του αέρα μέσα από το φαινόμενο της εξάτμισης.

Τέτοια υλικά είναι το χώμα, το πράσινο, οι πορώδεις πλάκες από σχιστόλιθους και τούβλα και δομικά υλικά με τραχείς επιφάνειες, όπως ενδεικτικά παρατίθενται στις παρακάτω δύο εικόνες:



Εικόνα 3-16: Δομικά υλικά με χαμηλή απορροφητικότητα και υψηλή υδατοπερατότητα (Honjo, et al., 2015).

Επιπλέον, τα παραπάνω υλικά μπορούν να οδηγήσουν σε βελτίωση, εκτός από τις συνθήκες θερμικής άνεσης και του βιοτικού επίπεδου γενικότερα καθώς βελτιώνουν την οπτική μόλυνση η οποία είναι έντονη στα σύγχρονα αστικά περιβάλλοντα.

Τα ανοιχτόχρωμα δομικά υλικά και η επίστρωση των υφιστάμενων δομών με ανακλαστικές επιφάνειες μπορούν να οδηγήσουν σε σταδιακή μείωση της θερμοκρασίας τόσο των επιφανειών όσο και του αέρα, ωστόσο ανάλογα με τον λόγο ύψους δόμησης/πλάτους ανοιγμάτων μπορούν να οδηγήσουν στα ακριβώς αντίθετα

αποτελέσματα, με την ηλιακή ακτινοβολία να εγκλωβίζεται στα οικοδομικά τετράγωνα και να δημιουργεί ένα τεχνητό θερμοκήπιο εξαιτίας του φαινομένου της θάμβωσης.

Εκτός από τα αδρανή υλικά, τα επιχρίσματα και τις επιστρώσεις, σημαντικό δομικό υλικό το οποίο συναντάται στα σύγχρονα αστικά περιβάλλοντα αποτελεί η βλάστηση, η οποία αποτελεί ένα καίριο δομικό υλικό στην κατεύθυνση βελτίωσης των συνθηκών θερμικής άνεσης, καθώς συγκεντρώνει πλειάδα πλεονεκτημάτων έναντι οποιονδήποτε αδρανών δομικών υλικών και επιχρισμάτων. Ωστόσο, κατά γενική ομολογία, η βλάστηση και γενικότερα το πράσινο δεν είναι ιδιαίτερα έντονο στα περισσότερα σύγχρονα αστικά περιβάλλοντα και στα πυκνοκατοικημένα αστικά κέντρα.

Στα πλαίσια αυτά, η επιλογή των πράσινων κάθετων τοίχων αποτελεί μία εξαιρετική στρατηγική για την πυκνωση του πρασίνου στα αστικά περιβάλλοντα, τα οποία συχνά δεν έχουν επάρκεια ελεύθερων δόμησης χώρους για τη δημιουργία νέων χώρων πρασίνου. Επιπλέον, τα συστήματα κάθετης φύτευσης μπορούν να επιδράσουν θετικά όχι μόνον στα κτήρια όπου αυτά εγκαθίστανται, αλλά και σε ολόκληρα οικοδομικά τετράγωνα, καθώς μεταξύ άλλων εμποδίζουν το φαινόμενο της θάμβωσης, καθιστώντας εφικτή την επίστρωση των οδών και πεζοδρόμων με ανοιχτόχρωμα υλικά με μεγάλους συντελεστές ανάκλασης και χαμηλούς συντελεστές απορροφητικότητας χωρίς να υπάρχει ο κίνδυνος να εγκλωβιστεί η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία και να οδηγήσει σε περαιτέρω χειροτέρευση των συνθηκών θερμικής άνεσης. Επιπλέον, οι πράσινοι κάθετοι τοίχοι μπορούν να συνεισφέρουν στον δροσισμό του αέρα χάρη στα φαινόμενα της εξάτμισης και της διαπνοής.

Τα συστήματα κάθετης φύτευσης αναλύονται σε βάθος στο πέμπτο κεφάλαιο της παρούσης.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ένα ακόμη σημαντικό δομικό υλικό το οποίο συναντάται στα σύγχρονα αστικά περιβάλλοντα, το νερό. Η ύπαρξη υδάτινων επιφανειών και υδάτινων όγκων στο αστικό περιβάλλον είναι ιδιαίτερος σημαντική στην κατεύθυνση βελτίωσης των συνθηκών θερμικής άνεσης, καθώς το νερό έχει πολύ μεγάλο συντελεστή θερμοχωρητικότητας σε σχέση με τα λοιπά αδρανή δομικά υλικά και μπορεί

να λειτουργήσει ως καίριος ρυθμιστής του μικροκλίματος ενός αστικού κέντρου (Τζώρτζη & Σαρίκου, 2006).

Μέσα από το φαινόμενο της εξάτμισης, οι υδάτινες επιφάνειες στο αστικό περιβάλλον μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στον δροσισμό του αέρα, τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας όσο και κατά τη διάρκεια της νύχτας. Μάλιστα, η συνεισφορά τους μπορεί να ενισχυθεί με την εγκατάσταση συστημάτων εξαναγκασμένου αερισμού ή με τη στρατηγική τοποθέτηση υδάτινων επιφανειών και όγκων σε αστικές χαράδρες όπου η ταχύτητα του ανέμου είναι μεγάλη και η ροή του διαρκής.

Τέλος, στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα δομικά υλικά:

Πίνακας 3-2: Βασικές ιδιότητες των συνηθέστερα χρησιμοποιούμενων

Τύπος επιστρώσης επιφανειών	ελαστικότητα	ηλεκτριστικότητα	εκλεκμικότητα	υγκριμότητα Θερμωρητικότητα J/m ² K	υγκριμότητα Αγωγιμότητα W/m ² K	συμπεριφορική αντοχή
Μαύρη συμβατική Ασφαλτος (Νέα Ασφαλτική Στρώση)	0,010 ****	0,04-0,06*	0,90**, 0,85- 0,93****	2,251 x 10 ⁵ ***	0,90 ***	*(Santamouris M. et al., 2011) ** (ΚΑΠΕ, 2011) *** (Χατζηδημητρίου, 2012) **** (Cengel, 2005)
Μαύρη συμβατική Ασφαλτος μετά από έκθεση στο περιβάλλον	0,010 ***	0,09-0,18	0,90**	2,251 x 10 ⁵ ***	0,90 ***	*(Santamouris M. et al., 2011) ** (ΚΑΠΕ, 2011) *** (Χατζηδημητρίου, 2012)
Δάπεδο από σκυρόδεμα	0,010***	0,30*-0,35**	0,90** 0,94**	2,083 x 10 ⁵ ***	1,63***	*(Santamouris M. et al., 2011) ** (ΚΑΠΕ, 2011) *** (Χατζηδημητρίου, 2012)
Δάπεδο από σκυρόδεμα μετά από έκθεση στο περιβάλλον	0,010**	0,20*	0,90*	2,083 x 10 ⁵ **	1,63**	*(Santamouris M. et al., 2011) ** (Χατζηδημητρίου, 2012)
Πλακίδια Σκυροδέματος (Λευκά)	0,010***	0,6-0,77*	0,90**	2,083 x 10 ⁵ ***	1,63***	*(Santamouris M. et al., 2011) ** (ΚΑΠΕ, 2011) *** (Χατζηδημητρίου, 2012)
Πλακίδια Σκυροδέματος (γκρι)	0,010***	0,12-0,20*	0,90 *	2,083 x 10 ⁵ ***	1,63***	*(Santamouris M. et al., 2011) ** (ΚΑΠΕ, 2011) *** (Χατζηδημητρίου, 2012)
Λευκό Μάρμαρο	0,010**	0,65-0,75*	0,95***	2,548 x 10 ⁵ **	3,50**	*(Santamouris M. et al., 2011) ** (Χατζηδημητρίου, 2012) *** (Cengel, 2005)
Μαύρο Μάρμαρο	0,010**	0,20-0,40*	0,90**	2,548 x 10 ⁵ **	3,50**	*(Santamouris M. et al., 2011) ** (Χατζηδημητρίου, 2012)
Γκρι Μάρμαρο	0,010**	0,20-0,40*	0,90**	2,548 x 10 ⁵ **	3,50**	*(Santamouris M. et al., 2011) ** (Χατζηδημητρίου, 2012)
Κόκκινα κεραμικά πλακίδια	0,010**	0,40*	0,85-0,90*	1,428 x 10 ⁵ **	0,81**	*(Santamouris M. et al., 2011) ** (Χατζηδημητρίου, 2012)
Πωρόλιθος	0,020*	0,30*	0,90*	2,310 x 10 ⁵ *	2,90*	*(Χατζηδημητρίου, 2012)
Γαρυμπολισσαϊκό	0,020*	0,60*	0,90*	2,310 x 10 ⁵ *	2,90*	*(Χατζηδημητρίου, 2012)
Ασφαλτος με ψυχρή χρωστική ουσία ¹ (εκτός λευκού)	0,010 ****	0,27-0,55*	0,90**, 0,85- 0,93****	2,251 x 10 ⁵ ****	0,90 ****	*(Santamouris M. et al., 2011) ** (ΚΑΠΕ, 2011) *** (Cengel, 2005) **** (Χατζηδημητρίου, 2012)
Ασφαλτος με ψυχρή χρωστική ουσία (κόκκινο, πράσινο)	0,010 ****	0,27*	0,90**, 0,85- 0,93****	2,251 x 10 ⁵ ****	0,90 ****	*(Santamouris M. et al., 2011) ** (ΚΑΠΕ, 2011) *** (Cengel, 2005) **** (Χατζηδημητρίου, 2012)
Ασφαλτος με ψυχρή χρωστική ουσία υπόλευκου χρώματος	0,010 ****	0,55*	0,90**, 0,85- 0,93****	2,251 x 10 ⁵ ****	0,90 ****	*(Santamouris M. et al., 2011) ** (ΚΑΠΕ, 2011) *** (Cengel, 2005) **** (Χατζηδημητρίου, 2012)
Ασφαλτος με ψυχρή χρωστική ουσία χρώματος μπλε	0,010 ****	0,45*	0,90**, 0,85- 0,93****	2,251 x 10 ⁵ ****	0,90 ****	*(Santamouris M. et al., 2011) ** (ΚΑΠΕ, 2011) *** (Cengel, 2005) **** (Χατζηδημητρίου, 2012)
Ασφαλτος με ψυχρή χρωστική ουσία χρώματος κίτρινου	0,010 ****	0,40*	0,90**, 0,85- 0,93****	2,251 x 10 ⁵ ****	0,90 ****	*(Santamouris M. et al., 2011) ** (ΚΑΠΕ, 2011) *** (Cengel, 2005) **** (Χατζηδημητρίου, 2012)
Πλακίδια Σκυροδέματος με ψυχρή χρωστική ουσία (γκρι, πράσινο, μπλε)	0,010 ****	0,61-0,68*	0,90**, 0,94***	2,083 x 10 ⁵	1,63***	*(Santamouris M. et al., 2011) ** (ΚΑΠΕ, 2011) *** (Cengel, 2005) **** (Χατζηδημητρίου, 2012)
Πλακίδια Σκυροδέματος με ψυχρή χρωστική ουσία (κόκκινο, κίτρινο, γκρι)	0,010 ****	0,45-0,49*	0,90** 0,94***	2,083 x 10 ⁵	1,63***	*(Santamouris M. et al., 2011) ** (ΚΑΠΕ, 2011) *** (Cengel, 2005) **** (Χατζηδημητρίου, 2012)
Ψυχρά φωτοκαταλυτικά Πλακίδια Σκυροδέματος λευκού χρώματος	0,010 ****	0,77*	0,90** 0,94***	2,083 x 10 ⁵	1,63***	*(Santamouris M. et al., 2011) ** (ΚΑΠΕ, 2011) *** (Cengel, 2005) **** (Χατζηδημητρίου, 2012)

δομικών υλικών των αστικών επιφανειών (Μακροπούλου, 2016).

3.2. Αστικό κλίμα

Ο αστικός σχεδιασμός σύμφωνα με τη βιβλιογραφία σκοπεύει στην παράλληλη διαχείριση του αστικού περιβάλλοντος έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η κατά το δυνατόν ομαλή ανάπτυξη των αστικών κέντρων. Έτσι έχει προκύψει ο κλάδος της αστικής κλιματολογίας, ο οποίος ασχολείται με τη μελέτη της επίδρασης του κλίματος των αστικών περιοχών και την εφαρμογή της τεχνογνωσίας και των ευρημάτων της βιβλιογραφίας για τη βελτίωση του αστικού σχεδιασμού (Mills, 2014), καθώς και η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο επιδρά η αστική ανάπτυξη και τα στοιχεία των αστικών κέντρων στο αστικό κλίμα και στην ποιότητα ζωής σε αυτά (Shashua-Bar, et al., 2009; Erell, et al., 2011).

Επιπλέον, πολλοί ερευνητές τονίζουν την ανάγκη για αστικό σχεδιασμό, ο οποίος θα πρέπει να περιλαμβάνει ισχυρή περιβαλλοντική παράμετρο, θεωρώντας τη διαμόρφωση συνθηκών άνεσης για τους πολίτες ως προϋπόθεση για την επιτυχία του ίδιου του αστικού σχεδιασμού (Hassan & Lee, 2015). Άλλοι ερευνητές υποστηρίζουν πως η εξασφάλιση συνθηκών άνεσης στο αστικό περιβάλλον λειτουργεί ως κινητήρια δύναμη της αύξησης των πληθυσμών, οι οποίοι κατοικούν σε αστικά κέντρα, ενώ παράλληλα σε αστικά κέντρα με εξαιρετικά υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες εντοπίζεται ότι οι κάτοικοι βιώνουν αρνητικές συναισθηματικές καταστάσεις (Coudeville, et al., 2019; Phelan, et al., 2015).

Η επιστήμη της αστικής κλιματολογίας ενασχολείται τόσο με το εξωτερικό όσο και με το εσωτερικό κλίμα των αστικών κέντρων και των κτηρίων που εντοπίζονται στα αστικά κέντρα. Η εξέταση και αξιολόγηση του κλίματος στα αστικά κέντρα γίνεται σε τέσσερις διαστάσεις: ηλιακή ακτινοβολία, θερμοκρασία περιβάλλοντος, άνεμος (διεύθυνση, ταχύτητα, θερμοκρασία) και υγρασία. Εκτός από τις προαναφερθείσες συνιστώσες που επιδρούν στο αστικό περιβάλλον, όπως:

- ✓ η ηλιακή ακτινοβολία
- ✓ η θερμοκρασία του περιβάλλοντος
- ✓ η υγρασία του αστικού περιβάλλοντος

- ✓ ο άνεμος, συμπεριλαμβανομένης της ταχύτητας, διεύθυνσης και θερμοκρασίας του), μελετάται και
- ✓ η επίδραση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας (Akbar, et al., 2013; Coudeville, et al., 2019).

Ο τρόπος και ο ρυθμός ανάπτυξης των σύγχρονων αστικών κέντρων, με την ιδιαίτερα πυκνή δόμηση, τη μεγάλη ποικιλία χρησιμοποιούμενων τεχνητών υλικών τόσο για τη δόμηση των κτηρίων όσο και για την ασφαλόστρωση των οδών και την κατασκευή των πεζοδρομίων, η γενική έλλειψη πράσινου και ελεύθερων χώρων, πριν τη συνειδητοποίηση της αξίας της αστικής κλιματολογίας, οδήγησαν στη σημαντική μεταβολή του κλίματος στα αστικά κέντρα. Χαρακτηριστικά της μεταβολής αυτής αποτελούν η υποβάθμιση των συνθηκών άνεσης, με την αύξηση της θερμοκρασίας, την αύξηση ή τη μείωση της υγρασίας, η μείωση στην ένταση του ανέμου κ.α., να δρουν συνεργιστικά και αρνητικά στις συνθήκες άνεσης των κατοίκων των αστικών πόλεων. Η εισαγωγή και αύξηση του ενδιαφέροντος γύρω από την αστική κλιματολογία έχουν ήδη αρχίσει να παράγουν αποτελέσματα, συχνά σε πειραματικό ή πιλοτικό επίπεδο και εντάσσεται στη γενικότερη κατεύθυνση προς τη μετάβαση στη βιώσιμη ανάπτυξη, βιώσιμη αστική ανάπτυξη και αειφορία (Coudeville, et al., 2019; Phelan, et al., 2015).

Η επίδραση της αστικής ανάπτυξης στο αστικό κλίμα δεν θεωρείται δεδομένη και δεν είναι οριζόντια, καθώς διάφορες άλλες παράμετροι των αστικών κέντρων, όπως η θέση και ο προσανατολισμός, η πυκνότητα των κατοίκων, το ύψος της δόμησης, το είδος της δόμησης, η βλάστηση κ.α., μπορούν να επιδρούν σημαντικά αυξάνοντας τον βαθμό και τον ρυθμό με τον οποίο δύναται να επηρεάζεται το αστικό περιβάλλον.

Παρακάτω αναλύονται οι πέντε παράμετροι που μελετώνται και επηρεάζουν το αστικό κλίμα.

3.2.1. Ακτινοβολία στο αστικό περιβάλλον

Η προσπίπτουσα ακτινοβολία στα αστικά κέντρα δεν διαφέρει από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε περιαστικές και αγροτικές περιοχές.

Σημαντικό ρόλο παίζουν οι επιφάνειες των δομών στα αστικά κέντρα, οι οποίες μπορούν να χαρακτηριστούν από τρεις διαστάσεις (μήκος, πλάτος, ύψος), οι οποίες εμφανίζουν σημαντικούς βαθμούς θερμοχωρητικότητας. Μάλιστα, οι συχνά πολύπλοκες γεωμετρίες που παρατηρούνται μεταξύ των διαφορετικών κτηρίων σε ένα αστικό κέντρο οδηγούν σε περαιτέρω αύξηση της θερμοχωρητικότητας των κτηρίων, καθώς εντείνεται η ανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας μεταξύ των κτηρίων, η οποία καταλήγει να αποθηκεύεται σε αυτά και να εγκλωβίζεται ανάμεσα στα κτήρια. Η συγκέντρωση θερμότητας ανάμεσα στα κτήρια επιδρά αρνητικά στην ικανότητα απαγωγής και εκπομπής της θερμότητας και οδηγεί σε σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας στα αστικά κέντρα, ειδικά όταν αυτή συγκρίνεται με παρακείμενες περιαστικές και αγροτικές περιοχές.

Κατά τη διάρκεια της ημέρας, μεγάλο μέρος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας εγκλωβίζεται, ενώ η χωροθέτηση των κτηρίων, οδών και οικοδομικών τετραγώνων μπορεί να δημιουργεί χαμηλότερες θερμοκρασίες σε στενούς δρόμους περικλειστούς από κτήρια, ωστόσο κατά τη διάρκεια της νύχτας, η θερμότητα η οποία έχει αποθηκευτεί στα κτήρια εκπέμπεται από αυτά, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται σημαντικά υψηλότερες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της νύχτας στα αστικά κέντρα.

Επιπλέον, η ηλιακή ακτινοβολία τείνει να μειώνεται όσο αυξάνει το γεωγραφικό πλάτος, δηλαδή όσο αυξάνεται η απόσταση από τον Ισημερινό.

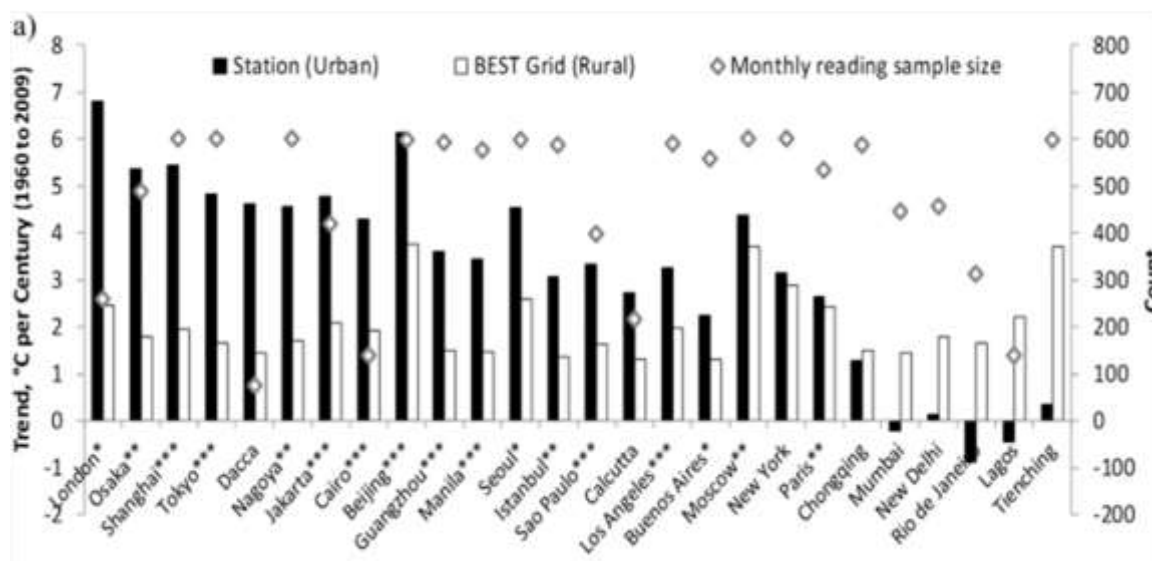
3.2.2. Θερμοκρασία στο αστικό περιβάλλον

Η επόμενη παράμετρος η οποία χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση και μελέτη του περιβάλλοντος στα αστικά κέντρα είναι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Παραπάνω αναφέρονται διάφορα χαρακτηριστικά των αστικών κέντρων τα οποία μπορούν να επιδρούν θετικά ή αρνητικά ή μπορούν να προσδίδουν μεγαλύτερη ανοχή στη μεταβολή της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος στα αστικά κέντρα. Βασική παράμετρος, που μπορεί να επιδρά στη θερμοκρασία, είναι η ένταση και το είδος των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Επιπλέον, σημαντική επίδραση στη θερμοκρασία έχουν τα τεχνητά υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται για τη δόμηση των αστικών κέντρων, τα οποία επιδρούν στην απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας, όπως αναφέρεται και στην

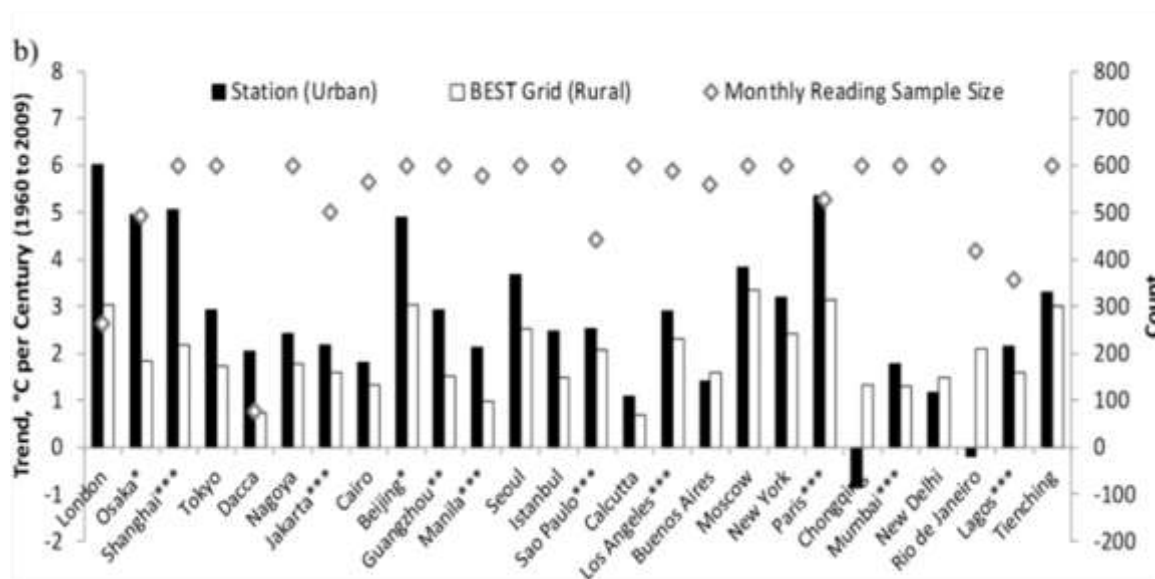
προηγούμενη παράγραφο, στη μεταφορά θερμοκρασίας, στην ταχύτητα, διεύθυνση και κατεύθυνση του ανέμου και άλλοι παράγοντες (Soltani & Sharifi, 2017).

Συνολικά, στα αστικά κέντρα παρατηρούνται αυξημένες θερμοκρασίες σε σχέση με τις περιαστικές και γενικά σε σχέση με τις περιοχές ήπιας ή μηδενικής δόμησης (Varquez & Kanda, 2018, Xiao, et al., 2019).

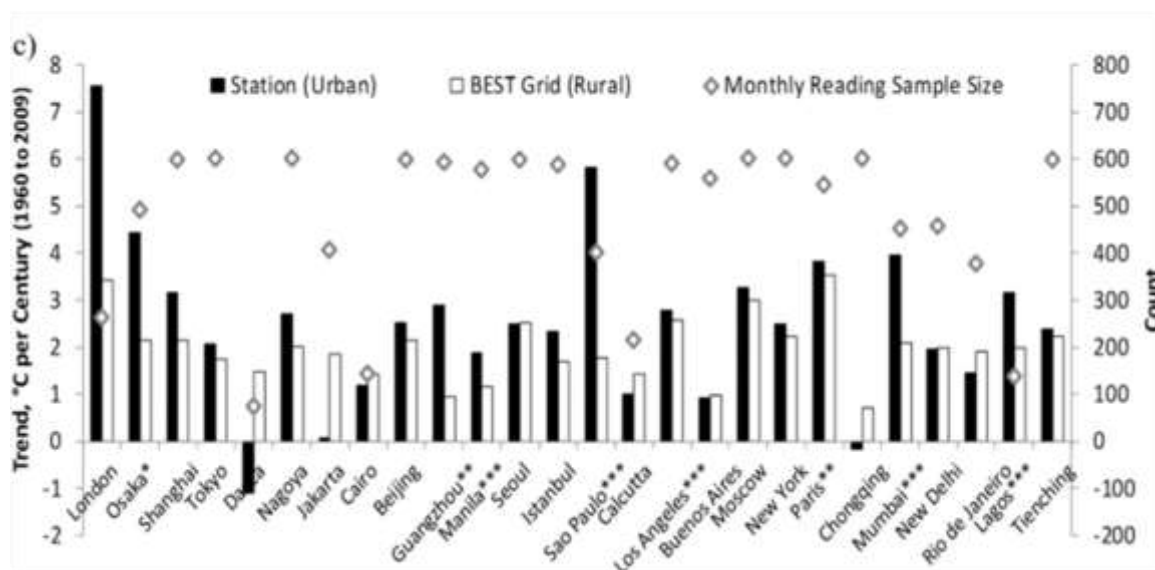
Στα παρακάτω γραφήματα παρέχονται στοιχεία τα οποία απεικονίζουν τη μεταβολή της θερμοκρασίας στα μεγαλύτερα αστικά κέντρα για το διάστημα από 1960 – 2009 (Varquez and Kanda, 2018). Στον αριστερό κάθετο άξονα αναφέρεται η αυξομείωση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, ενώ στον δεξί κάθετο άξονα αναφέρεται το πλήθος των ημερών κατά τις οποίες μετρήθηκε η αντίστοιχη αυξομείωση της θερμοκρασίας.



Γράφημα 1: Μεταβολή στη θερμοκρασία των μεγαλύτερων αστικών κέντρων 1960 – 2009 α (Varquez & Kanda, 2018).



Γράφημα 2: Μεταβολή στη θερμοκρασία των μεγαλύτερων αστικών κέντρων 1960 – 2009 β (Varquez and Kanda, 2018)



Γράφημα 3: Μεταβολή στη θερμοκρασία των μεγαλύτερων αστικών κέντρων 1960 – 2009 γ (Varquez and Kanda, 2018)

Από τα παραπάνω γραφήματα παρατηρείται σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας των μεγαλύτερων αστικών κέντρων, από 1 έως 8 βαθμούς Κελσίου, η

οποία σαφώς δεν είναι απόρροια μόνον της επίδρασης της αστικής ανάπτυξης, αλλά και της γενικότερης υποβάθμισης του περιβάλλοντος και κυρίως του φαινομένου του θερμοκηπίου. Ωστόσο, η συμβολή της αστικής ανάπτυξης είναι σημαντική τόσο ποσοτικά, καθώς ένας από τους κύριους μολυντές του περιβάλλοντος είναι τα αστικά κέντρα, αλλά και ποιοτικά, καθώς η επίδραση της αύξησης της θερμοκρασίας επιδρά σε μεγάλο κομμάτι του παγκόσμιου πληθυσμού, απόρροια της έντονης αστικοποίησης η οποία σημειώνεται τις τελευταίες δεκαετίες (Mills, 2014).

Σε επόμενη παράγραφο αναφέρεται και αναλύεται διεξοδικά το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας και επιγραμματικά το φαινόμενο της αστικής ψυκτικής νησίδας, φαινόμενα τα οποία χαρακτηρίζονται από τις ανόμοιες θερμοκρασιακές μεταβολές στα αστικά κέντρα.

3.2.3. Υγρασία στο αστικό περιβάλλον

Η υγρασία αποτελεί μία από τις κύριες συνιστώσες του αστικού κλίματος, καθώς μπορεί να επηρεάζει σημαντικά τις συνθήκες θερμικής άνεσης. Η υγρασία στο περιβάλλον συνήθως εκφράζεται ως η επί της εκατό συγκέντρωση υδρατμών στον αέρα.

Οι επιφάνειες υδάτων, αλλά και τυχόν υγρασία η οποία εγκλωβίζεται στα δομικά υλικά στο αστικό περιβάλλον έχει την τάση να εξατμίζεται, με αποτέλεσμα να ψύχεται η επιφάνεια και να μειώνεται η θερμοκρασία του αέρα.

Σύμφωνα με έρευνα του Ackerman (1987), η υγρασία στα αστικά περιβάλλοντα είναι σημαντικά μεγαλύτερη από ό,τι στα περιαστικά και αγροτικά περιβάλλοντα, γεγονός στο οποίο συμβάλει μεταξύ άλλων και το φαινόμενο της θερμικής αστικής νησίδας (Ackerman, 1987). Μάλιστα, η σχέση αυτή τείνει να αντιστραφεί κατά τη διάρκεια της νύχτας, όπου η υγρασία στα αστικά περιβάλλοντα είναι μεγαλύτερη από αυτή στα περιαστικά περιβάλλοντα (Liu, et al., 2006).

3.2.4. Ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου στο αστικό περιβάλλον

Η τελευταία διάσταση στην οποία μελετάται το αστικό περιβάλλον είναι η ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου στα αστικά κέντρα. Η μελέτη του ανέμου

πραγματοποιείται σε δύο επίπεδα, καθώς ο άνεμος διαφοροποιείται σημαντικά πάνω και κάτω από το επίπεδο το οποίο ορίζεται από το ύψος των κτηρίων.

Ο άνεμος κάτω από το επίπεδο το οποίο ορίζεται από το ύψος της δόμησης αναφέρεται στη διεθνή βιβλιογραφία ως *urban air canopy* και αποδίδεται στην ελληνική βιβλιογραφία ως αστική επικάλυψη του αέρα, ενώ ο άνεμος επάνω από το επίπεδο το οποίο ορίζεται το ύψος της δόμησης αναφέρεται στη διεθνή βιβλιογραφία ως *urban air dome* και αποδίδεται στην ελληνική βιβλιογραφία ως αστικός θόλος (Phelan, et al., 2015).

Η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου στο επίπεδο αστικής επικάλυψης του αέρα επηρεάζεται από τη χωροταξία του αστικού κέντρου, γεωμετρία οικοδομικών τετραγώνων και προσανατολισμός κτηρίων και οδών, και από τις ιδιότητες των τεχνητών υλικών, τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί στη δόμηση, ενώ η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου στο επίπεδο του αστικού θόλου επηρεάζεται από την πυκνότητα και την έκταση του αστικού κέντρου.

Τα χαρακτηριστικά του αστικού θόλου επηρεάζονται και διαμορφώνονται από την παρουσία αστικής περιοχής στο κατώτερο επίπεδο, ενώ τα χαρακτηριστικά της αστικής επικάλυψης επηρεάζονται κυρίως από την γεωμετρία της πόλης, τα υλικά που χρησιμοποιούνται και τις ιδιότητες τους (Wang & Akbari, 2016).

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου μειώνεται σημαντικά σε αστικά κέντρα με πυκνή δόμηση, καθώς ο άνεμος ο οποίος εισέρχεται από τον αστικό θόλο επιβραδύνεται ή εγκλωβίζεται με αποτέλεσμα να διαταράσσεται τόσο η ταχύτητα όσο και η διεύθυνσή του και να εμφανίζονται σημαντικά διαστήματα άπνοιας, καθώς και συχνή εμφάνιση στροβιλισμών. Στη λογική αυτή έχει παρατηρηθεί και μελετηθεί το φαινόμενο του τούνελ, όπου λόγω της συνεχόμενης και πυκνής δόμησης, με μικρά πλάτη οδών και μικρά ανοίγματα ανάμεσα στα κτήρια, ο αέρας εγκλωβίζεται και εμφανίζεται συχνά υπό τη μορφή στροβίλου σε τακτά χρονικά διαστήματα. Η συχνότητα και η ένταση του στροβιλισμού του αέρα και αντίστροφα η συχνότητα των διαστημάτων κατά τα οποία εμφανίζεται άπνοια εξαρτώνται από το ύψος της δόμησης και από το

πλάτος των ανοιγμάτων τα οποία δημιουργούνται (οδοί και ανοίγματα ανάμεσα σε κτήρια) (Wang & Akbari, 2016; Phelan, et al., 2015).

3.2.5. Φαινόμενο Αστικής θερμικής Νησίδας

Το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας περιγράφει την ανόμοια αύξηση της θερμοκρασίας σε αστικά κέντρα συγκριτικά με γειτνιάζουσες περιαστικές ή αγροτικές περιοχές, όπου η δόμηση είναι πιο αραιή έως ανύπαρκτη. Το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας περιγράφει την παραπάνω αναφερόμενη αύξηση της θερμοκρασίας ως αποτέλεσμα της αυξημένης ηλιακής ακτινοβολίας η οποία απορροφάται στα αστικά κέντρα αντί να αντανακλάται, απόρροια της πυκνής χρήσης τεχνητών υλικών με χαμηλούς δείκτες αντακλαστικότητας.

Το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας μπορεί να έχει άμεσες επιπτώσεις στα αστικά κέντρα με αυξημένες θερμοκρασίες τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας όσο και κατά τη διάρκεια της νύχτας, ενώ έμμεσα μπορεί να έχει περαιτέρω αρνητικές επιπτώσεις στα αστικά κέντρα διαμέσου της αύξησης της χρήσης των κλιματιστικών, της υποβάθμισης της ποιότητας του αέρα και του νερού, τη μείωση της διάρκειας ζωής των δρόμων και των πεζοδρομίων, αλλά και την αύξηση της συχνότητας εμφάνισης κυμάτων καύσωνα.

Στην κατεύθυνση αντιμετώπισης του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας κινούνται οι παρεμβάσεις οι οποίες στοχεύουν στη βελτίωση των θερμικών ιδιοτήτων και του δείκτη απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας των κτηρίων, τόσο των προσόψεων όσο και των ταρατσών, των οδών και πεζοδρομίων, καθώς και παρεμβάσεις οι οποίες στοχεύουν στην αύξηση των πράσινων και αδόμητων, ελεύθερων χώρων κ.α. (Phelan, et al., 2015).

Στην κατεύθυνση αυτή εντοπίζεται έντονο ερευνητικό ενδιαφέρον, όχι μόνον στην κατεύθυνση εξεύρεσης μεθόδων για την επίτευξη των παραπάνω στόχων, αλλά ειδικά στην κατεύθυνση βελτίωσης της απόδοσης των παραπάνω μεθόδων, στην ιεράρχησή τους με βάση την αποτελεσματικότητα, αλλά και στην ανάλυση κόστους – οφέλους των διαφόρων παρεμβάσεων. Στο εύρος αυτών των παρεμβάσεων, σημαντικά

θετικά αποτελέσματα έχουν οι πράσινοι κάθετοι τοίχοι, οι οποίοι μελετώνται πιο αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο και η έρευνα γύρω από τους οποίους αποτελεί και τον σκοπό της παρούσης διπλωματικής εργασίας.

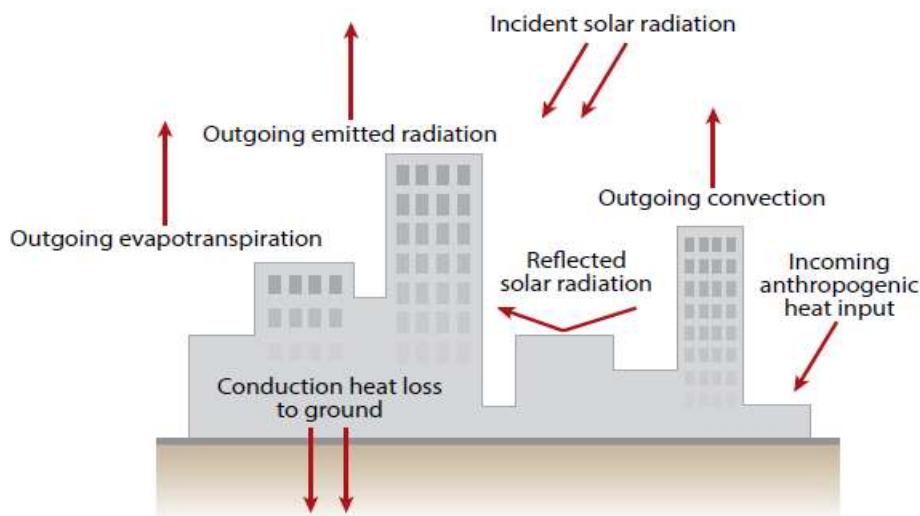
Σημαντική προσπάθεια έρευνας στην κατεύθυνση αντιμετώπισης του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας αποτέλεσε το ερευνητικό πρόγραμμα POLIS, το οποίο χρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Phelan, et al., 2015).

Σύμφωνα με τα ευρήματα από το ερευνητικό πρόγραμμα POLIS, αλλά και από τη γενικότερη βιβλιογραφία, το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας επηρεάζεται από το **albedo**, δηλαδή την ανακλαστικότητα (reflectance) και την εκπεμπιμότητα (emissivity), των επιφανειών που εντοπίζονται σε μία πόλη, από την πυκνότητα του πρασίνου, την χωροθέτηση (προσανατολισμός και δομή) των οικοδομικών τετραγώνων και επακόλουθα των οδών και από την παραγωγή θερμότητας από πάσης φύσεως ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως είναι η κυκλοφορία των οχημάτων και η λειτουργία του κλιματισμού και της θέρμανσης των κτηρίων (Jandaghian & Akbari, 2018; Taha, 1997).

Εξετάζοντας το φαινόμενο χωρίς να υπεισέλθουμε σε εκτενή ανάλυση των διαδικασιών ανταλλαγής και μεταφοράς της θερμότητας στα αστικά περιβάλλοντα, όλα τα υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται για τη δόμηση στα αστικά κέντρα, όπως το τσιμέντο, η ασφαλτος και οι πλάκες των πεζοδρομίων αποθηκεύουν περισσότερη θερμότητα από αυτήν που αποθηκεύουν οι χώροι πρασίνου και οι αδόμητοι χώροι, ενώ παράλληλα αντανακλούν λιγότερη ηλιακή ακτινοβολία σε σχέση με τους χώρους πρασίνου και τους αδόμητους χώρους.

Η προσθήκη κάθε μορφής θερμότητας η οποία προέρχεται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως είναι τα οχήματα, όπου θερμότητα γεννάται από τους κινητήρες, τα κτήρια, όπου θερμότητα γεννάται από τα συστήματα θέρμανσης και κλιματισμού, και άλλες δραστηριότητες, οδηγεί στη σημαντική αύξηση των ποσοτήτων θερμότητας στα αστικά κέντρα, ειδικά αν αυτές συγκριθούν με τις ποσότητες ενέργειας σε περιαστικές περιοχές (Mirzaei & Haghighat, 2010).

Παρακάτω, στην Εικόνα 3-17 παρουσιάζεται γραφικά η ροή ενέργειας σε ένα αστικό κέντρο, όπου διακρίνονται τα παραπάνω αναφερόμενα, με την προσθήκη των θερμικών απωλειών προς το έδαφος.



Εικόνα 3-17: Ροή ενέργειας κατά το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας (Silva, et al., 2009)

Το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας παρατηρείται τόσο στην επιφάνεια των κτηρίων, οδών, πεζοδρόμων και άλλων δομών των αστικών κέντρων όσο και στην ατμόσφαιρα αυτών. Στη βιβλιογραφία αναφέρεται το φαινόμενο της επιφανειακής θερμικής νησίδας και της ατμοσφαιρικής θερμικής νησίδας αντίστοιχα (Mirzaei & Haghighat, 2010; Phelan, et al., 2015).

Ειδικά το φαινόμενο της ατμοσφαιρικής θερμικής νησίδας διαχωρίζεται σε δύο επίπεδα, ακολουθώντας τη λογική διαχωρισμού των επιπέδων του ανέμου στα αστικά κέντρα σε επίπεδο αστικής επικάλυψης του αέρα και αστικού θόλου:

- ατμοσφαιρική θερμική νησίδα στον αστικό θόλο
- ατμοσφαιρική θερμική νησίδα στα όρια του επιπέδου αστικής επικάλυψης του αέρα

Το πρώτο επίπεδο συναντάται από το μέσο ύψος των κτηρίων και προς τα επάνω, ενώ το δεύτερο συναντάται από το μέσο ύψος των κτηρίων και προς τα κάτω. Ο κύριος λόγος του διαχωρισμού του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας σε επιφανειακή και ατμοσφαιρική είναι το γεγονός ότι, η μεν επιφανειακή αστική θερμική νησίδα παρατηρείται κυρίως κατά τη διάρκεια της ημέρας, όπου καταγράφεται ανόμοια αύξηση της θερμοκρασίας των επιφανειών λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ το φαινόμενο της ατμοσφαιρικής θερμικής νησίδας παρατηρείται κυρίως κατά τη διάρκεια της νύχτας οπότε η αποθηκευμένη ενέργεια από τις επιφάνειες των δομών των αστικών κέντρων εκπέμπεται προς την ατμόσφαιρα (Erell, et al., 2011; Gonçaves, et al., 2018).

Σε ό,τι αφορά στη μέτρηση της έντασης του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας, αυτή υπολογίζεται ως η χωρική μέση διαφορά της θερμοκρασίας της επιφάνειας ή της ατμόσφαιρας ενός αστικού κέντρου από την αντίστοιχη επιφανειακή ή ατμοσφαιρική θερμοκρασία σε μία κοντινή περιαστική ή αγροτική περιοχή. Για τη μέτρηση της έντασης της επιφανειακής αστικής θερμικής νησίδας χρησιμοποιούνται συνήθως δορυφορικές εικόνες οι οποίες αποτυπώνουν τη θερμοκρασία των επιφανειών, ενώ για την μέτρηση της έντασης της ατμοσφαιρικής αστικής θερμικής νησίδας χρησιμοποιούνται μετρήσεις από παρακείμενους μετεωρολογικούς σταθμούς.

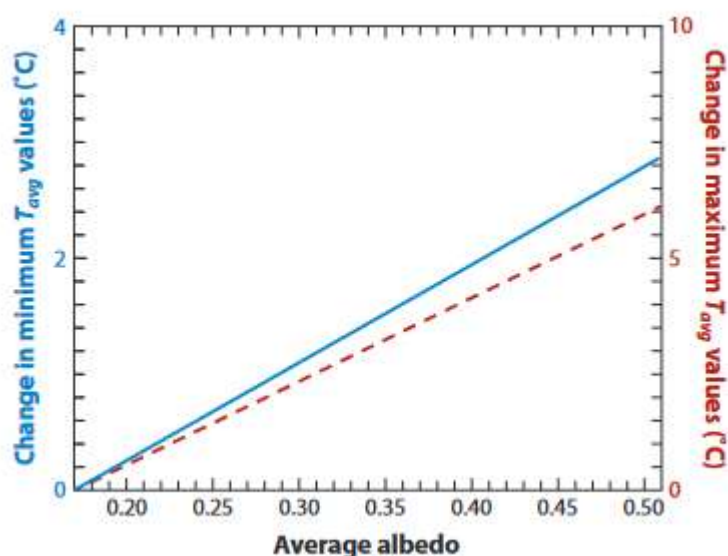
Όταν η παραπάνω αναφερόμενη διαφορά της χωρικής μέσης θερμοκρασίας είναι θετική, τότε εντοπίζεται το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας, ενώ όταν αυτή είναι αρνητική, τότε εντοπίζεται το φαινόμενο της αστικής ψυχρής νησίδας (Kolokotroni, et al., 2009).

Η επιλογή των κατάλληλων δομικών υλικών, η μελετημένη χωροθέτηση των οικοδομικών τετραγώνων, η σημαντική πυκνότητα των χώρων πρασίνου και γενικά των αστικών πάρκων, ιδίως με την κατασκευή επιφανειών καλυμμένων με νερό, όπως λίμνες και δεξαμενές, η επιλογή του ορθού προσανατολισμού των κτηρίων και άλλες επιμέρους επιλογές οι οποίες λαμβάνουν χώρα διαρκώς κατά τη δημιουργία, ανάπτυξη και επέκταση των αστικών κέντρων μπορεί να παίζει καθοριστικό ρόλο στην απομείωση της έντασης με την οποία εμφανίζεται το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας (Coseo & Larsen, 2015).

Μάλιστα, οι παραπάνω επιλογές μπορούν να ρυθμίσουν και άλλες παραμέτρους του αστικού κλίματος, όπως αυτά παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, όπως είναι η ρύθμιση της υγρασίας, η ρύθμιση των ανέμων, ειδικά διαμέσου της μείωσης των στροβιλισμών μέσα από την μείωση της ταχύτητας των ανέμων, η μείωση της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας κ.ο.κ..

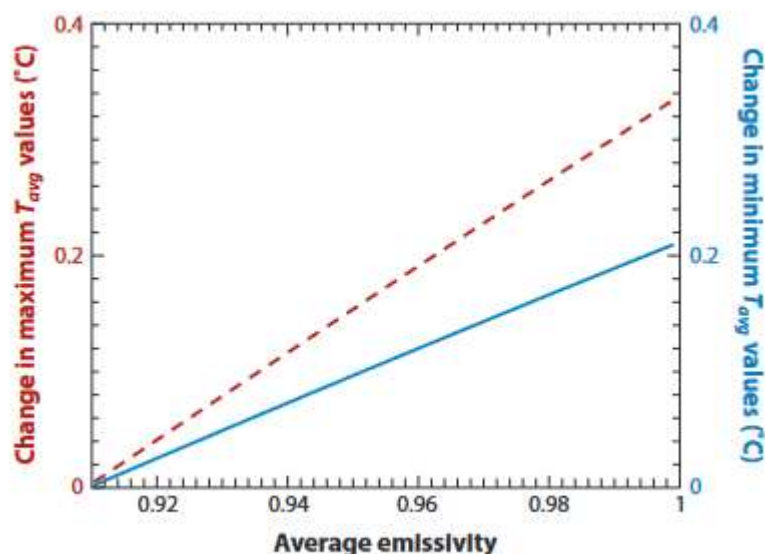
Η επίδραση των παραπάνω επιλογών, ειδικά κάτω από το πρίσμα του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας, είναι αυξημένη κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, όπου οι θερμοκρασίες στα αστικά κέντρα αυξάνουν σημαντικά. Ειδικά κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, η χωροθέτηση σημαντικών επιφανειών αστικών πάρκων μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της μέσης θερμοκρασίας και της μέσης αισθητής θερμοκρασίας, συναρτήσει της ρύθμισης της υγρασίας, και σε συνδυασμό με την τυχόν κατασκευή χώρων οι οποίοι καλύπτονται με νερό μπορεί να οδηγήσει στη μείωση της μέσης θερμοκρασίας και ιδίως της μέγιστης παρατηρούμενης θερμοκρασίας στα αστικά κέντρα. Επακόλουθα, η μείωση της θερμοκρασίας οδηγεί σε μείωση της χρήσης των συστημάτων κλιματισμού και ως εκ τούτου οδηγεί σε μείωση της εκπεμπόμενης θερμότητας από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, οδηγώντας σε πολλαπλασιαστικά οφέλη.

Μάλιστα, οι κάθετοι πράσινοι τοίχοι έχουν και αυτοί σύμφωνα με τη βιβλιογραφία τη δυνατότητα να οδηγήσουν στην απομείωση της έντασης του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας, καθώς επηρεάζουν σημαντικά το albedo των κτηρίων. Όπως παρατηρείται παρακάτω, στην Εικόνα 3-18 η αύξηση του albedo κατά 0,5 μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της μέγιστης μέσης θερμοκρασίας κατά περίπου 6°C και σε μείωση της ελάχιστης μέσης θερμοκρασίας κατά περίπου 3°C. Σύμφωνα με τους Phelan et al. (2015), το όφελος από την αύξηση του albedo είναι άμεσο καθώς οδηγεί σε μείωση της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας και οδηγεί σε σημαντική μείωση της μέγιστης μέσης θερμοκρασίας, ενώ το όφελος σε ό,τι αφορά στη μείωση της μέσης ελάχιστης θερμοκρασίας είναι έμμεσο και ως εκ τούτου μικρότερο.



Εικόνα 3-18: Επίδραση του albedo στη μέση θερμοκρασία στο αστικό περιβάλλον (Phelan, et al., 2015)

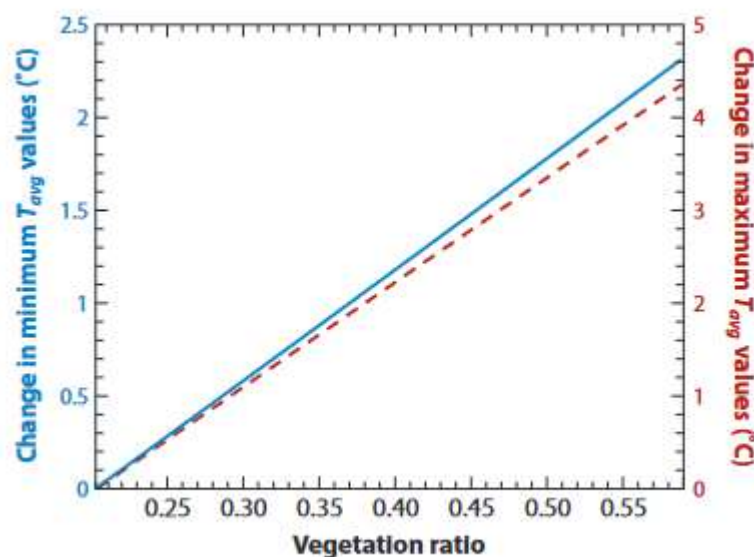
Επιπλέον, σύμφωνα με τους Phelan et al. (2015), η λιγότερο σημαντική συνιστώσα του albedo αποδεικνύεται η εκπεμψιμότητα, καθώς η αύξηση του δείκτη εκπεμψιμότητας κατά 8 ποσοστιαίες μονάδες μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της μέσης μέγιστης θερμοκρασίας κατά $0,2^{\circ}\text{C}$ (Εικόνα 3-19), ενώ παράλληλα τα δομικά υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται στα αστικά κέντρα έχουν ήδη υψηλή εκπεμψιμότητα.



Εικόνα 3-19: Επίδραση της εκπεμπιμότητας στην μέση θερμοκρασία στο αστικό περιβάλλον (Phelan, et al., 2015)

Εξετάζοντας το λόγο βλάστησης στα αστικά κέντρα, σημειώνεται ότι σύμφωνα με την Εικόνα 3-20, από τους Phelan et al. (2015), η αύξηση του λόγου βλάστησης είναι μία πρακτική η οποία εφαρμόζεται για την απομείωση της έντασης του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας.

Παρακάτω στην Εικόνα 3-20 φαίνεται ότι η αύξηση του λόγου βλάστησης κατά 0,40 μονάδες μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της μέσης μέγιστης θερμοκρασίας 4,5°C και σε μείωση της μέσης ελάχιστης θερμοκρασίας κατά περίπου 2°C. Σημειώνεται ωστόσο πως τα παραπάνω στοιχεία προκύπτουν από έρευνα στην οποία εξετάστηκε η αύξηση των αστικών πάρκων και η μετατροπή των οροφών των κτηρίων σε πράσινες οροφές (Phelan, et al., 2015; Santamouris, 2014).



Εικόνα 3-20: Επίδραση της πυκνότητας πρασίνου στην μέση θερμοκρασία στο αστικό περιβάλλον (Phelan, et al., 2015)

Γίνεται αντιληπτό ότι το πρόβλημα του μικροκλίματος και των περιβαλλοντικών συνθηκών που δημιουργούνται στα αστικά κέντρα είναι ένα αμιγώς ενεργειακό πρόβλημα, καθώς υπάρχει σημαντικός χώρος βελτίωσης του τομέα των κτηρίων σε ό,τι αφορά στην ενεργειακή τους απόδοση, με τα οφέλη στο μικροκλίμα των αστικών κέντρων να είναι σημαντικά. Στις επόμενες παραγράφους συζητούνται τα αποτελέσματα της βιβλιογραφικής έρευνας στην κατεύθυνση ρύθμισης του μικροκλίματος για την αντιμετώπιση της βιοκλιματικής υποβάθμισης των αστικών κέντρων

4. Τεχνικές και μέθοδοι για βελτίωση των συνθηκών στο αστικό περιβάλλον

Σε αυτό το κεφάλαιο παρατίθενται τα ευρήματα της βιβλιογραφικής έρευνας στο πεδίο των τεχνικών και των μεθόδων για τη βελτίωση των συνθηκών στο αστικό περιβάλλον.

4.1. Βιοκλιματικός σχεδιασμός

Ο όρος «βιοκλιματικός σχεδιασμός» χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τους αδελφούς Olgyay στη δεκαετία του '60 κατά τη διάρκεια των ερευνών τους σχετικά με τους τρόπους προσαρμογής του κτιρίου στο κλιματικό του περιβάλλον, ενώ η ενεργειακή κρίση στη δεκαετία του '70 οδήγησε σε αύξηση του ερευνητικού ενδιαφέροντος για τη συστηματική μελέτη της σχέσης μεταξύ κτιρίων και κλίματος, με στόχο την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας και τη βελτίωση του αστικού κλίματος (Zuhairi & Sayigh, 1993).

Χρησιμοποιώντας τον όρο "βιοκλιματικός σχεδιασμός", εννοείται ο κατάλληλος σχεδιασμός των κτηρίων για την προστασία του περιβάλλοντος, τη μείωση της ανάλωσης φυσικών πόρων, τη μείωση του αρνητικού αντίκτυπου των κτηρίων στο μικρόκλιμα των αστικών κέντρων και τη ρύθμιση του αστικού κλίματος μέσα από παρεμβάσεις στις προσόψεις των κτηρίων.

Από την άλλη, "βιοκλιματικό κτίριο" είναι αυτό το κτίριο το οποίο έχει σχεδιαστεί προκειμένου να λειτουργεί με τον μέγιστο δυνατό βαθμό ενεργειακής απόδοσης βάσει των εκάστοτε κλιματολογικών συνθηκών, δημιουργώντας συνθήκες άνεσης στο εσωτερικό του και συνθήκες ρύθμισης του μικροκλίματος στο εξωτερικό του (Ehringer & Zito, 1984).

Η Βιοκλιματική Αρχιτεκτονική είναι ο σχεδιασμός κτιρίων και χώρων (εσωτερικών και εξωτερικών) ο οποίος λαμβάνει υπόψη το τοπικό κλίμα και μικρόκλιμα και στοχεύει στη βελτιστοποίηση των συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης για τους χρήστες των κτηρίων και χώρων, καθώς και για το ευρύτερο περιβάλλον στο οποίο εγκαθίσταται ένα κτήριο.

Στην κατεύθυνση αυτή, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός στοχεύει να μεγιστοποιήσει την εκμετάλλευση των κλιματικών συνθηκών, της ηλιακής ακτινοβολίας, του ανέμου, της υγρασίας και της θερμοκρασίας προκειμένου να βελτιστοποιήσει την ενεργειακή απόδοση των κτηρίων και να καταφέρει να τα ενσωματώσει αρμονικά στο αστικό περιβάλλον γεφυρώνοντας το χάσμα μεταξύ φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος.

Τα βασικά στοιχεία του βιοκλιματικού σχεδιασμού αποτελούνται από τα παθητικά συστήματα, τα οποία ενσωματώνονται στο κτίριο και αποσκοπούν στη αξιοποίηση των φυσικών πόρων για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό, αλλά και από τα ενεργητικά συστήματα, όπως είναι τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, η βιοκλιματική αρχιτεκτονική είναι, παγκοσμίως, μια σημαντική προσέγγιση στην κατασκευή κτιρίων, ενώ ειδικά στις ανεπτυγμένες χώρες αποτελεί ένα από τα συνηθέστερα κριτήρια σχεδιασμού των νέων κτηρίων.

Τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τον βιοκλιματικό σχεδιασμό είναι οι λιγότερες ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό, ενώ με την εφαρμογή του βιοκλιματικού σχεδιασμού εξασφαλίζονται καλύτερες συνθήκες θερμικής άνεσης, εντός και εκτός των κτηρίων, χαμηλότερο λειτουργικό κόστος των κτηρίων, ενισχύεται η γεφύρωση του χάσματος μεταξύ φυσικού και τεχνητού περιβάλλοντος, χάσμα το οποίο είναι ιδιαίτερα μεγάλο στα σύγχρονα αστικά κέντρα, ενώ συνολικά βελτιώνεται η εικόνα των σύγχρονων αστικών κέντρων.

Επιπλέον, πρέπει να σημειωθεί ότι η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας και των περιβαλλοντικών πόρων επιτυγχάνεται στο πλαίσιο της συνολικής θερμικής απόδοσης του κτιρίου και της σχέσης μεταξύ κτιρίου – περιβάλλοντος. Η θερμική λειτουργία του κτιρίου είναι μία αμιγώς δυναμική κατάσταση που όχι μόνο εξαρτάται από τους τοπικούς κλιματικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες (ηλιοφάνεια, θερμοκρασία ατμοσφαιρικού αέρα, σχετική υγρασία, άνεμος, βλάστηση, σκίαση), αλλά εξαρτάται επίσης από τη χρήση κτιρίων (κατοικίες, εμπορικές χρήσεις, κ.α.) και καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τα χρησιμοποιούμενα δομικά υλικά και τυχόν ενεργητικά συστήματα.

Τέλος, η αποδοτικότητα του βιοκλιματικού σχεδιασμού εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους που την καθιστούν ευαίσθητη σε εξωτερικούς παράγοντες. Για το λόγο αυτό, τα βασικά κριτήρια για την υλοποίηση του βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι τα εξής:

- Η απλότητα της χρήσης εφαρμογών και η αποφυγή σύνθετων παθητικών συστημάτων και τεχνικών
- Η συμβολή όλων των χρηστών κτηρίων
- Η χρήση εκτεταμένων εφαρμοσμένων συστημάτων
- Η χρήση αποδοτικής ενεργειακής τεχνολογίας

Η ανάγκη για υιοθέτηση και εφαρμογή του βιοκλιματικού σχεδιασμού στα κτήρια των σύγχρονων αστικών περιβαλλόντων είναι αναμφισβήτητη. Ο οικοδομικός τομέας είναι μία από τις ισχυρότερες αγορές στον κόσμο, καθώς οι θέσεις εργασίας στον κατασκευαστικό τομέα αντιπροσωπεύουν το 10% της παγκόσμιας οικονομίας, το 50% των παγκόσμιων επενδύσεων και το 7% της αγοράς εργασίας.

Επιπλέον, ο οικοδομικός τομέας είναι υπεύθυνος σε μεγάλο ποσοστό για την παραγωγή ατμοσφαιρικών ρύπων και την κατανάλωση φυσικών πόρων. Πιο συγκεκριμένα, περίπου το 50% των φυσικών πόρων χρησιμοποιείται για τις κατασκευές, το 50% της παραγόμενης ενέργειας είναι αθροισμένο για φωτισμό, εξαερισμό και κλιματισμό, ενώ ένα ποσοστό περίπου 3% της ενέργειας δαπανάται κατά τη διάρκεια της κατασκευής του κτιρίου. Επίσης, το 50% του νερού καταναλώνεται σε κτίρια και το 60% της συνολικής ξυλείας χρησιμοποιείται στις κατασκευές των κτιρίων σε παγκόσμιο επίπεδο.

Κατά συνέπεια, για τη βιώσιμη αστική ανάπτυξη απαιτείται η εφαρμογή του βιοκλιματικού σχεδιασμού προκειμένου να επιτευχθεί η αναβάθμιση της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτηρίων, η μείωση της αρνητικής επίδρασής τους στο περιβάλλον, η βελτίωση των συνθηκών άνεσης στο εσωτερικό των κτηρίων και σε επίπεδο οικοδομικού τετραγώνου. Μεταξύ των διαφόρων στρατηγικών για την υλοποίηση του αστικού βιοκλιματικού σχεδιασμού διακρίνονται τα συστήματα κάθετης φύτευσης, οι πράσινες

στέγες, η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η βελτίωση των συντελεστών ανάκλασης και εκπομπής των δομικών υλικών των προσόψεων, η θερμομόνωση των προσόψεων κ.α..

Όσον αφορά την Ευρωπαϊκή Ένωση, ο οικοδομικός τομέας ευθύνεται για το 40% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας, ενώ τα κτίρια κατοικιών καταναλώνουν περίπου το 57% της ενέργειας για θέρμανση. Η Ε.Ε. προκειμένου να βελτιωθούν τα θέματα ενεργειακής ασφάλειας, θέσπισε την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2002/91/ΕΚ για την ενεργειακή απόδοση των κατασκευών, ενώ τον Μάιο του 2010 δημιουργήθηκε αναδιτύπωση της ΟΕΑΚ, υποχρεώνοντας όλα τα κτήρια να είναι σχεδόν μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου μετά το 2018. Επιπλέον, η Ελλάδα συνέταξε πρόσφατα την Ενεργειακή Ρύθμιση Απόδοση Κτηρίων (ΚΕΝΑΚ), ενώ υπήρξε μελέτη των Κανόνων Ορθολογικής Χρήσης και Διατήρησης της Ενέργειας.

Οι στόχοι που ορίζονται στις παραπάνω νομοθετικές παρεμβάσεις είναι οι εξής:

- Μείωση των θερμικών αναγκών και των ενεργειακών φορτίων (ζεστό νερό οικιακής κατανάλωσης, θέρμανση, ψύξη και εξαερισμός)
- Χρήση καθαρότερων καυσίμων και μείωση της χρήσης συμβατικών καυσίμων (βελτίωση της COP των εγκαταστάσεων, χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας)
- Υποχρέωση ενεργειακής μελέτης
- Ενεργειακός έλεγχος
- Υποχρέωση ελέγχου λεβήτων και κεντρικών συστημάτων κλιματισμού

Στην Ελλάδα, η κατανάλωση ενέργειας στον κτηριακό τομέα αντιστοιχεί περίπου στο 33% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας με μέσο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης 4,5%. Το ποσοστό του 75% αναφέρεται σε κτίρια κατοικιών στα οποία καταναλώνεται περίπου το 60% της ενέργειας για θέρμανση.

Οι αυξημένες καταναλώσεις στη χώρα μας δικαιολογούνται εν μέρει από το γεγονός ότι το 80% των ελληνικών κτηρίων κατασκευάστηκαν πριν από το 1980 και δεν διαθέτουν θερμοπροσόψεις.

Εκτός από το γεγονός ότι η παραγωγή και η χρήση ενέργειας οδηγούν στην περιβαλλοντική υποβάθμιση και στην αλλαγή των κλιματικών συνθηκών, το ενεργειακό κόστος συνίσταται σε μία από τις υψηλότερες δαπάνες των νοικοκυριών, κυρίως για τις οικογένειες χαμηλού εισοδήματος.

Είναι προφανές, πως ο βιοκλιματικός σχεδιασμός αποτελεί σημαντική στρατηγική για την επίτευξη των ακόλουθων στόχων:

- Βελτίωση ενεργειακής απόδοσης κτιρίων
- Ορθολογικότερη χρήση της ενέργειας
- Αξιοποίηση ανανεώσιμων πόρων
- Μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων
- Χρήση δομικών υλικών φιλικών προς το περιβάλλον

Επιπλέον, οι βιοκλιματικές αρχές μπορούν να συνδυαστούν με συστήματα και σύγχρονες τεχνολογίες που οδηγούν σε εξοικονόμηση ενέργειας όπως:

- Φωτοβολταϊκά συστήματα
- Γεωθερμική ενέργεια
- Μικρές ανεμογεννήτριες
- Χρήση βιομάζας για θέρμανση
- Ηλιακή θέρμανση
- Υβριδικά ηλιακά συστήματα για θέρμανση χώρου και παραγωγή ζεστού νερού οικιακής θέρμανσης (Kalogirou, 2009).

Οι συνιστώσες οι οποίες επηρεάζουν σημαντικά τον βιοκλιματικό σχεδιασμό ενός κτιρίου είναι οι εξής:

- το κλίμα και το μικροκλίμα
- η θερμική άνεση
- η αξιοποίηση της θερμικής μάζας

Είναι ευρέως αποδεκτό, ότι όχι μόνο τα κτήρια έχουν μεγάλη επιρροή στο μικρόκlima, αλλά και το κλίμα και ο καιρός επηρεάζουν σημαντικά τα κτήρια. Η χρήση

των ποσοτικών κλιματικών δεδομένων είναι σημαντική για τον ορθολογικό σχεδιασμό των παθητικών κτιρίων, καθώς η ανάγκη θέρμανσης ή/και φυσικής ψύξης επηρεάζεται από την ιδιοσυγκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα. Οι αρχιτέκτονες πρέπει καταρχάς να διερευνήσουν το κλίμα της περιοχής στο οποίο θα οικοδομήσουν και στη συνέχεια να αξιολογήσουν την τροποποίησή του εντός του χώρου.

Οι βασικές κλιματικές απαιτήσεις, εκτός από τα δεδομένα θερμοκρασίας εξωτερικού αέρα παρουσιάζονται παρακάτω:

- Δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας

Η ακτινοβολία βραχέων κυμάτων είναι μία από τις σημαντικότερες πηγές ενέργειας, οπότε απαιτείται εποχιακή ανάλυση. Η υπερθέρμανση κατά τη θερινή περίοδο αποτελεί μείζον πρόβλημα σε πολλούς τομείς που επηρεάζουν τις ψυκτικές απαιτήσεις των κτηρίων.

- Δεδομένα ταχύτητας και κατεύθυνσης ανέμου

Ο άνεμος είναι επίσης ένας σημαντικός παράγοντας για το σχεδιασμό του κτιρίου, καθώς μπορεί να κρατήσει τα κτίρια δροσερά μέσω του φυσικού εξαερισμού. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, στην ενότητα 3.2, ο άνεμος επηρεάζει και ρυθμίζει τόσο τις απώλειες θερμότητας στις εξωτερικές επιφάνειες των κτιρίων όσο και τους ρυθμούς εξαερισμού του εσωτερικού όγκου των κτηρίων. Επιπλέον, η κατεύθυνση του ανέμου επηρεάζει τις ενεργειακές απαιτήσεις των κτηρίων.

- Ακτινοβολία μεγάλου κύματος

Η ακτινοβολία μεγάλων κυμάτων προκαλεί θερμικές απώλειες στις εξωτερικές επιφάνειες κτηρίων. Υπάρχει καθαρή απώλεια ενέργειας από τα κτίρια λόγω του γεγονότος ότι η καθοδική ροή αυτής της ακτινοβολίας είναι μικρότερη από την εξωτερική απώλεια ακτινοβολίας πίσω στην ατμόσφαιρα. Οι απώλειες που οφείλονται στην κύρτωση της ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτώνται τόσο από τη διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας του αέρα και της εξωτερικής επιφάνειας όσο και από τον άνεμο.

4.1.1. Θερμική άνεση

Είναι δυνατόν να προσδιοριστεί η θερμική άνεση ως η κατάσταση στην οποία η θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος είναι μεταξύ $36,5^{\circ}\text{C}$ - $37,5^{\circ}\text{C}$, η μέση θερμοκρασία του δέρματος είναι μεταξύ 33°C - 35°C , η επιφάνεια του δέρματος είναι απαλλαγμένη από ιδρώτα και οι μύες δεν συστέλλονται. Η απόκλιση από αυτή τη ζώνη θερμοκρασίας, η υπερβολική εφίδρωση, όλα αυτά μαζί ή το καθένα ξεχωριστά, τείνουν να προκαλούν ένα αίσθημα δυσφορίας το οποίο εντείνεται όσο αυξάνεται η απόκλιση από τα παραπάνω εύρη θερμοκρασιών.

Είναι ευρέως αποδεκτό, ότι ένας από τους κύριους στόχους του σχεδιασμού κτηρίων είναι να παρέχει τις κατάλληλες συνθήκες για τους ενοίκους ώστε να έχουν μια υγιή ζωή. Εξ' ορισμού ως θερμική άνεση ορίζεται η κατάσταση του μυαλού που εκφράζει την ικανοποίηση με το θερμικό περιβάλλον και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες μερικοί από τους οποίους δεν είναι ποσοτικοί.

Σε ό,τι αφορά στις ποσοτικές συνιστώσες της θερμικής άνεσης, αυτές είναι η θερμοκρασία του αέρα, η κίνηση του αέρα και η σχετική υγρασία στον αέρα. Οι παράγοντες αυτοί επηρεάζονται τόσο από το μικρόκλιμα στο αστικό περιβάλλον όσο και από τη δραστηριότητα των πολιτών. Στα πλαίσια της παρούσης διπλωματικής εργασίας εξετάζεται η παρέμβαση στο μικρόκλιμα προκειμένου να εξασφαλιστούν οι συνθήκες θερμικής άνεσης.

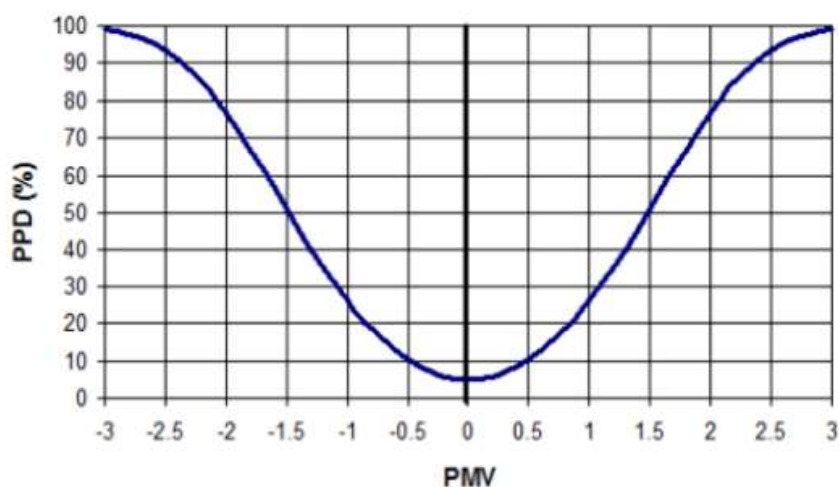
Προκειμένου να επιτευχθούν συνθήκες θερμικής άνεσης υπάρχουν πίνακες δεδομένων με συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας οι οποίες συνθέτουν τις συνθήκες θερμικής άνεσης, και οι οποίοι λαμβάνονται υπόψη κατά τον βιοκλιματικό σχεδιασμό με χρήση παθητικών συστημάτων, ιδίως στο εσωτερικό των κτηρίων (Daemei, et al., 2019).

Για τη δημιουργία των πινάκων αυτών χρησιμοποιείται ο δείκτης Predicted Mean Vote/PMV, προβλεπόμενη μέση τιμή, ο οποίος προβλέπει πώς αισθάνεται ο μέσος άνθρωπος σύμφωνα με την κλίμακα θερμικής αίσθησης της American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE).

Πίνακας 4-1: Κλίμακα 7 σημείων θερμικής άνεσης (ASHRAE, 2004).

Απόκλιση	Αίσθηση
+3	Πολύ Ζεστό
, +2	Ζεστό
+1	ελαφρώς ζεστό
0	Ουδέτερο
-1	ελαφρώς δροσερό
-2	Δροσερό
-3	Κρύο

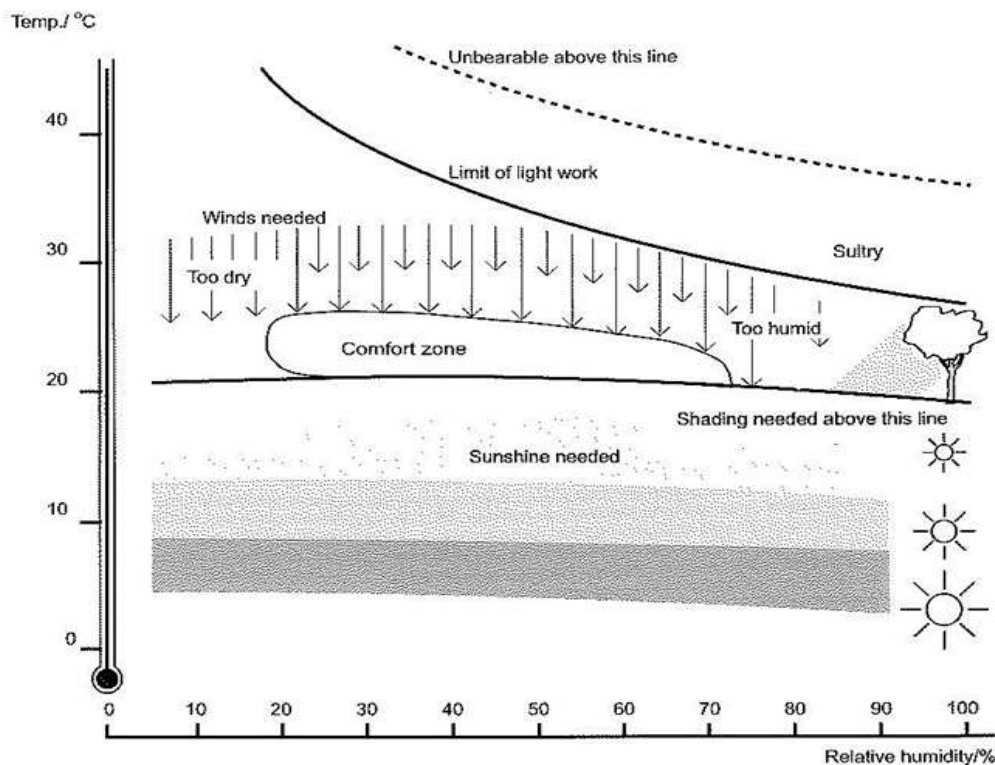
Επιπλέον, αναφέρεται ο δείκτης Predicted Percentage Dissatisfied/PPD, προβλεπόμενο ποσοστό δυσαρέσκειας, ο οποίος εκφράζει το ποσοστό των ανθρώπων οι οποίοι αισθάνονται δυσαρέσκεια λόγω της απόκλισης της θερμοκρασίας. Ο δείκτης αυτός έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον όταν μελετάται σε συνάρτηση με τον δείκτη PMV:



Εικόνα 4-1: Προβλεπόμενο ποσοστό δυσαρεστημένων (PPD) σε συνάρτηση με το PMV (Daemei, et al., 2019).

Επιπλέον, τα διαγράμματα άνεσης είναι ο πιο άμεσος και κατανοητός τρόπος για να παρουσιαστεί η σχέση μεταξύ του θερμικού δείκτη και των υπόλοιπων παραμέτρων θερμικής άνεσης. Μία από τις πρώτες προσπάθειες ήταν το βιοκλιματικό διάγραμμα Olgyay που αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1950 (Zuhairy & Sayigh, 1993). Αυτό το βιοκλιματικό διάγραμμα χρησιμοποιείται για να δείξει τις διάφορες ζώνες θερμικής άνεσης σε σχέση με τη θερμοκρασία και την υγρασία του αέρα, τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, την ηλιακή ακτινοβολία, την ταχύτητα του ανέμου και την εξατμιστική ψύξη.

Όπως στην παρακάτω εικόνα, η ζώνη άνεσης βρίσκεται στο κέντρο του διαγράμματος, ενώ για θερμοκρασίες πάνω από τη ζώνη άνεσης απαιτείται η ταχύτητα του ανέμου που είναι αναγκαία για την αποκατάσταση της άνεσης που παρουσιάζεται σε σχέση με την υγρασία.



Εικόνα 4-2: Διάγραμμα θερμικής άνεσης (Olgyay, 1950)

4.1.2. Βιοκλιματική και περιβαλλοντική αξιολόγηση αστικού περιβάλλοντος

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίων ή η βιοκλιματική αρχιτεκτονική αφορά τον σχεδιασμό κτιρίων και χώρων (εσωτερικών και εξωτερικών/υπαίθριων) με βάση το τοπικό κλίμα, το μικρόκλιμα, με σκοπό την εξασφάλιση συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης, αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια και άλλες ανανεώσιμες πηγές, αλλά και τα φυσικά φαινόμενα του κλίματος.

Όπως αναφέρθηκε, αξιοποιούνται η ηλιακή ενέργεια, το μικρόκλιμα, οι περιβαλλοντικές πηγές για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό των κτιρίων. Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός, δηλαδή, έχει σχέση τόσο με τον οικολογικό τρόπο ζωής όσο και με την εξοικονόμηση ενέργειας.

Τα τελευταία χρόνια αναφέρονται διάφορα μοντέλα και θεωρίες που αφορούν την βελτίωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων των πόλεων και βασίζονται στην

αλληλένδετη σχέση που έχουν μεταξύ τους η υγεία, το περιβάλλον και η ποιότητα ζωής. Με στόχο τις τρεις αυτές παραμέτρους αναζητούνται πρακτικοί τρόποι που θα οδηγήσουν στην προστασία του περιβάλλοντος και επομένως και στην προάσπιση της υγείας και την αναβάθμιση της ποιότητας ζωής. Είναι προφανές, πως τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν μια σύγχρονη πόλη αποτελούν αξιοσημείωτους παράγοντες υποβάθμισης της υγείας των πολιτών.

Τα σημαντικότερα και τα πιο συχνά συναντώμενα στις ελληνικές πόλεις προβλήματα είναι η έλλειψη υγιών και σωστών υποδομών, ο συνωστισμός, τα επίπεδα των ρύπων, του θορύβου και των θερμοκρασιών που ολοένα και αυξάνονται. Οι κάτοικοι των πόλεων έρχονται καθημερινά αντιμέτωποι με αυτά προσπαθώντας με κάποιον τρόπο να τα ξεπεράσουν ή να τα αμβλύνουν. Συνεπώς, είναι επιτακτική η ανάγκη, περισσότερο τώρα από ποτέ, της δημιουργίας ζωνών πρασίνου εντός του αστικού ιστού, ως μια προσφορά στους αστούς, μια δυνατότητα να έρχονται σε επαφή με τη φύση και να απαλύνουν το άγχος που προκαλούν οι ρέουσες αρνητικές καταστάσεις που όλοι βιώνουμε.

4.2. Νέα υλικά δόμησης

Στην παράγραφο αυτή παρατίθενται τα ευρήματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης στο πεδίο των νέων υλικών δόμησης, τα οποία συχνά καλούνται και έξυπνα ή βιοκλιματικά υλικά δόμησης, τα οποία εισάγονται από τον βιοκλιματικό αστικό σχεδιασμό.

Η χρήση ψυχρών υλικών έχει κερδίσει το ενδιαφέρον ως μέτρο αντιμετώπισης του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας, ειδικά την τελευταία δεκαετία. Τα ψυχρά υλικά είναι υλικά τα οποία έχουν μεγάλη ηλιακή ανάκλαση (albedo), χαμηλή εκπομπή υπέρυθρης ακτινοβολίας ή και πορώδη δομή (Coseo & Larsen, 2015; Debbage & Shepherd, 2015; Yuan, et al., 2016; Syneffa, et al., 2008).



Εικόνα 4-3: Χαρακτηριστικά ψυχρών υλικών δόμησης (Συννέφα, Α., 2007).

Τα υλικά με χαμηλότερο albedo τείνουν να απορροφούν περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία από τα πιο ανοιχτόχρωμα υλικά, τα οποία έχουν υψηλότερες τιμές albedo. Αυτή η συμπεριφορά οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας των δομημένων επιφανειών, είτε πρόκειται για προσόψεις και ταράτσες κτηρίων είτε πρόκειται για δρόμους και πεζοδρόμια, οδηγώντας τελικά σε αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας (Pomerantz, et al., 2003). Διάφορες μελέτες έχουν δείξει ότι τα ανακλαστικά πεζοδρόμια και οι ανακλαστικές ταράτσες ή και προσόψεις κτηρίων μπορούν να συμβάλουν στη μείωση της θερμοκρασίας της επιφάνειας και του περιβάλλοντος αέρα κατά τη διάρκεια της ημέρας, όπου η παρουσία ηλιακής ακτινοβολίας είναι έντονη (Rosenzweig, et al., 2006).

Σύμφωνα με τους Erell et al. (2014) τα πεζοδρόμια που είναι κατασκευασμένα από ανοιχτόχρωμα, ελαφριά υλικά, με υψηλές τιμές albedo μειώνουν τη θερμοκρασία του αέρα. Ωστόσο, σημειώνεται ότι η αυξημένη αντανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας από τα πεζοδρόμια μπορεί να αυξήσει τη θερμική καταπόνηση για τους πεζούς. Ως αποτέλεσμα, σύμφωνα με τους Erell et al. (2014) προτείνεται η χρήση ανακλαστικών

υλικών στις ταράτσες των κτηρίων αντί στα πεζοδρόμια, στους δρόμους και στις προσόψεις των κτηρίων (Erell, et al., 2014).

Αξίζει να σημειωθεί πως σε άρθρο των Coseo και Larsen (2015), επιβεβαιώνεται η πρόταση των Erell et al. (2014), καθώς βρέθηκε ότι σε αστικές περιοχές με υψηλή δόμηση και μικρά ανοίγματα μεταξύ των κτηρίων, η χρήση ανακλαστικών πεζοδρομίων οδήγησε σε αύξηση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της ημέρας, καθώς η αντανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία εγκλωβιζόταν ανάμεσα στα κτήρια. Η δε χρήση των ανακλαστικών υλικών σε πεζοδρόμια δεν βρέθηκε σε καμία περίπτωση να επηρεάζει τη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Ο συντελεστής υπέρυθρης εκπομπής καθορίζει το βαθμό στον οποίο ένα υλικό εκπέμπει την ενέργεια μακριά από τον εαυτό του σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Syneffa, et al., 2008). Όπως και το albedo, ο συντελεστής υπέρυθρης εκπομπής μετράται σε μία κλίμακα από το 0 έως το 1. Οι Golden και Kaloush (2006) διαπίστωσαν ότι τα συμβατικά υλικά δόμησης τα οποία χρησιμοποιούνται στην κατασκευή οδών και πεζοδρομίων, αλλά και στη μόνωση και κατασκευή ταρατσών κτηρίων, όπως η ασφαλτος, το σκυρόδεμα και το τούβλο, έχουν συντελεστές εκπομπής πάνω από 0,9 και επομένως έχουν την ικανότητα να δεσμεύουν και να εκπέμπουν την υπέρυθρη ηλιακή ακτινοβολία αποτελεσματικά (Golden and Kaloush, 2006).

Σε αντίθεση με το ερευνητικό ενδιαφέρον γύρω από το albedo, δηλαδή την αντακλαστικότητα, των δομικών υλικών, δεν εντοπίζεται μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον γύρω από τον συντελεστή υπέρυθρης εκπομπής των δομικών υλικών ως παράγοντα διαχείρισης και μετριασμού του φαινομένου της θερμικής αστικής νησίδας.

Σύμφωνα με την Battisti (2020), αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι συντελεστές εκπομπής δεν διαφέρουν σημαντικά μεταξύ διαφορετικών υλικών και ούτε εντοπίζονται επιτεύγματα στην τεχνολογία υλικών, τέτοια που να έχουν οδηγήσει στη δημιουργία σύνθετων υλικών με υψηλούς συντελεστές εκπομπής. Στη φύση, τα περισσότερα υλικά όπως το χώμα, το νερό και η βλάστηση έχουν εκ φύσεως υψηλούς συντελεστές εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας. Για τον λόγο αυτόν η πύκνωση του πρασίνου στο αστικό περιβάλλον μέσα και από την κατασκευή πράσινων κάθετων τοίχων είναι πολλά

υποσχόμενη μέθοδος αντιμετώπισης του φαινομένου της θερμικής αστικής νησίδας και μείωσης της αυξημένης θερμοκρασίας στις επιφάνειες, στο θόλο και στην ατμόσφαιρα των αστικών κέντρων (Battisti, 2020). Σε έρευνα των Carnielo και Zinzi (2013) βρέθηκε ότι η προσθήκη ειδικών επιχρισμάτων με σκοπό την αύξηση του συντελεστή ανάκλασης (albedo) των δομικών υλικών, δεν επηρεάζει τον συντελεστή υπέρυθρης εκπομπής τους (Carnielo and Zinzi, 2013).

Σε ό,τι αφορά στη συμπεριφορά των υλικών στην υγρασία και το νερό, σημειώνεται ότι, ενώ οι αδιαπέραστες επιφάνειες, σε συνδυασμό με την αποτελεσματική αποστράγγιση, οδηγούν σε μείωση της επιφανειακής υγρασίας που διατίθεται για εξάτμιση, το νερό που αποθηκεύεται σε κενά που δημιουργούνται λόγω διαπερατών υλικών επιτρέπει την ψύξη των επιφανειών μέσω εξάτμισης.

Άρα, τα πορώδη, διαπερατά υλικά στο αστικό περιβάλλον μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στη μείωση της θερμοκρασίας των επιφανειών και της ατμόσφαιρας. Στη βιβλιογραφία εντοπίζεται η χρήση και εξέταση πορωδών υλικών για την κατασκευή πεζοδρομίων, δρόμων, προσόψεων και ταρατσών κτηρίων. Ειδικά σε ό,τι αφορά στη χρήση πορωδών υλικών σε ταράτσες κτηρίων εντοπίζεται ενδιαφέρον μέσα από την κατασκευή πράσινων στεγών (Stempihar, et al., 2012).

Σε έρευνά τους οι Stempihar et al. (2012) μελέτησαν τη διαφορά στη θερμοκρασία διαφορετικών επιφανειών στον αστικό χώρο. Πιο συγκεκριμένα, σύγκριναν τις επιφανειακές θερμοκρασίες της πορώδους ασφάλτου, της παραδοσιακής πυκνής ασφάλτου και των τσιμεντένιων πεζοδρομίων. Διαπίστωσαν ότι η πορώδης άσφαλτος παρουσίαζε υψηλότερες θερμοκρασίες επιφάνειας από τα πεζοδρόμια κατά τη διάρκεια της ημέρας, αλλά κατά τη διάρκεια της νύχτας παρουσίαζε τις χαμηλότερες νυχτερινές θερμοκρασίες μεταξύ των άλλων επιφανειών, λόγω του φαινομένου της εξάτμισης του εγκλωβισμένου νερού. Οι Coseo και Larsen (2015) διαπίστωσαν ότι σε αστικούς χώρους με πολύ ψηλά κτήρια, δρόμους από πορώδη άσφαλτο και πεζοδρόμια από πορώδη υλικά, όπως πλάκες και τσιμέντο, η θερμοκρασία μεγιστοποιούνταν κατά τη διάρκεια της ημέρας, ενώ τα πορώδη υλικά στα πεζοδρόμια από μόνα τους δεν οδηγούσαν σε μείωση

της θερμοκρασίας επιφάνειας και ατμόσφαιρας κατά τη διάρκεια της νύχτας (Coseo and Larsen, 2015).

Σε άρθρο των Cheela et al. (2021) μελετήθηκαν οι τεχνικές και οι τεχνολογίες για τη βελτίωση του συντελεστή ανάκλασης των δομικών υλικών καθώς και τα οφέλη τα οποία προκύπτουν από τη βιβλιογραφία, καταδεικνύοντας ότι με την επίστροφή των υφιστάμενων επιφανειών με ειδικά υλικά, βαφές και επιχρίσματα μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά η θερμική τους απόδοση (Cheela, et al., 2021).

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός των κτηρίων μπορεί να τα καταστήσει όχι μόνον περιβαλλοντικά φιλικότερα, αλλά και αυτόνομα, χωρίς αυτά να επιβαρύνουν το αστικό κλίμα και χωρίς να απαιτείται δαπάνη πολλών πόρων για τη ρύθμιση του εσωτερικού μικροκλίματος. Όπως προαναφέρεται ο σκοπός της κατασκευής πράσινων τοίχων, στα πλαίσια του βιοκλιματικού σχεδιασμού, είναι η μείωση των ενεργειακών αναγκών των κτηρίων, μέσα από τη ρύθμιση του μικροκλίματος, προκειμένου να δημιουργούνται συνθήκες θερμικής άνεσης με μικρότερη δαπάνη ενέργειας.

Όπως αναφέρεται παραπάνω και επαναλαμβάνεται στο επόμενο κεφάλαιο, τα δομικά υλικά τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή των κτηρίων καθορίζουν το βαθμό στον οποίο μπορούν οι πράσινοι τοίχοι να ρυθμίσουν το μικροκλίμα. Κτήρια με θερμοπροσόψεις και κτήρια με ανακλαστικές προσόψεις ή και πράσινες οροφές ωφελούνται σε μικρότερο βαθμό από την κατασκευή πράσινων τοίχων.

Επιπλέον, το κλίμα της περιοχής, τα χαρακτηριστικά της δόμησης, αλλά και η συμπεριφορά των χρηστών των κτηρίων μπορούν να επιδράσουν θετικά ή αρνητικά στην ωφέλεια των πράσινων τοίχων στην κατεύθυνση ρύθμισης του μικροκλίματος.

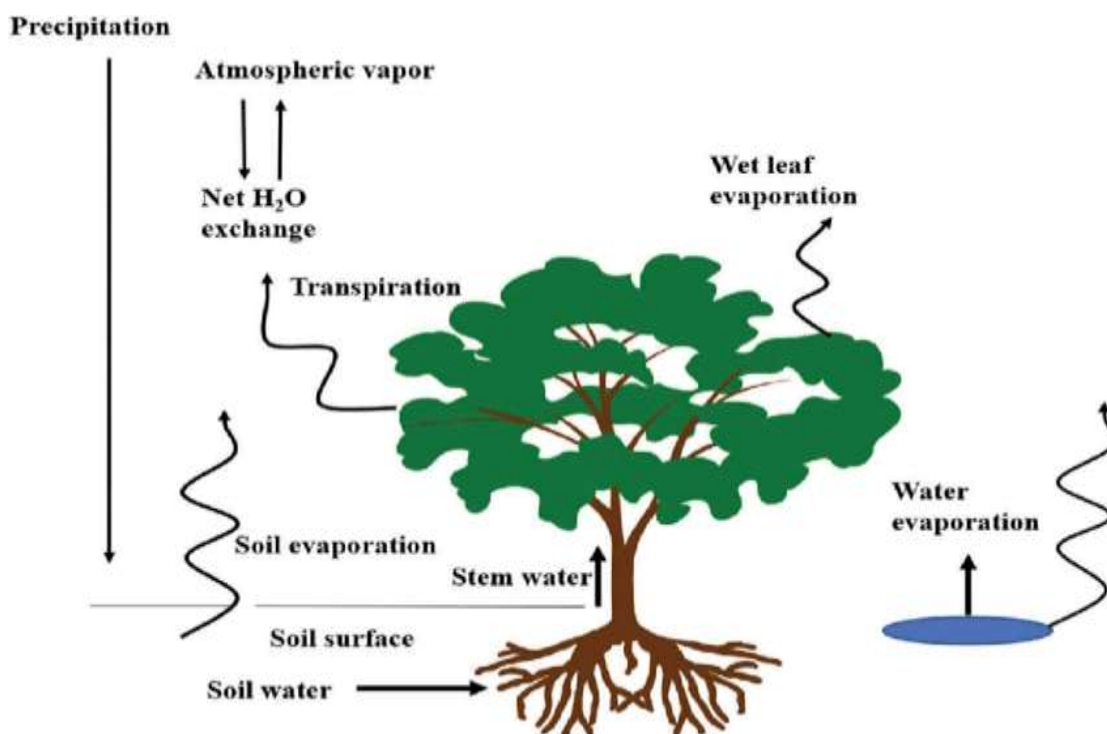
4.3. Η βλάστηση ως μέσο βελτίωσης των βιοκλιματικών συνθηκών

Στις επόμενες παραγράφους πραγματοποιείται μία συνοπτική ανασκόπηση της επίδρασης της βλάστησης στο κλίμα.

4.1.3. Μείωση της θερμοκρασίας

Η βλάστηση μπορεί να συνεισφέρει στη μείωση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος μέσα από συγκεκριμένες διαδικασίες όπως με τη εξατμισοδιαπνοή, την απορρόφηση της καθώς και μέσω των οπτικών και φυσικών ιδιοτήτων της βλάστησης.

Η διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής αποτελείται από τις επιμέρους διαδικασίες της εξάτμισης της υγρασίας, η οποία διοχετεύεται μέσα από τα φυτά προς την ατμόσφαιρα με τη μορφή υδρατμού, και της διαπνοής των φυτών.



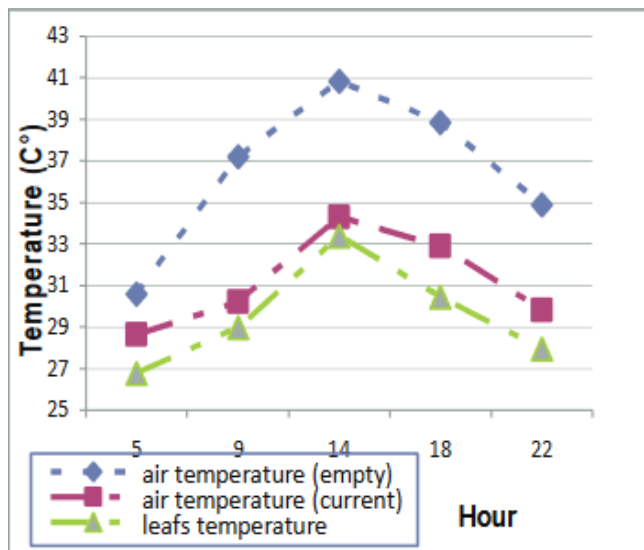
Εικόνα 4-4: Διαδικασία εξατμισοδιαπνοής, συμπύκνωσης και εξάτμισης (Zhang, et al., 2020)

Κατά τη διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής, τα φυτά δεσμεύουν θερμότητα από το περιβάλλον, αέρα, έδαφος, οδηγώντας σε μείωση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, ενώ παράλληλα κατά τη διαδικασίας της εξατμισοδιαπνοής, απορροφάται το μεγαλύτερο ποσό της ηλιακής ενέργειας, την οποία απορροφούν τα φυτά, οδηγώντας σε σημαντική μείωση της θερμοκρασίας, ιδίως σε αστικά κέντρα με μεγάλους λόγους ύψους προς πλάτος δόμησης.

Τα οφέλη της βλάστησης στην κατεύθυνση μείωσης της θερμοκρασίας είναι πιο σημαντικά σε θερμά και ξερά κλίματα, τα οποία εκτείνονται σε μεσαία και μικρά γεωγραφικά πλάτη (Taha, 1997). Σύμφωνα δε με έρευνα των Oke et al. (1987) σε τέτοια κλίματα μπορεί να μειωθεί η θερμοκρασία περιβάλλοντος έως και 8 °C μέσα από τις διαδικασίες της εξατμισοδιαπνοής (Akbari and Taha, 1992).

Επόμενη σημαντική συνεισφορά της βλάστησης εντοπίζεται στους συντελεστές απορροφητικότητας των φυτών, οι οποίοι είναι σαφώς μεγαλύτεροι από αυτούς των υλικών δόμησης, ενώ παράλληλα, σε αντίθεση με τη βλάστηση, τα δομικά υλικά με μεγάλους συντελεστές απορρόφησης της θερμότητας υπερθερμαίνονται. Αντίθετα, η βλάστηση χρησιμοποιεί την απορροφούμενη θερμότητα προκειμένου να εκτελεστεί η διαδικασία της εξάτμισης, συνεισφέροντας, ουσιαστικά, διπλά στη μείωση της θερμοκρασίας, τόσο μέσα από τη μείωση των ανακλώμενων ποσοτήτων ενέργειας όσο και μέσα από την ένταση της εξάτμισης, η οποία με τη σειρά της υποβοηθά τον φυσικό δροσισμό. Σημειώνεται δε, πως η εξάτμιση και η απορρόφηση θερμότητας μεγιστοποιείται κατά τις πιο θερμές εποχές, ημέρες και ώρες της ημέρας. Επομένως, αναμένεται τα οφέλη των πράσινων κάθετων τοίχων να είναι αυξημένα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και γενικότερα τις θερμότερες ημέρες (Shashua-Bar and Hoffman, 2000).

Σε έρευνά τους, οι Moufida και Djamel (2012) συμπέραναν ότι η βλάστηση μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση της θερμοκρασίας στο αστικό περιβάλλον, συγκριτικά με τις υφιστάμενες δομημένες ή κενές αστικές επιφάνειες, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



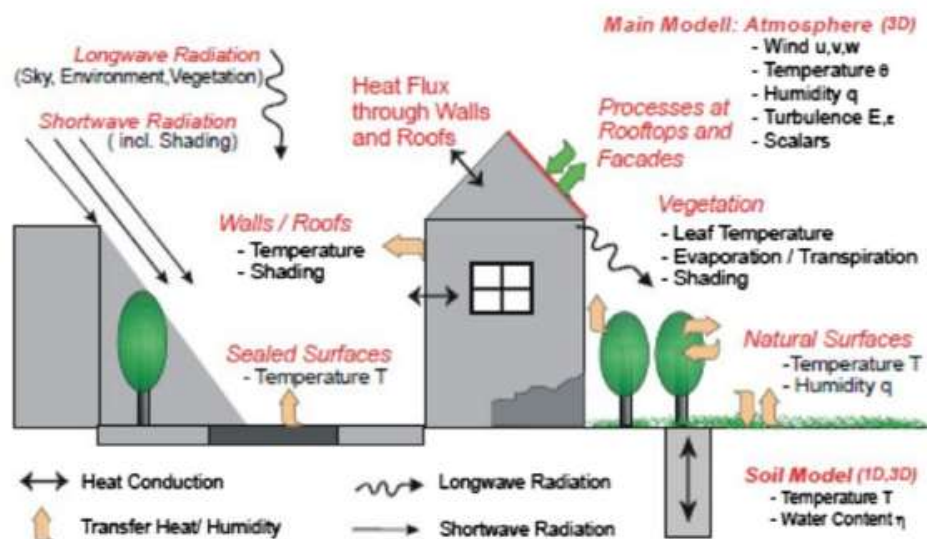
Εικόνα 4-5: Επίδραση της βλάστησης στη θερμοκρασία αέρα (Moufida & Djamel, 2012)

Συμπερασματικά, σε ό,τι αφορά στη ρύθμιση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, η βλάστηση αυξάνει το ρυθμό με τον οποίο αποβάλλεται υγρασία στον αέρα, απορροφά σημαντικά μεγαλύτερες ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας – θερμότητας και οδηγεί σε ένταση του φαινομένου του δροσισμού, οδηγώντας συνολικά σε ρύθμιση της θερμοκρασίας, με τα οφέλη να είναι ανάλογα της θερμοκρασίας περιβάλλοντος.

4.1.4. Έλεγχος της ηλιακής ακτινοβολίας

Τα φυλλώματα της βλάστησης, είτε πρόκειται για δέντρα είτε για θαμνοειδή είτε για χαμηλά φυτά, όπως αυτά τα οποία φυτεύονται σε πράσινους τοίχους, συμβάλλουν στη μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στις προσόψεις των κτηρίων και στις επιφάνειες που καλύπτονται από βλάστηση. Σε αυτό συνεισφέρει, αφενός η πυκνότητα της βλάστησης και των φυλλωμάτων και αφετέρου η προαναφερόμενη ικανότητα των φυτών να απορροφούν μεγάλες ποσότητες θερμότητας. Η θερμότητα εξετάζεται με τη μορφή της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ ένα πολύ μικρό ποσοστό αυτής μπορεί να ανακλάται από τη βλάστηση, ανάλογα με τα είδη των φυτών (Battisti, 2020; Tian, et al., 2014).

Καθώς μικρότερες ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας ανακλώνται στον αέρα, επέρχεται μείωση της θερμοκρασίας των επιφανειών στην αστική δόμηση, αλλά και μείωση τυχόν φαινομένων εγκλωβισμού της ηλιακής ακτινοβολίας, εξαιτίας διαδοχικών της ανακλάσεων μεταξύ ψηλών κτηρίων. Επακόλουθα, σημειώνεται μείωση του αέρα τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εξωτερικό των κτηρίων, ενώ παράλληλα μειώνονται οι ενεργειακές ανάγκες για ψύξη, κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (Dimoudi and Nikolopoulou, 2003).



Εικόνα 4-6: Μείωση της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας και αύξηση της απορρόφησής της (Ragheb, et al., 2016)

Σε αρκετές επιστημονικές εργασίες αναφέρεται ότι καταγράφηκαν χαμηλότερες επιφανειακές θερμοκρασίες 5-20°C σε αστικές επιφάνειες σκιασμένες με βλάστηση από αντίστοιχες εκτεθειμένες στον ήλιο. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι η κατάλληλη φύτευση δέντρων και θάμνων γύρω από τα κτίρια είναι δυνατό να μειώσει τις ανάγκες για ψύξη έως 10% και συνεπώς την αντίστοιχη ενεργειακή κατανάλωση τους θερινούς μήνες κατά 10-35%

Αναφορικά με την προαναφερόμενη σκίαση που προσφέρει η βλάστηση σε συνάρτηση με την πυκνότητα των φυλλωμάτων, εντοπίζονται διάφορες έρευνες οι οποίες υποστηρίζουν ότι η σκίαση που προσφέρεται από τη βλάστηση έχει καθοριστικό ρόλο ελέγχου της ηλιακής ακτινοβολίας και συνεπώς μείωσης της θερμοκρασίας στα αστικά κέντρα (Katsoulas, et al., 2017).

Σύμφωνα με ευρήματα των Dimoudi και Nikolopoulou (2003), όσο πυκνότερη είναι η βλάστηση στο αστικό περιβάλλον, τόσο μεγαλύτερη είναι η μείωση της θερμοκρασίας των επιφανειών και του αέρα, ενώ προσδιορίζουν πως η αύξηση των επιφανειών που καλύπτονται από βλάστηση έναντι των δομημένων επιφανειών κατά 10% μπορεί να επιφέρει μείωση ως έναν (1°C) βαθμό κελσίου στη θερμοκρασία του αέρα (Dimoudi & Nikolopoulou, 2003) (Συνεισφορά οπτικών και φυσικών ιδιοτήτων της βλάστησης)

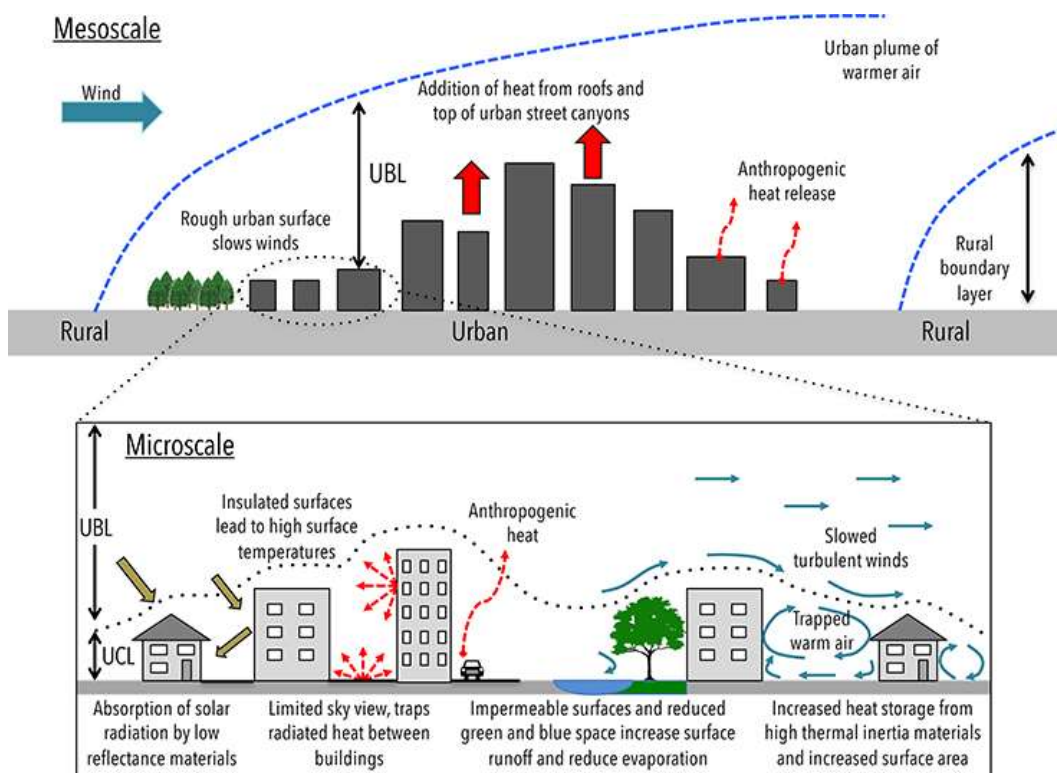
Όπως ήδη προαναφέρεται σε διάφορα σημεία της παρούσας εργασίας, τα δομικά υλικά δεν μπορούν να έχουν ταυτόχρονα ιδανικούς συντελεστές ανάκλασης και απορρόφησης. Αντίθετα, η βλάστηση διαθέτει υψηλότερους συντελεστές ανάκλασης σε σχέση με τα κοινά δομικά υλικά στο αστικό περιβάλλον και επομένως ανακλάται περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία από τη βλάστηση σε σχέση με τις λοιπές δομημένες επιφάνειες στο αστικό περιβάλλον. Ταυτόχρονα, η βλάστηση έχει μικρή θερμοχωρητικότητα και μεγάλους συντελεστές απορρόφησης, το οποίο σημαίνει ότι ναι μεν δεσμεύει μεγάλες ποσότητες θερμότητας, ωστόσο δεν αυξάνεται αντίστοιχα η θερμοκρασία της βλάστησης (Taha, 1997).

Μέσα από τις φυσικές ιδιότητες της βλάστησης και μέσα από τις διαδικασίες της εξάτμισης και διαπνοής επιτυγχάνεται καλύτερος έλεγχος της θερμοκρασίας στα αστικά κέντρα.

4.1.5. Επίδραση στη ροή του αέρα

Η βλάστηση μπορεί να ελέγξει τη ροή του αέρα στο αστικό περιβάλλον μέσα από διάφορες διαδικασίες. Οι συντελεστές τριβής των φυτών είναι τέτοιοι ώστε να επιβραδύνεται η ταχύτητα του αέρα, δημιουργώντας δροσερές ζώνες στην ανάντη

πλευρά τους (στα μέρη που βρίσκονται στην πάνω πλευρά). Επιπλέον, ειδικά η χαμηλή βλάστηση έχει τη δυνατότητα, αν όχι να επιβραδύνει τον αέρα, να τον φιλτράρει και να ρυθμίζει τη ροή του προς τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας.



Εικόνα 4-7: Η βλάστηση προστατεύει τα κτήρια από ισχυρούς ανέμους (Kershaw, 2017)

Σημαντικά οφέλη παρουσιάζονται κατά τους χειμερινούς μήνες, όπου η βλάστηση, ιδίως υπό μορφή κάθετων πράσινων τοίχων προστατεύει τα κτήρια από ανέμους μεγάλης ταχύτητας και μειώνει τις θερμικές τους απώλειες, οδηγώντας συνολικά σε βελτίωση της ενεργειακής τους απόδοσης, μέσα από τη μείωση των ενεργειακών αναγκών για θέρμανση. Όσο πιο πυκνή είναι η βλάστηση, όπου στην περίπτωση των πράσινων κάθετων τοίχων η βλάστηση είναι συνεχόμενη και πυκνή, τόσο μεγαλύτερο όφελος προκύπτει, ιδίως κατά τους χειμερινούς μήνες.

5. Οι πράσινοι τοίχοι

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα ευρήματα από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση στο πεδίο των πράσινων τοίχων και γενικά στο πεδίο της πράσινης κάθετης δόμησης.

Από την αρχαιότητα η κατασκευή κάθετων κήπων αποτελούσε αντικείμενο ενασχόλησης του ανθρώπου. Απόδειξη αποτελούν οι Κρεμαστοί κήποι της Βαβυλώνας, ένα από τα επτά θαύματα του αρχαίου κόσμου, οι οποίοι δημιουργήθηκαν γύρω στα 600 π.Χ. με τετραγωνικό σχήμα πλευρικού μήκους 120μ, ύψους περίπου 25μ. και αναβαθμίδες στη βάση, στηριγμένες σε αψίδες. Στις αναβαθμίδες αυτές καλλιεργήθηκαν διάφοροι θάμνοι, λουλούδια και δέντρα (Wikipedia, https://el.wikipedia.org/wiki/Κρεμαστοί_κήποι_της_Βαβυλώνας). Στη συνέχεια, ακολούθησαν το παράδειγμα αυτό κι άλλες αυτοκρατορίες, όπως η ρωμαϊκή.

Στις περιοχές γύρω από τη Μεσόγειο χρησιμοποιούνται οι φυτεύσεις σε κτίρια, με στόχο την προστασία τους από την ηλιακή ακτινοβολία, αλλά και τη δημιουργία ευχάριστης ατμόσφαιρας στους κατοίκους των κτιρίων. Κατά τον 17^ο και 18^ο αιώνα παρατηρείται μια αυξημένη τάση χρήσης αναρριχώμενων φυτών στην Κ. Ευρώπη και το Η. Βασίλειο. Ενώ τον 19^ο αιώνα οι διακοσμήσεις του αστικού ιστού, που κυρίως συμπεριλάμβαναν αναρριχώμενα φυτά, προσέλκυαν την προσοχή των κατοίκων ευρωπαϊκών και αμερικανικών πόλεων (Manso & Gomes, 2015).

Η αύξηση του πληθυσμού τα τελευταία χρόνια έχει οδηγήσει στην κατασκευή πολυώροφων κτηρίων στις πόλεις, ως εναλλακτική λύση για την επέκταση του χώρου της πόλης κατακόρυφα. Επιπλέον, η σταδιακή αλλά αυξανόμενη ευαισθητοποίηση των κατοίκων των πόλεων σε σχέση με τα έντονα περιβαλλοντικά ζητήματα, καθώς και η ανάγκη για μια πιο άνετη και υγιή ζωή, είχαν ως αποτέλεσμα την προώθηση, εξέλιξη και ολοένα συχνότερη χρήση των διαφόρων συστημάτων φυτοκάλυψης, η οποία τα τελευταία χρόνια λαμβάνεται πολύ σοβαρά υπόψη κατά τον σχεδιασμό και την κατασκευή αστικών κτιρίων, είτε αυτά είναι δημόσια είτε ιδιωτικά, παρ' όλες τις δυσκολίες στη διαδικασία αναβάθμισης των κτηρίων. Πολλοί μελετητές του θέματος αυτού έχουν προσφέρει τη γνώση σχετικά με τις δυνατότητες των συστημάτων

φυτοκάλυψης να συμβάλλουν στην καλυτέρευση των κτιρίων σε σχέση με την κατανάλωση ενέργειας καθώς και με τη θερμοκρασία των κτηρίων (Cuce, 2017).

Εμπνευστής των σύγχρονων κάθετων κήπων, των πράσινων, ζωντανών τοίχων είναι ο Patrick Blanc, διάσημος, εκκεντρικός βοτανολόγος που βραβεύτηκε το 2009 από το Βασιλικό Ινστιτούτο Βρετανών Αρχιτεκτόνων ως επίτιμος συνεργάτης. Το πιο διάσημο δημιούργημά του είναι ο κάθετος κήπος ύψους 150μ στο Central Park στο Σίδνεϋ. Για τον P. Blanc «ένα κτίριο μπροστά στα μάτια του παρατηρητή μπορεί να μεγαλώνει, να βλασταίνει, να αλλάζει χρώματα ανάλογα με τις εποχές, σαν να είναι ζωντανό» (Votaniki, 2019). Βεβαία, η ιδέα αυτή, όπως ήδη έχει αναφερθεί, γεννήθηκε χιλιάδες χρόνια πριν με τους κρεμαστούς κήπους της Βαβυλώνας και τις κληματαριές της Ρώμης.



Εικόνα 5-1: Ο ζωντανός κήπος στο Σίδνεϋ της Αυστραλίας του P. Blanc (<https://www.verticalgardenpatrickblanc.com/>).

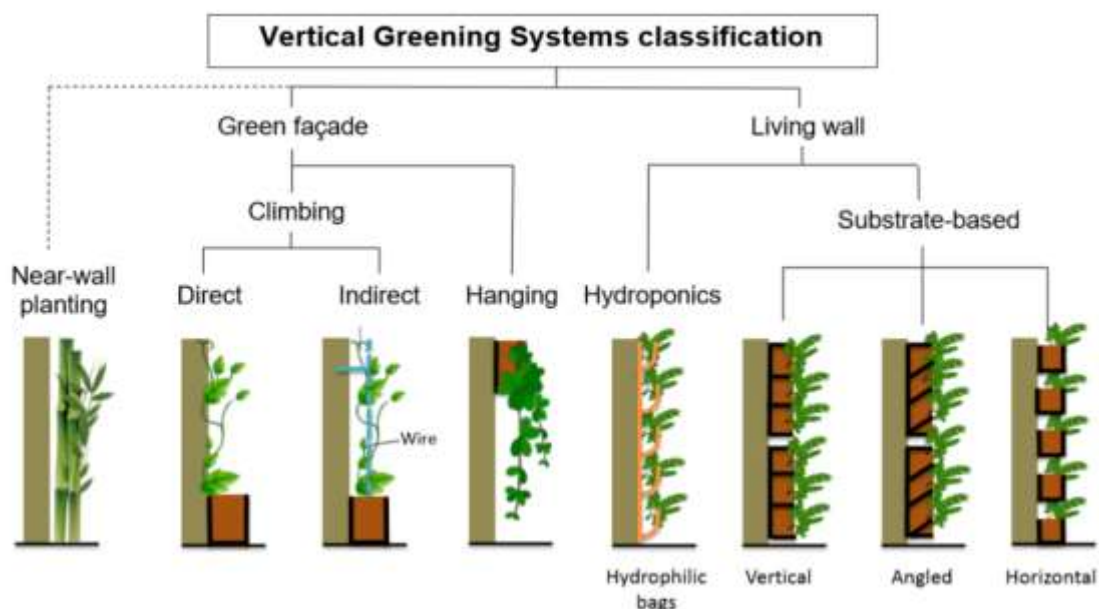
5.1. Είδη πράσινων τοίχων

Τα κάθετα συστήματα οικολογικού ελέγχου ή Vertical Greenery Systems (VGS) αναφέρονται συχνά στη βιβλιογραφία και ως τεχνολογίες πράσινων τοίχων ή δόμησης, βιοκλιματικοί τοίχοι ή βιοκλιματική δόμηση κ.ο.κ..

Αποτελούνται από κάθετες δομές πρασίνου οι οποίες καλύπτουν τους εξωτερικούς ή τους εσωτερικούς τοίχους των κτηρίων. Στη βιβλιογραφική έρευνα καταγράφονται διάφορα είδη πράσινων τοίχων, που κατηγοριοποιούνται με βάση τον τύπο της βλάστησης από την οποία αποτελούνται, των δομών/κατασκευών που χρησιμοποιούνται για τη στήριξη στην πρόσοψη των κτηρίων, των χρησιμοποιούμενων υποστρωμάτων κ.ο.κ..

Σύμφωνα με τους Kontoleon και Eumorphoulou (2010) και με τους Manso και Gomes (2015), διακρίνονται 2 βασικές κατηγορίες: οι πράσινες προσόψεις και οι ζωντανοί τοίχοι (Kontoleon & Eumorphoulou, 2010; Manso & Gomes, 2015).

Σε κάθε μία από τις δύο αυτές κατηγορίες διακρίνονται διαφορετικοί τύποι πράσινων τοίχων, ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο στηρίζεται η βλάστηση στην πρόσοψη των κτηρίων, ανάλογα με το αν βρίσκονται σε επαφή με την πρόσοψη ή όχι και ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο πραγματοποιείται η άρδευση των φυτών. Συνοπτικά, οι διαφορετικές κατηγορίες πράσινων τοίχων παρουσιάζονται παρακάτω, στην Εικόνα 5-.



Εικόνα 5-2: Κατηγοριοποίηση πράσινων τοίχων (Ottele, 2011)

Ωστόσο, στη βιβλιογραφία δεν εντοπίζεται μόνον η παραπάνω κατηγοριοποίηση, καθώς διάφοροι ερευνητές έχουν μελετήσει ποικίλους συνδυασμούς φυτών, συστημάτων στήριξης, υποστρωμάτων κ.ο.κ.. Με τον τρόπο αυτό έχει ερευνηθεί ένα μεγάλο εύρος πράσινων τοίχων, με κάθε διαφορετικό τύπο να έχει διαφορετική θερμική συμπεριφορά και να επηρεάζει διαφορετικά τη θερμική συμπεριφορά των κτηρίων και κατ' επέκταση των αστικών κέντρων (Pérez, et al., 2011).

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται συγκεκριμένοι τύποι πράσινων τοίχων και παρουσιάζονται στατιστικά στοιχεία και στοιχεία τα οποία έχουν προκύψει από προσομοιώσεις αναφορικά με την απόδοση των πράσινων τοίχων και γενικότερα με την επίδρασή τους στη θερμική συμπεριφορά των κτηρίων. Στο πλαίσιο αυτό πρέπει να τονιστεί, πως διαφορετικά συστήματα πράσινων τοίχων βρίσκουν καλύτερα εφαρμογή σε διαφορετικά κλίματα και σε αστικά κέντρα με διαφορετικά χαρακτηριστικά (Assimakopoulos, et al., 2020, Pérez, et al., 2014).

Ομοίως, σύμφωνα με τους Dunnet και Kingsbury (2008), Wong et al. (2010), Ottele (2011), Perini και Rosasco (2013) και άλλους ερευνητές οι οποίοι επιχείρησαν να κατηγοριοποιήσουν τους πράσινους τοίχους, διακρίνονται οι πράσινες προσόψεις και οι

ζωντανοί τοίχοι (Dunnett & Kingsbury, 2010; Chen, et al., 2013; Ottele, 2011; Ottele, et al., 2011; Perini & Rosasco, 2013; Wong, et al., 2009; Wong, et al., 2010).

5.1.1. Πράσινες προσόψεις (green facades)

Οι πράσινες προσόψεις είναι ένα είδος πράσινων τοίχων, στους οποίους συνήθως χρησιμοποιούνται αναρριχώμενα ή κρεμαστά φυτά τα οποία τοποθετούνται και στηρίζονται με τρόπο τέτοιο, ώστε να αναρριχώνται σε κατασκευές που τοποθετούνται σε επαφή ή μη της πρόσοψης των κτηρίων. Μπορεί να στηρίζονται είτε κατευθείαν πάνω στους υπάρχοντες τοίχους των κτηρίων είτε σε αυτόνομες κατασκευές, για παράδειγμα σε φράχτες. Οι φυτεύσεις γίνονται στο έδαφος ή σε γλάστρες και συνήθως απαιτούνται ως και 5 έτη για την κάλυψη μιας πρόσοψης. Όταν τα αναρριχώμενα φυτά ακουμπούν άμεσα στους τοίχους των κτηρίων, μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα στην τοιχοποιία των κτηρίων με δύσκολη τη συντήρηση της, με συχνή λύση την απομάκρυνση των φυτών (π.χ. για να βαφτεί μια οικοδομή). Για την εξάλειψη του προβλήματος αυτού, σήμερα χρησιμοποιούνται καινοτόμες λύσεις, για να μην ακουμπούν τα φυτά άμεσα τις προσόψεις των κτηρίων, αλλά να αναπτύσσονται πάνω σε καφασωτά ή άκαμπτα πάνελ, διευκολύνοντας και την ανάπτυξη των φυτών μέσω καλωδιακών συστημάτων και τις ενδεχόμενες διαδικασίες συντήρησης των κτηριακών επιφανειών (Köhler, M. 2008).

Επιπλέον, σύμφωνα με τους Wong et al. (2010), στις πράσινες προσόψεις χρησιμοποιούνται ποώδη φυτά και φυτά με δυνατά κλαδιά, όπως κλήματα, τα οποία φυτεύονται είτε στο επίπεδο του εδάφους μπροστά από την πρόσοψη των κτηρίων είτε σε γλάστρες στο επίπεδο του εδάφους ή σε διαφορετικά επίπεδα ή ακόμη και στην ταράτσα των κτηρίων, προκειμένου να αναρριχηθούν ή να καταρριχηθούν πάνω σε μια κατασκευή η οποία τοποθετείται κοντά ή μπροστά από την πρόσοψη των κτηρίων (Wong, et al., 2010).

Στις πράσινες προσόψεις τα φυτά μπορούν να στηριχθούν χωρίς κάποια επιπρόσθετη κατασκευή στους υφιστάμενους τοίχους των κτηρίων ή να φυτευτούν με τρόπο τέτοιο ώστε να δημιουργήσουν από μόνα τους διακριτές κατασκευές, όπως φράχτες ή στήλες, οι οποίες μπορούν να τοποθετηθούν στις προσόψεις των κτηρίων (Kontoleon & Eumorphoulou, 2010).

Οι πράσινες προσόψεις στηρίζονται σε μεγάλο βαθμό στην ικανότητα των αναρριχητικών φυτών να αναρριχώνται ή να καταρριχώνται σε σταθερές δομές, όπως είναι οι τοίχοι των κτηρίων και στην ικανότητά τους να δημιουργήσουν πυκνές δομές οι οποίες μπορούν να καλύψουν ολοκληρωτικά τις επιφάνειες. Αυτού του τύπου οι πράσινες προσόψεις αναφέρονται παραπάνω, στην Εικόνα 5-, ως άμεσες προσόψεις (Ottele, 2011).



Εικόνα 5-3: Άμεση πράσινη πρόσοψη (Manso & Gomes, 2015)

Παράλληλα, προκειμένου να προστατευθεί η δομική ακεραιότητα του κτηρίου, καθώς τα αναρριχώμενα φυτά έχουν την τάση να εισέρχονται σε ανοίγματα και ρωγμές στους τοίχους, πριν τη φύτευση μιας πράσινης πρόσοψης οι τοίχοι των κτηρίων καλύπτονται από ένα ελαφρύ και άκαμπτο φύλλο ή πανί ή ακόμη και από μεταλλικές συρμάτινες δομές οι οποίες οριοθετούν τον χώρο στον οποίο μπορούν να αναπτυχθούν τα φυτά. Στην περίπτωση αυτή, οι πράσινες προσόψεις χαρακτηρίζονται ως έμμεσες

πράσινες προσόψεις, όπως και απεικονίζονται παραπάνω, στην Εικόνα 5- (Ottele, 2011; Perini & Rosasco, 2013).



Εικόνα 5-4: Έμμεση πράσινη πρόσοψη (Manso & Gomes, 2015)

Τέλος, διακρίνονται επιπλέον οι πράσινες προσόψεις, όπου τα φυτά αναρτώνται στην πρόσοψη του κτηρίου από την ταράτσα του ή από διάφορα επίπεδα καθ' ύψος του κτηρίου και καταρριχώνται κοντά ή πάνω στην πρόσοψη. Αυτός ο τύπος πράσινων προσόψεων αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως κρεμαστές πράσινες προσόψεις, όπως φαίνεται παραπάνω στην Εικόνα 5-.



Εικόνα 5-5: Κρεμαστή πράσινη πρόσοψη (Abdullahi & Alibaba, 2016)

Σύμφωνα με αρκετούς ερευνητές, όπως τους Ottele et al. (2011) και τους Perini και Rosasco (2013), αν και οι πράσινες προσόψεις δεν έχουν ιδιαίτερα μεγάλο κόστος κατασκευής, εντούτοις ενέχουν κινδύνους αναφορικά με τη δομική ακεραιότητα των τοίχων των κτηρίων.

5.1.2. Ζωντανοί τοίχοι (living walls)

Οι πράσινοι, ζωντανοί τοίχοι ή απλούστερα ζωντανοί τοίχοι βασίζονται στη χρήση ειδικών τεχνητών υποστρωμάτων, συστημάτων υδροπονίας και στη χρήση χώματος με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά για τη φύτευση σε προσόψεις κτηρίων (Perini, et al., 2011).

Για την κατασκευή ζωντανών τοίχων συνήθως χρησιμοποιούνται προφυτευμένα φυτά, κάθετες ή οριζόντιες δομές φυτών κ.α., οι οποίες στερεώνονται κατακόρυφα στους τοίχους των προσόψεων των κτηρίων (Kontoleon & Eumorphoulou, 2010).

Συνήθως μάλιστα οι ζωντανοί τοίχοι κατασκευάζονται από επαναλαμβανόμενα μπλοκ φυτών τα οποία τοποθετούνται μαζί για να σχηματίσουν μία δομή ικανή να καλύψει έναν τοίχο. Φυτεύονται σε γλάστρες και δοχεία τα οποία κατασκευάζονται συνήθως από ελαφριά και ανθεκτικά υλικά τα οποία μπορούν να υποστηρίξουν το βάρος των φυτών χωρίς να επιβαρύνουν τη στατική επάρκεια και τη δομική ακεραιότητα του κτηρίου (Dunnett & Kingsbury, 2010).

Συγκρίνοντας τις πράσινες προσόψεις με τους ζωντανούς τοίχους, σύμφωνα με τον Ottele (2011), οι ζωντανοί τοίχοι έχουν μεγαλύτερες ανάγκες σε θρεπτικά στοιχεία και πότισμα, προκειμένου να εξασφαλίζεται η ανάπτυξή τους (Ottele, 2011).

Μάλιστα, η προσθήκη συστημάτων για την υδροπονία και υποστρωμάτων επί των προσόψεων για την ανάπτυξη των ζωντανών τοίχων, επηρεάζει θετικά τη θερμική απόδοση των κτηρίων, καθώς τα συστήματα υδροπονίας οδηγούν σε βελτιωμένους συντελεστές θερμοχωρητικότητας και θερμοπερατότητας (Pérez, et al., 2011).

Ωστόσο, οι ζωντανοί τοίχοι είναι αρκετά ακριβότεροι για την κατασκευή και για τη συντήρησή τους συγκρινόμενοι με τις πράσινες προσόψεις, ενώ τα φυτά και τα υποστρώματα αναπτύσσονται και μεταβάλλονται στην πρόσοψη των κτηρίων, με αποτέλεσμα να μην είναι στον ίδιο βαθμό βιώσιμα σε σύγκριση με τις πράσινες προσόψεις και να απαιτείται η περιοδική τους αντικατάσταση (Ottele, 2011).

Η ιδέα του Blanc στηρίζεται ακριβώς σε αυτήν την κατηγορία, την κατασκευή ζωντανών τοίχων, δηλαδή στην τεχνική καλλιέργειας φυτών χωρίς χώμα και μπορεί να ντύσει μεγάλες επιφάνειες χωρίς κανένα περιορισμό ύψους και έκτασης. Ο φυτικός τοίχος του αποτελείται από ένα ανθεκτικό μεταλλικό πλαίσιο, μια επιφάνεια από PVC και μη βιοδιασπώμενο πύλημα με συνολικό βάρος λιγότερο από 30 κιλά ανά τ.μ. Χρειάζονται περίπου 30 φυτά ανά τ.μ. που ποτίζονται αυτόματα με νερό και ανόργανες ουσίες, η συντήρησή τους είναι ελάχιστη και δεν χρειάζονται κλάδεμα. Η τεχνική του Blanc βασίζεται στην υδροπονία, αφού, όπως προαναφέρθηκε, δε γίνεται χρήση χώματος αλλά τα φυτά βρίσκουν όλα τα θρεπτικά τους συστατικά στο νερό. Οι ρίζες τους επεκτείνονται μέσα σε μη βιοδιασπώμενο πύλημα πολυαμίδης (nylon) που συγκρατεί νερό το οποίο διαμοιράζεται σιγά σιγά στα φυτά, ενώ αυτά τοποθετούνται αυτούσια ή σε σπόρους. Το πλέγμα εφαρμόζεται πάνω σε στρώμα PVC (πολυουρεθάνης) πάχους 10 χιλιοστών, δημιουργώντας έτσι μια σταθερή και υδατοστεγή κατασκευή που τελικά στερεώνεται σ' έναν μεταλλικό σκελετό που εφαρμόζει πάνω στον τοίχο, δημιουργώντας ένα στρώμα αέρα που λειτουργεί ως θερμομονωτικό και ηχομονωτικό σύστημα. Επιπλέον, επειδή το πότισμα γίνεται ανά τακτά διαστήματα με μικρές δόσεις νερού, ο φέροντας τοίχος παραμένει ανέπαφος και δεν φθείρεται. Πρόκειται για ένα σύστημα που λειτουργεί σαν τα βρύα αναπτύσσονται στα βράχια από την υγρασία. Το νερό επαναχρησιμοποιείται και με τη βοήθεια της τεχνολογίας, ένα ηλεκτρονικό μικροτσίπ, ρυθμίζεται η συχνότητα ποτίσματος. Οι πράσινες ταπετσαρίες του Blanc μπορούν να εφαρμοστούν σε εξωτερικούς και σε εσωτερικούς κήπους.

Εντυπωσιακές είναι οι πράσινες εγκαταστάσεις των τοίχων του μουσείου Quai Branly στο Παρίσι με ύψος 25 μέτρα, καλύπτοντας μια επιφάνεια 800τ.μ. πάνω στην οποία ζουν και αναπτύσσονται 15.000 φυτά από 150 διαφορετικά είδη από όλον τον κόσμο. Το μουσείο απέκτησε πιστοποίηση υψηλής περιβαλλοντικής ποιότητας εξαιτίας της τοποθέτησης του κάθετου ζωντανού κήπου ([https://www.archisearch.gr/landscape/patrick-blanc-kathetoi-kipoi-apo-enan-ekkentriko-](https://www.archisearch.gr/landscape/patrick-blanc-kathetoi-kipoi-apo-enan-ekkentriko-votanologo-c/)



[votanologo-c/](https://www.archisearch.gr/landscape/patrick-blanc-kathetoi-kipoi-apo-enan-ekkentriko-votanologo-c/)).

Εικόνα 5-6: Μουσείο Quai Branly (<https://toptraveller.gr/poi/quai-branly-museum-paris/>)

Το Μουσείο CaixaForum στη Μαδρίτη διαθέτει επίσης έναν ιδιαίτερα



εντυπωσιακό κάθετο κήπο που καλύπτεται από 15.000 φυτά 250 διαφορετικών ειδών, από τα οποία τα περισσότερα είναι είδη με άνθη.

Εικόνα 5-7: Μουσείο CaixaForum στη Μαδρίτη
(<https://www.welt.de/wissenschaft/article147705686/Gruene-Fassaden-liegen-im-Trend.html>).

5.2. Πράσινες στέγες (green roofs)

Οροφές, στέγες, ταράτσες καλυμμένες με βλάστηση και καλλιεργητικό υπόστρωμα. Ως πράσινη στέγη ή φυτεμένο δώμα ή οροφώκηπος ορίζεται το σύνολο ή τμήμα της επιφάνειας δώματος, στέγης, εξώστη, οροφής υπόγειων χώρων στάθμευσης αυτοκινήτων και άλλων κτιρίων, που καλύπτεται με βλάστηση και επομένως υπάρχουν οι κατάλληλες, για τη δημιουργία της βλάστησης, παρεμβάσεις. Μια πράσινη στέγη/δώμα μπορεί να ξεκινάει από το επίπεδο του εδάφους ή ακόμα μπορεί να συνδέει κτήρια μεταξύ τους. Η υποδομή που συνήθως απαιτείται για να υποδεχθεί μια στέγη τα φυτά, αποτελείται από ένα σύστημα διαστρωμάτωσης από πολλά και διαφορετικά υλικά, που στήνονται πάνω από το υλικό στεγάνωσης της στέγης και εμπεριέχει όλα τα απαραίτητα στοιχεία για την υποδοχή και εγκατάσταση φύτευσης, όπως: αντιριζική μεμβράνη, αποστραγγιστικό σύστημα, διηθητική μεμβράνη, εδαφικό υπόστρωμα ανάπτυξης φυτών, τα φυτά καθώς και το δίκτυο άρδευσης. Είναι κατασκευές που αναπτύσσονται κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες.
(http://www.cres.gr/kape/Prodiagrafes_fytemenon_domaton.pdf).

Ανάλογα με τη χρήση τους, το είδος των φυτών που επιλέγονται, την υποδομή που κατασκευάζεται και τις παραμέτρους συντήρησής τους, οι πράσινες στέγες κατηγοριοποιούνται σε τρεις τύπους:

1. Εκτατικός ή Εκτενής τύπος (Extensine green roof), πιο ελαφρύς από τους άλλους δύο διότι περιλαμβάνει ένα ελαφρύ στρώμα χαμηλής βλάστησης με ποώδη και αρωματικά φυτά, με ελάχιστες απαιτήσεις συντήρησης. Το πάχος του συστήματος βλάστησης είναι μικρό, αφού τα παχύφυτα αναπτύσσονται σε λιγότερο από 10εκ, πάχος

υποστρώματος. Η συνολική υποδομή είναι ελαφριά με μέγιστο βάρος κατασκευής τα 120 - 150kg/m². Εφαρμόζεται όταν το ζητούμενο είναι η εξοικονόμηση ενέργειας ή όταν υπάρχουν περιορισμοί στη στατικότητα.

2. Ημιεντατικός τύπος (Semi-intensive green roof), ενδιάμεσος τύπος, πιο σύνθετη βλάστηση (ποώδη και αρωματικά φυτά, φυτά εδαφοκάλυψης, χλοοτάπητας, θάμνοι ύψους 50 - 150 εκ.), ενώ το φυτικό υπόστρωμα κυμαίνεται μεταξύ 20 - 45 εκατοστών.

3. Εντατικός τύπος (Intensive green roof) με παχύτερο και βαρύτερο υπόστρωμα, υποστηρίζει μεγαλύτερη ποικιλία φυτών, ποώδη, θαμνώδη και δέντρα και απαιτεί περισσότερη συντήρηση. Το ύψος του υποστρώματος κυμαίνεται μεταξύ 45 - 120 εκατοστών. Πολλές φορές αποτελούν ενδιαιτήματα για την άγρια πανίδα, αποτελούν δηλαδή ολοκληρωμένους φυσικούς εστίες. Για την εγκατάστασή τους απαιτείται διεπιστημονική συνεργασία, γεωπόνου και μηχανικού, για να αποφευχθούν δυσάρεστες μελλοντικές καταστάσεις σχετικά με τη στατική του κτηρίου στο οποίο θα προστεθούν επιπλέον φορτία, από το βάρος των υλικών, από τη βροχή, το χιόνι, τον άνεμο κλπ. Ιδανικές, είναι οι πράσινες στέγες με επίπεδες επιφάνειες ή μικρά ποσοστά κλίσεων στεγών μέχρι 3%. (<https://citygreen.gr/content.aspx?id=7>)

Τα οφέλη από τις πράσινες στέγες είναι πολλαπλά: αισθητικά, λειτουργικά, οικονομικά, ενεργειακά, περιβαλλοντικά και κοινωνικά. Συγκεκριμένα προσφέρουν:

1. Εξοικονόμηση της ενέργειας που απαιτείται για ψύξη και θέρμανση του κτιρίου
2. Βελτίωση του μικροκλίματος- μείωση της επίδρασης του φαινομένου αστικής θερμικής νησίδας
3. Μείωση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου-φιλτράρισμα ατμοσφαιρικών ρύπων- παραγωγή O₂- δέσμευση CO₂

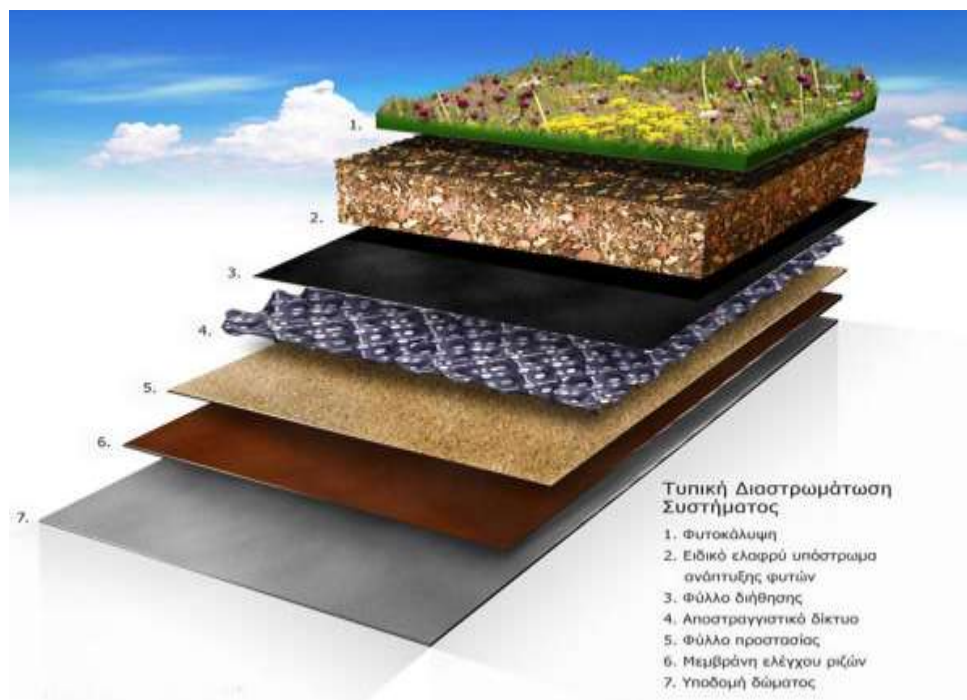
4. Δημιουργία οικοσυστήματος – προσέλκυση πουλιών και εντόμων-ενδιαιτήματα-επαναφορά αστικής βιοποικιλότητας
5. Μείωση ηχορύπανσης – συγκράτηση σκόνης
6. Μείωση της απορροής των όμβριων έως 90% - αποφυγή πλημμυρικών φαινομένων
7. Προστιθέμενη αξία στο κτίριο-σκίαση
8. Θερμική άνεση-ευχάριστη ψυχολογία χρηστών
9. Προστασία & αύξηση της διάρκειας ζωής της μόνωσης
10. Ανάδειξη ανεκμετάλλευστων χώρων σε σημεία συνάντησης και δραστηριοτήτων.

Βάση πειραματικής δοκιμής και προσομοίωσης από τους Santatouri et al (2007) για τη διερεύνηση της απόδοσης των πράσινων στεγών στη μείωση της ζήτησης ψύξης και θέρμανσης κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού στην Αθήνα, σε ένα νηπιαγωγείο κοντά στο κέντρο της πόλης, τεκμηριώθηκε, η σημαντικού ποσοστού, εξοικονόμηση ενέργειας από τη χρήση πράσινης στέγης, η οποία καλυπτόταν κατά 40% από σύστημα πράσινης στέγης. Το καλοκαίρι τα ευρήματα δείχνανε ότι το σύστημα πράσινης στέγης παρείχε σημαντική εξοικονόμηση ψυκτικών φορτίων, αλλά όχι και κατά τη διάρκεια του χειμώνα, όπου τα ευρήματα ήταν σχεδόν ασήμαντα. Σε μονωμένα κτίρια καταγράφηκε 15% μείωση, ενώ σε μη μονωμένα είχαμε 49% μείωση ψυκτικού φορτίου.

Σε μια άλλη πειραματική δοκιμή που πραγματοποιήθηκε από τους Permpituck & Namprakai (2012) σε ένα μοντέλο στέγης από πλάκα σκυροδέματος, αποδείχτηκε ότι τα κτίρια με πράσινες στέγες έναντι των κτιρίων με εκτεθειμένες στέγες έχουν ετήσια κατανάλωση για 0.1 μ και 0.2 μ πάχος, 31% και 37% αντίστοιχα μικρότερη κατανάλωση. Στο ζεστό κλίμα της Σιγκαπούρης (Wong et al., 2010) έχουμε άλλη μια μελέτη που έδειξε ότι μπορούμε να πετύχουμε μέχρι και 15% μείωση (όπως αναφ. σε Azis et al. 2019). Αυτή η πρόσφατη μελέτη των Azis et al. (2019) αποδεικνύει στατιστικά ότι η

ενσωμάτωση τόσο των πράσινων στεγών όσο και των πράσινων τοίχων είναι σημαντική και κατάλληλη για χώρες όπως η Μαλαισία και η Ελλάδα που λαμβάνουν μεγάλη ποσότητα ηλιακού φωτός ετησίως. Το αποτέλεσμα έδειξε ότι η ενσωμάτωση των πράσινων τοίχων παρέχει μεγαλύτερη ετήσια εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας σε σύγκριση με τις πράσινες στέγες αφού το ελάχιστο στις πράσινες στέγες είναι 15% μείωση ενώ στους πράσινους τοίχους 18%.

Από τις εμπειρικές και πειραματικές μελέτες μπορούμε να πούμε ότι η εφαρμογή των πράσινων στεγών παρέχει από 15% με 49% εξοικονόμηση ενέργειας. Τα σημαντικά αυτά πλεονεκτήματα, τα οποία χαρακτηρίζουν και τους κάθετους πράσινους κήπους, που οδηγούν τεκμηριωμένα σε σημαντική βελτίωση της θερμικής και ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων, ολοένα και περισσότερο λαμβάνονται υπόψη και υιοθετούνται τέτοιες πρακτικές για την αντιμετώπιση της έντονης καθημερινότητας στα μεγάλα αστικά κέντρα του κόσμου.



Εικόνα 5-8: Τυπική διαστρωμάτωση συστήματος βλάστησης πράσινης στέγης (www.citygreen.gr)

Οι πράσινες στέγες γεννήθηκαν σχεδόν μαζί με τον άνθρωπο, καθώς οι πρώτες κτηριακές κατασκευές αποτελούνταν από φυσικά υλικά, όπως χώμα, φυτά, άχυρα, (πλιθιά) και λειτουργούσαν άριστα ως προς τη θερμομόνωση και τη στεγανότητα, αλλά και ως προς την αισθητική και περιβαλλοντική διάσταση. Είναι αξιοθαύμαστες οι γνωστές κατοικίες στην Ισλανδία (Turf Houses), αλλά και οι πράσινες στέγες στην παγωμένη Σκανδιναβική Χερσόνησο για τη μακρόχρονη χρήση τους και την προστασία που παρείχαν σε καιρικές συνθήκες ιδιαίτερα ψυχρές. Ιδιαίτερα οι Ισλανδοί, χρησιμοποιώντας τα υλικά που τους προσέφερε ο τόπος τους σε αφθονία, τύρφη και ξύλο, ήταν αυτοί που κατασκεύασαν τα πρώτα παθητικά κτήρια στον πλανήτη.



Εικόνα 5-9: Turf Houses στην Ισλανδία

(<https://goingallthewaytoiceland.wordpress.com/2014/05/14/layers-of-icelandic-history-in-turf-houses-and-glass-palaces/>)



Εικόνα 5-10: The Viking Longhouse: A Crowded, Cozy Home
(<https://www.historyonthenet.com/the-viking-longhouse-a-crowded-cozy-home>)

5.3. Τροποποίηση των περιβαλλοντικών συνθηκών από τους πράσινους τοίχους

Οι πράσινοι τοίχοι μπορούν να επιδράσουν τόσο στο αστικό κλίμα όσο και στο μικροκλίμα εντός των κτηρίων, αλλά και γύρω από αυτά. Τα οφέλη της βλάστησης έχουν

συζητηθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο και από αυτά απορρέουν τα οφέλη των κάθετων πράσινων συστημάτων φύτευσης στο πεδίο των μεταβολών των περιβαλλοντικών συνθηκών.

Τα κατακόρυφα πράσινα συστήματα, όταν χρησιμοποιούνται ως ένα παθητικό σύστημα εξοικονόμησης ενέργειας, βασίζονται σε τέσσερις μηχανισμούς:

- μείωσης της ηλιακής ακτινοβολίας, λόγω της σκιάς που δημιουργείται από τη βλάστηση
- μόνωσης θερμικής, που προσφέρει η βλάστηση και το υπόστρωμα
- ψύξης, ως αποτέλεσμα της εξατμισοδιαπνοής των φυτών και του υποστρώματος
- μεταβολής του τρόπου επίδρασης του ανέμου στο κτήριο.

Σημαντική είναι η απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία διαφορετικά θα προσέπιπτε στην πρόσοψη του κτηρίου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα αφενός να μειώνεται η θερμοκρασία στις εξωτερικές επιφάνειες των κτηρίων και αφετέρου να μειώνεται η θερμοκρασία του αέρα στην εξωτερική και πάλι πλευρά των προσόψεων, απόρροια του φαινομένου της εξατμισοδιαπνοής το οποίο οδηγεί σε μείωση της θερμοκρασίας του αέρα. Με αυτόν τον τρόπο, η μείωση της εξωτερικής θερμοκρασίας των προσόψεων, οδηγεί σε μείωση τόσο της θερμοκρασίας στις εσωτερικές επιφάνειες των προσόψεων όσο και στον αέρα στο εσωτερικό των κτηρίων. Σε αυτό συμβάλλει και το φαινόμενο του δροσισμού, το οποίο παρατηρείται πιο έντονα όταν οι πράσινοι τοίχοι και προσόψεις απέχουν από την πρόσοψη του κτηρίου, όταν, δηλαδή, δεν εφάπτονται στο κτήριο.

Η συνολική επίδραση των πράσινων τοίχων οδηγεί σε μείωση των θερμικών απωλειών των κτηρίων, άρα και σε βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων, με το μεγαλύτερο όφελος να εντοπίζεται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και κατά τις θερμές ημέρες και μικρότερο όφελος να εντοπίζεται κατά τις ψυχρότερες ημέρες ή κατά τις ημέρες με αυξημένες νεφώσεις.

Αναφορικά δε με την επίδραση των πράσινων τοίχων στο αστικό περιβάλλον, οδηγούν σε μείωση της θερμοκρασίας ιδίως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, με τα οφέλη

να γίνεται πιο αντιληπτά όταν πράσινοι τοίχοι εγκαθίστανται σε όλες τις προσόψεις των κτηρίων που βρίσκονται εκατέρωθεν ενός δρόμου, καθώς δημιουργούνται με τον τρόπο αυτό ψυχρές χαράδρες.

Η ενσωμάτωση πρασίνου σε προσόψεις κτηρίων θα μπορούσε να βοηθήσει στον μετριασμό της επίδρασης της αστικής θερμικής νησίδας μειώνοντας τη θερμοκρασία του αέρα σε μια μεγάλη αστική περιοχή. Επίσης, διαπιστώθηκε πως υπάρχει σημαντική δυνατότητα μείωσης των αστικών θερμοκρασιών, όταν το κέλυφος του κτηρίου καλύπτεται με βλάστηση. Η μείωση της θερμοκρασίας του αέρα στο επίπεδο της οροφής μπορεί να φτάσει έως και τους 26°C μέγιστο και $12,8^{\circ}\text{C}$ κατά μέσο όρο την ημέρα στο Ρυάντ, ενώ στο εσωτερικό του φαραγγιού οι μειώσεις φτάνουν έως και τους $11,3^{\circ}\text{C}$ μέγιστο και τους $9,1^{\circ}\text{C}$ κατά μέσο όρο την ημέρα, στο Ρυάντ και πάλι που είναι άνυδρο και θερμό. Από αυτές τις τιμές μπορούμε να συμπεράνουμε ότι όσο πιο ζεστό και ξηρό είναι ένα κλίμα, τόσο μεγαλύτερη είναι η επίδραση της βλάστησης στις μειώσεις στις αστικές θερμοκρασίες. Ωστόσο, έχει επισημανθεί ότι και τα υγρά, θερμά κλίματα μπορούν να ωφεληθούν από τις πράσινες επιφάνειες, ειδικά όταν τόσο οι τοίχοι όσο και οι στέγες καλύπτονται με βλάστηση, φτάνοντας έως και $8,4^{\circ}\text{C}$ μέγιστη μείωση θερμοκρασίας (Χονγκ Κονγκ). Η μείωση της θερμοκρασίας λόγω της βλάστησης επηρεάζεται περισσότερο από την ίδια τη βλάστηση (ποσότητα και γεωμετρία), από ότι από τον προσανατολισμό του φαραγγιού σε θερμές περιόδους. (Alexandri & Jones, 2008).

Γενικά, όσο μεγαλύτερες ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας δέχεται μια επιφάνεια, τόσο μεγαλύτερη είναι η μείωση της θερμοκρασίας της όταν καλύπτεται από βλάστηση. Για τις χαμηλές ταχύτητες αέρα μέσα στο αστικό φαράγγι, η κατεύθυνση του ανέμου δεν έχει καμία σημαντική επίδραση στη μείωση της θερμοκρασίας λόγω της βλάστησης. Όσον αφορά την αστική γεωμετρία, όσο πιο φαρδύ είναι το αστικό φαράγγι, τόσο πιο μικρή είναι η επίδραση των πράσινων στεγών και των πράσινων τοίχων στη μείωση της θερμοκρασίας. Για όλα τα κλίματα που εξετάστηκαν, οι πράσινοι τοίχοι έχουν ισχυρότερη επίδραση από τις πράσινες στέγες μέσα στο φαράγγι. Ωστόσο, οι πράσινες

στέγες έχουν μεγαλύτερη επίδραση σε επίπεδο στέγης και, κατά συνέπεια, σε αστική κλίμακα. Ο συνδυασμός πράσινων στεγών και πράσινων τοίχων οδηγεί στον υψηλότερο μετριασμό της θερμοκρασίας μέσα στο φαράγγι. Εάν εφαρμοστούν μόνο σε ένα οικοδομικό τετράγωνο, οι πράσινες στέγες και οι πράσινοι τοίχοι μπορούν να δημιουργήσουν μια μικρή περιοχή μετριασμένων θερμοκρασιών στο φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας, όπως έχει αποδειχθεί σε αυτή τη μελέτη. Εάν εφαρμοστούν σε ολόκληρη την κλίμακα της πόλης, θα μπορούσαν να μετριάσουν τις αυξημένες αστικές θερμοκρασίες και, ειδικά για ζεστά κλίματα, να μειώσουν τις θερμοκρασίες σε πιο «φιλικά προς τον άνθρωπο» επίπεδα και να επιτύχουν εξοικονόμηση ενέργειας για ψύξη κτιρίων από 32% σε 100%. Σημαντική είναι και η εξοικονόμηση νερού άρδευσης, εάν χρησιμοποιούνται κατάλληλες τεχνικές άρδευσης με σωστή διαχείριση και επαναχρησιμοποίηση των ομβρίων αλλά και των γκρίζων νερών (από νιπτήρες, πλυντήρια, μπανιέρες κλπ, αφού πρώτα φιλτραριστούν) του κτηρίου (Alexandri & Jones, 2008).

Όπως αναφέρεται σε μελέτη των Bano και Dervishi (2021) τα συστήματα πράσινου βελτιώνουν την ποιότητα του αέρα (Morani et al., 2011), διατηρούν την αστική βιοποικιλότητα (Alvey, 2006) και επηρεάζουν θετικά την ανθρώπινη υγεία και ευημερία. Οι συνέπειες της αστικής θερμικής νησίδας, η ατμοσφαιρική ρύπανση και οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου είναι οι κύριοι παράγοντες που οδηγούν σε ασθένειες που σχετίζονται με τη ζέστη και την αύξηση του ποσοστού θνησιμότητας των πολιτών (Raji, 2015). Στο επίπεδο του μεμονωμένου κτιρίου, οι Perez et al. (2015) αναφέρουν τέσσερα σημαντικά πλεονεκτήματα του πρασίνου, συμπεριλαμβανομένου του εφέ σκίασης (Wong et al. 2009), της ψύξης με εξάτμιση (Perez et al. 2014), της δυνατότητας εξοικονόμησης ενέργειας, αφού οι πράσινοι τοίχοι λειτουργούν ως εμπόδιο και προστατεύουν το κτήριο από την ακτινοβολία και τη διεύδυση θερμότητας (Papadopoulou, 2013) και τέλος λειτουργούν ως θερμομόνωση (Jim, 2015). Οι Larsen et al. (2014) απέδειξαν ότι η χρήση φυτών αντί για περσίδες προσφέρει καλύτερα αποτελέσματα, όσον αφορά την απόδοση σκίασης. Επιπλέον, η θερμοκρασία της επιφάνειας του φυτού δεν ξεπερνά ποτέ τους 35°

C, ενώ η θερμοκρασία των περσίδων μπορεί να ξεπεράσει τους 55° C (όπ. αναφ. στο Bano & Dervishi (2021))

Οι Perez et al. (2015) αναφέρουν ότι το αποτέλεσμα ψύξης είναι ένα άλλο όφελος που προσφέρουν τα συστήματα βλάστησης στο κέλυφος του κτιρίου λόγω της διαδικασίας της εξατμισοδιαπνοής. Παρατηρείται μέγιστο αποτέλεσμα ψύξης ενός κατακόρυφου συστήματος πρασίνου κατά τη διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου με καλύτερη απόδοση σε τοποθεσίες με περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία. Με βάση μια ερευνητική μελέτη που αναπτύχθηκε από τον Hoyano (1988), τόσο η βλάστηση όσο και το υπόστρωμα προσφέρουν μόνωση.

Σε πείραμα που έγινε στο Πανεπιστήμιο του Nottingham, στο Jubilee Campus, από τους Cuce et al. το 2016, μετρήθηκαν οι εσωτερικές θερμοκρασίες του τοίχου σε διάφορες χρονικές στιγμές και συνθήκες και ακολούθησε σύγκριση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων με τις θερμοκρασίες των συνηθισμένων τοίχων, ώστε να αποκομιστούν αξιόπιστα και πραγματικά δεδομένα. Οι διαφορετικές συνθήκες (συννεφιά κλπ) του ουρανού θεωρήθηκαν στο πλαίσιο αυτής της έρευνας ως ανεξάρτητη μεταβλητή. Τα αποτελέσματα του πειράματος αυτού επαληθεύτηκαν από συγκεκριμένα αριθμητικά μοντέλα μέσω του εργαλείου περιβαλλοντικής ανάλυσης Ecotect. Τα αποτελέσματα ήταν πολύ ενθαρρυντικά και πολλά υποσχόμενα για μελλοντική εφαρμογή των πράσινων συστημάτων, αφού έδειξαν πως είναι δυνατό και πραγματικό γεγονός να επιτευχθεί μείωση της θερμοκρασίας του εσωτερικού τοίχου του κτηρίου κατά μέσο όρο 2,5° C, με την κατασκευή πράσινων τοίχων πάχους περίπου 10 cm, με αναρριχητικά φυτά, στη προκειμένη τα φυτά του είδους *Hedera helix*.

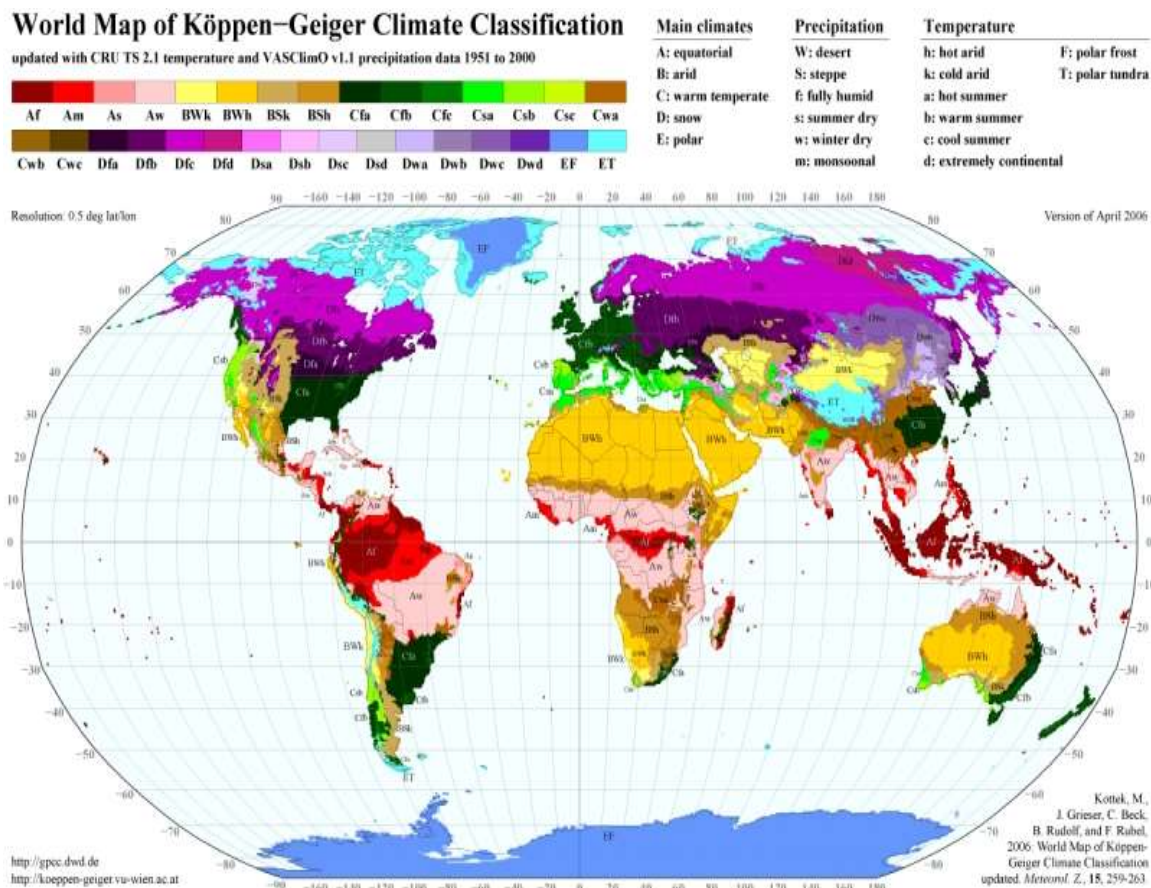
Επιπλέον, παρατηρείται οπτική αναβάθμιση, με το τοπίο να αλλάζει ριζικά και να δημιουργεί ευχάριστα οπτικά συναισθήματα. Βελτιώνεται, δηλαδή, η αισθητική του τοπίου, η οποία επιδρά θετικά στον άνθρωπο. Ακόμα, παρατηρείται μείωση των αιωρούμενων ρύπων, καθώς μέρος τους απορροφάται από τους πράσινους τοίχους. Επίσης, μπορεί να αντιμετωπιστεί αποτελεσματικά το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας. Τα οφέλη αυτά μπορούν να ενισχυθούν σημαντικά μέσα από την εφαρμογή και

άλλων μέτρων βιοκλιματικού σχεδιασμού, προκειμένου οι πράσινοι τοίχοι να λειτουργήσουν συνεργιστικά με άλλες παρεμβάσεις, όπως ψυχρά υλικά, ανακλαστικές επιστρώσεις, πράσινες στέγες, υδάτινες επιφάνειες κ.α..

Τα σημαντικά αυτά πλεονεκτήματα των πράσινων τοίχων, των πράσινων στεγών και γενικότερα των πράσινων υποδομών κεντρίζουν το ενδιαφέρον των ερευνητών επιστημόνων πολλών ειδικοτήτων, οι οποίοι συχνά συνεργάζονται για την επίτευξη των πειραμάτων και τη συλλογή αξιόπιστων πληροφοριών.

5.4. Απόδοση των πράσινων τοίχων ανάλογα με το κλίμα, τα πολεοδομικά χαρακτηριστικά, τα υλικά δόμησης

Η απόδοση όχι μόνον των πράσινων τοίχων, αλλά και κάθε παρέμβασης βιοκλιματικού σχεδιασμού εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό, μεταξύ άλλων από το κλίμα της περιοχής εφαρμογής.



Εικόνα 5-11: Κατηγορίες κλιμάτων κατά Korpen (Kotttek, et al., 2006)

Μεσογειακό κλίμα και κάθετη βλάστηση

Τα αποτελέσματα έρευνας των Bano & Dervishi (2021) σχετικά με την επίδραση της κάθετης βλάστησης στη θερμική και ενεργειακή απόδοση των προσόψεων πολυώροφων κτιρίων γραφείων σε μεσογειακό κλίμα, υπογραμμίζουν την αποτελεσματικότητα των στρατηγικών βλάστησης σε αδιαφανείς τοίχους, με ένα σημαντικό εύρος μείωσης της ενέργειας από 9% έως 11% για περιπτώσεις αναλογίας παράθυρου-τοίχου 50% και από 3% έως 6% για αναλογία παράθυρου-τοίχου 70%, με 1° C έως 2° C αύξηση της θερμοκρασίας στους εσωτερικούς χώρους κατά τη χειμερινή περίοδο.

Επιπλέον, αποδείχθηκε ο αντίκτυπος της αποτελεσματικότητας του κάθετου πρασίνου κήπου και σε κτήριο μόνο με τζάμια, με γυάλινη πρόσοψη, που σπάνια αναφέρεται σε προηγούμενες μελέτες, καταγράφοντας σημαντική μείωση της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα κατά 4,7 C και της ακτινοβολούμενης θερμοκρασίας κατά 9° C την καλοκαιρινή περίοδο, που αντιστοιχεί σε εξοικονόμηση ενέργειας από 14% έως και 34%. Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής δημιουργούν ένα θεμελιώδες πλαίσιο για τα πρώτα στάδια λήψης αποφάσεων σχεδιασμού, καθώς επηρεάζεται η υπερθέρμανση η οποία μειώνεται και βελτιώνεται η θερμική άνεση των εσωτερικών χώρων, με επίπτωση στην ψυχολογία και την ευχάριστη διάθεση των χρηστών αυτών των κτηρίων. Αρκετές μεταβλητές σχεδιασμού λήφθηκαν υπόψη (της αναλογίας παράθυρου - τοίχου, του δείκτη επιφάνειας φύλλων, του ύψους των επιλεγμένων φυτών και του τρόπου εφαρμογής της πράσινης πρόσοψης), για την υλοποίηση μιας ολοκληρωμένης ανάλυσης για την ενεργειακή απόδοση του κτηρίου μελέτης.

Η έρευνα των Bano και Dervishi (2021) αναδεικνύει την προσφορά της ενσωμάτωσης συστημάτων πρασίνου στους αδιαφανείς τοίχους που επιδρούν ως μονωτικό υλικό και έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση της ενέργειας για θέρμανση κατά 60% και 48% στο κτήριο μελέτης περίπτωσης με αναλογία παράθυρου-τοίχου 50% και 70% αντίστοιχα. Η μονωτική επίδραση που προσφέρει η βλάστηση στους αδιαφανείς τοίχους μπορεί να είναι ο λόγος για το σημαντικό ποσοστό βελτίωσης της κατανάλωσης θέρμανσης σε σύγκριση με τη γυμνή πρόσοψη.

Επιπλέον, υπάρχει μια αύξηση 3% και 1% στη ζήτηση ενέργειας για ψύξη, όταν συστήματα πρασίνου εφαρμόζονται στο κτίριο με ποσοστό 50% και 70% στην αναλογία παραθύρου προς τοίχο, αντίστοιχα. Η ενσωμάτωση φυτών σε ένα κτιριακό γυάλινο περίβλημα αυξάνει σημαντικά τη ζήτηση θέρμανσης σε σύγκριση με το σενάριο χωρίς πράσινο, ενώ από την άλλη επηρεάζει θετικά τα ψυκτικά φορτία. Το περιβάλλον μικροκλίματος που σχηματίζεται στην κοιλότητα αέρα μεταξύ της βλάστησης και του κελύφους του κτιρίου μειώνει την απώλεια θερμότητας μέσω της πρόσοψης του κτιρίου

και ταυτόχρονα βελτιστοποιεί τη θερμοκρασία του αέρα και την ταχύτητα του ανέμου (Schettini, 2016).

Ο δείκτης επιφάνειας φύλλων και ο αντίκτυπος του ύψους των φυτών στην κατανάλωση ενέργειας, τον εσωτερικό αέρα και τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας ήταν ασήμαντοι για όλα τα προσομοιωμένα σενάρια τόσο για τα κτίρια μελέτης περίπτωσης με αναλογία παράθυρου προς τοίχο 50% όσο και 70%.

Τέλος, λαμβάνοντας υπόψη την αναλογία 100% παράθυρο προς τοίχο, οι τέσσερις προσομοιωμένες στρατηγικές πράσινης πρόσοψης για όλους τους προσανατολισμούς βελτιώνουν τις θερμοκρασίες της επιφάνειας τόσο για εσωτερικούς όσο και για εξωτερικούς χώρους.

Η ενσωμάτωση συστημάτων πρασίνου χρησιμοποιώντας γλάστρες σε μπαλκόνια είχε ως αποτέλεσμα το πιο αποτελεσματικό σενάριο μείωσης της θερμοκρασίας της εξωτερικής επιφάνειας κατά 2,5°C και 4,5°C για τις προσόψεις με βόρειο και δυτικό προσανατολισμό, αντίστοιχα.

Η υλοποίηση πράσινων προσόψεων με χρήση εξωτερικών κατασκευών για στήριξη οδήγησε στο πιο αποτελεσματικό σενάριο, με μείωση της θερμοκρασίας κατά 7,4°C και 7,7°C της εξωτερικής επιφάνειας, για τις προσόψεις με νότιο και ανατολικό προσανατολισμό, αντίστοιχα. Παρόμοια αποτελέσματα παρέχονται για την πρόσοψη με βόρειο προσανατολισμό όταν το σύστημα πρασίνου εφαρμόζεται χρησιμοποιώντας πλέγματα για στήριξη.

Επιπλέον, όταν συγκρίνονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τη θερμοκρασία της εσωτερικής γυάλινης επιφάνειας, τα συστήματα πρασίνου που χρησιμοποιούν πλέγματα για υποστήριξη αποδεικνύονται τα πιο αποτελεσματικά για όλους τους προσανατολισμούς της πρόσοψης. Υπάρχουν πολλά που θα πρέπει να μελετηθούν και να συζητηθούν από επιστήμονες διαφορετικών ειδικοτήτων, ώστε να υπάρξει μελλοντικά μια πιο λεπτομερής και εμπειριστατωμένη έρευνα, η οποία θα

λαμβάνει υπόψη πολλαπλές παραμέτρους και όχι μόνο αυτές που συμπεριέλαβαν οι Bano και Dervishi, τις κλιματολογικές συνθήκες, τα κτήρια με πράσινες προσόψεις σε μεσογειακό κλίμα (Bano & Dervishi, 2021).

Σε μελέτη των Perez et al. (2011) σε πράσινη πρόσοψη διπλής όψης, σε μεσογειακό και ξηρό ηπειρωτικό κλίμα, άνοιξη και καλοκαίρι, επισημάνθηκαν και επιβεβαιώθηκαν αλλαγές στις τιμές των θερμοκρασιών στις επιφάνειες των προσόψεων και στον βαθμό φωτισμού και σκίασης, ως απόρροια της αποτροπής της ηλιακής ακτινοβολίας από την ύπαρξη των πράσινων, φυτεμένων προσόψεων. Επίσης, οι περιβαλλοντικές μετρήσεις στην περιοχή γύρω από το υπό μελέτη κτήριο, έδειξαν μειωμένη θερμοκρασία και αυξημένη υγρασία, επιβεβαιώνοντας την άποψη ότι οι πράσινοι τοίχοι δημιουργούν ένα μικροκλίμα στην ενδιάμεση περιοχή, δημιουργώντας ένα φράγμα αιολικής ενέργειας και αύξησης της επίδρασης της εξατμίσης από τη διαπνοή των φυτών.

Ζεστό, ξηρό κλίμα και πράσινοι τοίχοι

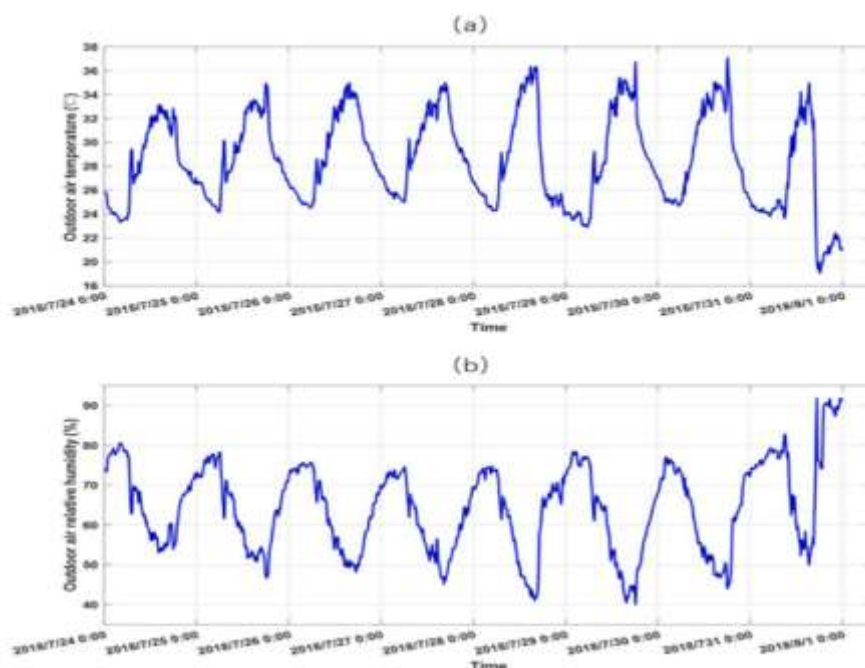
Οι Haggag et al. (2014) διαπίστωσαν ότι οι πράσινοι, ζωντανοί τοίχοι μείωσαν τη θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα στο ζεστό και ξηρό κλίμα του Άμπου Ντάμπι. Η μελέτη διεξήχθη σε έναν in situ ζωντανό τοίχο σε σχολικό κτίριο. Ο ζωντανός τοίχος κατασκευάστηκε με πλαστικά κουτιά ζαρντινιέρας διαστάσεων 30cm x 30cm x 25cm, τα οποία στερεώθηκαν μόνιμα στην εξωτερική επιφάνεια της κατασκευής του τοίχου, η οποία ήταν στρωμένη με αδιάβροχες μεμβράνες, εξοπλισμένες με στάγδην άρδευση και καλυμμένες με φυτικό φύλλωμα. Η μελέτη συνέκρινε τη θερμική απόδοση του ζωντανού τοίχου με τον γυμνό τοίχο. Διαπιστώθηκε ότι ο ζωντανός τοίχος θα μπορούσε να μειώσει τον χρόνο αιχμής της εσωτερικής θερμοκρασίας κατά τουλάχιστον 5°C κατά τον πιο ζεστό μήνα του καλοκαιριού, τον Ιούλιο. Η μελέτη ποσοτικοποίησε επίσης την εξοικονόμηση για ψυκτικό φορτίο. Το ψυκτικό φορτίο μειώθηκε από 1,35 MWh σε 1,07 MWh, με αποτέλεσμα 20% εξοικονόμηση ενέργειας για ψύξη μέσω της ανάπτυξης ενός πράσινου τοίχου (Haggag et al., 2014).

Υποτροπικό, υγρό κλίμα και συστήματα πράσινων στεγών και τοίχων

Οι Hao et al. (2020) σε έρευνα που πραγματοποίησαν στην πόλη Xiangtan, της επαρχίας Hunan στην Κίνα, **με υγρό υποτροπικό κλίμα** (Köppen Cfa), όπου παρατηρούνται μεγάλα και ζεστά καλοκαίρια και κρύοι χειμώνες. Προφανώς λόγω των ιδιαίτερων κλιματικών συνθηκών επέλεξαν να διερευνήσουν την επίδραση των κατακόρυφων συστημάτων πρασίνου και πράσινων στεγών στον εσωτερικό χώρο και την κατάσταση της θερμοκρασίας σε κλιματιζόμενους χώρους/δωμάτια, μιας και τα κλιματιστικά σε αυτήν την περιοχή λειτουργούν σχεδόν όλο το 24ωρο, ιδιαίτερα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Επιπλέον, υπάρχουν λίγες πληροφορίες για το πώς τα κατακόρυφα συστήματα πρασίνου και οι πράσινες στέγες (VGS και GR) επηρεάζουν την εσωτερική λειτουργική θερμοκρασία ενός κλιματιζόμενου χώρου. Η λειτουργική θερμοκρασία θεωρείται ως δείκτης θερμικής άνεσης καθώς απεικονίζει τις συνδυασμένες επιδράσεις της θερμοκρασίας του αέρα και της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας (MRT).

Για τις ανάγκες του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν δύο δωμάτια, το ένα σε κτήριο εξοπλισμένο με κάθετο πράσινο και πράσινη οροφή και το άλλο χωρίς ίχνος πρασίνου, ούτε στους τοίχους ούτε στην οροφή. Τα δωμάτια ελέγχονταν χρησιμοποιώντας τα ίδια σημεία ρύθμισης θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα. Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων (μιας εβδομάδας, τέλος Ιουλίου) το καλοκαίρι του 2018, οι θερμικές περιβαλλοντικές παράμετροι εσωτερικού και εξωτερικού χώρου μετρήθηκαν και καταγράφηκαν. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η λειτουργική θερμοκρασία του δωματίου με VGS και GR μειώθηκε κατά μέσο όρο 0,4 °C με μέγιστο όριο τους 2,1 °C σε σύγκριση με το δωμάτιο χωρίς VGS και GR.

Επίσης, διαπιστώθηκε πως η επίδραση των VGS και GR στη λειτουργική θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι μεγαλύτερη από τη νύχτα. Επιπλέον, τα VGS και GR μειώνουν τη ταλάντωση της λειτουργικής θερμοκρασίας, δημιουργώντας ένα πιο σταθερό θερμικό περιβάλλον. Εκτελώντας προσομοιώσεις στον υπολογιστή καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου ψύξης (από 1 Ιουνίου έως 30 Σεπτεμβρίου), διαπιστώθηκε ότι η λειτουργική θερμοκρασία του δωματίου με VGS και GR μειώθηκε κατά 0,59–0,65 °C κατά τη διάρκεια της ημέρας (7:00 π.μ.–7:00 μ.μ.) και παρέμεινε σχεδόν αμετάβλητη τη νύχτα. Η μέγιστη και οι μέσες θερμοκρασίες εξωτερικού αέρα ήταν 37,1 °C και 28,5 °C, αντίστοιχα. Η σχετική υγρασία του εξωτερικού αέρα κυμαινόταν από 40% έως 90%, με πιο συχνή την τιμή πάνω από 60%. Η μέγιστη και μέση ένταση ηλιακής ακτινοβολίας ήταν 1011 W/m² και 234 W/m² αντίστοιχα. Κατά τη διάρκεια του πειράματος, τα κλιματιστικά και για τα δύο δωμάτια λειτουργούσαν διαρκώς, ώστε να διατηρείται η θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα στα καθορισμένα επίπεδα, τους 26° C. Κατά το πείραμα κανείς δεν εισήλθε στα 2 κλιματιζόμενα δωμάτια, ενώ οι θερμοκρασίες μετρούνταν αυτόματα. Στα παρακάτω σχήματα απεικονίζονται οι τιμές της εξωτερικής



θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας.

Εικόνα 5-12: (a) Καταγραφή θερμοκρασίας και (b) σχετικής υγρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος (Hao et al., 2020).

Κατά τη διάρκεια του πειράματος, η λειτουργική θερμοκρασία του δωματίου χωρίς πράσινο κυμαινόταν από 25,2 °C έως 27,5 °C, ενώ του δωματίου με VGR κυμαινόταν από 25,0 °C έως 26,2 °C (μειώθηκε κατά 1,1° C). Οι θερμικές αισθήσεις των δύο δωματίων ήταν ελαφρώς διαφορετικές, αν και δεν υπήρχε σχεδόν καμία διαφορά στις θερμοκρασίες των δύο δωματίων.

Συνοπτικά τα ευρήματα ήταν τα εξής:

- Η λειτουργική θερμοκρασία στο δωμάτιο με σύστημα VG και GR ήταν χαμηλότερη από αυτήν στο δωμάτιο χωρίς το σύστημα VG και GR, αν και τα δύο δωμάτια είχαν σχεδόν την ίδια θερμοκρασία εσωτερικού αέρα. Στο εσωτερικό η θερμοκρασία λειτουργίας μειώθηκε κατά 0,4 °C κατά μέσο όρο και μέγιστη θερμοκρασία 2,1° C με το σύστημα VG και GR.
- Το σύστημα VG και το GR μπορεί επίσης να ισοπεδώσει την ταλάντωση της εσωτερικής λειτουργικής θερμοκρασίας και της θερμικής άνεσης. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν μια μείωση κατά 1,1°C στην ταλάντωση της εσωτερικής θερμοκρασίας και ένα πιο σταθερό και άνετο θερμικό περιβάλλον εσωτερικού χώρου.
- Τα συστήματα VG και GR έχουν μεγαλύτερες επιπτώσεις στη θερμική άνεση κατά τη διάρκεια της ημέρας από ό,τι τη νύχτα. Η μέση μείωση της λειτουργικής θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της ημέρας ήταν 0,6 °C και 0,4 °C στο εικοσιτετράωρο.
- Οι θερμικές αισθήσεις στα 2 δωμάτια με και χωρίς σύστημα VG και GR ήταν διαφορετικές, αν και είχαν το ίδιο σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας. Προτείνεται αύξηση κατά 0,76–0,84°C στο σημείο ρύθμισης της ημέρας για το σύστημα κλιματισμού όταν υπάρχει VG και GR.

Το πρόσθετο σύστημα πρασίνου μπορεί να διατηρήσει την επιφάνεια της θωρακισμένης στέγης πιο δροσερή από την επιφάνεια της γυμνής στέγης, με αποτέλεσμα να μειώνει τη ζήτηση ψύξης του κτιρίου με κλιματιστικά συστήματα το καλοκαίρι. Οι πράσινες στέγες, καθώς και τα κάθετα συστήματα πρασίνου στα κελύφη των κτηρίων, μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά τη θερμική απόδοση και να μειώσουν τη θερμοκρασία της επιφάνειας της οροφής με βλάστηση (Hao et al., 2020).

Σε παρόμοια συμπεράσματα κατέληξε και το πείραμα των Feitoza & Wilkinson (2018), οι οποίοι ακολούθησαν την ίδια διαδικασία, δηλαδή χρησιμοποίησαν δύο κτήρια, το ένα είχε εγκαταστημένα ελαφριά και αρθρωτά συστήματα βλάστησης στους τοίχους και στην οροφή, ενώ το δεύτερο ήταν γυμνό. Το ζητούμενο ήταν να αξιολογηθεί ο βαθμός μετριασμού της θερμικής καταπόνησης μέσω της αναβάθμισης κτηρίων με πράσινη στέγη και πράσινο τοίχο. Η εκτίμηση της θερμικής καταπόνησης πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας την παράμετρο «δείκτης θερμότητας».

Από τη σύγκριση των δύο κτηρίων προέκυψε πως υπάρχει σημαντική βελτίωση στη θερμική απόδοση μέσω του συνδυασμού πράσινης στέγης και πράσινων τοίχων, μετριασμός του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας (UHI) και των εσωτερικών θερμοκρασιών στα κτίρια. Δεν εξετάστηκε μόνο η επίδραση της θερμοκρασίας στη θερμική καταπόνηση, αλλά υιοθετήθηκε η χρήση του δείκτη θερμότητας που περιλαμβάνει τη συνδυασμένη επίδραση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας. Για το σκοπό αυτό, τα θερμικά οφέλη της ανακατασκευής της πράσινης στέγης και του πράσινου τοίχου αξιολογήθηκαν σε δύο πειράματα μικρής κλίμακας, όπου συγκρίνονται πανομοιότυπα πρωτότυπα (με και χωρίς βλάστηση), χρησιμοποιώντας δομές γυψοσανίδας με μπλοκ και ξύλινο πλαίσιο για το Ρίο ντε Τζανέιρο στη Βραζιλία και το Σίδνεϊ, Αυστραλίας, αντίστοιχα.

Τα αποτελέσματα οδηγούν σε μια διαφορετική κατανόηση της αξιολόγησης της θερμικής καταπόνησης σχετικά με τον δείκτη θερμότητας και όχι την ίδια τη θερμοκρασία, ειδικά κάτω από υψηλά επίπεδα σχετικής υγρασίας. Καταδεικνύεται ότι η πράσινη στέγη και ο πράσινος τοίχος συμβάλλουν στην εξασθένιση του θερμικού στρες σε κτήρια κατοικιών. (Feitoza & Wilkinson, 2018).

Το πρασίνισμα του αστικού περιβάλλοντος, όπως έχει προαναφερθεί, μπορεί να είναι μια αξιολογη στρατηγική για την αντιμετώπιση των προβλημάτων της αστικής πυκνότητας. Πράσινες υποδομές, όπως πράσινες στέγες και πράσινοι τοίχοι, έχουν πολλαπλά πλεονεκτήματα (περιβαλλοντικά, κοινωνικά και οικονομικά) που βελτιώνουν την απόδοση των κτιρίων και το αστικό περιβάλλον. Ωστόσο, η εφαρμογή πράσινων στεγών και πράσινων τοίχων εξακολουθεί να είναι περιορισμένη, επειδή έχουν αυξημένο κόστος συγκριτικά με τις συμβατικές λύσεις.

Σε πρόσφατη μελέτη οι Manso et al. (2021) συγκρίνουν αυτά τα οικολογικά συστήματα με άλλες λύσεις, εξισορροπώντας τα μακροπρόθεσμα οφέλη και το κόστη. Η αβεβαιότητα όμως σχετικά με τον ποσοτικό προσδιορισμό του οφέλους, καθιστά δύσκολη τη σύγκριση των αποτελεσμάτων της έρευνας, αφού τα άυλα οφέλη, όπως η βελτίωση της ποιότητας ζωής και η ευημερία των χρηστών, δύσκολα ποσοτικοποιούνται. Παρέχεται μια ερευνητική ανασκόπηση για τα εξακριβωμένα οφέλη και τα κόστη που προκύπτουν από την εφαρμογή διαφορετικών τύπων πράσινων στεγών και πράσινων τοίχων. Αυτά χωρίστηκαν σε οφέλη σε σχέση με το κτήριο, σε οφέλη αστικής κλίμακας και κόστος κύκλου ζωής, εστιάζοντας στον προσδιορισμό της μεταβλητότητας των αποτελεσμάτων και στην αξιολόγηση της μέσης ποσοτικοποίησής τους. Γενικά, υπάρχουν λίγα στοιχεία σχετικά με τα άυλα οφέλη, όπως είναι η προαγωγή της ποιότητας ζωής και της ευημερίας. Επίσης, υπάρχουν λίγες μελέτες που ποσοτικοποιούν τα οφέλη και το κόστος των πράσινων τοίχων. Τα διαφορετικά χαρακτηριστικά των πράσινων συστημάτων, του περιβλήματος των κτιρίων, του περιβάλλοντος και των τοπικών καιρικών συνθηκών οδηγούν σε υψηλή μεταβλητότητα των δεδομένων.

Μια σύνοψη των αποτελεσμάτων ερευνών των Manzo et al. (2021) σχετικά με τα οφέλη και τα κόστη των πράσινων στεγών και πράσινων τοίχων αναφορικά με τα κτήρια και το αστικό περιβάλλον, αναφέρει ότι παρατηρείται υψηλή διακύμανση στα οφέλη, ιδίως όσον αφορά τη βελτίωση της κατανάλωσης ενέργειας, μετάδοσης ήχου (ηχομόνωσης), επεξεργασία και διαχείριση του γκρίζου νερού. Τα άυλα οφέλη από τις πράσινες στέγες και τους πράσινους τοίχους είναι η υγεία και ευημερία των κατοίκων, η αστική βιοποικιλότητα, η καλύτερη αισθητική ή ακόμα και η ψυχαγωγική αξία και σαφώς αυτά είναι πιο δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν. Οι ως τώρα διεξαχθείσες μελέτες

καταλήγουν στα ίδια συμπεράσματα, τονίζοντας ότι οι πράσινες στέγες και οι πράσινοι τοίχοι αναβαθμίζουν την ποιότητα ζωής στην πόλη και την ευημερία των αστών, ενισχύουν την οικολογική συνείδηση, επαναφέρουν τη βιοποικιλότητα, βελτιώνουν σε πολύ μεγάλο βαθμό την αισθητική του τοπίου και προδιαθέτουν τους χρήστες να επιθυμούν να ψυχαγωγηθούν σε πράσινες οροφές και σε κτήρια που είναι ταυτόχρονα όμορφοι και ελκυστικοί κήποι.

Όσον αφορά το κόστος κύκλου ζωής αυτών των συστημάτων, τα δεδομένα που αναλύθηκαν επιδεικνύουν υψηλή μεταβλητότητα μεταξύ των συστημάτων. Επίσης, σε σύγκριση με άλλες παραδοσιακές λύσεις, οι πράσινες στέγες και οι πράσινοι τοίχοι έχουν υψηλότερο κόστος εγκατάστασης και συντήρησης από άλλες λύσεις, και αυτό συχνά λειτουργεί αποτρεπτικά, επηρεάζοντας σε μεγάλο βαθμό την επιλογή τους.

Ωστόσο, οι πράσινες στέγες και οι πράσινοι τοίχοι συχνά έχουν διάρκεια ζωής μεγαλύτερη από τα παραδοσιακά ανακλαστικά υλικά (π.χ. ψυχρές στέγες). Εάν ληφθούν υπόψη όλα τα κτηριακά και αστικά οφέλη τους στην ανάλυση του κόστους κύκλου ζωής, οι πράσινες στέγες και οι πράσινοι τοίχοι μπορεί να έχουν μακροπρόθεσμα τη μεγαλύτερη εξοικονόμηση κόστους σε σχέση με τις συμβατικές λύσεις. Εμπόδιο στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων σε σχέση με το κόστος είναι η δυσκολία ποσοτικοποίησης των άυλων οφελών, όπως αναφέραμε παραπάνω.

Επίσης, η ανάλυση τους είναι αρκετά δύσκολη επειδή υπάρχει μεγάλη μεταβλητότητα στα δεδομένα στα περισσότερα οφέλη και κόστη. Το πεδίο ανάλυσής τους είναι ευρύ, επειδή επηρεάζεται και εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, όπως τα διαφορετικά χαρακτηριστικά των πράσινων συστημάτων (πράσινες στέγες ή πράσινοι τοίχοι), τα χαρακτηριστικών των κτηρίων στα οποία εφαρμόζονται και οι τοπικές καιρικές συνθήκες. Στην πραγματικότητα, όλα αυτά τα στοιχεία ενδέχεται να επηρεάσουν τα δεδομένα, αφού εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες και συνθήκες. Πάντως, είναι βέβαιο, ότι οι πράσινες στέγες έχουν τη δυνατότητα να γίνουν μια από τις πιο αποτελεσματικές στρατηγικές για τη μείωση του φαινομένου ((Urban Heat Island/UHI) αστικής θερμικής νησίδος, από τις πιο επιβαρυντικές καταστάσεις για τον άνθρωπο της πόλης (Manzo et al., 2021).

Επίσης, σε σύγκριση των πράσινων στεγών με γυμνές στέγες, έχουμε τα αποτελέσματα που αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα., τα οποία προέκυψαν από αρκετούς συγγραφείς. Οι μελέτες κατηγοριοποιήθηκαν ανάλογα με τη τοποθεσία που διεξήχθησαν και σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης κλίματος Korppen – Geiger.

Φαίνεται πως κυρίως μελετήθηκε το μεσογειακό κλίμα με ζεστό καλοκαίρι (**Csa**), το τροπικό κλίμα των τροπικών δασών (**Af**), το τροπικό και υποτροπικό κλίμα της ερήμου (**Bwh**), το ζεστό ημίξηρο κλίμα (**BSh**), το κλίμα της θαλάσσιας δυτικής ακτής (**Cfb**) και το θερμό, καλοκαίρι σε υγρό ηπειρωτικό κλίμα (**Dfb**). Όλα τα αποτελέσματα χωρίστηκαν σε περιόδους ψύξης και θέρμανσης όταν εφαρμόστηκαν. Τα μονωμένα κτίρια διακρίθηκαν από τα μη μονωμένα. Επίσης, αναγράφονται τιμές από μελέτες που συνέκριναν πράσινες στέγες με λευκές στέγες (με υψηλή ανακλαστική οροφή με χαμηλό albedo) και πράσινες στέγες με άλλες επίπεδες στέγες (μαύρες στέγες).

Οι πράσινες στέγες, σε σύγκριση με τις μαύρες στέγες, παρέχουν επιπλέον θερμομόνωση, λόγω του πάχους του υποστρώματος. Επίσης, τα φυτά συμβάλλουν στην εξατμισοδιαπνοή, μειώνοντας τη θερμοκρασία στην επιφάνεια των στεγών.

Οι πράσινες στέγες είναι ενεργειακά πιο αποδοτικές από τις μαύρες στέγες σε όλα τα κλίματα. Ο Πίνακας 5-1 παρακάτω, δείχνει ότι επιτυγχάνεται η μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας, όταν συγκρίνουμε τις εντατικές πράσινες στέγες με τις μαύρες στέγες, ειδικά τις μη μονωμένες στέγες, φτάνοντας σε 84% εξοικονόμηση ενέργειας στην περίοδο ψύξης και 48% στην περίοδο θέρμανσης.

Επίσης, σε κλίμα *μεσογειακό με ζεστό καλοκαίρι (Csa)* οι πράσινες στέγες είναι αποτελεσματικότερες από τις λευκές, ιδιαίτερα σε περίοδο θέρμανσης και σε κτήρια μη μονωμένα. Δεν είναι όμως το ίδιο αποτελεσματικές στην περίοδο ψύξης, εκτός κι αν πρόκειται για εντατικές πράσινες στέγες, όπου επιδρά θετικά το παχύ υπόστρωμα

Στο τροπικό κλίμα (Af), όπου απαιτείται μόνο ψύξη, πειράματα από τους Wong et al. (2003) σε εμπορικό κτίριο στη Σιγκαπούρη, αποδεικνύουν ότι οι εκτεταμένες πράσινες στέγες δείχνουν μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας από τις μαύρες και σε μη μονωμένα κτήρια, αποκτώντας μέση εξοικονόμηση ενέργειας σε ποσοστό 63%.

Στο τροπικό κλίμα της ερήμου (Bwh), η εφαρμογή εκτεταμένων πράσινων στεγών δοκιμάστηκε από τους Zinzi και Agnoli (2012), στο Καΐρο της Αιγύπτου, αποδεικνύοντας ότι στην περίοδο θέρμανσης οι εκτεταμένες πράσινες στέγες είναι πιο αποτελεσματικές από τις λευκές και μαύρες στέγες, φτάνοντας το 22% και το 52% εξοικονόμηση ενέργειας, αντίστοιχα. Ωστόσο, στην ψυχρή περίοδο οι λευκές στέγες φαίνεται ότι είναι πιο αποτελεσματικές.

Στο ημίξηρο θερμό κλίμα (Bsh), το πείραμα των Ascioni et al. (2020), έδειξε εξοικονόμηση ενέργειας για ψύξη από την ημι-εντατική πράσινη στέγη 7,25% κατά μέσο όρο, σε σύγκριση με μια παραδοσιακή στέγη, αλλά και πάλι οι λευκές στέγες ήταν αποτελεσματικότερες.

Σε ψυχρά κλίματα (Cfb και Dfb), όπου οι χειμώνες απαιτούν περισσότερη θέρμανση, όλα τα είδη πράσινων στεγών έχουν αποδειχθεί πιο αποτελεσματικά από τις άσπρες και μαύρες στέγες. Επίσης η μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας με εκτεταμένες πράσινες στέγες στο ωκεάνιο κλίμα (Cfb) δείχνουν να είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές στην περίοδο ψύξης φτάνοντας στο 84% σε μονωμένα κτίρια και 100% σε μη μονωμένα κτίρια, αλλά όχι στη φάση θέρμανσης..

Πίνακας 5-1: Μέγιστη ενεργειακή απόδοση των πράσινων οροφών

Maximum energy savings of green roofs compared to black roofs and white roofs.

			Maximum Energy Efficiency (%)											
			Green roof versus Black roof						Green roof versus White roof					
Roof Type	Season	Insulation	Csa	Af	Bwh	Bsh	Cfb	Dfb	Csa	Af	Bwh	Bsh	Cfb	Dfb
Extensive Green Roofs	Cooling	Insulated	53 ^a	47	1	-	84	-1	-6	-	-65	-	-20	-21
		Non-insulated	54	79	11	-	100	-	-190	-	-115	-	-	-
	Heating	Insulated	53	-	22	-	8	8	73	-	54	-	16	10
		Non-insulated	48	-	23	-	-	48	71	-	54	-	-	-
Semi-Intensive Green Roofs	Cooling	Insulated	41	-	-	8	7	7	-8	-	-	-5	11	-12
		Non-insulated	67	-	-	-	-	-	-48	-	-	-	-	-
	Heating	Insulated	30	-	-	-	8	6	58	-	-	-	16	10
		Non-insulated	42	-	-	-	-	-	68	-	-	-	-	-
Intensive Green Roofs	Cooling	Insulated	62	-	-	-	10	11	4	-	-	-	-7	-7
		Non-insulated	84	-	-	-	-	-	29	-	-	-	-	-
	Heating	Insulated	29	-	-	-	6	5	57	-	-	-	14	9
		Non-insulated	48	-	-	-	-	-	71	-	-	-	-	-

^a Not considering the outlier value.

συγκρινόμενες με μαύρες και λευκές οροφές.

Πηγή: (Manzo et al. (2021)

Άλλοι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η απόδοση των πράσινων τοίχων και του βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι **τα πολεοδομικά χαρακτηριστικά της περιοχής εφαρμογής και τα υλικά δόμησης.**

Όπως ήδη αναφέρθηκε, ο λόγος ύψους δόμησης προς πλάτους ανοιγμάτων, ο προσανατολισμός, οι αστικές χαράδρες και άλλα χαρακτηριστικά τα οποία διαφέρουν από αστικό περιβάλλον σε αστικό περιβάλλον διαμορφώνουν διαφορετικά την απόδοση των πράσινων τοίχων.

Τέλος, σημαντική είναι η επίπτωση και συνεισφορά **των δομικών υλικών** στην απόδοση των πράσινων τοίχων. Όπως αναφέρθηκε στις παραγράφους 3.1.2 και 4.2, τα παραδοσιακά υλικά δόμησης, τα οποία συναντώνται στα περισσότερα υφιστάμενα κτήρια έχουν τέτοιες ιδιότητες, οι οποίες δεν βοηθούν στην ενεργειακή συμπεριφορά των κτηρίων και για το λόγο αυτό έχει γίνει εκτενής μελέτη για νέα υλικά, όπως τα ψυχρά υλικά, και για επιστρώσεις οι οποίες βελτιώνουν τη συμπεριφορά των δομικών υλικών όσον αφορά στην απορρόφηση και ανάκλαση ηλιακής ακτινοβολίας και στην απορρόφηση και μεταφορά ενέργειας.

Έρευνες στη Γερμανία έδειξαν ότι οι πράσινες στέγες υπερτερούν συγκρινόμενες με τις στέγες με χαλίκι σε πυροπροστασία, εμποδίζοντας την εξάπλωση φωτιάς καλύτερα. Ακόμη, περιορίζουν τη διείσδυση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και μικροκυμάτων μέχρι και 99,4%.

Ο Cuce (2017), συμπεραίνει ότι τα οφέλη είναι σημαντικότερα σε κτήρια όπου τα δομικά υλικά είναι σκούρα, με μεγάλους συντελεστές θερμικής απορρόφησης και χαμηλούς συντελεστές ανάκλασης (Cuce, 2017).

Οι Wong et al. (2010) με το πείραμα που διεξήγαγαν για να διερευνήσουν τη θερμική απόδοση μεταξύ πολλών διαμορφώσεων κάθετης πράσινης πρόσοψης στα τροπικά κλίματα της Σιγκαπούρης, χρησιμοποίησαν 8 διαμορφώσεις κάθετων πράσινων

προσώψεων και ένα γυμνό τοίχο από σκυρόδεμα χωρίς βλάστηση ως τοίχος ελέγχου. Όλες οι προσόψεις κατασκευάστηκαν από τοίχους από μπετόν με πλάτος, ύψος και πάχος 4m, 8m και 0,3m αντίστοιχα. Η μελέτη κατέληξε στο συμπέρασμα **ότι τα πλέγματα και τα αρθρωτά πάνελ** είναι οι καλύτερες διαμορφώσεις πράσινου τοίχου που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τη μείωση της θερμοκρασίας της πρόσοψης σε ζεστά και υγρά κλίματα. Ως εκ τούτου, με βάση αρκετές εμπειρικές μελέτες, συμπεραίνεται ότι η ενοποίηση των πράσινων ζωντανών τοίχων με τα κτίρια είναι σε θέση να παρέχει ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 18% έως 32%.

Αντιπροσωπευτική ήταν η μελέτη των Wong et al. (2009) που αξιολογούσε τη θερμική επίδραση των συστημάτων πρασίνου στην ενεργειακή απόδοση ενός κτηρίου όλου με τζάμι. Τα αποτελέσματα απέδειξαν την αποτελεσματικότητα του κατακόρυφου πρασίνου στη μείωση της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας ενός κτιρίου, εάν η γυάλινη πρόσοψη ήταν πλήρως καλυμμένη, κυμαινόμενη από 49,94° C έως 45,81° C μέγιστη θερμοκρασία ακτινοβολίας με 12,45% μείωση ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη τις κλιματικές συνθήκες της Σιγκαπούρης. Το κατακόρυφο πράσινο παρέχει ένα παθητικό αποτέλεσμα ψύξης για το κτίριο και έτσι μειώνει το ενεργειακό ψυκτικό φορτίο για το κτίριο. Η μελέτη ανέφερε ότι το κατακόρυφο σύστημα πρασίνου μπορεί να μειώσει τη ζήτηση για ψύξη κατά 32% περίπου, ανάλογα με το σύστημα κάλυψης πρασίνου..

Οι Pulselli et al. (2014) συμπέραναν ότι η απόδοση των πράσινων τοίχων αυξάνει σε κτήρια με χαμηλή ενεργειακή απόδοση, ενώ σε κτήρια με υψηλότερη ενεργειακή απόδοση, όπου οι προσόψεις είναι καλυμμένες με θερμομόνωση, η ωφέλεια είναι μικρότερη, αλλά παραμένει σημαντική (Pulselli, et al., 2014). Επιπλέον, στο ίδιο άρθρο τους, καταλήγουν ότι η δημιουργία ενός διάκενου γύρω στο ένα μέτρο, ανάμεσα στον πράσινο τοίχο και την πρόσοψη του κτηρίου αυξάνει σημαντικά την απόδοση του πράσινου τοίχου, ιδίως μέσα από τη διευκόλυνση της διαδικασίας του φυσικού δροσισμού.

Οι Kontoleon και Eumorphoulou (2010) κατά την πειραματική μελέτη τους για **την επίδραση του προσανατολισμού των πράσινων** τοίχων στη θερμική απόδοση ενός

κτιρίου, μοντελοποίησαν έναν πράσινο τοίχο με πάχος 20 εκ. και τον τοποθέτησαν σε τέσσερις κατευθύνσεις ενός κτιρίου, κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού στην Ελλάδα. Συγκεκριμένα, στον βόρειο, νότιο, ανατολικό και δυτικό τοίχο. Οι μετρήσεις έδειξαν ότι ο τοίχος με δυτικό προσανατολισμό είχε το υψηλότερο ετήσιο ψυκτικό φορτίο στο 18%.

Όπως αναφέρουν οι Barriuso και Urbano, 2021 οι πράσινες στέγες και οι πράσινοι τοίχοι συνιστώνται ιδιαίτερα για τη βελτίωση του περιβάλλοντος στις πόλεις και τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, γιατί μπορούν να τροποποιήσουν το οικοσύστημα της πόλης. Έχει αποδειχθεί ότι μετριάζουν το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας (UHI) (Nastran et al., 2019), μειώνουν το φαινόμενο θερμοκήπιου (Loh, 2008), μετριάζουν τους περιβαλλοντικούς ρύπους (Hewitt et al. 2020), διαχειρίζονται τα αστικά όμβρια ύδατα απορροή (Quin et al., 2013), μειώνουν την αστική ηχορύπανση (Lopez, 2018) και ενισχύουν τη βιοποικιλότητα (Castleton et al. 2010). Αστικές επιφάνειες που δεν χρησιμοποιούνται, όπως τοίχοι κτιρίων, στέγες και ανοιχτοί χώροι, θα μπορούσαν να καλυφθούν με βλάστηση για να πετύχουμε τον καλύτερο δυνατό μετριασμό της αστικής περιβαλλοντικής και κλιματικής αλλαγής. Ωστόσο, η περιβαλλοντική απόδοση των πράσινων συστημάτων (οροφών και τοίχων) ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με το σχεδιασμό τους (Berardi, 2014), για παράδειγμα, την κλίση, την πυκνότητα βλάστησης, το ποσοστό κάλυψης, την τοποθεσία, τον ιδιοκτήτη, το έτος κατασκευής κ.λπ. Τα προαναφερθέντα ευρήματα ενθαρρύνουν τους ερευνητές να επικεντρωθούν στην αξιολόγηση των περιβαλλοντικών οφελών λόγω της εφαρμογής και σχεδιασμού των πράσινων οροφών και τοίχων (όπως αναφ. στο Barriuso and Urbano, 2021)

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο τύπος σχεδιασμού των πράσινων στεγών και τοίχων μπορεί να βελτιώσει το κλίμα των πόλεων. Στη μείωση UHI, ο σχεδιασμός ενός πρασίνου τοίχου και στέγης μπορεί να μειώσει τη θερμοκρασία του αέρα επιπλέον κατά 6,2 C. Η εφαρμογή μιας ημιεντατικής πράσινης στέγης μπορεί να μειώσει τη θερμική αντίσταση του κτιρίου κατά 0,15 W/m² K ως προς το εμβαδό της πράσινης στέγης. Στη μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου, ο δεσμευμένος άνθρακας σε δύο καλλιεργητικές περιόδους σε στέγη με *Sedum acre* (Σέδον το Δριμύ, αμάραντο, κοχυλόχορτο/παχύφυτο) είναι 175g C m⁻² φορές μεγαλύτερο από ό,τι σε στέγη με *Sedum*

album (σταφύλι γάτας/παχύφυτο). Μια πράσινη στέγη και τοίχος με ένα τετραγωνικό μέτρο περισσότερης επιφάνειας albedo μπορεί να εξαλείψει 38,0 kg περισσότερο CO₂.

Σχετικά με τη διαχείριση/απορροή των όμβριων υδάτων, οι πράσινες στέγες που έχουν εφαρμοστεί σε ξηρά κλίματα διατηρούν 15,3% περισσότερα όμβρια ύδατα από τις πράσινες στέγες σε ηπειρωτικά κλίματα. Μια εντατική πράσινη στέγη μετριάξει μέχρι και 40% την απορροή.

Μια οροφή με χαμηλή ανάπτυξη βλάστησης μειώνει τα επίπεδα αστικής ηχορύπανσης και τον χρόνο αντήχησης στα 500 Hz κατά 9,3 dB και 81%, αντίστοιχα. Οι σχεδιαστές και οι πολεοδόμοι για τη χωροθέτηση πρασίνου στις πόλεις πρέπει να επικεντρωθούν στη μείωση της θερμοκρασίας και στη μείωση της αστικής ηχορύπανσης μέσω των παρεμβάσεων πράσινης στέγης και πράσινων τοίχων.

Τα αποτελέσματα ενθαρρύνουν το πράσινο στις περισσότερες κατοικημένες πόλεις που βρίσκονται στην Αφρική και την Ασία λόγω των προσδοκιών αύξησης του πληθυσμού. Στην Ευρώπη και την Αμερική, οι σχεδιαστές πράσινων στεγών και τοίχων θα πρέπει να επικεντρωθούν στην καλύτερη διαχείριση του νερού απορροής αυξάνοντας το πάχος του υποστρώματος του πρασίνου και μονώνοντας καλύτερα τα παλαιότερα κτίρια. Αμερική και Ευρώπη παρουσίασε τη μικρότερη μείωση σε κατανάλωση ενέργειας λόγω των πράσινων τοίχων και στεγών με τη μεγαλύτερη θερμική μετάδοση (Barriuso & Urbano, 2021).

Κλείνοντας, και με βάση την πρόσφατη μελέτη των Azis et al. (2019), αποδεικνύεται στατιστικά ότι η ενσωμάτωση τόσο των πράσινων στεγών όσο και των πράσινων τοίχων είναι σημαντική και κατάλληλη για χώρες που είναι ηλιόλουστες πολλούς μήνες ετησίως, όπως για παράδειγμα η χώρα μας. Η ενσωμάτωση των πράσινων τοίχων συμβάλλει περισσότερο στην ετήσια εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας σε σύγκριση με την εφαρμογή πράσινων στεγών, αφού το ελάχιστο στις πράσινες στέγες είναι 15% μείωση ενώ στους πράσινους τοίχους 18%.



ΕΛΛΗΝΙΚΟ
ΑΝΟΙΚΤΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΝ

Εξέταση της Βιοκλιματικής και Περιβαλλοντικής Απόδοσης των
Τοίχων στο Αστικό Περιβάλλον

6. Ανάλυση της επιλεγμένης βιβλιογραφίας

Σε αυτό το κεφάλαιο παρατίθεται η ανάλυση της επιλεγμένης βιβλιογραφίας, που μελετήθηκε και καταγράφονται τα αποτελέσματα που σχετίζονται με την απόδοση των διαφορετικών συστημάτων φύτευσης. Η ανάλυση παρατίθεται αρχικά συνοπτικά σε μορφή πίνακα και έπειτα ακολουθούν τα συμπεράσματα και η συζήτηση των ευρημάτων.

Πίνακας 6-1: Μελέτες για την απόδοση συστημάτων κάθετης φύτευσης και πράσινων οροφών

Αναφορά	Είδος μελέτης	Τύπος πράσινου τοίχου	Κλίμα	Διάρκεια μελέτης	Αποτελέσματα
(Wong, et al., 2010)	Πείραμα	Πράσινες προσόψεις και ζωντανοί τοίχοι	Τροπικό	3 ημέρες (χειμώνα, άνοιξη, καλοκαίρι)	Μείωση της εξωτερικής επιφανειακής θερμοκρασίας έως 8,6°C και αισθητή μείωση της θερμοκρασίας αέρα μέχρι και 60cm μακριά από την πρόσοψη
(Kontoleon & Eumorphoulou, 2010)	Προσομοίωση	Πράσινες προσόψεις	Μεσογειακό	Ένα καλοκαίρι	Μέση εξοικονόμηση ενέργειας ψύξης από 4,7% για τοποθέτηση σε βόρεια πρόσοψη έως 20,2% για τοποθέτηση σε δυτική πρόσοψη.
(Hui & Zhao, 2013)	Προσομοίωση	Ζωντανοί τοίχοι	Τροπικό		Μείωση της απορρόφησης θερμότητας από την πρόσοψη του κτηρίου έως 50%
(Mazzali, et al., 2013)	Πείραμα	Ζωντανοί τοίχοι	Μεσογειακό	Ένα καλοκαίρι	Μείωση της εξωτερικής θερμοκρασίας επιφάνειας: <ul style="list-style-type: none"> 12°C έως 20°C τις

Αναφορά	Είδος μελέτης	Τύπος πράσινου τοίχου	Κλίμα	Διάρκεια μελέτης	Αποτελέσματα
					<p>ηλιόλουστες ημέρες</p> <ul style="list-style-type: none"> 1°C έως 2°C τις ημέρες με νεφώσεις
(Chen, et al., 2013)	Πείραμα	Ζωντανοί τοίχοι	Τροπικό (Κίνα)	3 ημέρες	<p>Μείωση της εξωτερικής θερμοκρασίας επιφάνειας έως 20,8°C</p> <p>Μείωση της εσωτερικής θερμοκρασίας επιφάνειας έως 7,7°C</p> <p>Μείωση της εσωτερικής θερμοκρασίας αέρα έως 1,1°C</p>
(Susorova, et al., 2013)	Προσομοίωση και πείραμα	Ζωντανοί τοίχοι	Υγρό ηπειρωτικό (Illinois ΗΠΑ)	3 ημέρες	<p>Μείωση της εξωτερικής θερμοκρασίας επιφάνειας έως 13,1°C τις ζεστές ημέρες</p> <p>Μείωση της απορρόφησης θερμότητας από την πρόσοψη από 2 έως 33W/m²</p> <ul style="list-style-type: none"> Αύξηση του συντελεστή θερμικής αντίστασης από 0 έως 0,71m²K/W
(Pulselli, et al., 2014)	Προσομοίωση	Ζωντανοί τοίχοι	Μεσογειακό	Ένα έτος	<p>Εξοικονόμηση ενέργειας ψύξης έως 15,2% για τοποθέτηση σε απόσταση από στερεό τοίχο χωρίς θερμομόνωση, έως 6,2% για τοποθέτηση σε απόσταση από</p>

Αναφορά	Είδος μελέτης	Τύπος πράσινου τοίχου	Κλίμα	Διάρκεια μελέτης	Αποτελέσματα
					στερεό τοίχο με θερμομόνωση Καμία επίδραση στις ενεργειακές απαιτήσεις θέρμανσης
(Coma, et al., 2014)	Πείραμα	Πράσινες προσόψεις	Μεσογειακό	Ένα καλοκαίρι	Εξοικονόμηση ενέργειας ψύξης έως 1% ημερησίως Μείωση θερμοκρασίας αέρα στο εσωτερικό κατά 1°C Μείωση της εσωτερικής θερμοκρασίας επιφάνειας έως από 0,5°C έως 2°C Μείωση της εξωτερικής θερμοκρασίας επιφάνειας έως 14°C τους μήνες Ιούλιο και Σεπτέμβριο
(Coma, et al., 2017)	Πείραμα	Ζωντανοί τοίχοι και πράσινες προσόψεις	Μεσογειακό	Τέσσερις μήνες	Εξοικονόμηση ενέργειας ψύξης: <ul style="list-style-type: none"> • από 31,2% έως 58,9% με εφαρμογή ζωντανών προσόψεων • από 5% έως 33,8% με εφαρμογή πράσινων τοίχων Εξοικονόμηση ενέργειας θέρμανσης:

Αναφορά	Είδος μελέτης	Τύπος πράσινου τοίχου	Κλίμα	Διάρκεια μελέτης	Αποτελέσματα
					<ul style="list-style-type: none"> • 4,2% με εφαρμογή ζωντανών τοίχων • 1,9% με εφαρμογή πράσινων προσόψεων <p>Μείωση της εξωτερικής θερμοκρασίας επιφάνειας:</p> <ul style="list-style-type: none"> • έως 21,5°C το καλοκαίρι και έως 16,5°C το χειμώνα με ζωντανούς τοίχους • έως 13,9°C το καλοκαίρι και έως 0,7°C το χειμώνα με πράσινες προσόψεις
(Haggag et al., 2014)	Πείραμα	Ζωντανοί τοίχοι	Ζεστό, ξηρό κλίμα	Καλοκαίρι	<p>Μείωση του χρόνου αιχμής της εσωτερικής θερμοκρασίας κατά 5° C τον Ιούλιο.</p> <p>Εξοικονόμηση ψυκτικού φορτίου από 1,35 MWh σε 1,07 MWh (20% εξοικονόμηση ενέργειας για ψύξη).</p>
(Olivieri, et al., 2014)	Πείραμα	Ζωντανοί τοίχοι	Μεσογειακό	Δύο μήνες	Μείωση της εσωτερικής θερμοκρασίας επιφάνειας από 4,5°C έως 8,2°C και κατά μέσο όρο έως 6,4°C
(Olivieri, et al.,	Πείραμα	Ζωντανοί	Μεσογεια	Τρία έτη	Μείωση της εσωτερικής

Αναφορά	Είδος μελέτης	Τύπος πράσινου τοίχου	Κλίμα	Διάρκεια μελέτης	Αποτελέσματα
2014)		τοίχοι	κό		θερμοκρασίας: <ul style="list-style-type: none"> • επιφανείας από 0°C τον χειμώνα έως 7°C το καλοκαίρι • αέρα έως 11°C το καλοκαίρι και έως 12°C την άνοιξη και το φθινόπωρο
(Victorero, et al., 2015)	Πείραμα	Ζωντανές προσόψεις	Μεσογεια κό	Δώδεκα ημέρες	Μείωση της εξωτερικής θερμοκρασίας επιφάνειας έως 30°C
(Manso & Castro-Gomes, 2016)	Πείραμα	Ζωντανοί τοίχοι	Μεσογεια κό	Τέσσερις μήνες	Μείωση της εσωτερικής θερμοκρασίας επιφάνειας έως από 2,8°C έως 5,9°C Μείωση της εξωτερικής θερμοκρασίας επιφάνειας έως 15°C
(Basher, et al., 2016)	Πείραμα	Πράσινες προσόψεις & ζωντανοί τοίχοι με βρώσιμα φυτά	Τροπικό (Μαλαισία)	3 ημέρες	Μείωση της εξωτερικής θερμοκρασίας επιφάνειας έως 6,4°C και κατά μέσο κατά 2,4°C
(Pérez, et al., 2017)	Πείραμα	Πράσινες	Μεσογεια	Δύο	Εξοικονόμηση ενέργειας ψύξης

Αναφορά	Είδος μελέτης	Τύπος πράσινου τοίχου	Κλίμα	Διάρκεια μελέτης	Αποτελέσματα
		προσόψεις	κό	καλοκαίρια	34% Μείωση της εσωτερικής θερμοκρασίας επιφάνειας έως από 0,65°C έως 3,27°C
(Perini, et al., 2017)	Πείραμα και προσομοίωση	Ζωντανοί τοίχοι	Μεσογειακό	Ένα καλοκαίρι	Εξοικονόμηση ενέργειας ψύξης έως 26,5% Μείωση εξωτερικής θερμοκρασίας αέρα κατά 10°C
(Razzaghmanesh & Razzaghmanesh, 2017)	Πείραμα	Ζωντανοί τοίχοι	Μεσογειακό	Οκτώ μήνες	Μείωσης θερμοκρασίας αέρα στο εσωτερικό έως 1,8°C τις ζεστές ημέρες και έως 0,8°C τις κρύες ημέρες Μείωση της εξωτερικής θερμοκρασίας επιφάνειας έως 14,9°C τις ζεστές ημέρες και αύξησή της έως 5,9°C τις κρύες ημέρες
(De Jesus, et al., 2017)	Πείραμα	Πράσινη πρόσοψη	Μεσογειακό	Έξι μήνες	Μείωση της εξωτερικής θερμοκρασίας αέρα έως 2,9°C το καλοκαίρι και έως 1,5°C το φθινόπωρο
(Cuce, 2017)	Πείραμα και προσομοίωση	Πράσινη πρόσοψη	Ωκεάνιο κλίμα	17 ημέρες	Μείωση της εξωτερικής θερμοκρασίας επιφάνειας έως 6,1°C σε μέρες με ηλιοφάνεια και

Αναφορά	Είδος μελέτης	Τύπος πράσινου τοίχου	Κλίμα	Διάρκεια μελέτης	Αποτελέσματα
	ση		(Αγγλία)		έως 4°C σε μέρες με νεφώσεις
(Tudiwer & Korjenic, 2017)	Πείραμα και προσομοίωση	Πράσινη πρόσοψη	Ωκεάνιο κλίμα	Ένα καλοκαίρι	Μείωση της θερμικής αντίστασης των προσόψεων από 0,68 m ² K/W σε 0,31 m ² K/W
(Coma, et al., 2017)	Πείραμα	Πράσινες προσόψεις και ζωντανοί τοίχοι	Μεσογειακό	2 ημέρες το καλοκαίρι 2 ημέρες το χειμώνα	Εξοικονόμηση ενέργειας ψύξης έως 58,9% με πράσινη πρόσοψη Εξοικονόμηση ενέργειας ψύξης έως 33,8% με διπλό ζωντανό τοίχο
(Vox, et al., 2018)	Πείραμα	Πράσινες προσόψεις	Μεσογειακό	Δύο έτη	Μείωση της εξωτερικής θερμοκρασίας επιφάνειας: <ul style="list-style-type: none"> • έως 9°C τις ζεστές ημέρες • έως 3,5°C κατά τη διάρκεια της νύχτας σε κρύες ημέρες
(Feitoza & Wiilkinson, 2018)	Πείραμα	Συνδυασμός πράσινου τοίχου & πράσινης στέγης		Συνδυασμός θερμοκρασίας & σχετικής υγρασίας (Ριοντε Τζανέιρο – Σίδνευ)	Η πράσινη στέγη και ο πράσινος τοίχος συμβάλλουν στην εξασθένιση του θερμικού στρες σε κτήρια, ειδικά κάτω από υψηλά επίπεδα υγρασίας

Αναφορά	Είδος μελέτης	Τύπος πράσινου τοίχου	Κλίμα	Διάρκεια μελέτης	Αποτελέσματα
(Hao et al.,2020)	Πείραμα & προσομοιώσεις	Πράσινες στέγες & πράσινοι τοίχοι	Υγρό & υποτροπικό κλίμα	Μια βδομάδα στο τέλος του Ιουλίου & προσομοιώσεις όλο το καλοκαίρι	Μείωση της λειτουργικής θερμοκρασίας του δωματίου με VGS & GR κατά μέσο όρο 2,1°C σε σύγκριση με το δωμάτιο χωρίς πράσινη στέγη και τοίχο. Μεγαλύτερη η επίδρασή τους κατά τη διάρκεια της μέρας, μείωση της ταλάντωσης και δημιουργία πιο σταθερού θερμικού περιβάλλοντος.
(Manzo et al. 2021)	Ερευνητική ανασκόπηση	Οφέλη & κόστη των πράσινων συστημάτων			<p>Άλλα οφέλη όπως: προαγωγή ποιότητας ζωής, ευημερία, υγεία, αστική βιοποικιλότητα, βελτιωμένη αισθητική, ψυχαγωγική αξία, οικολογική συνείδηση στους χρήστες. Οφέλη μετρήσιμα: όπως εξοικονόμηση ενέργειας, ηχομόνωση, διαχείριση και επαναχρησιμοποίηση γκρίζων νερών.</p> <p>Πράσινες στέγες επιπλέον θερμομόνωση από τις μαύρες στέγες, μείωση θερμοκρασίας στις στέγες λόγω εξατμισιοδιαπνοής. Αποδοτικότερες οι πράσινες</p>

Αναφορά	Είδος μελέτης	Τύπος πράσινου τοίχου	Κλίμα	Διάρκεια μελέτης	Αποτελέσματα
					στέγες σε όλα τα κλίματα από ότι οι μαύρες μη μονωμένες στέγες, με μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας 84% στην ψύξη και 48% στη θέρμανση.
(Barriuso & Urbano, 2021)	Βιβλιογραφική έρευνα	Πράσινες στέγες & πράσινοι τοίχοι			Βελτίωση περιβάλλοντος, μετριασμός κλιματικής αλλαγής, τροποποίηση οικοσυστήματος πόλης, μετριασμός φαινομένου αστικής θερμικής νησίδας (UHI), μετριασμός φαινομένου θερμοκηπίου, περιβαλλοντικών ρύπων, αστικής ηχορύπανσης, διαχείριση αστικών ομβρίων υδάτων.
(Bano & Dervishi, 2021)	Μελέτη περίπτωσης - προσομοίωση	Κάθετη βλάστηση	Μεσογειακό		Σε αδιαφανείς τοίχους μείωση ενέργειας από 9%-11% σε αναλογία παραθύρου τοίχου 50% από 3%-6% σε αναλογία παραθύρου-τοίχου 70% 1°C έως 2°C αύξηση θερμ. εσωτ. χώρων το χειμώνα σε γυάλινο κτήριο μείωση θερμοκρασίας εσωτερικού αέρα

Αναφορά	Είδος μελέτης	Τύπος πράσινου τοίχου	Κλίμα	Διάρκεια μελέτης	Αποτελέσματα
					κατά 4,7° C & της ακτινοβολούμενης θερμ. κατά 9° C το καλοκαίρι (εξοικ. ενέργειας 14%-34%).

7. Συμπεράσματα με βάση τη βιβλιογραφία που αναλύθηκε

Το αστικό περιβάλλον δέχεται τις αρνητικές επιπτώσεις από τη ραγδαία αστική ανάπτυξη των τελευταίων δεκαετιών. Η συγκέντρωση πληθυσμών και η τεράστια αύξηση των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων οδήγησε στη δόμηση πυκνοκατοικημένων αστικών κέντρων, με μικρά ανοίγματα μεταξύ των κτηρίων, έλλειψη πρασίνου και ελεύθερων χώρων και με το τσιμέντο και τα σκούρα υλικά να κυριαρχούν.

Η βιβλιογραφική μας έρευνα είχε στόχο την εξέταση της βιοκλιματικής και περιβαλλοντικής απόδοσης κυρίως των πράσινων κάθετων τοίχων, αλλά και των πράσινων οροφών, ως ρυθμιστές του αστικού περιβάλλοντος και ειδικότερα του αστικού μικροκλίματος καθώς και του μικροκλίματος στο εσωτερικό των κτηρίων. Ο τρόπος με τον οποίο δομήθηκαν οι πόλεις, δηλαδή ο τρόπος δημιουργίας των αστικών κέντρων, των οικοδομικών τετραγώνων, ο σχεδιασμός για τη δόμηση των κτηρίων με κατάλληλο προσανατολισμό, αλλά και τα δομικά υλικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν, είναι παράγοντες που επηρεάζουν αισθητά την ενεργειακή και βιοκλιματική συμπεριφορά των κτηρίων πριν, αλλά και μετά, την εγκατάσταση κάθετων συστημάτων φύτευσης και πράσινων οροφών.

Επιπλέον, και ο τρόπος με τον οποίο απορροφάται και ανακλάται η ηλιακή ακτινοβολία σε συνδυασμό με τα εμπόδια που επηρεάζουν τη ροή (ταχύτητα και διεύθυνση) του ανέμου, σε συνδυασμό με τις υδάτινες επιφάνειες και τις χωμάτινες επιφάνειες, οι οποίες κατακρατούν υγρασία, αποτελούν μηχανισμούς που διαμορφώνουν το αστικό κλίμα, συγκεκριμένα το αστικό μικροκλίμα. Φαινόμενα, όπως αυτό της αστικής χαράδρας, μπορούν να λειτουργήσουν θετικά στην κατεύθυνση μείωσης της θερμοκρασίας και μείωσης των ενεργειακών απαιτήσεων των κτηρίων κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, ενώ φαινόμενα, όπως αυτό της αστικής θερμικής νησίδας, είναι υπεύθυνα για την κατακόρυφη αύξηση των ενεργειακών αναγκών των κτηρίων, ιδίως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, στα σύγχρονα αστικά κέντρα.

Το αστικό κλίμα μπορεί να αναλυθεί σε τέσσερις βασικούς άξονες: την ηλιακή ακτινοβολία, τη θερμοκρασία του αέρα, την ταχύτητα και διεύθυνση του αέρα, καθώς και την υγρασία, που επηρεάζονται από την αστική δόμηση και τις ανθρωπογενείς

δραστηριότητες στον ευρύτερο κτηριακό τομέα. Η ανάγκη που οδήγησε στην ανάπτυξη του βιοκλιματικού σχεδιασμού, στον οποίο ανήκει η κατασκευή πράσινων τοίχων και οροφών, είναι η ανάγκη συνθηκών θερμικής άνεσης κυρίως στο εσωτερικό των κτηρίων, αλλά και στο εξωτερικό αυτών, με χρήση, όσο το δυνατόν, λιγότερης ενέργειας.

Η ετήσια μέση θερμοκρασία του αέρα μιας πυκνοκατοικημένης πόλης μπορεί να είναι μεταξύ 1°C και 3°C θερμότερη από τις γύρω περιοχές και σε μια καθαρή, ήρεμη νύχτα αυτή η διαφορά θερμοκρασίας μπορεί να φτάσει ως και τους 12°C. Καθώς οι θερμοκρασίες αλλά και οι πληθυσμοί αυξάνονται, επιδεινώνεται η ποιότητα του αέρα των πόλεων και συνεπώς αυξάνεται το ενδεχόμενο για προβλήματα υγείας λόγω θερμικού στρες, ιδιαίτερα για τους ηλικιωμένους. Ωστόσο, παρά τη ραγδαία αστικοποίηση και την μεγάλη πληθυσμιακή αύξηση, η εστίαση για το μέγιστο όφελος σχετικά με τον μετριασμό του UHI επικεντρώνεται στην εκ των υστέρων τοποθέτηση βλάστησης σε τοίχους και στέγες των ήδη υπαρχόντων κτηρίων (Herrera-Gomez Sergio S., 2017).

Ο αειφορικός σχεδιασμός (Sustainable Design) εμπεριέχει τον όρο βιοκλιματικό σχεδιασμό και ορίζεται ως εκείνος που αυτοτροφοδοτείται, χρησιμοποιεί και ανακυκλώνει υλικά και συστήματα έτσι ώστε, τόσο κατά την εφαρμογή του, όσο και κατά τη λειτουργία του, δεν επιτρέπει την απώλεια πόρων από το περιβάλλον (Τσαλικίδης & Αθανασιάδου, 2011). Οι σύγχρονες πόλεις που, όπως έχει αναφερθεί παραπάνω, συνήθως χαρακτηρίζονται από πυκνό αστικό ιστό, δεν έχουν αυξημένες δυνατότητες ένταξης πράσινου και επομένως η κατεύθυνση ένταξής του στις υπάρχουσες δομήσεις (πολυκατοικίες, κτήρια κλπ) με την εφαρμογή κάθετων πράσινων τοίχων και πράσινων οροφών, είναι πάρα πολύ σημαντική. Είναι επιτακτική ανάγκη η ύπαρξη της φύσης μέσα στην πόλη με κάθε δυνατό τρόπο, γιατί παρέχει τεχνικές επίλυσης έντονων, σημερινών προκλήσεων, όπως η κλιματική αλλαγή και η ρύπανση (Τσαλικίδης & Αθανασιάδου, 2011).

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός στοχεύει στην αφομοίωση του ανθρωπογενούς αστικού περιβάλλοντος με το φυσικό αστικό περιβάλλον. Αυτό επιτυγχάνεται μέσα από

πολλές και διάφορες ενέργειες, όπως η χρησιμοποίηση νέων, καινοτόμων δομικών υλικών σε όλο το φάσμα της αστικής δόμησης, οι φυτεύσεις, η εγκατάσταση μονάδων παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας κ.α.. Οι ενέργειες αυτές έχουν ως στόχο τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων, προκειμένου να αποκλιμακωθεί η αρνητική επίδρασή τους στο αστικό μικροκλίμα, να μειωθούν οι ενεργειακές τους ανάγκες και γενικότερα να δημιουργούνται οι επιθυμητές συνθήκες θερμικής άνεσης εντός και εκτός των κτηρίων. Να επιτυγχάνεται, δηλαδή, ρύθμιση του μικροκλίματος με τη μικρότερη κατανάλωση ενέργειας.

Οι παρεμβάσεις που εντάσσονται στο πλαίσιο του βιοκλιματικού σχεδιασμού επιλέγονται και σχεδιάζονται ανάλογα με τη δυναμική ρύθμισης του μικροκλίματος ενεργητικά ή παθητικά, δηλαδή είτε για τη μείωση των θερμικών απωλειών είτε για την υποκατάσταση της καταναλισκόμενης ενέργειας με πράσινη ενέργεια.

Τα συστήματα κάθετης φύτευσης αποτελούνται από διατάξεις οι οποίες είτε στερεώνονται με τεχνητά συστήματα στις προσόψεις των κτηρίων είτε αναρριχώνται στις προσόψεις των κτηρίων, δημιουργώντας αντίστοιχα κάθετες πράσινες προσόψεις και ζωντανούς τοίχους. Οι ζωντανοί τοίχοι μπορούν να τοποθετούνται με τρόπο τέτοιο ώστε να είναι σε επαφή με την πρόσοψη του κτηρίου ή να δημιουργείται ένα διάκενο ανάμεσα στην πρόσοψη και τη βλάστηση.

Από τη βιβλιογραφική μας ανασκόπηση καταλήγουμε στο συμπέρασμα, ότι **η χρήση καινοτόμων δομικών υλικών**, των αποκαλούμενων ψυχρών υλικών, μπορεί να οδηγήσει σε βελτίωση των συντελεστών εκπομπής ενέργειας, ανάκλασης και θερμικής χωρητικότητας των κτηρίων. Ωστόσο, τονίζεται, ότι πρέπει να αξιολογούνται τα χαρακτηριστικά της αστικής δόμησης, καθώς χαρακτηριστικά σε αστικά κέντρα με μεγάλους λόγους ύψους/πλάτους δόμησης, η επίστροφή των επιφανειών των οδών, πεζοδρόμων και προσόψεων των κτηρίων με ανακλαστικά ή ψυχρά υλικά μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας, ειδικά το καλοκαίρι, λόγω εγκλωβισμού της ηλιακής ακτινοβολίας, δηλαδή στα ακριβώς αντίθετα από τα επιδιωκόμενα αποτελέσματα. Η εγκατάσταση πράσινων προσόψεων μπορεί να επιφέρει άμεσα σημαντικά οφέλη, οδηγώντας σε μείωση των θερμικών απωλειών και

υποβοηθώντας τον φυσικό δροσισμό, αλλά και έμμεσα οφέλη, επιτρέποντας την εγκατάσταση ψυχρών υλικών και ανακλαστικών επιστρώσεων ακόμη και σε αστικά κέντρα με μεγάλους λόγους ύψους προς πλάτος δόμησης, καθώς η θερμοκρασία απορροφάται και δεν εγκλωβίζεται, ενώ παράλληλα διευκολύνεται ο δροσισμός.

Επιπλέον, τονίζεται η *ωφέλεια χρήσης πορωδών υλικών*, σε πεζοδρόμους, δρόμους, προσόψεις, στέγες, αλλά και στα υποστρώματα των πράσινων τοίχων, καθώς τα υλικά αυτά έχουν μεγάλους συντελεστές απορρόφησης της ακτινοβολίας και εγκλωβίζουν υγρασία, οδηγώντας σε μείωση της θερμοκρασίας ιδίως κατά τη διάρκεια της νύχτας, μέσω των διαδικασιών της συμπύκνωσης, εξάτμισης, και στην περίπτωση των πράσινων τοίχων μέσω της διαδικασίας της εξατμισοδιαπνοής. Τα πορώδη, διαπερατά υλικά στο αστικό περιβάλλον μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στη μείωση της θερμοκρασίας των επιφανειών και της ατμόσφαιρας, γι αυτό θα πρέπει να χρησιμοποιούνται στην κατασκευή πεζοδρομίων, δρόμων, προσόψεων και ταρατσών κτηρίων. Ειδικά η χρήση τους σε ταράτσες κτηρίων αυξάνει τα οφέλη, όταν σε αυτές κατασκευάζονται πράσινες στέγες.

Πιο συγκεκριμένα, διαπιστώθηκε, μέσα από πειράματα και προσομοιώσεις των ερευνητών, ότι **η κατασκευή πράσινων τοίχων μπορεί να οδηγήσει:**

- σε μείωση της θερμοκρασίας της εξωτερικής επιφάνειας των προσόψεων των κτηρίων μέχρι και 21,5°C το καλοκαίρι και μέχρι και 16,5°C το χειμώνα
- σε μείωση της θερμοκρασίας της εσωτερικής επιφάνειας των προσόψεων των κτηρίων έως 7,7°C
- σε μείωση της θερμοκρασίας στο εξωτερικό του κτηρίου μέχρι 10°C
- σε εξοικονόμηση ενέργειας ψύξης από 15,2% έως 58,9% ανάλογα με τον προσανατολισμό της πρόσοψης και την απόσταση του ζωντανού τοίχου από την πρόσοψη του κτηρίου, σε απόσταση περί το 1m από την πρόσοψη του κτηρίου, καθώς και
- σε μείωση της απορρόφησης θερμότητας από την πρόσοψη από 2 έως 33W/m².

Αντίστοιχα, η εφαρμογή πράσινων προσόψεων μπορεί να οδηγήσει:

- σε μείωση της θερμοκρασίας της εξωτερικής επιφάνειας των προσόψεων των κτηρίων μέχρι και 13,9°C το καλοκαίρι και των εσωτερικών επιφανειών μέχρι και 3,3 °C
- σε εξοικονόμηση ενέργειας ψύξης μέχρι και 33,8%
- σε εξοικονόμηση ενέργειας θέρμανσης μέχρι 4,%, καθώς και
- σε μείωση της θερμοκρασίας του αέρα μέχρι 2°C στο εσωτερικό και 1 °C στο εξωτερικό των κτηρίων, πλησίον της πρόσοψης.

Τα οφέλη των πράσινων προσόψεων και πράσινων καθέτων κήπων (τοίχων) είναι μεγαλύτερα σε κτήρια τα οποία δεν διαθέτουν θερμοπροσόψεις, στις ανατολικές και δυτικές προσόψεις των κτηρίων, κατά τους καλοκαιρινούς μήνες ή/και κατά τις ζεστές ημέρες με ηλιοφάνεια, ενώ τα οφέλη μειώνονται κατά τη διάρκεια του χειμώνα.

Η δημιουργία διακένου ανάμεσα σε ένα ζωντανό τοίχο και την πρόσοψη του κτηρίου περί το 1m δείχνει να αυξάνει τη θετική επίδραση του ζωντανού τοίχου σε σχέση με τις θερμικές απώλειες, τον δροσισμό και τη μείωση της εξωτερικής και εσωτερικής θερμοκρασίας των προσόψεων.

Παράλληλα, πρέπει να αξιολογείται **το κλίμα**, το οποίο επικρατεί στην περιοχή εφαρμογής, με το μεγαλύτερο ερευνητικό ενδιαφέρον να εντοπίζεται στα μεσογειακά κλίματα και με τα οφέλη να είναι πιο έντονα, πιο σημαντικά στα κλίματα αυτά σε σχέση με άλλα κλίματα, όπως ηπειρωτικά, ωκεάνια, υγρά, υποτροπικά και τροπικά. Ωστόσο, σε όλους τους τύπους κλίματος παρατηρήθηκε διαφορά στη θερμοκρασία εντός των κτηρίων που έφεραν κάθετα συστήματα πράσινου και πράσινες στέγες στα κελύφη τους. Μια ακόμα διαπίστωση είναι ότι η επίδραση των πράσινων συστημάτων στη θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη την ημέρα από τη νύχτα.

Επίσης, η επίδραση του **προσανατολισμού των προσόψεων**, στις οποίες εγκαθίστανται οι πράσινοι τοίχοι, σε όλους τους τύπους κλίματος και περιοχής, δείχνουν τη μεγαλύτερη ωφέλεια να εντοπίζεται στις ανατολικές και δυτικές προσόψεις. Επιπλέον, τα οφέλη των πράσινων τοίχων φαίνεται να είναι σε όλα τα κλίματα πιο έντονα κατά

τους καλοκαιρινούς μήνες, με τη μείωση των ενεργειακών αναγκών για θέρμανση να παραμένει οριζόντια χαμηλότερη.

Τα φυτεμένα δώματα, τα «green roofs», η βλάστηση στις στέγες, μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στην αειφορική ανάπτυξη των πόλεων, προσφέροντας πολλαπλά οφέλη σε πολλούς και διάφορους τομείς, όπως έχει ήδη αναφερθεί παραπάνω. Τα πιο σημαντικά είναι:

- η εξοικονόμηση ενέργειας που καταναλώνεται για τη ψύξη και τη θέρμανση των κτηρίων
- η βελτίωση του μικροκλίματος και η μείωση του φαινομένου αστικής θερμικής νησίδας
- η μείωση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και ο μετριασμός της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και της ηχορύπανσης, μέσω του φιλτραρίσματος που προσφέρεται από τις πράσινες στέγες
- η καλύτερη διαχείριση των υδάτων, αφού παρατηρήθηκε μειωμένος όγκος απορροής ομβρίων, καθυστερημένη απορροή των υδάτων με αποτέλεσμα τη μείωση του κινδύνου εμφάνισης πλημμυρικών φαινομένων
- η αύξηση της διάρκειας ζωής των μεμβρανών μόνωσης της στέγης
- η συγκράτηση της σκόνης
- η σκίαση στο κτήριο
- η αισθητική και λειτουργική ανάδειξη του κτηρίου
- προσφέρουν θερμική άνεση, άρα ευχαρίστηση στους χρήστες
- δημιουργούνται ευχάριστα σημεία συνάντησης σε πρώην ανεκμετάλλετους χώρους, αυξάνοντας την αισθητική αξία του κτίσματος
- αισθητικά και ψυχολογικά οφέλη για τους ανθρώπους της πόλης
- οι προσβάσιμες στέγες προφέρουν οπτική ανακούφιση, χαλάρωση και αποκατάσταση, βελτίωση της υγείας των ανθρώπων
- οικονομικά και εκπαιδευτικά οφέλη στους αστικούς χρήστες με την «αστική γεωργία» που μπορεί να προκύψει από τη φύτευση και καλλιέργεια γεωργικών προϊόντων και την παραγωγή τροφίμων

- η ενίσχυση του δημόσιου προφίλ των κτηρίων και η αύξηση της οικονομικής τους αξίας, μετατρέποντάς τα σε αναγνωρίσιμα ορόσημα.
- σημαντική είναι και η παροχή πνευματικής και φυσικής σύνδεσης του ανθρώπου με τη φύση.
- η όμορφη εικόνα ενός κάθετου πράσινου τοίχου ή μια πράσινης οροφής αναζωογονεί το μυαλό και η σωματική κόπωση μειώνεται σημαντικά.

Επιπλέον, και με βάση τη βιβλιογραφική μας έρευνα, καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως το μέγεθος της απόδοσης των πράσινων οροφών εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, που η καθεμιά επηρεάζει με τον τρόπο της τη μέγιστη απόδοσή τους. Τα χαρακτηριστικά των τριών τύπων φυτεμένων οροφών επηρεάζουν επίσης την απόδοσή τους, οικονομική, ενεργειακή, άυλη. Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται συνοπτικά οι παράγοντες που σχετίζονται με τους τύπους των φυτεμένων οροφών σε μεσογειακά κυρίως κλίματα.

Πίνακας 7-1: Τύποι φυτεμένων οροφών και παράγοντες επίδρασης των αποδόσεων σε μεσογειακά κλίματα

Παράγοντες	Εκτατικός	Ημιεντατικός	Εντατικός
Είδος χλωρίδας	Sedum spp, παχύφυτα, χλοοτάπητες, ποώδη, αρωματικά φυτά, μεσογειακά φυτά εδαφοκάλυψης	Μεσογειακά φυτά εδαφοκάλυψης, αρωματικά φυτά, θάμνοι μικρού/μεσαίου μεγέθους	Αρωματικά φυτά, θάμνοι μεσαίας/μεγάλης ανάπτυξης, μικρά/μεσαίας ανάπτυξης δέντρα
Πότισμα	Ελάχιστο	Σε τακτά διαστήματα	Συχνό
Βάρος (όταν είναι υγρό)	80-150kg/m ²	150-280 kg/m ²	>250 kg/m ²
Βάθος υποστρώματος	10-15 εκατοστά	25 εκ.	Μέχρι 150 εκ.

Κόστος τοποθέτησης	Χαμηλό	Μέτριο	Υψηλό
Κόστος συντήρησης	Ελάχιστο	Κατά διαστήματα υψηλό	Υψηλό
Απόσβεση	Άμεση	Αρκετά αργή	Αργή

Πηγή:

<https://www.cea.org.cy/TOPICS/EnergyEfficient/2013/12%2005%2009%20Green%20Roofs.pdf>

Είναι σαφές, πως ο εκτατικός τύπος φύτευσης είναι ο πιο οικονομικός, όχι όμως και ο πιο αποδοτικός σε παραμέτρους που σχετίζονται με την εξοικονόμηση ενέργειας, αφού έχει μικρό βάθος υποστρώματος, σε σχέση με τους άλλους δύο τύπους, οπότε μειώνεται και το ποσοστό ενεργειακής απόδοσης. Ωστόσο, δεν πρέπει να παραβλέπεται και η μεγαλύτερη ανάγκη άρδευσης στην εντατική μορφή του, καθώς και η μεγαλύτερη επιβάρυνση της οροφής, πάνω από 250 kg/m². Εξίσου σημαντικός παράγοντας είναι η επιλογή της θέσης και ο προσανατολισμός της φύτευσης στην οροφή, καθώς και η επίδραση των ανέμων στο σημείο κατασκευής του κήπου, ώστε να αναπτυχθούν και να επιβιώσουν τα φυτά. Είναι, δηλαδή, σημαντικό, να υπάρχει η πρόβλεψη πριν την επιλογή των φυτών που θα φυτευτούν, έτσι ώστε να αντέχουν και να ευδοκιμούν στις υπάρχουσες συνθήκες. Θα πρέπει να επιλεγούν αυτά τα φυτά που θα προσαρμοστούν και θα αναπτυχθούν στις τοπικές συνθήκες κλίματος και μικροκλίματος, γι αυτό ενδείκνυται η επιλογή ενδημικών ειδών και ειδών απορροφούν εντονότερα τους ατμοσφαιρικούς ρύπους, χρειάζονται λιγότερο νερό και λιγότερη περιποίηση.

Επομένως, ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα κατασκευής πράσινης στέγης, είναι η σημαντική μείωση του κόστους θέρμανσης, γιατί η διαστρωμάτωση της λειτουργεί ως προσθετική θερμομόνωση της οροφής (λιγότερο ή περισσότερο αναλόγως του πάχους της) μειώνοντας τις θερμαντικές απώλειες κατά τη διάρκεια του χειμώνα και το κόστος ψύξης του κτηρίου το καλοκαίρι μέχρι και 49%. Αυτό συμβαίνει λόγω της αντανάκλασης ($\approx 30\%$) και της απορρόφησης μεγάλων ποσοτήτων ηλιακής ενέργειας

από τα φυτά, αλλά και από τον σκιασμό που προσφέρουν στην επιφάνεια της φυτεμένης οροφής.

Στη χώρα μας, και ιδιαίτερα σε πόλεις όπως Αθήνα που σημειώνονται αρκετά υψηλές θερμοκρασίες τους καλοκαιρινούς μήνες, η δημιουργία πράσινων οροφών οδηγεί σε εξοικονόμηση ενέργειας, καθώς και σε προσφορά πράσινου που τόσο έχει ανάγκη η πρωτεύουσα, αλλά και άλλες μεγάλες πόλεις και χώρες της Μεσογείου. Εκτός της εξοικονόμησης ενέργειας και χρημάτων, τα πράσινα δώματα διαμορφώνουν το κλίμα της πόλης, το μικροκλίμα της περιοχής και βελτιώνουν αισθητά το περιβάλλον, παρέχοντας οξυγόνο και απορροφώντας διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα. Επίσης, συμβάλλουν στη μείωση της απορροής των όμβριων υδάτων στους αποδέκτες/υπονόμους μέχρι και 90%, επειδή μεγάλο μέρος τους απορροφάται από τα φυτά των οροφών. Οι πράσινες οροφές, όπως και οι κάθετοι κήποι επαναφέρουν το πράσινο στα αστικά κέντρα και αποτελούν πιθανό καταφύγιο για την τοπική πανίδα. Η κομποστοποίηση οργανικών αποβλήτων για τη δημιουργία λιπάσματος για τις πράσινες στέγες, μπορεί να αναχαιτίσει τον κορεσμό των χωματερών με αυτά, βοηθώντας στην ανακύκλωσή τους.

Τέλος, η δημιουργία πράσινων στεγών στις σύγχρονες πόλεις θα μπορούσε να συνεισφέρει στην ενίσχυση της ψυχικής υγείας και ηρεμίας των αστών/χρηστών, καθώς και στη σύσφιξη των σχέσεων μεταξύ τους. Θα μπορούσε επίσης να επιτραπεί ακόμα και η καλλιέργεια εδώδιμων φυτών, έτσι ώστε να ενισχυθεί ο στόχος για βιώσιμες πόλεις και βιώσιμη ανάπτυξη, με προοπτική ακόμα και την ενασχόληση με τη γη σε ένα σύγχρονο αστικό κέντρο.

Οι πράσινες στέγες και τα κάθετα πράσινα συστήματα στα κελύφη των κτηρίων αποτελούν εναλλακτικό τρόπο για τον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά τη θερμική απόδοση και να μειώσουν τη θερμοκρασία του κτηρίου λόγω μείωσης της θερμικής αγωγιμότητας. Ωστόσο, σε εξωτερικούς τοίχους κατοικιών που εκτίθενται στον ήλιο και, ειδικά σε κτήρια, όπου οι επιφάνειες των τοίχων είναι πολύ μεγαλύτερες από τις στέγες, αναμένεται ότι ο ρόλος

των πράσινων τοίχων στον μετριασμό των ακραίων θερμοκρασιών είναι σημαντικός. Έτσι, ο συνδυασμός πράσινων στεγών και πράσινων τοίχων προσδίδει καλύτερη θερμική απόδοση σε κελύφη κτηρίων και κατοικιών.

Από τις έρευνες αρκετών μελετητών προκύπτει πως η ενσωμάτωση συστημάτων πράσινου στους τοίχους κτηρίων λειτουργεί μονωτικά, εξοικονομώντας ενέργεια για θέρμανση σε μεγάλο ποσοστό σε σύγκριση με τις γυμνές προσόψεις. Δημιουργείται ένα ιδανικότερο μικροκλίμα στα κτήρια λόγω της κοιλότητας αέρα που σχηματίζεται μεταξύ της υποδομής βλάστησης και του κελύφους των κτηρίων, έτσι ώστε να μειώνονται σημαντικά οι απώλειες θερμότητας από τις προσόψεις, όπου εφαρμόζονται.

Πράσινες υποδομές, όπως πράσινες στέγες και πράσινοι τοίχοι, έχουν πολλαπλά πλεονεκτήματα (περιβαλλοντικά, κοινωνικά και οικονομικά) που βελτιώνουν την απόδοση των κτηρίων και το αστικό περιβάλλον. Ωστόσο, παρατηρείται περιορισμένη εφαρμογή τους, λόγω του μεγάλου κόστους σε σύγκριση με τις συμβατικές λύσεις.

Συμπερασματικά, μεταξύ πράσινων προσόψεων και πράσινων/ζωντανών τοίχων, οι ζωντανοί τοίχοι έχουν συγκεντρώσει μεγαλύτερο ερευνητικό ενδιαφέρον, καθώς, και σύμφωνα με την υπάρχουσα βιβλιογραφία, φαίνονται πιο αποτελεσματικοί σε ό,τι αφορά στη ρύθμιση της εξωτερικής, επιφανειακής (πρόσοψης) και εσωτερικής θερμοκρασίας των κτηρίων.

Πάντως, είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν όλα τα οφέλη σε αντίθεση με τα κόστη που εύκολα ποσοτικοποιούνται, γιατί στα οφέλη συμπεριλαμβάνονται και τα άυλα, αυτά δηλαδή που δεν μπορούν να μετρηθούν με ακρίβεια. Τα άυλα οφέλη είναι επίσης πάρα πολύ σημαντικά και άξια λόγου, αφού αφορούν στην ευημερία των χρηστών και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των ανθρώπων των πόλεων, που χαρακτηρίζεται από το γκρίζο χρώμα, το τσιμέντο, την έλλειψη πράσινου, το άγχος, τη ρουτίνα, το ίδιο μουντό μοτίβο. Είναι λοιπόν, μια λύση στο σύγχρονο πρόβλημα των αστών η εφαρμογή αυτών των οικολογικών συστημάτων στα υπάρχοντα κτήρια και σε αυτά που πρόκειται να κατασκευαστούν, εξισορροπώντας τα μακροπρόθεσμα οφέλη και τα κόστη.

Υπάρχουν ως σήμερα λιγοστές μελέτες που μετρούν με ακρίβεια τα οφέλη και τα κόστη των πράσινων συστημάτων και αυτό συμβαίνει επειδή είναι πολύ δύσκολο να υπάρξει σαφές αποτέλεσμα, γιατί οι μεταβλητές είναι πολλές και οδηγούν σε μεγάλη μεταβλητότητα των δεδομένων. Ακόμα και στα μετρήσιμα οφέλη η διακύμανση είναι μεγάλη, ιδιαίτερα στο πεδίο της εξοικονόμησης ενέργειας και της διαχείρισης των γκρίζων νερών. Τα διαφορετικά χαρακτηριστικά των συστημάτων αυτών οδηγούν σε μεγάλες διαφορές σχετικά με τον κύκλο ζωής τους και το κόστος εγκατάστασης, συντήρησης και χρήσης τους, με συνέπεια την αποφυγή εφαρμογής τους και τη χρήση των οικονομικότερων και όχι οικολογικών λύσεων, που δεν βασίζονται στην αειφορική και βιοκλιματική οπτική και τάση που θα έπρεπε να αποτελεί επιταγή.

Η περιβαλλοντική απόδοση των πράσινων οροφών και τοίχων διαφέρει και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως την κλίση, την πυκνότητα βλάστησης, το ποσοστό κάλυψης, την τοποθεσία, τον ιδιοκτήτη, το έτος κατασκευής, τον προσανατολισμό κ.ά. Όμως τονίζεται η τεράστια προσφορά τους στο αστικό περιβάλλον και γι αυτό οι ερευνητές θα πρέπει να εστιάσουν στην περιβαλλοντική αξιολόγηση των οφελών από τον σχεδιασμό πράσινων οροφών και τοίχων. Τοίχοι κτιρίων, στέγες και ανοιχτοί χώροι που δεν χρησιμοποιούνται στον αστικό ιστό θα μπορούσαν να φυτευτούν, να πρασινίσουν, ώστε να συμβάλλουμε στον μετριασμό της αστικής περιβαλλοντικής και κλιματικής αλλαγής.

Το βασικότερο μειονέκτημα των πράσινων συστημάτων στα κτήρια είναι ότι απαιτείται μεγαλύτερο κόστος για τον σχεδιασμό, τη διαμόρφωση, την κατασκευή και τη συντήρησή τους, καθώς και συνεχής φροντίδα, για να επιλύονται άμεσα τυχόν προβλήματα και να αποφεύγονται ανεπιθύμητες καταστάσεις. Συχνά έχει αναφερθεί σε έρευνες ο κίνδυνος εμφάνισης υγρασίας στα κτήρια με πράσινες εγκαταστάσεις με τα γνωστά επακόλουθα, καθώς και προβλήματα στη στεγανοποίηση κυρίως των οροφών αλλά και των τοιχών, όταν δεν υπάρχει το απαιτούμενο κενό, που χρήζουν άμεσης επισκευής, δαπανηρής, χρονοβόρας και επίπονης. Επιπλέον, υπάρχει η πιθανότητα

δυσκολίας διατήρησης του σωστού εδάφους και των υδρολογικών και μικροκλιματικών συνθηκών, καθώς και η πιθανότητα για αδυναμία αντοχής κάποιων κτηρίων στο βάρος της κατασκευής. Επίσης, η πιθανότητα μη αναγέννησης του οικοσυστήματος σε βάθος χρόνου ή και απομόνωσης του οικοσυστήματος, λόγω ύψους.

Ωστόσο, υπάρχουν δυνατότητες για εφαρμογή αυτών των συστημάτων στη χώρα μας, στα νέα κυρίως, αλλά και υπάρχοντα, κτίρια, με χρήση των υπαρχόντων εργαλείων (ΕΣΠΑ, Ειδικά Τραπεζικά δάνεια) έχοντας αρωγό και την ευρωπαϊκή πολιτική και οδηγία για σχεδιασμό και δόμηση με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας και την αειφορία. Η σύγχρονη ζωή στα ελληνικά αστικά κέντρα, που δεν διαθέτουν πράσινο, αυξάνουν την ανάγκη δημιουργίας πράσινων χώρων σε σημεία ανεκμετάλλευτα, ενώ οι ραγδαίες αυξήσεις στις τιμές των καυσίμων θέρμανσης (π.χ. πετρέλαιο), αλλά και η αυξανόμενη ευαισθησία σε θέματα περιβάλλοντος των πολιτών σε συνδυασμό με την ολοένα και μεγαλύτερη στροφή στην υγιεινή διατροφή και διαβίωση και την επαφή με τη φύση, αποτελούν τους προαπαιτούμενους παράγοντες για μια πιο συστηματική εφαρμογή των πράσινων συστημάτων στα ελληνικά αστικά, και όχι μόνο, κέντρα.

Αναμφισβήτητα, η έλλειψη ικανού και αναγκαίου θεσμικού πλαισίου, η αδυναμία ελέγχου εφαρμογής των σχετικών ισχυόντων νόμων, η απουσία οράματος και οργανογράμματος σχεδιασμού και εφαρμογής ενός ρεαλιστικού προγράμματος εξοικονόμησης ενέργειας, η φορολογική πολιτική που δεν προωθεί τους στόχους της αειφορικής ανάπτυξης εμπράκτως, η εκμετάλλευση πόρων για μεμονωμένες επενδύσεις, χωρίς αποδεδειγμένο όφελος για το σύνολο, η απουσία, γενικότερα, ενεργειακής συνείδησης, δεν βοηθούν και δεν ωθούν τους ιδιοκτήτες κτηρίων να προχωρήσουν στην κατασκευή πράσινων τοίχων και οροφών.

Κλείνοντας, μπορούμε να πούμε πως τα πλεονεκτήματα των πράσινων κατασκευών στα κτήρια υπερτερούν των μειονεκτημάτων. Σύμφωνα με τα διαθέσιμα δεδομένα, θα μπορούσαν να βοηθήσουν σημαντικά στη δημιουργία περισσότερων πράσινων χώρων με τα συνεπαγόμενα οφέλη τους στα άχαρα και δυσλειτουργικά αστικά

περιβάλλοντα, χωρίς επέμβαση σε δημόσιους αστικούς χώρους, αλλά με εκμετάλλευση των υπαρχόντων, νεκρών χώρων.

Τα κατασκευαστικής φύσεως αρνητικά κίνητρα, πιθανώς να μπορούν να αρθούν με σωστή επιλογή και κατάλληλη επέμβαση, όπως χρήση εκτατικής κατασκευής σε οροφή που δεν αντέχει μεγάλο φορτίο. Ευτυχώς, αρχίζει να διαφαίνεται και στη χώρα μας η ανάγκη για δημιουργία πράσινου σε ανεκμετάλλευτους χώρους και σημεία, ενώ παράλληλα ασκούνται κάποιες πιέσεις από την Ε.Ε. για την επίτευξη των στόχων προς μια πιο αειφορική και βιώσιμη ανάπτυξη, αλλά και από πολίτες που απαιτούν βελτίωση της ποιότητας ζωής στην πόλη με το βλέμμα στραμμένο στην προστασία και ανάδειξη του περιβάλλοντος. Είναι προφανές, πως το ζητούμενο είναι η ανάγκη ύπαρξης οράματος, κινήτρων και αειφορικής διαχείρισης των υπαρχόντων πόρων και κυρίως η εξάλειψη των αντικινήτρων που υπάρχουν και απωθούν τον πολίτη, που θέλει αλλά δεν μπορεί. Θα πρέπει να αλλάξει η πάσχουσα σε πολλά σημεία ενεργειακή πολιτική της χώρας μας και της κάθε χώρας στον πλανήτη, ώστε να επιτευχθεί ο στόχος της εξοικονόμησης ενέργειας με πολλούς τρόπους και μέσω μιας βιοκλιματικής και περιβαλλοντικής απόδοσης των πράσινων κάθετων συστημάτων και των πράσινων οροφών.

Συμπερασματικά, θα μπορούσαμε να πούμε ότι, αν και οι κάτοικοι των αστικών κέντρων επιζητούν τη φύση στη ζωή τους και αποκτούν όλο και περισσότερο περιβαλλοντική συνείδηση, διστάζουν να εφαρμόσουν και να χρησιμοποιήσουν κατασκευές τέτοιες, λόγω έλλειψης κινήτρων, αλλά σίγουρα και λόγω ανεπαρκούς πληροφόρησης από τους κρατικούς θεσμούς και τους αρμόδιους για την προώθηση μιας βιώσιμης ενεργειακής πολιτικής. Οι μεμονωμένες πρωτοβουλίες δεν είναι αρκετές, ώστε να συμβάλλουν στη διαφοροποίηση της υφιστάμενης κατάστασης του αστικού περιβάλλοντος και επομένως θα πρέπει να εφαρμοστεί ευρέως η φύτευση σε τοίχους και οροφές. Το οικονομικό ζήτημα είναι και το σημαντικότερο στις μέρες μας που όλα ακριβαίνουν, ενώ οι μισθοί δεν αυξάνονται, οπότε μια κρατική χρηματοδότηση, θα βοηθούσε την πιο ευρεία εφαρμογή. Συνεπώς, ορθή κρατική, ενεργειακή πολιτική,

σωστός προγραμματισμός, έλεγχος εφαρμογής της σχετικής νομοθεσίας και αξιοποίηση ευρωπαϊκών κονδυλίων, ώστε να υπάρξει ολιστική και μακροπρόθεσμη ωφέλεια. Πρέπει να γίνει κατανοητό και να θεωρηθεί αναγκαία η υιοθέτηση μιας πιο διορατικής αντίληψης και ενός μακροπρόθεσμου σχεδιασμού από όλους, ώστε να επιζητείται με κάθε τρόπο η εξοικονόμηση ενέργειας παρά η διαρκής αύξηση παραγωγής της. Αυτό συνεπάγεται υιοθέτηση φιλικής προς το περιβάλλον πολιτικής και μοντέλο αστικής ανάπτυξης διαφορετικό από το ισχύον (πυκνή δόμηση, απουσία ελεύθερων, πράσινων, υπαίθριων χώρων κλπ).

Τέλος, σε ό,τι αφορά σε προτάσεις για μελλοντική έρευνα, προτείνεται μια εκτεταμένη έρευνα με εξέταση διαφορετικών μεθόδων βιοκλιματικού σχεδιασμού, στην οποία η εργασία μας μπορεί να αποτελέσει έναν μικρό οδηγό, για την ολιστική αξιολόγηση των επεμβάσεων του βιοκλιματικού σχεδιασμού.

8. Βιβλιογραφία

Abdullahi, M. S. & Alibaba, H. Z., 2016. Facade Greening: A Way to Attain Sustainable Built Environment. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*, 4(1), pp. 12-20.

Ackerman, B., 1987. Climatology of Chicago area urban rural differences in humidity. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Τόμος 26, p. 427–430.

Akbari, H. & Taha, H., 1992. The impact of trees and white surfaces on residential heating and cooling energy use in four Canadian cities. *Energy*, 17(2), pp. 141-149.

Akbar, S. A., Azizi, G. A., Abad, M. K. A. & Moghbel, M., 2013. Modeling Energy Balance over Different Land Covers in Urban Environment. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, 2(10), pp. 90-96.

Albatayneh, A., Alterman, D., Page, A. & Moghtaderi, B., 2018. The Impact of the Thermal Comfort Models on the Prediction of Building Energy Consumption. *Sustainability*, 10(10), pp. 1-17.

Alexandri E, Jones P. (2008). Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Build Environ* 43:480–493

ANSI/ ASHRAE Standard 55. Thermal Environment Conditions for Human Occupancy; 2004

Ascione, F., De Masi, R. F., Mastellone, M., Ruggiero, S., & Vanoli, G. P. (2020). Green Walls, a Critical Review: Knowledge Gaps, Design Parameters, Thermal Performances and Multi-Criteria Design Approaches. *Energies*, 13(9), 2296. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/en13092296>

Assimakopoulos, M.-N. και συν., 2020. GreenWall Design Approach Towards Energy Performance and Indoor Comfort Improvement: A Case Study in Athens. *Sustainability*, Τόμος 12, pp. 1-23.

Azis, Sh., Sipam, I., Sapri, M., Syakina, M.Y., Hashim, H.A. (2019). Comparison on energy saving: Green roof and green wall. *Journal of the Malaysian Institute of Planners*. vol. 17 (1), pp48-57.

Bano, P., Dervishi, S. (2021). The impact of vertical vegetation on thermal performance of high-rise office building facades in Mediterranean climate. *Energy and Buildings*, 236, art. no. 110761

Barriuso, F., & Urbano, B. (2021). Green Roofs and Walls Design Intended to Mitigate Climate Change in Urban Areas across All Continents. *Sustainability*, 13(4), 2245. MDPI AG. Ανάκτηση από: from <http://dx.doi.org/10.3390/su13042245>

Basher, H., Ahmad, S., Rahman, A. & Zaman, N., 2016. The use of edible vertical greenery system to improve thermal performance in tropical climate. *Journal of Mechanical Engineering*, 13(1), pp. 57-66.

Battisti, A., 2020. Bioclimatic Architecture and Urban Morphology. *Energies*, 13(5819), pp. 1-20.

Blumthaler, M. & Ambach, W., 1988. Solar UVB-albedo of various surfaces. *Photochemistry and Photobiology*, Τόμος 48, pp. 85-88.

Carnielo, E. & Zinzi, M., 2013. Optical and thermal characterisation of cool asphalts to mitigate urban temperatures and building cooling demand. *Building and Environment*, Τόμος 60, pp. 56-65.

Cheela, V. R. S., John, M., Biswas, W. & Sarker, P., 2021. Combating Urban Heat Island Effect—A Review of Reflective Pavements and Tree Shading Strategies. *Buildings*, 11(93), pp. 1-24.

Chen, Q., Li, B. & Liu, X., 2013. An experimental evaluation of the living wall system in hot and humid climate. *Energy and Buildings*, Τόμος 61, pp. 298-307.

Coma, J. και συν., 2017. Vertical greenery systems for energy savings in buildings: a comparative study between green walls and green facades. *Building and Environment*, Τόμος 111 , p. 228–237.

Coma, J., Solé, C., Castell, A. & Cabeza, L., 2014. New green facades as passive systems for energy savings on buildings. *Energy Procedia* , Τόμος 57, p. 1851–1859.

Coseo, P. & Larsen, L., 2015. Cooling the Heat Island in Compact Urban Environments: The Effectiveness of Chicago’s Green Alley Program. *Procedia Engineering*, Τόμος 118, p. 691–710.

Coseo, P. & Larsen, L., 2015. Cooling the Heat Island in Compact Urban Environments: The Effectiveness of Chicago’s Green Alley Program. *Procedia Engineering*, Τόμος 118, p. 691–710.

Coudevylle, G. R. και συν., 2019. Conventional and Alternative Strategies to Cope With the Subtropical Climate of Tokyo 2020: Impacts on Psychological Factors of Performance. *Frontiers Psychology*, 10(1279), pp. 1-7.

Cuce, E., Cuce, P. M., Sher, F., Bali, T., & Altin, I. (2016). *The role of plants in temperature regulation of external walls: An experimental and numerical research*. 323-335. Paper presented at 15th International Conference on Sustainable Energy Technologies , Singapore, Singapore.

Cuce, E., 2017. Thermal regulation impact of green walls: an experimental and numerical investigation. *Applied Energy* , Τόμος 194, p. 247–254.

Daemei, A. B., Khotbehsara, E. M. & Eghbali, S. R., 2019. Bioclimatic design strategies: A guideline to enhance human thermal comfort in Cfa climate zones. *Journal of Building Engineering*, Τόμος 25, pp. 1-17.

Datcu, S., Ibos, L., Candau, Y. & Matteï, S., 2005. Improvement of building wall surface temperature measurements by infrared thermography. *Infrared Physics and Technology*, 46(6), pp. 451-467.

De Jesus, M. P., Lourenço, J. M., Arce, R. M. & Macias, M., 2017. Green façades and in situ measurements of outdoor building thermal behaviour. *Building and Environment*, Τόμος 119, p. 11–19.

Debbage, N. & Shepherd, J. M., 2015. The urban heat island effect and city contiguity. *Computers, Environment and Urban Systems*, Τόμος 54, p. 181–194.

Dimoudi, A. & Nikolopoulou, M., 2003. Vegetation in the Urban Environment: Microclimatic Analysis and Benefits. *Energy and Buildings*, 35(1), pp. 69-76.

Dunnett, N. & Kingsbury, N., 2010. *Planting green roofs and living walls*. 2 επιμ. Portland: Timber Press.

Ehringer, H. & Zito, U., 1984. Bioclimatic Design for Building Systems and Components. Στο: E. H. & Z. U., επιμ. *Energy Saving in Buildings*. Dordrecht: Springer.

Erell, E., Pearlmutter, D. & Williamson, T., 2011. *Urban Microclimate: Designing the Spaces Between Buildings*. 1st επιμ. London : Earthscan.

Feitosa, R.C., Wilkinson, S.J. (2018). Attenuating heat stress through green roof and greenwall retrofit. *Build. Environ.* 140, 11–22.

Golden, J. S. & Kaloush, K. E., 2006. Mesoscale and microscale evaluation of surface pavement impacts on the urban heat island effects. *International Journal of Pavement Engineering*, 7(1), p. 37–52.

Gonçalves, A. και συν., 2018. Urban Cold and Heat Island in the City of Bragança (Portugal). *Climate*, 6(70), pp. 1-14.

Hao, X., Xing, Q., Long, P., Lin, Y., Hu, J., & Tan, H. (2020). Influence of vertical greenery systems and green roofs on the indoor operative temperature of air-conditioned rooms. *Journal of Building Engineering*, 31, 101373.

Haggag, M., Hassan, A., & Elmasry, S. (2014). Experimental study on reduced heat gain through green facades in a high heat load climate. *Energy and Buildings*, 82, 668-674

Hassan, A. M. & Lee, H., 2015. Toward the sustainable development of urban areas: An overview of global trends in trials and policies. *Land Use Policy*, Τόμος 48, pp. 199-212.

Honjo, T., Yamato, H., Mikami, T. & Grimmond, C., 2015. Network optimization for enhanced resilience of urban heat island measurements. *Sustainable Cities and Society*, Τόμος 19, pp. 319-330.

Hui, S. & Zhao, Z., 2013. *Thermal regulation performance of green living walls in buildings*. Kowloon, Hong Kong, Joint Symposium 2013: Innovation and Technology for Built Environment.

Jandaghian, Z. & Akbari, H., 2018. The Effect of Increasing Surface Albedo on Urban Climate and Air Quality: A Detailed Study for Sacramento, Houston, and Chicago. *Climate*, 6(2), p. 19.

Kalogirou, C., 2009. *Examination of the bioclimatic parameter in the vernacular architecture – potential of modern constructing technologies adjustment*, Athens: National Technical University of Athens.

Katsoulas, N., Antoniadis, D. & Tsirogiannis, I., 2017. Microclimatic effects of planted hydroponic structures in urban environment: measurements and simulations. *International Journal of Biometeorology*, Τόμος 61, p. 943–956 .

Kershaw, T., 2017. The urban heat island (UHI). Στο: T. Kershaw, επιμ. *Climate Change Resilience in the Urban Environment*. s.l.:IOP Publishing, pp. 4-1 - 4-44.

Köhler, M., (2008). Green facades—a view back and some visions. *Urban Ecosystems*, 11(4), 423-436. <https://doi.org/10.1007/s11252-008-0063-x>

Kolokotroni, M., Zhang, Y. & Giridharan, R., 2009. Heating and cooling degree day prediction within the London urban heat island area. *Building Services Engineering Research and Technology*, 30(3), pp. 183-202.

Kontoleon, K. & Eumorfopoulou, E., 2010. The Effect of the Orientation and Proportion of a Plant-covered Wall Layer on the Thermal Performance of a Building Zone. *Building and Environment*, Τόμος 45, pp. 1287-1303.

Kottek, M. και συν., 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, Τόμος 15, pp. 259-263.

Kotthaus, S., Smith, T. E., Wooster, M. J. & Grimmond, C., 2014. Derivation of an urban materials spectral library through emittance and reflectance spectroscopy. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Τόμος 94, pp. 194-212.

Liu, W., Ji, C. & Zhong, J., 2006. Temporal characteristics of Beijing urban heat island. *Theoretical and Applied Climatology*, Τόμος 87, pp. 213-221.

Manso, M., Teotonio, I., Silva, C. M., Cruz, C.O. (2021). Green roof and green wall benefits and costs: A review of the quantitative evidence. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (135).

Manso, M. & Castro-Gomes, J., 2016. Thermal analysis of a new modular system for green walls. *Journal of Building Engineering*, Τόμος 7, pp. 53-62.

Manso, M. & Gomes, J. C., 2015. GreenWall Systems: A Review of their Characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Τόμος 41, pp. 863-871.

Mazzali, U. και συν., 2013. Experimental investigation on the energy performance of Living Walls in a temperate climate. *Building and Environment*, Τόμος 64, p. 57–66.

Mills, G., 2014. Urban climatology: History, status and prospects. *Urban Climate*, Τόμος 10, pp. 479-489.

Mirzaei, P. & Haghighat, F., 2010. Approaches to study urban heat island—abilities and limitations. *Buildings and environment*, Τόμος 45, pp. 2192-2201.

Moufida, B. & Djamel, A., 2012. Impact of vegetation on thermal conditions outside, Thermal modeling of urban microclimate, Case study: the street of the republic, Biskra. *Energy Procedia*, Τόμος 18, pp. 73-84.

Nastran, M.; Kobal, M.; Eler, K. (2019). Urban heat islands in relation to green land use in European cities. *Urban For. Urban Green*, (37) 33–41.

Olivieri, F., Olivieri, L. & Neila, J., 2014. Experimental study of the thermal-energy performance of an insulated vegetal façade under summer conditions in a continental Mediterranean climate. *Buildings and Environment*, Τόμος 77, p. 61–76.

Olivieri, F., Redondas, D., Olivieri, L. & Neila, J., 2014. Experimental characterization and implementation of an integrated autoregressive model to predict the thermal performance of vegetal facades. *Energy and Buildings*, Τόμος 72, p. 309–321.

Ottele, M., 2011. *The Green Building envelope: Vertical Greening*, Delft : Delft University of Technology.

Ottele, M., Perini, K., Fraaij, ALA., Haas, EM., & Raiteri, R. (2011). Comparative life cycle for green facades and living walls. *Energy and Buildings*, 43(12), 3419-3429.

Pérez, G., Rincón, L., Vilà, A., González, J., & Cabeza, L.F. (2011). Behaviour of green facades in Mediterranean Continental climate. *Energy Conversion and Management*, 52, 1861-1867.

Pérez, G., Coma, J., Martorell, I. & Cabeza, L. F. (2014). Vertical Greenery Systems (VGS) for energy saving in buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Τόμος 39, pp. 139-165.

Pérez, G., Coma, J., Sol, S. & Cabeza, L., 2017. Green facade for energy savings in buildings: The influence of leaf area index and facade orientation on the shadow effect. *Applied Energy*, Τόμος 187, p. 424–437..

Perini, K. και συν., 2017. The use of vertical greening systems to reduce the energy demand for air conditioning. Field monitoring in Mediterranean climate. *Energy and Buildings*, Τόμος 143, p. 35–42.

Perini, K. και συν., 2011. Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope. *Building and Environment*, Τόμος 46, pp. 2287–2294.

Perini, K. & Rosasco, P., 2013. Cost-benefit analysis for Green facades and the Living wall systems. *Building and Environment*, Τόμος 70, pp. 110–121.

Phelan, P. E. και συν., 2015. Urban Heat Island: Mechanisms, Implications, and Possible Remedies. *Annual Review of Environment and Resources*, Τόμος 40, pp. 285–307.

Pomerantz, M. και συν., 2003. *Examples of cooler reflective streets for urban heat-island mitigation : Portland cement concrete and chip seals*, Berkeley : Lawrence Berkeley National.

Pulselli, R. και συν., 2014. Emergy based evaluation of environmental performances of Living Wall and Grass Wall systems. *Energy and Buildings*, Τόμος 73, p. 200–211.

Ragheb, A. A., El-Darwish, I. I. & Ahmed, S., 2016. Microclimate and human comfort considerations in planning a historic urban quarter. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5(1), pp. 156–167.

Razzaghamanesh, M. & Razzaghamanesh, M., 2017. Thermal performance investigation of a living wall in a dry climate of Australia. *Buildings and Environment*, Τόμος 112, p. 45–62.

- Rogers, R., 1998. *Cities for a Small Planet*. 1 επιμ. Boulder: Westview Press.
- Rosenzweig, C., Solecki, W. & Slosberg, R., 2006. *Mitigating New York City's heat island with urban forestry, living roofs, and light surfaces*, New York: Final report for New York State Energy Research and Development Authority.
- Santamouris, M., 2014. Cooling the cities - A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy*, Τόμος 103, p. 682–703.
- Santamouris, M. & Asimakopoulos, D., 2001. *Energy and Climate in the Urban Built Environment*. 1st επιμ. London: James X James.
- Shashua-Bar, L. & Hoffman, M. E., 2000. Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. *Energy and Buildings*, 31(3), pp. 221-235.
- Shashua-Bar, L., Pearlmutter, D. & Erell, E., 2009. The cooling efficiency of urban landscape strategies in a hot dry climate. *Landscape and Urban Planning*, 92(3/4), pp. 179-186.
- Silva, H. B. R., Phelan, P., Golden, J. & Grossman-Clarke, S., 2009. Development of a zero-dimensional mesoscale thermal model for urban climate. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Τόμος 48, p. 657–668.
- Soltani, A. & Sharifi, E., 2017. Daily variation of urban heat island effect and its correlations to urban greenery: A case study of Adelaide. *Frontiers of Architectural Research*, 6(4), pp. 529-538.
- Stempihar, J. J., Pourshams-Manzouri, T., Kaloush, K. E. & Rodezno, M. C., 2012. Porous Asphalt Pavement Temperature Effects for Urban Heat Island Analysis. *Transportation Research Record*, Τόμος 2293, p. 123–130.

Susorova, I., Angulo, M., Bahrami, P. & Stephens, B., 2013. A model of vegetated exterior facades for evaluation of wall thermal performance. *Building and Environment*, Τόμος 67, pp. 1-13.

Syneffa, A. και συν., 2008. On the use of cool materials as a heat island mitigation strategy. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47(11), p. 2846–2856.

Taha, H., 1997. Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and buildings*, Τόμος 99-103, p. 25.

Taha, H., 1997. Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and Buildings*, 25(2), pp. 99-103.

Theodoriou-Sotiriou, L., Kariotou, G., Panagiotopoulos, E. & Kariotis, G., 2007. Better urban microclimate via a proposed city planning tool. A case study in Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 16(10), pp. 1619-1626.

Tian, L., Zhang, Y. & Zhu, J., 2014. Decreased surface albedo driven by denser vegetation on the Tibetan Plateau. *Environmental Research Letters*, 9(10).

Tudiwer, D. & Korjenic, A., 2017. The effect of living wall systems on the thermal resistance of the façade. *Energy and Buildings*, Τόμος 135, pp. 10-19.

United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2019. *World Urbanization Prospects The 2018 Revision*, New York: United Nations Department of Economic and Social Affairs.

Varquez, A. C. G. & Kanda, M., 2018. Global urban climatology: a meta-analysis of air temperature trends (1960–2009). *npj Climate and Atmospheric Science*, 1(32), pp. 1-8.

Victorero, F. και συν., 2015. Experimental study of the thermal performance of living walls under semiarid climatic conditions. *Energy Procedia*, Τόμος 78, p. 3416–3421.

Viecco, M., Jorquera, H., Sharma, A., Bustamante, W., Fernando, H., Vera, S. (2021). Green roofs and green walls layouts for improved urban air quality by mitigating particulate matter. *Building and Environment*, (vol. 204), <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108120>

Vox, G., Blanco, I. & Schettini, E., 2018. Green façades to control wall surface temperature in buildings. *Building and Environment*, Τόμος 129, pp. 154-166.

Wang, Y. & Akbari, H., 2016. Analysis of urban heat island phenomenon and mitigation solutions evaluation for Montreal. *Sustainable Cities and Society*, Τόμος 26, pp. 438-446.

Wong, N. H., Tan, A. Y. K., Tan, P. Y. & Wong, N. C., 2009. Energy simulation of vertical greenery systems. *Energy and Buildings*, Τόμος 41, pp. 1401-1408.

Wong, N. και συν., 2010. Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Building and environment*, Τόμος 45, pp. 663-672.

Wong, S. L., Wan, K. K. W., Li, D. H. W. & Lam, J. C., 2010. Impact of climate change on residential building envelope cooling loads in subtropical climates. *Energy and Buildings*, Τόμος 42, pp. 2098-2103.

Xiao, X. και συν., 2019. The relationships between urban-rural temperature difference and vegetation in eight cities of the Great Plains. *Frontiers of Earth Science*, Τόμος 13, pp. 209-302.

Yuan, J., Emura, K. & Farnham, C., 2016 . Potential for Application of Retroreflective Materials instead of Highly Reflective Materials for Urban Heat Island Mitigation. *Urban Studies Research*, Τόμος 2016, pp. 1-10.

Zhang, J.-H., Yun, B. & Yan, H., 2020. Linking observation, modelling and satellite-based estimation of global land evapotranspiration. *Big Earth Data*, 4(28), pp. 1-34.

Zuhairy, A. & Sayigh, A., 1993. The development of the bioclimatic concept in building design. *Renewable energy*, Τόμος 3, pp. 521-533.

Αραβαντινός, Α., 1998. *Πολοδομικός σχεδιασμός, για μία βιώσιμη ανάπτυξη του χώρου*. 1 επιμ. Αθήνα: Συμμετρία.

Ασπρογέρακας, Ε., 2003. *Χαρακτηριστικά και αναπτυξιακό δυναμικό των Ελληνικών πόλεων μεσαίου μεγέθους*, Αθήνα: Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Γερόλυμπου, Α. και συν., 1986. Περί Πολεοαρχιτεκτονικής ή το παλιό και το νέο στην Πολεοδομία. Στο: Α. Γερόλυμπου, και συν. επιμ. *Επί Πόλεως, Συλλογή Κειμένων*. Θεσσαλονίκη: Σύγχρονα Θέματα.

Γοσποδίνη, Α., 1999. Η Σύνταξη του χώρου ως μηχανισμός διάρθρωσης των κεντρικών λειτουργιών της πόλης: Η περίπτωση του Βόλου. Στο: Δ. Οικονόμου & Π. Γ., επιμ. *Η Ανάπτυξη των Ελληνικών Πόλεων, Διεπιστημονικές Προσεγγίσεις Αστικής Ανάλυσης και Πολιτικής*. Βόλος: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας Gutenberg, pp. 371-396.

Γοσποδίνη, Α., 2007. Χωρικές πολιτικές για το σχεδιασμό, την ανταγωνιστικότητα και τη βιώσιμη ανάπτυξη των ελληνικών πόλεων. *Αειχώρος*, 6(1), pp. 100-145.

Γοσποδίνη, Α. & Μπεριάτος, Η., 2006. Τα Αναδυόμενα ‘διεθνο–τοπικο–ποιημένα’ αστικά τοπία: Η περίπτωση της Αθήνας 2004 . Στο: Α. Γοσποδίνη & Η. Μπεριάτος, επιμ. *Τα Νέα Αστικά τοπία και η Ελληνική Πόλη*. Αθήνα: Κριτική, pp. 168-189.

Ιωάννου, Β. & Σερράος, Κ., 2006. Μετασχηματισμοί της Ελληνικής Πόλης. Επιπτώσεις στην εικόνα του αστικού τοπίου. Στο: Α. κ. Μ. Η. Γοσποδίνη, επιμ. *Τα Νέα Αστικά τοπία και η Ελληνική Πόλη*. Αθήνα: Κριτική, pp. 129-147.

Ιωάννου, Β. & Σερράος, Κ., 2007. Το παρόν και το μέλλον του ελληνικού αστικού τοπίου. *Αειχώρος*, 6(1), pp. 86-99.

- Καρύδης, Δ., 2006. *Τα επτά βιβλία της πολεοδομίας*. 1 επιμ. Αθήνα: Παπασωτηρίου.
- Κορδάτος, Χ. 2012. Πράσινες οροφές, Περιοδικό ECO-Garden, Ιούνιος 2012, <https://www.cea.org.cy/TOPICS/EnergyEfficient/2013/12%2005%2009%20Green%20Roofs.pdf>
- Κοσμάκη, Π., 2002. *Για μια Στρατηγική Σχεδιασμού Βιώσιμων Υπαίθριων Χώρων στην Πόλη*. Αθήνα, 10ο Πανελλήνιο Αρχιτεκτονικό Συνέδριο με Θέμα: 'Η Αρχιτεκτονική και η Ελληνική Πόλη στον 21ο αιώνα Τεχνικό Επιμελητήριο.
- Κυριαζής, Α., 2008. *Δυνατότητες διερεύνησης του ιστού των ελληνικών αστικών κέντρων. Ο ρόλος του Ενεργού Οικοδομικού Τετραγώνου*, Θεσσαλονίκη: Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Μακροπούλου, Μ. & Γοσποδίνη, Α., 2010. Αστικές Αναπλάσεις και δημόσιοι υπαίθριοι χώροι στην Ελλάδα: Η περίπτωση του αεροδρομίου Ελληνικό στην Αθήνα', στο: Στο: Η. Μπεριάτος & Μ. Παπαγεωργίου, επιμ. *Χωροταξία – Πολεοδομία - Περιβάλλον στον 21ο αιώνα*. Βόλος: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας, pp. 395-411.
- Μακροπούλου, Μ. Ε., 2016. *Διδακτορική Διατριβή: Περιβαλλοντικός Αστικός Σχεδιασμός και Βιοκλιματική Ανάπλαση των Ελληνικών Πόλεων*, Βόλος: Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Μαλούτας, Θ., 2002. *Κοινωνικός και Οικονομικός Άτλας της Ελλάδας: Τόμος Ι: Οι πόλεις*. 1 επιμ. Αθήνα, Βόλος: Εθνικό Κέντρο Κοινωνικών Ερευνών (ΕΚΚΕ) – Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας.
- Μαντουβάλου, Μ., 1996. Αστική γαιοπρόσοδος, τιμές γης και διαδικασίες ανάπτυξης του αστικού χώρου II. Προβληματική για την ανάλυση του χώρου στην Ελλάδα. *Επιθεώρηση Κοινωνικών Ερευνών*, pp. 53-80.

Συννέφα, Α., 2007. Διδ. Διατριβή: «Μελέτη ενεργειακών και Περιβαλλοντικών λύσεων για την αντιμετώπιση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας», Τμήμα Φυσικής -ΕΚΠΑ

Τσαλικίδης Ι., Αθανασιάδου Ε.Α. (2009). Αειφορικός σχεδιασμός χρήσεων γης, τοπίο και περιβάλλον. Εκδόσεις Γαρταγάνη. Θεσσαλονίκη, Ελλάς. Ευρωπαϊκή Ένωση.

Τσαλικίδης, Ι., Αθανασιάδου, Ε. (2011). Αειφόρος Αρχιτεκτονική Τοπίου: Σύγχρονες κατευθύνσεις και τάσεις στη έρευνα, εκπαίδευση και εφαρμογή, 25ο Πανελλήνιο Επιστημονικό Συνέδριο της Ελληνικής Εταιρείας της Επιστήμης των Οπωροκηπευτικών, Λεμεσός, Κύπρος

Τζώρτζη, Ν. & Σαρίκου, Σ., 2006. *Ενοποίηση και σχεδιασμός μικρών αστικών χώρων με βιοκλιματικές συνθήκες*. s.l., 8ο Εθνικό Συνέδριο για τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας.

Ψαθά, Ε., 2014. *Ποιότητα αστικής Ζωής στις Μεσαίου Μεγέθους Ελληνικές Πόλεις*, Βόλος: Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερικής Ανάπτυξης, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.