



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας»

Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 157 73, Ζωγράφου – 210-7723655 – erminfo@power.ece.ntua.gr

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΛΗΨΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ
ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΑΠΟΔΟΤΙΚΑ ΚΑΙ
ΑΝΘΡΑΚΤΙΚΑ ΣΤΟ ΚΛΙΜΑ ΚΤΙΡΙΑ»**

Του Μεταπτυχιακού Φοιτητή

Φώτη Μπόζιαρη

Επιβλέπων

Ευάγγελος Μαρινάκης
Επίκουρος καθηγητής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Αθήνα, Οκτώβριος 2023



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS

School of Electrical and Computer Engineering

Departmental Postgraduate Course

«Energy Production and Management»

Iroon Polytechniou St 9, 157 73, Zografou – 210-7723655 – epminfo@power.ece.ntua.gr

POST-GRADUATE THESIS

**«DECISION-MAKING UNDER UNCERTAINTY
FOR EFFICIENT AND CLIMATE RESILIENT
BUILDINGS»**

Student

Fotis Boziaris

Supervisor

Vangelis Marinakis, Assistant Professor, NTUA

Athens, October 2023

Φώτιος Χ. Μπόζιαρης

Κάτοχος του μεταπτυχιακού διπλώματος με τίτλο «Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας» του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

Copyright © Φώτιος Χ. Μπόζιαρης, 2023.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΣΥΝΟΨΗ

Η ανάγκη για την κατασκευή κλιματικά ανθεκτικών κτιρίων είναι διαρκώς αυξανόμενη εξαιτίας των σταδιακά πιο έντονων καιρικών φαινομένων που παρατηρούνται στα πλαίσια της κλιματικής αλλαγής. Ο σχεδιασμός προσαρμόσιμων κτιρίων, πέραν του γεγονότος ότι αποτελεί ένα από τα πιο απαιτητικά στάδια της μελέτης κατασκευής, είναι βιώσιμης σημασίας καθώς επηρεάζει άμεσα την ευημερία και την ασφάλεια των ανθρώπων που βρίσκονται στο εσωτερικό τους. Στόχοι της παρούσας εργασίας είναι, αφενός να δώσει τις σωστές κατευθύνσεις για τον ορθό σχεδιασμό και την κατασκευή κτιρίων ανθεκτικών στην κλιματική αλλαγή, ως προς τη δημιουργία και τη διατήρηση συνθηκών θερμικής άνεσης, και αφετέρου να δημιουργήσει μία εικόνα για την σημερινή κατάσταση. Προκειμένου το κύριο μέρος της εργασίας να γίνει εύκολα αντιληπτό, κρίθηκε απαραίτητη η παρουσίαση του βασικού θεωρητικού υποβάθρου. Πιο συγκεκριμένα, στα πρώτα κεφάλαια της εργασίας γίνεται λόγος τόσο για τους παράγοντες που προσδιορίζουν την ανθεκτικότητα των κτιρίων στο κλίμα, όσο και για τις πιθανές προκλήσεις που δύνανται να θέσουν υπό δοκιμή την προσαρμοστικότητα τους. Αναφορικά με το κυρίως θέμα της εργασίας, αποσκοπώντας σε μία σφαιρική και ολοκληρωμένη προσέγγιση, κρίθηκε προτιμότερο η μελέτη να πραγματοποιηθεί ανά κλιματικό τύπο. Σε πρώτο στάδιο αναλύονται οι σχεδιαστικές αρχές και οι κατασκευαστικές τεχνικές που είναι ικανές να συμβάλουν αποτελεσματικά στην εξασφάλιση υγιών εσωτερικών συνθηκών για τα κτίρια κάθε κλίματος. Έπειτα, η έρευνα εστιάζει στην επιλογή των κατάλληλων υλικών κατασκευής για κάθε μία από τις περιπτώσεις μελέτης. Ακολούθως, σαν τελευταίο στάδιο, γίνεται παρουσίαση και ανάλυση πραγματικών δεδομένων κατοικιών, προκειμένου να αξιολογηθεί ο υφιστάμενος βαθμός κλιματικής ανθεκτικότητας των κτιρίων κάθε κλιματικού τύπου.

ABSTRACT

The need for the construction of climate resilient buildings is constantly increasing due to the increasingly intense weather phenomena observed in the context of climate change. The design of adaptable buildings, in addition to being the most demanding stage of construction design, is of sustainable importance as it directly affects the well-being and safety of the people inside them. The objectives of this work are, on the one hand, to give the right directions for the correct design and construction of buildings resistant to climate change, in terms of creating and maintaining thermal comfort conditions, and on the other hand, to create an image of the current situation. In order for the main part of the work to be easily understood, it was considered necessary to present the basic theoretical background. More specifically, the first chapters of the work discuss both the factors that determine the resilience of buildings to the climate, as well as the possible challenges that can test their adaptability. Regarding the main topic of the work, aiming at an integrated approach, it was considered preferable to prepare the study by climate type. In the first stage, the design principles and construction techniques that are able to effectively contribute to ensuring healthy indoor conditions for buildings of any climate are analyzed. Then, the research focuses on the selection of the appropriate construction materials for each of the study cases. Then, as a final stage, a presentation and analysis of real residential data is made, in order to evaluate the existing degree of climate resiliency of the buildings of each climate type.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ανάγκη για την κατασκευή κλιματικά ανθεκτικών κτιρίων είναι διαρκώς αυξανόμενη εξαιτίας των σταδιακά πιο έντονων καιρικών φαινομένων που παρατηρούνται στα πλαίσια της κλιματικής αλλαγής. Ο σχεδιασμός προσαρμόσιμων κτιρίων, πέραν του γεγονότος ότι αποτελεί ένα από τα πιο απαιτητικά στάδια της μελέτης κατασκευής, είναι βιώσιμης σημασίας καθώς επηρεάζει άμεσα την ευημερία και την ασφάλεια των ανθρώπων που βρίσκονται στο εσωτερικό τους. Στόχοι της παρούσας εργασίας είναι, αφενός να δώσει τις σωστές κατευθύνσεις για τον ορθό σχεδιασμό και την κατασκευή κτιρίων ανθεκτικών στην κλιματική αλλαγή, ως προς τη δημιουργία και τη διατήρηση συνθηκών θερμικής άνεσης, και αφετέρου να δημιουργήσει μία εικόνα για την σημερινή κατάσταση. Προκειμένου το κύριο μέρος της εργασίας να γίνει εύκολα αντιληπτό, κρίθηκε απαραίτητη η παρουσίαση του βασικού θεωρητικού υποβάθρου. Πιο συγκεκριμένα, στα πρώτα κεφάλαια της εργασίας γίνεται λόγος τόσο για τους παράγοντες που προσδιορίζουν την ανθεκτικότητα των κτιρίων στο κλίμα, όσο και για τις πιθανές προκλήσεις που δύνανται να θέσουν υπό δοκιμή την προσαρμοστικότητα τους. Αναφορικά με το κυρίως θέμα της εργασίας, αποσκοπώντας σε μία σφαιρική και ολοκληρωμένη προσέγγιση, κρίθηκε προτιμότερο η μελέτη να πραγματοποιηθεί ανά κλιματικό τύπο. Σε πρώτο στάδιο αναλύονται οι σχεδιαστικές αρχές και οι κατασκευαστικές τεχνικές που είναι ικανές να συμβάλουν αποτελεσματικά στην εξασφάλιση υγιών εσωτερικών συνθηκών για τα κτίρια κάθε κλίματος. Πιο συγκεκριμένα, δίνονται οι κατευθύνσεις, τόσο για την επιλογή της κατάλληλης τοποθεσίας και του βέλτιστου προσανατολισμού του κτιρίου, όσο και για την ιδανική διάταξη και διαμόρφωσή του. Στη συνέχεια, γίνεται ανάλυση των μεθόδων που αποσκοπούν στην ενίσχυση του φυσικού αερισμού, όπως είναι η στρατηγικά φυτεμένη βλάστηση και η χρησιμοποίηση αιολικών πύργων. Ακολουθεί η ανάλυση των τεχνικών σκίασης, οι οποίες δεν αφορούν μόνο τα ανοίγματα του κτιρίου μέσω του κατάλληλου σχεδιασμού της προεξοχής της οροφής και ανάλογων μεθόδων, αλλά και τις στέγες, μιας και παρουσιάζονται σχετικές τεχνικές, όπως η κατασκευή δευτερεύουσας οροφής. Σε επόμενη ενότητα παρατίθενται τα κατάλληλα μέτρα που αποσκοπούν στη δημιουργία συνθηκών θερμικής άνεσης στα ψυχρά κλίματα. Τα μέτρα αυτά εξυπηρετούν την αύξηση του ηλιακού κέρδους, τον περιορισμό της έκθεσης σε ψυχρούς ανέμους και κατά κύριο

λόγο τη δημιουργία μίας ισχυρής και αποτελεσματικής μόνωσης. Επίσης, δίνονται οι γενικές κατευθύνσεις για την εφαρμογή των κατάλληλων σχεδιαστικών τεχνικών στα σύνθετα κλίματα. Πρόσθετα, το κεφάλαιο περιλαμβάνει προτάσεις οι οποίες δεν αφορούν την κατασκευή των κτιρίων, όπως είναι η δημιουργία δρόμων μεγάλου φάρδους στα ψυχρά κλίματα για την αποφυγή της αμοιβαίας σκίασης. Έπειτα, η έρευνα εστιάζει στην επιλογή των κατάλληλων υλικών κατασκευής για κάθε μία από τις περιπτώσεις μελέτης. Σε πρώτο στάδιο γίνεται λόγος για τις γενικές κατευθύνσεις που οδηγούν στην κατάλληλη επιλογή, όπως η προτίμηση των τοπικά διαθέσιμων και όσων έχουν παραχθεί με αειφόρο τρόπο. Στη συνέχεια αναλύονται βασικές ιδιότητες των υλικών, όπως η θερμική διαπερατότητα, και τελικώς γίνονται προτάσεις για κάθε κλιματικό τύπο. Ακολούθως, σαν τελευταίο στάδιο, γίνεται παρουσίαση και ανάλυση πραγματικών δεδομένων κατοικιών, προκειμένου να αξιολογηθεί ο υφιστάμενος βαθμός κλιματικής ανθεκτικότητας των κτιρίων κάθε κλιματικού τύπου. Τα δεδομένα αφορούν όλες τις κατοικίες κάθε κλιματικής ζώνης των ΗΠΑ για το έτος 2020, όπως αυτά δημοσιεύτηκαν από τον επίσημο διαχειριστή ενέργειας της Αμερικής, ενώ σχετίζονται με τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά, τη χρησιμοποίηση συστημάτων θέρμανσης και ψύξης, αλλά και τα ζητήματα ενεργειακής ανασφάλειας. Κλείνοντας, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από όλη τη μελέτη.

SUMMARY

The need for the construction of climate resilient buildings is constantly increasing due to the increasingly intense weather phenomena observed in the context of climate change. The design of adaptable buildings, in addition to being the most demanding stage of construction design, is of sustainable importance as it directly affects the well-being and safety of the people inside them. The objectives of this work are, on the one hand, to give the right directions for the correct design and construction of buildings resistant to climate change, in terms of creating and maintaining thermal comfort conditions, and on the other hand, to create an image of the current situation. In order for the main part of the work to be easily understood, it was considered necessary to present the basic theoretical background. More specifically, the first chapters of the work discuss both the factors that determine the resilience of buildings to the climate, as well as the possible challenges that can test their adaptability. Regarding the main topic of the work, aiming at an integrated approach, it was considered preferable to prepare the study by climate type. In the first stage, the design principles and construction techniques that are able to effectively contribute to ensuring healthy indoor conditions for buildings of any climate are analyzed. More specifically, directions are given, both for choosing the appropriate location and optimal orientation of the building, as well as for its ideal layout and configuration. Then, methods aimed at enhancing natural ventilation are analyzed, such as strategically planted vegetation and the use of wind towers. This is followed by the analysis of shading techniques, which not only concern the building openings through the appropriate design of the roof overhang and similar methods, but also the roofs, since related techniques such as the construction of a secondary roof are presented. The next section lists the appropriate measures aimed at creating thermal comfort conditions in cold climates. These measures serve to increase the solar gain, limit the exposure to cold winds and mainly create an effective insulation. Also, general guidelines are given for the application of appropriate design techniques in complex climates. Additionally, the chapter includes suggestions that do not involve building construction, such as widening roads in cold climates to avoid mutual shading. Then, the research focuses on the selection of the appropriate construction materials for each of the study cases. In the first stage, the general directions that lead to the appropriate choice are discussed, such as the preference

of locally available and those that have been produced in a sustainable way. Then basic properties of the materials are analyzed, such as thermal permeability, and finally proposals are made for each climate type. Then, as a final stage, a presentation and analysis of real residential data is made, in order to evaluate the existing degree of climate resiliency of the buildings of each climate type. The data covers all homes in each US climate zone for the year 2020, as published by America's official energy administrator, and relates to construction features, heating and cooling system utilization, and energy insecurity issues. Finally, the conclusions obtained from the entire study are presented.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΣΥΝΟΨΗ.....	4
ABSTRACT	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
SUMMARY	8
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	10
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	12
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	15
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	19
ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ	19
2.1 Προσδιορισμός της έννοιας	19
2.2 Προκλήσεις.....	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	28
ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΓΙΑ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ	28
3.1 Τοποθεσία κτιρίου και προσανατολισμός	28
3.2 Διαμόρφωση και διάταξη κτιρίου	30
3.3 Φυσικός αερισμός	31
3.3.1 Αερισμός σε θερμό και υγρό κλίμα.....	34
3.3.2 Αερισμός σε θερμό και ξηρό κλίμα	36
3.4 Σκίαση και δροσερές επιφάνειες	40
3.4.1 Τζάμια, ανοίγματα και σκίαση	40
3.4.2 Στέγες και δροσερές επιφάνειες.....	44
3.5 Θερμική προσαρμογή σε ψυχρά και εύκρατα κλίματα	46
3.5.1 Ψυχρά κλίματα	46
3.5.2 Σύνηθρα και εύκρατα κλίματα.....	53
3.6 Συνόψιση	53
3.6.1 Σχεδιασμός κτιρίων	53
3.6.2 Εξωτερικοί παράγοντες.....	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	57
ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ	57
4.1 Χρήσιμες παράμετροι.....	57
4.2 Επιλογή υλικών ανά κλιματική ζώνη.....	58
4.2.1 Γενικά στοιχεία	58

4.2.2 Ψυχρά κλίματα	62
4.2.3 Θερμά και υγρά κλίματα	63
4.2.4 Θερμά και ξηρά κλίματα	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	66
ΕΠΙΚΡΑΤΟΝΤΑ ΚΤΙΡΙΑΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	66
5.1 Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά	66
5.1.1 Έτος κατασκευής	66
5.1.2 Σύσταση εξωτερικών τοίχων	67
5.1.3 Κύριο υλικό στέγης.....	69
5.1.4 Επάρκεια μόνωσης.....	70
5.1.5 Ύψος ταβανιών	71
5.1.6 Σχεδιασμός παραθύρων.....	71
5.2 Θέρμανση	74
5.2.1 Χρησιμοποίηση συστημάτων θέρμανσης.....	74
5.2.2 Κύριο σύστημα θέρμανσης	75
5.2.3 Δευτερεύον σύστημα θέρμανσης.....	77
5.2.4 Χειμερινές εσωτερικές θερμοκρασίες	79
5.3 Κλιματισμός	81
5.3.1 Συστήματα ψύξης.....	81
5.3.2 Ανεμιστήρες.....	83
5.3.3 Θερινές εσωτερικές θερμοκρασίες	86
5.4 Ενεργειακή ανασφάλεια κατοικιών	87
5.5 Συνόψιση	90
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....	93
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	93
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	96

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Παράγοντες που επηρεάζουν την ανθεκτικότητα στο κλίμα σε αστικό επίπεδο, κατηγοριοποιημένοι στα αντίστοιχα πεδία	21
Πίνακας 2: Κοινά δομικά υλικά και συστήματα.....	60
Πίνακας 3: Θερμική απόδοση επιλεγμένων εφαρμογών	61
Πίνακας 4: Μετάδοση θορύβου επιλεγμένων εφαρμογών	62
Πίνακας 5: Αντοχή των υλικών στο νερό	64
Πίνακας 6: Έτη κατασκευής κατοικιών στις ΗΠΑ για κάθε κλιματική ζώνη [47].....	66
Πίνακας 7: Σύσταση των εξωτερικών τοίχων των κατοικιών κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ.....	67
Πίνακας 8: Κύριο υλικό στέγης των κατοικιών κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ.....	69
Πίνακας 9: Επάρκεια μόνωσης των κατοικιών κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ.....	70
Πίνακας 10: Ύψος οροφών των κατοικιών κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ	71
Πίνακας 11: Υλικό κουφωμάτων παραθύρων των κατοικιών κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ.....	71
Πίνακας 12: Τύποι τζαμιών παραθύρων των κατοικιών κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ.....	72
Πίνακας 13: Αριθμός παραθύρων των κατοικιών κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ.....	73
Πίνακας 14: Χρησιμοποίηση συστημάτων θέρμανσης στις κατοικίες κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ.....	74
Πίνακας 15: Κύριο σύστημα θέρμανσης των κατοικιών κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ	75
Πίνακας 16: Ηλικία κύριου συστήματος θέρμανσης των κατοικιών κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ.....	76
Πίνακας 17: Τύπος χρησιμοποιούμενου θερμοστάτη του κύριου συστήματος θέρμανσης ή ψύξης των κατοικιών κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ	76
Πίνακας 18: Δευτερεύον σύστημα θέρμανσης των κατοικιών κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ.....	78
Πίνακας 19: Χρησιμοποίηση των δευτερευόντων συστημάτων θέρμανσης στις κατοικίες κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ.....	79
Πίνακας 20: Εσωτερικές ημερήσιες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών όταν κάποιος βρίσκεται εντός των κατοικιών για τις κατοικίες κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ.....	79
Πίνακας 21: Εσωτερικές ημερήσιες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών όταν δε βρίσκεται κανείς εντός των κατοικιών για τις κατοικίες κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ.....	80
Πίνακας 22: Εσωτερικές νυκτερινές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών για τις κατοικίες κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ	80
Πίνακας 23: Συστήματα ψύξης των κατοικιών κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ.....	81
Πίνακας 24: Ηλικία κύριου συστήματος ψύξης των κατοικιών κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ.....	82
Πίνακας 25: Δευτερεύον σύστημα ψύξης των κατοικιών κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ	82
Πίνακας 26: Αριθμός φορητών κλιματιστικών, τοίχου και παραθύρου των κατοικιών κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ	83
Πίνακας 27: Τύποι χρησιμοποιούμενων ανεμιστήρων στις κατοικίες κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ.....	83

Πίνακας 28: Συχνότητα χρήσης των ανεμιστήρων οροφής στις κατοικίες κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ.....	84
Πίνακας 29: Αριθμός ανεμιστήρων οροφής, δαπέδου και παραθύρου των κατοικιών κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ	85
Πίνακας 30: Εσωτερικές ημερήσιες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών όταν κάποιος βρίσκεται εντός των κατοικιών για τις κατοικίες κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ.....	86
Πίνακας 31: Εσωτερικές ημερήσιες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών όταν δε βρίσκεται κανείς εντός των κατοικιών για τις κατοικίες κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ.....	86
Πίνακας 32: Εσωτερικές νυκτερινές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών για τις κατοικίες κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ	86
Πίνακας 33: Αριθμός κατοικιών με ενεργειακή ανασφάλεια για κάθε κλιματική ζώνη....	88
Πίνακας 34: Αριθμός κατοικιών με ενεργειακή ανασφάλεια για κάθε χρονική περίοδο κατασκευής.....	89
Πίνακας 35: Αριθμός κατοικιών με ενεργειακή ανασφάλεια ανάλογα με την ποιότητα της μόνωσης και τον τύπο τζαμιού παραθύρων.....	90

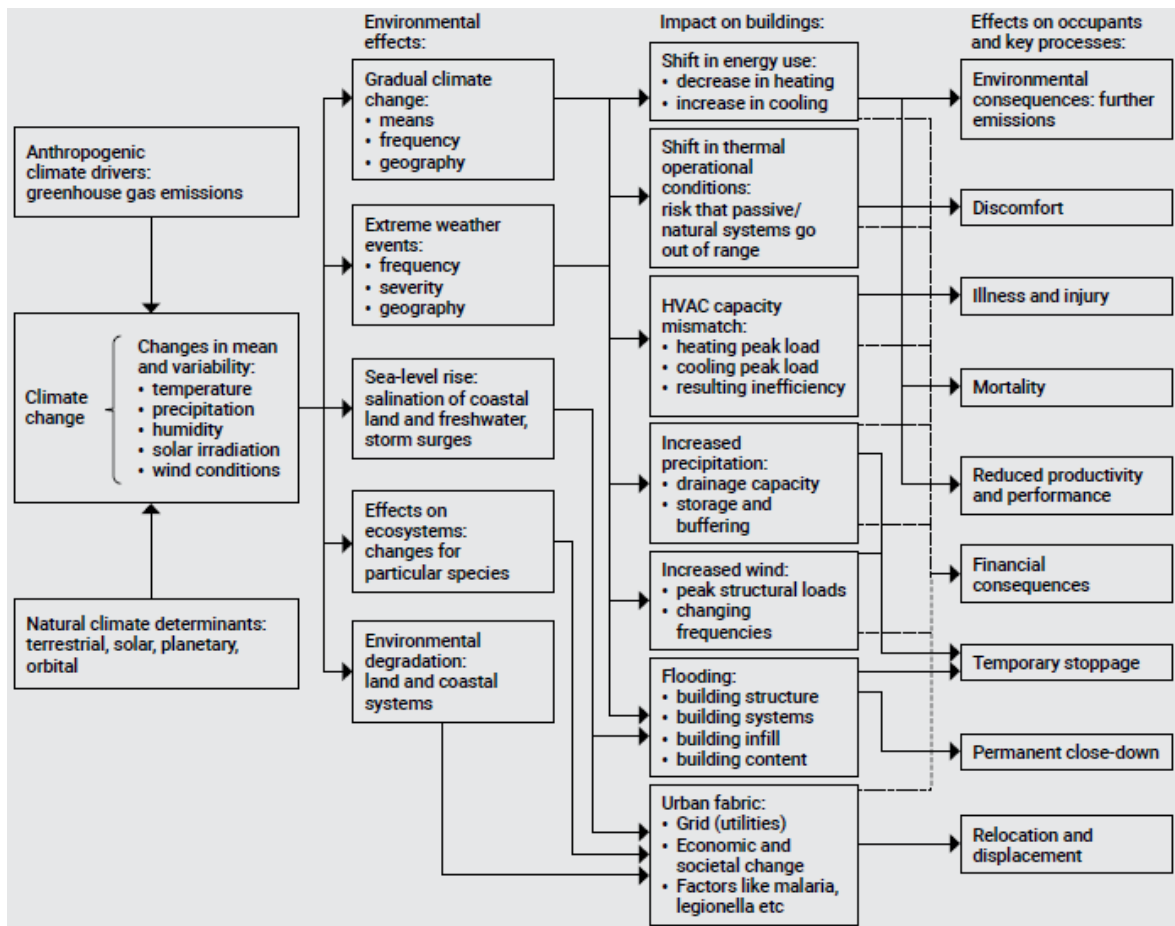
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Πώς οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής επηρεάζουν τα κτίρια και τους ανθρώπους που βρίσκονται μέσα σε αυτά	15
Εικόνα 2: Μέσες θερμοκρασίες του διαστήματος 2011- 2021 σε σύγκριση με το μέσο όρο 1956-1976	16
Εικόνα 3:Εκτιμώμενη αλλαγή στο pH του θαλασσινού νερού λόγω του CO ₂ που εκλήθηκε στην ατμόσφαιρα από τις ανθρώπινες δραστηριότητες μεταξύ 1700 και 1990	16
Εικόνα 4: Αύξηση της αναλογίας των δημοσιεύσεων διαφορετικών υποπεδίων της κλιματικής αλλαγής έναντι της ανάπτυξης σε όλους τους τομείς	18
Εικόνα 5: Τελική αξιολόγηση με μέγιστο βαθμό το πέντε (οι κωδικοί εξηγούνται στον Πίνακα 1)	22
Εικόνα 6:Διαγραμματική απεικόνιση της σημασίας ως προς τον καθορισμό του βαθμού ανθεκτικότητας στο κλίμα για τους εξεταζόμενους κλάδους	23
Εικόνα 7: Κατάλληλη εμφύτευση δέντρων και θάμνων για διοχέτευση των ρευμάτων αέρα	29
Εικόνα 8: Ιδανικός προσανατολισμός κτιρίου για κάθε ένα από τα δύο ημισφαίρια	29
Εικόνα 9: Χαμηλός (αριστερά) και υψηλός (δεξιά) λόγος περιμέτρου προς εμβαδό	30
Εικόνα 10: Εγκάρσιος αερισμός μέσω κατάλληλης κάτοψης	32
Εικόνα 11: Η επανεγκατάσταση της πόλης Jaanapur στο Νέο Δελχί	32
Εικόνα 12: Σχεδιασμός ενός σπιτιού σε θερμό και υγρό κλίμα	33
Εικόνα 13:Καθημερινή διαχείριση ενέργειας σε παραδοσιακό κτίριο στο Nagarpattinam	35
Εικόνα 14: Μεγιστοποίηση του υψομέτρου και της βλάστησης με σκοπό την εκμετάλλευση δροσερών ρευμάτων αέρα σε θερμά και υγρά κλίματα.....	36
Εικόνα 15: Διαφορετικές διαστάσεις αυλής για αερισμό και αμοιβαία σκίαση	37
Εικόνα 16:Διώροφος αιολικός πύργος στο Ιράν	38
Εικόνα 17:Κεντρικός αιολικός πύργος με νερό για ψύξη, κατάλληλος για ζεστά και ξηρά κλίματα	39
Εικόνα 18: Σύστημα γήινης σήραγγας αέρα που χρησιμοποιεί υπόγεια θερμοκρασία για ψύξη	40
Εικόνα 19:Ο συντελεστής προβολής (PF) υπολογίζεται διαιρώντας την προεξοχή (A) με το μήκος (B)	41
Εικόνα 20:Στρατηγικές σκίασης για περιοχές με ζεστό και ξηρό κλίμα	43
Εικόνα 21: Βαφή οροφής με χρώματα καλής ανακλαστικής συμπεριφοράς	46
Εικόνα 22: Σύστημα άμεσου ηλιακού κέρδους	49
Εικόνα 23: Τοίχος Trombe	50
Εικόνα 24: Αποθήκευση ενέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας και απελευθέρωσή της κατά τη διάρκεια της νύχτας από ένα σύστημα τοίχου νερού.....	51
Εικόνα 25: Εφαρμογή τοίχου Trombe	52
Εικόνα 26: Ηλιακή καμινάδα	52

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

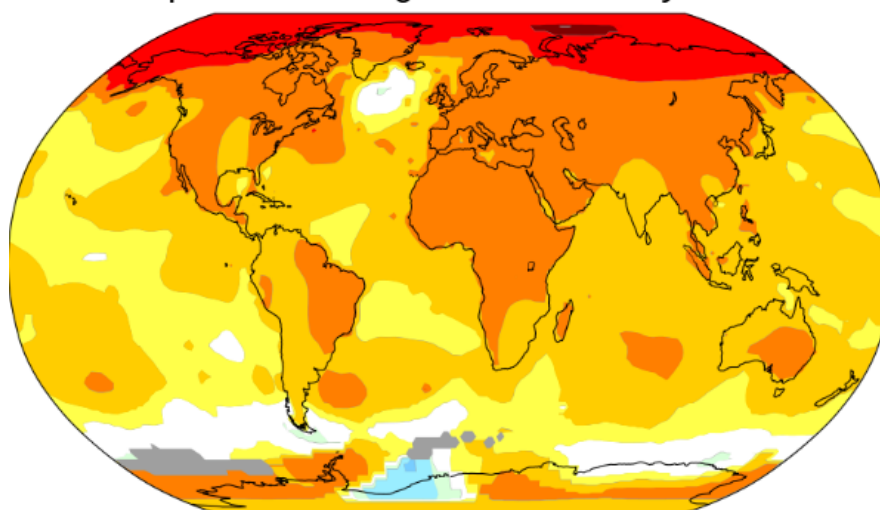
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανθρώπινη δραστηριότητα ενείχε τον πιο καθοριστικό ρόλο στην επιτάχυνση της κλιματικής αλλαγής που έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια του προηγούμενου αιώνα. Ανεξαρτήτως του πόσο επιτυχημένες είναι οι προσπάθειες περιορισμού των αιτιών θέρμανσης του πλανήτη, ο κτιριακός τομέας και γενικότερα η κοινωνία, έχουν ήδη έρθει αντιμέτωποι με τις σημαντικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, (εικόνα 1) όπως είναι οι παρατεταμένες περίοδοι ξηρασίας, η υπερθέρμανση (εικόνα 2) και η οξίνιση των ωκεανών (εικόνα 3). Η ικανότητα προετοιμασίας, ανάκαμψης και προσαρμογής σε αυτές τις επιπτώσεις ονομάζεται «ανθεκτικότητα στο κλίμα» («climate resilience»).

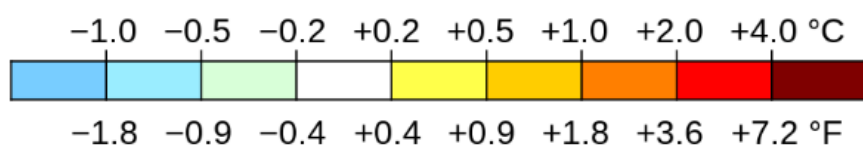


Εικόνα 1: Πώς οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής επηρεάζουν τα κτίρια και τους ανθρώπους που βρίσκονται μέσα σε αυτά [1]

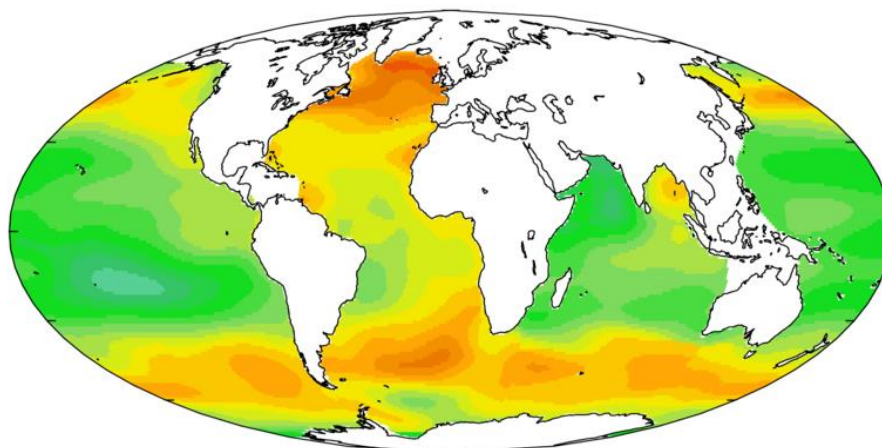
Temperature change in the last 50 years



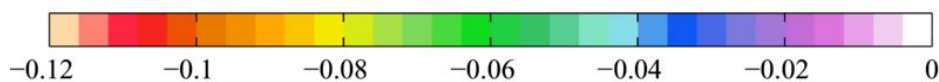
2011–2021 average vs 1956–1976 baseline



Εικόνα 2: Μέσες θερμοκρασίες του διαστήματος 2011- 2021 σε σύγκριση με το μέσο όρο 1956-1976 [2]



Δ sea-surface pH [-]



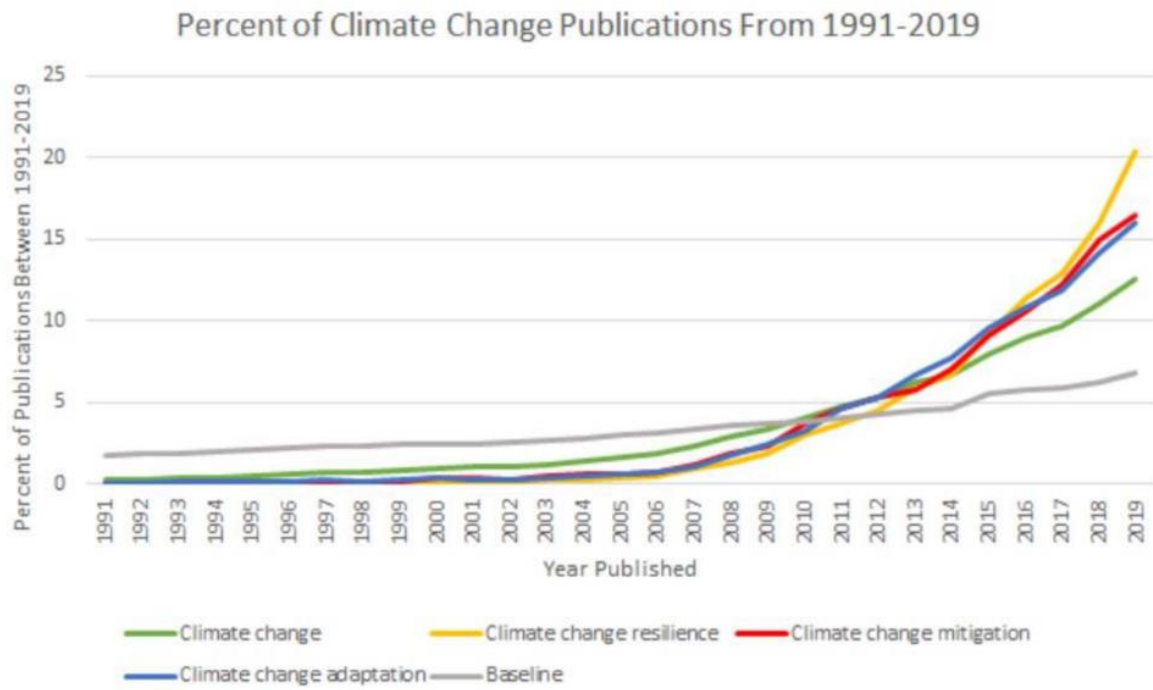
Εικόνα 3: Εκτιμώμενη αλλαγή στο pH του θαλασσινού νερού λόγω του CO₂ που εκλήθηκε στην ατμόσφαιρα από τις ανθρώπινες δραστηριότητες μεταξύ 1700 και 1990 [2]

Η ανθεκτικότητα αποτελεί μία ολοένα και πιο κοινή λέξη στις επιστημονικές δημοσιεύσεις που πραγματεύονται την κλιματική αλλαγή (εικόνα 4). Τα ακραία καιρικά

φαινόμενα έχουν δείξει ότι η ανθεκτικότητα είναι ένα ουσιαστικό συστατικό οποιουδήποτε ολοκληρωμένου προγράμματος δράσης για το κλίμα, καθώς η κλιματική αλλαγή είναι ένα παγκόσμιο ζήτημα. Παρά το γεγονός ότι οι αιτίες και οι γενικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής έχουν καθολικό χαρακτήρα, οι προσπάθειες ενίσχυσης της ανθεκτικότητας πρέπει να εκτελούνται σε ατομικό επίπεδο. Όπως γίνεται αντιληπτό, η συνδυασμένη και συντονισμένη προσπάθεια αποτελεί μονόδρομο για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος.

Ο τομέας των κατασκευών, εξαιτίας της εκμετάλλευσης των υλικών πόρων, των χρήσεων της γης, της ενεργειακής κατανάλωσης κατά τη διάρκεια όλων των φάσεων του κύκλου ζωής ενός οικοδομικού προϊόντος, αλλά και της παραγωγής οικοδομικών αποβλήτων στη φάση της κατεδάφισης, αποτελεί για την Ευρώπη, έναν από τους κυριότερους τομείς που ευθύνονται για την περιβαλλοντική ρύπανση, ενώ προκαλεί το 40% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας και το 36% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου [3].

Η αποδοχή και η αναγνώριση των άμεσων και έμμεσων επιπτώσεων που απορρέουν από την οικοδομική δραστηριότητα και τα συστήματα των κτιρίων, οδήγησε τη σύγχρονη αρχιτεκτονική στην ευρεία χρήση του όρου «ανθεκτικότητα στην κλιματική αλλαγή», ως μία έννοια άμεσα σχετιζόμενη με την ενεργειακή αποδοτικότητα και σα σημαντική προϋπόθεση ενός ποιοτικού αρχιτεκτονικού σχεδιασμού. Είναι πλέον γεγονός η ανάγκη για μια καινοτόμο σχεδιαστική και αρχιτεκτονική προσέγγιση, που συνδυάζει τη βέλτιστη αξιοποίηση και χρήση των τοπικών πόρων (κλιματικών και υλικών) με την υψηλή ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος. Όταν κάνουμε λόγο για ένα κτίριο ανθεκτικό στην κλιματική αλλαγή, αναφερόμαστε «σε έναν κτιριακό οργανισμό που μπορεί να εξασφαλίσει εσωτερικές συνθήκες άνεσης περιορίζοντας στο ελάχιστο τη χρήση ενεργειακών μη ανανεώσιμων πόρων» [4]. Στην περίπτωση αυτή η επίτευξη θερμικής, ακουστικής, οπτικής άνεσης δεν εξασφαλίζεται αποκλειστικά μέσω μηχανολογικού εξοπλισμού και αυτοματισμών, αλλά αποτελεί συνδυασμό μιας σειράς τυπολογικών, κατασκευαστικών και τεχνολογικών λύσεων.



Εικόνα 4: Αύξηση της αναλογίας των δημοσιεύσεων διαφορετικών υποπεδίων της κλιματικής αλλαγής έναντι της ανάπτυξης σε όλους τους τομείς [5]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ

2.1 Προσδιορισμός της έννοιας

Το πιο βασικό ίσως ερώτημα που καλείται να απαντηθεί προκειμένου να γίνει εφικτή μια ορθολογική προσέγγιση του εξεταζόμενου θέματος είναι το ποιοι παράγοντες προσδιορίζουν το αν και πόσο ένα κτήριο είναι ανθεκτικό στο κλίμα.

Ανατρέχοντας τη βιβλιογραφία, μπορεί κανείς να αντιληφθεί πως η ανθεκτικότητα των κτηρίων στο κλίμα αποτελεί μία ευρεία έννοια η οποία έχει πολλές όψεις. Οι Albers et al. [6] συσχετίζουν την ανθεκτικότητα με την ικανότητα του κτηρίου να διατηρεί τις εσωτερικές θερμοκρασίες εντός προκαθορισμένων ορίων και να επιτρέπει στους ανθρώπους την ικανότητα εύκολης προσαρμογής στις περιβαλλοντικές συνθήκες. Ως το μέτρο αποφυγής της υπερθέρμανσης αντιμετωπίζουν την ανθεκτικότητα οι Lomas και Giridharan [7] δίνοντας έμφαση στην ικανότητα του κατοίκου να αντιμετωπίσει την αλλαγή. Οι Coley και Kershaw [8] αποδίδουν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα σε κτήρια τα οποία χαρακτηρίζονται από μικρότερη σχέση μεταξύ της μέσης και της μέγιστης εσωτερικής θερμοκρασίας και της μέσης και μέγιστης εξωτερικής θερμοκρασίας σε διαφορετικά σενάρια κλιματικής αλλαγής. Επίσης, σύμφωνα με τους Short et al. [9] καθοριστικό παράγοντα για τον καθορισμό της ανθεκτικότητας ενός κτηρίου στην υπερθέρμανση αποτελεί η ποιότητα του μηχανικού αερισμού. Στη συγκεκριμένη μελέτη δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στη σημασία των παθητικών επιλογών σχεδιασμού των κτηρίων, όπως είναι η σκίαση. Οι Trebilcock-Kelly et al. [10] αξιολογούν την ανθεκτικότητα ενός κτηρίου στο κλίμα από το κατά πόσο είναι σχεδιασμένο για να λειτουργεί με ευελιξία ώστε να μπορεί να προσαρμοστεί στις απαιτήσεις των ενοίκων του και να προωθήσει την προσαρμοστικότητα τους.

Καθίσταται προφανές ότι προκειμένου ένα κτήριο να θεωρηθεί ανθεκτικό στο κλίμα, θα πρέπει όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως να επιτυγχάνονται με το ελάχιστο ενεργειακό κόστος. Τον πιο σημαντικό ρόλο σε αυτό ενδεχομένως να έχει ο κατάλληλος αρχιτεκτονικός σχεδιασμός που σε συνδυασμό με τη βέλτιστη επιλογή των υλικών, μεταβάλλεται ανάλογα με την κλιματική ζώνη. Εκτός αυτού, δε θα μπορούσε να

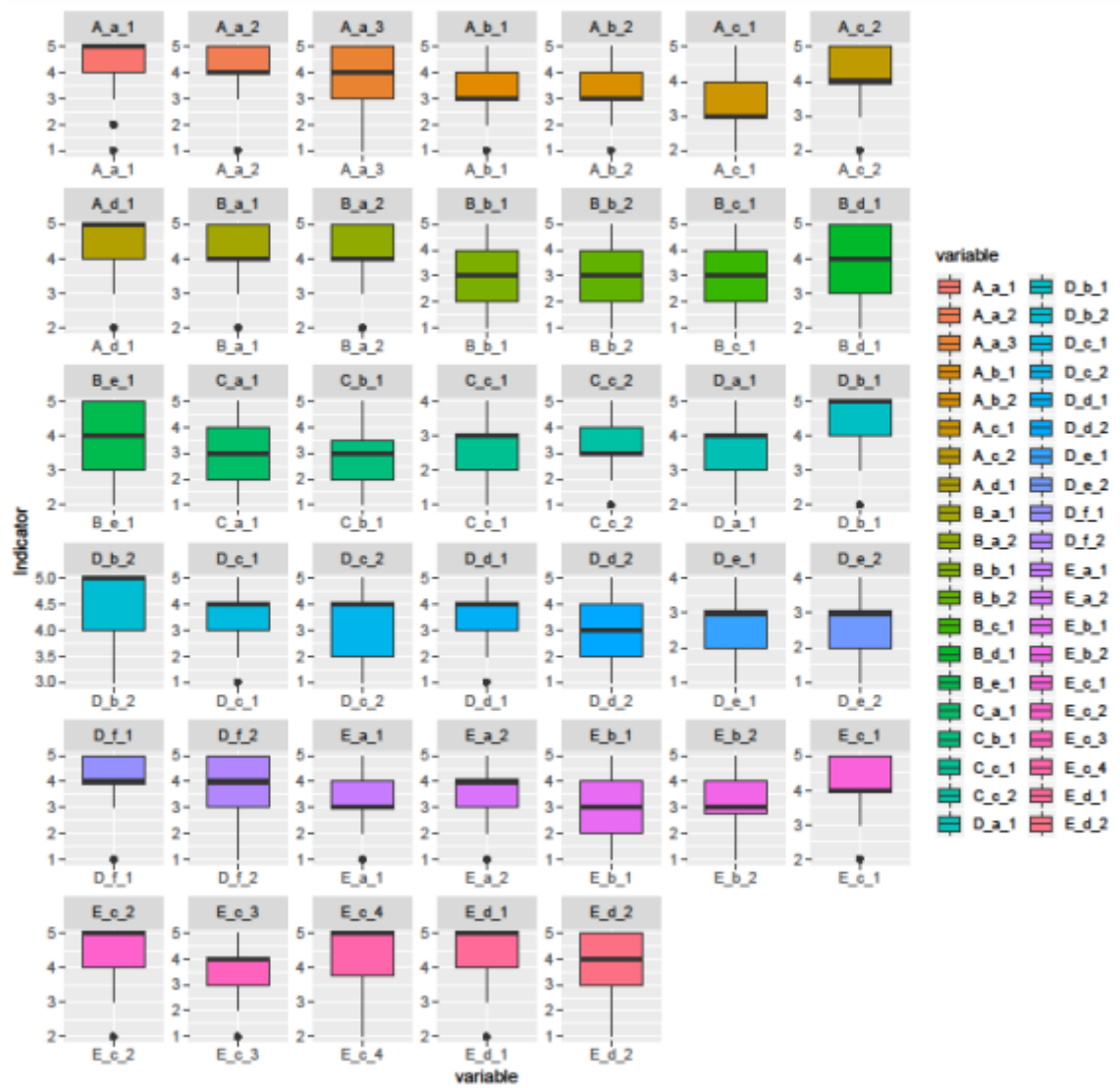
παραλειφθεί η χρήση του κατάλληλου εξοπλισμού ως τον πιο σημαντικό ενισχυτικό παράγοντα για την αύξηση της ανθεκτικότητας στο κλίμα.

Η ανθεκτικότητα στο κλίμα (climate resiliency) ενός κτηρίου θα ήταν ορθό να θεωρηθεί ότι έχει συσχέτιση με την ενεργειακή αποδοτικότητά του (energy efficiency). Όσο πιο ενεργειακά αποδοτικό είναι ένα κτήριο, τόσο περισσότερη ευελιξία και άνεση παρέχει στους ανθρώπους που βρίσκονται στο εσωτερικό του, χάρη στο γεγονός ότι η ρύθμιση των εσωτερικών συνθηκών, όπως είναι η θερμοκρασία και η υγρασία, καθίσταται πιο εύκολη αλλά και πιο οικονομικά προσιτή, καθώς η αυξημένη αποδοτικότητα συνεπάγεται τη μειωμένη κατανάλωση ενέργειας. Κατόπιν των ανωτέρω, μπορεί να προκύψει το συμπέρασμα ότι η κατανάλωση και κατ' επέκταση το ενεργειακό κόστος ενός κτηρίου αποτελούν έγκυρους δείκτες που εκφράζουν την ανθεκτικότητα ενός κτηρίου στο κλίμα. Ένας παράγοντας με καθοριστικό ρόλο στο να θεωρηθεί ένα κτήριο ενεργειακά αποδοτικό, με συνέπεια να μπορεί να αποτελέσει κριτήριο για την ανθεκτικότητά του στο κλίμα, αποτελεί ο αριθμός των διαφορετικών πηγών ενέργειας και θέρμανσης που χρησιμοποιεί. Είναι αντιληπτό πως όσο πιο αυξημένος είναι ο συγκεκριμένος αριθμός, τόσο μεγαλύτερη γίνεται η προσαρμοστικότητα στις εκάστοτε οικονομικές και περιβαλλοντικές συνθήκες, προκαλώντας με αυτόν τον τρόπο μεγαλύτερη ευελιξία.

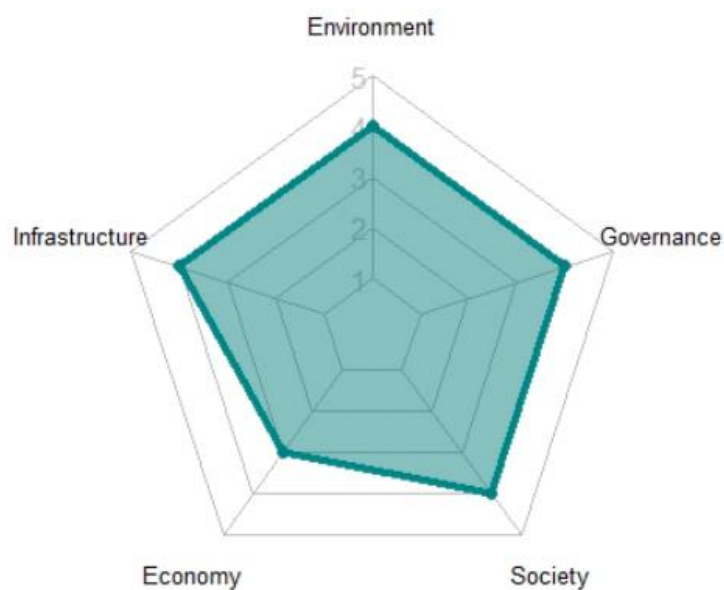
Η ανθεκτικότητα των κτηρίων στο κλίμα, εφόσον αυτά αποτελούν μέρος ενός ευρύτερου αστικού συνόλου, είναι επόμενο να επηρεάζεται έμμεσα και από άλλους παράγοντες. Οι Feldmeyer et al. [11] πραγματοποίησαν μία έρευνα που αποσκοπούσε στο να βρεθούν οι πιο σημαντικοί παράγοντες που καθορίζουν την ανθεκτικότητα στο κλίμα σε αστικό επίπεδο. Στην έρευνα συμπεριλήφθηκε κάθε πιθανός παράγοντας που αφορά τον τομέα του περιβάλλοντος, των υποδομών, της οικονομίας, της κοινωνίας και της κυβέρνησης. Ακολούθως, παρουσιάζονται οι παράγοντες αυτοί και τα τελικά αποτελέσματα που προέκυψαν με τη μορφή αξιολόγησης με μέγιστο βαθμό το πέντε.

Πίνακας 1: Παράγοντες που επηρεάζουν την ανθεκτικότητα στο κλίμα σε αστικό επίπεδο, κατηγοριοποιημένοι στα αντίστοιχα πεδία [11]

Dimension	Action Field	Indicator	Code
Environment	Soil and green spaces	Degree of soil sealing	A_a_1
		Land consumption	A_a_2
		Recreational area	A_a_3
	Water bodies	Share of water bodies	A_b_1
		State of water bodies	A_b_2
	Biodiversity	Share of nature conservation and protection areas	A_c_1
		Wetlands and retention areas	A_c_2
Air	Cold air parcels	A_d_1	
Infrastructure	Settlement structure	Density of buildings	B_a_1
		Accessibility of green spaces	B_a_2
	Energy	Share renewable energy	B_b_1
		Diversity renewable energy	B_b_2
	Telecommunication	Broadband access	B_c_1
	Traffic	Concept for sustainable traffic	B_d_1
	Drinking and wastewater	Number of springs	B_e_1
Economy	Innovation	Innovation index	C_a_1
	Business	Ratio of insolvencies to start-ups	C_b_1
	Economic structure	Share of employees in largest sector	C_c_1
		Employees in research intensive companies	C_c_2
Society	Research	Number of research projects	D_a_1
	Knowledge and risk competence	Citizen information about heat, heavy rain and flooding	D_b_1
		Experience with extreme events in last five years	D_b_2
	Health care	Accessibility of hospitals	D_c_1
		Doctors per 10,000 citizens	D_c_2
	Socio-demographic structure	Share of citizens ABV6/U65	D_d_1
		Share of employees	D_d_2
	Civil society	Voter turnout	D_e_1
		Number of associations	D_e_2
	Civil protection	Fire brigade	D_f_1
Citizens in honorary positions		D_f_2	
Governance	Participation	Number of participation processes	E_a_1
		Contact point for participation	E_a_2
	Municipal budget	Depth per citizen	E_b_1
		Tax income	E_b_2
	Strategy, plans and environment	Risk and vulnerability analysis	E_c_1
		Strategies against heavy rain and heat in plans	E_c_2
		Landscape plan legally binding	E_c_3
		Climate change adaptation part of urban development plan	E_c_4
	Administration	Inter-office working group regarding risk, climate change and resilience	E_d_1
		Climate manager	E_d_2



Εικόνα 5: Τελική αξιολόγηση με μέγιστο βαθμό το πέντε (οι κωδικοί εξηγούνται στον Πίνακα 1)
[11]



Εικόνα 6: Διαγραμματική απεικόνιση της σημασίας ως προς τον καθορισμό του βαθμού ανθεκτικότητας στο κλίμα για τους εξεταζόμενους κλάδους [11]

Σύμφωνα με την **εικόνα 6**, όλοι οι τομείς έχουν περίπου το ίδιο βάρος στον καθορισμό του βαθμού της κλιματικής ανθεκτικότητας, εκτός από αυτόν της οικονομίας που έχει εμφανώς χαμηλότερη. Μελετώντας την **εικόνα 5** προκύπτει πως ο παράγοντας που αξιολογήθηκε ως ο πιο σημαντικός είναι τα cold air parcels που ανήκουν στην κατηγορία του περιβάλλοντος. Στη δεύτερη και τέταρτη θέση βρίσκονται δείκτες του τομέα της κυβέρνησης και πιο συγκεκριμένα οι ενδοϋπηρεσιακές ομάδες εργασίας σχετικά με τον κίνδυνο, την κλιματική αλλαγή και την ανθεκτικότητα, αλλά και οι στρατηγικές κατά της έντονης βροχής και της ζέστης. Τέλος, στην τρίτη και την πέμπτη θέση κατατάχθηκαν δύο δείκτες από την κατηγορία της κοινωνίας. Πιο συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα έδειξαν τη σημασία της εμπειρίας με ακραία φαινόμενα τα τελευταία πέντε χρόνια και την ενημέρωση των πολιτών σχετικά με τη ζέστη, τις έντονες βροχοπτώσεις και τις πλημμύρες ως ιδιαίτερα κρίσιμους παράγοντες για την οικοδόμηση της αστικής ανθεκτικότητας.

2.2 Προκλήσεις

Τα έντονα καιρικά φαινόμενα που προκύπτουν εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής θέτουν σε κίνδυνο την ακεραιότητα των κτιρίων και καθιστούν δυσκολότερη την κλιματική τους ανθεκτικότητα. Επομένως, είναι σαφές πως τα μέτρα προσαρμογής, προκειμένου να είναι αποτελεσματικά, θα πρέπει να είναι ικανά να αντιμετωπίζουν πολλαπλούς κινδύνους. Η παρούσα εργασία πραγματεύεται την ανθεκτικότητα των κτιρίων ως προς τη

δημιουργία και τη διατήρηση συνθηκών θερμικής άνεσης. Κατόπιν των ανωτέρω, γίνεται αντιληπτό πως το συγκεκριμένο αντικείμενο μελέτης αποτελεί μέρος ενός ευρύτερου ζητήματος προσαρμογής των κτιρίων σε διάφορα κλιματικά φαινόμενα που λειτουργούν σαν ανασταλτικοί παράγοντες για την εξασφάλιση επιθυμητών συνθηκών διαβίωσης. Τα φαινόμενα αυτά δύνανται να βλάψουν την ομαλή και υγιή διαβίωση εντός των κτιρίων με ποικίλους τρόπους. Ειδικότερα, εκτός από το γεγονός ότι αποτελούν απειλή για τη διατάραξη των υγιών συνθηκών του εσωτερικού περιβάλλοντος, δύνανται να προκαλέσουν από μικρές υλικές ζημιές έως και ολικές καταστροφές, οι οποίες μπορεί να αποβούν μοιραίες για τη σωματική υγεία και την ακεραιότητα των κατοίκων. Κρίνεται απαραίτητη, λοιπόν, η συνοπτική παρουσίαση κάθε φαινομένου που θέτει προκλήσεις στην προσαρμοστικότητα των κτιρίων.

- Καύσωνας

Ένα κύμα καύσωνα αναφέρεται σε μία παρατεταμένη περίοδο εξαιρετικά υψηλών θερμοκρασιών για μία συγκεκριμένη περιοχή. Η διάρκεια τέτοιων περιόδων αναμένεται να αυξηθεί εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής, ενώ, για τον ίδιο λόγο, τα φαινόμενα αυτά θα αποκτήσουν μεγαλύτερη ένταση. Το συγκεκριμένο πρόβλημα αποτελεί μεγαλύτερη απειλή για τις πόλεις, όπου οι μεγάλοι όγκοι θερμοαπορροφητικών υλικών και οι περιορισμένοι χώροι πρασίνου δημιουργούν το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας. Για τις κατοικίες τόσο των αστικών, όσο και των αγροτικών περιοχών, οι αυξημένες εσωτερικές θερμοκρασίες αποτελούν ανασταλτικό παράγοντα για την ανθρώπινη υγεία, την ευημερία και την παραγωγικότητα. Γι' αυτό το λόγο, οι λύσεις και τα μέτρα που θα προταθούν για την εξασφάλιση της θερμικής άνεσης είναι καθοριστικής σημασίας.

- Έντονες ατμοσφαιρικές διαταραχές

Οι διαταραχές αυτές αφορούν το συνδυασμό ενός βαθύ ενεργού κέντρου χαμηλής πίεσης με ισχυρούς ανέμους, σύννεφα και βροχόπτωση. Πιο συγκεκριμένα, άνεμοι ταχύτητας άνω των εκατό χιλιομέτρων, καταιγίδες, χιονοθύελλες, ανεμοστρόβιλοι, κυκλώνες και τυφώνες αποτελούν μερικές από τις πιο άμεσες απειλές για την ακεραιότητα των κτιρίων. Όταν ένα κτίριο εκτίθεται σε τέτοια φαινόμενα, ανθρώπινες ζωές βρίσκονται σε απειλή, καθώς ελλοχεύει μέχρι και ο κίνδυνος κατάρρευσης και ολικής καταστροφής. Καθίσταται σαφής, λοιπόν, η

ανάγκη για κατασκευές με μεγάλη αντοχή σε έντονες ατμοσφαιρικές διαταραχές, ώστε να διασφαλιστεί όσο το δυνατόν η αποφυγή τέτοιων δυσάρεστων γεγονότων.

- Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα

Ο όρος ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα αφορά το νερό που φτάνει από την ατμόσφαιρα στο έδαφος με οποιαδήποτε μορφή, είτε υγρή (βροχή) είτε στερεή (χαλάζι, χιόνι, πάχνη) και αέρια (υδρατμοί). Οι υψηλότερες προβλεπόμενες θερμοκρασίες και οι θερμότεροι ωκεανοί αυξάνουν την ποσότητα υγρασίας στον αέρα. Όσο θερμότερος είναι ο αέρας, τόσο πιο έντονο είναι το φαινόμενο της εξάτμισης, με αποτέλεσμα την αύξηση της συχνότητας και της έντασης των βροχοπτώσεων. Οι έντονες βροχοπτώσεις και το χαλάζι, εκτός από τις ζημιές που μπορούν να προκαλέσουν στο εσωτερικό των κτιρίων μέσω πλημμύρων που δημιουργούν, αποτελούν και άμεση απειλή για τις στέγες.

- Πλημμύρες

Σημαντικό ενισχυτικό παράγοντα για τη δημιουργία πλημμυρών αποτελεί η αυξημένη αστικοποίηση. Η ασφαλτος των δρόμων εμποδίζει τη διείσδυση του νερού στο έδαφος, ενώ παράλληλα τα συστήματα αποχέτευσης συχνά δεν έχουν τις απαιτούμενες διαστάσεις ώστε να μπορούν να ανταποκριθούν, με συνέπεια φαινόμενα βροχοπτώσεων να αποτελούν σοβαρή απειλή για ζημιές στο εσωτερικό των κτιρίων. Εκτός από τη συσσώρευση όμβριων υδάτων, αιτίες για τη δημιουργία πλημμυρών ενδέχεται να αποτελέσουν τόσο η υπερχειλίση νερού από ποτάμια, όσο και η άνοδος της στάθμης της θάλασσας. Τα πιο ευάλωτα κτίρια σε πλημμύρες είναι όσα βρίσκονται στο κάτω μέρος μίας πλαγιάς ή σε χαμηλό έδαφος.

- Καθίζηση

Η αλλαγή των προτύπων βροχόπτωσης και οι έντονες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας που προκαλεί η κλιματική αλλαγή, επηρεάζουν τα επίπεδα υγρασίας και τη σύνθεση του εδάφους. Η συρρίκνωση και η διόγκωση που προκαλούνται σε αυτό, αποτελούν έναν αυξανόμενο κίνδυνο, καθώς τα εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα σε άργιλο είναι εξαιρετικά ευαίσθητα στις ογκομετρικές αλλαγές. Η καθίζηση προκαλείται λόγω αλλαγών στον όγκο του εδάφους που βρίσκεται κάτω από ένα κτίριο, με συνέπεια αυτό να γίνεται ασταθές και να βυθίζεται προς τα κάτω. Ανάλογα με την αιτία πρόκλησής τους, οι καθιζήσεις χωρίζονται στις εξής κατηγορίες.

- Καθίζηση λόγω βροχοπτώσεων

Οι έντονες και παρατεταμένες βροχοπτώσεις προκαλούν άνοδο στη στάθμη των υπόγειων υδάτων με αποτέλεσμα τη διόγκωση του εδάφους, εξαιτίας του υπερβολικού νερού που το διαρρέει.

- Καθίζηση λόγω ξηρασίας

Στις περιόδους υπερβολικής και παρατεταμένης ξηρασίας προκαλείται συστολή του εδάφους λόγω εξάτμισης του νερού.

- Καθίζηση λόγω βλάστησης

Οι κινήσεις του εδάφους που προκαλούνται από τις ρίζες των δέντρων μπορούν να μεγεθύνουν ή και να προκαλέσουν φαινόμενα καθιζήσεων. Εκτός αυτού, τέτοια φαινόμενα μπορεί να προκληθούν επειδή οι ρίζες απορροφούν και εξάγουν νερό, επηρεάζοντας σε μεγάλο βαθμό την υγρασία του εδάφους και κατ' επέκταση τη συστολή και τη διαστολή του.

- Καθίζηση λόγω ανθρώπινων δραστηριοτήτων

Ανθρώπινες δραστηριότητες όπως η εκμετάλλευση των υπόγειων υδάτων και οι εκσκαφικές εργασίες αποτελούν αιτίες καθιζήσεων.

Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, οι μετακινήσεις του εδάφους συμβαίνουν σε βάθος πέντε μέτρων από την επιφάνεια της γης, ενώ σπανίως ξεπερνούν τα 150 mm οριζόντια και κάθετα. Οι έντονες μετακινήσεις εγκυμονούν σοβαρούς κινδύνους για την ασφάλεια των ατόμων που βρίσκονται εντός των κτιρίων, καθώς προκύπτει σημαντική πιθανότητα για υλικές ζημιές.

- Ξηρασία

Η σταδιακή άνοδος της θερμοκρασίας, η αλλαγή των προτύπων βροχόπτωσης και η υπερβολική εκμετάλλευση των υδάτινων πόρων αναμένεται να προκαλέσουν αύξηση στη συχνότητα και την ένταση φαινομένων ξηρασίας. Τα φαινόμενα αυτά ενδέχεται να οδηγήσουν σε έλλειμμα εδαφικής υγρασίας, περιορίζοντας τη διαθεσιμότητα νερού για φυσική βλάστηση και επιταχύνοντας την υποβάθμιση του εδάφους. Οι καθιζήσεις που οφείλονται στην ξηρασία, η έλλειψη ύδρευσης, οι ζημιές που προκαλούνται στα οικοδομικά υλικά εξαιτίας της θερμότητας και ο αυξημένος κίνδυνος πυρκαγιάς, απειλούν την ασφάλεια των ανθρώπων που βρίσκονται στο εσωτερικό των κτιρίων. Τα μέτρα προσαρμογής των

κτιρίων στην ξηρασία επικεντρώνονται τόσο στη μείωση της κατανάλωσης νερού, όσο στη συλλογή και την ανακύκλωση του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΓΙΑ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθούν οι προσεγγίσεις σχεδιασμού που μπορούν να ληφθούν υπόψη για τον μετριασμό των κινδύνων που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή, συμπεριλαμβανομένων των συχνότερων ακραίων θερμοκρασιών.

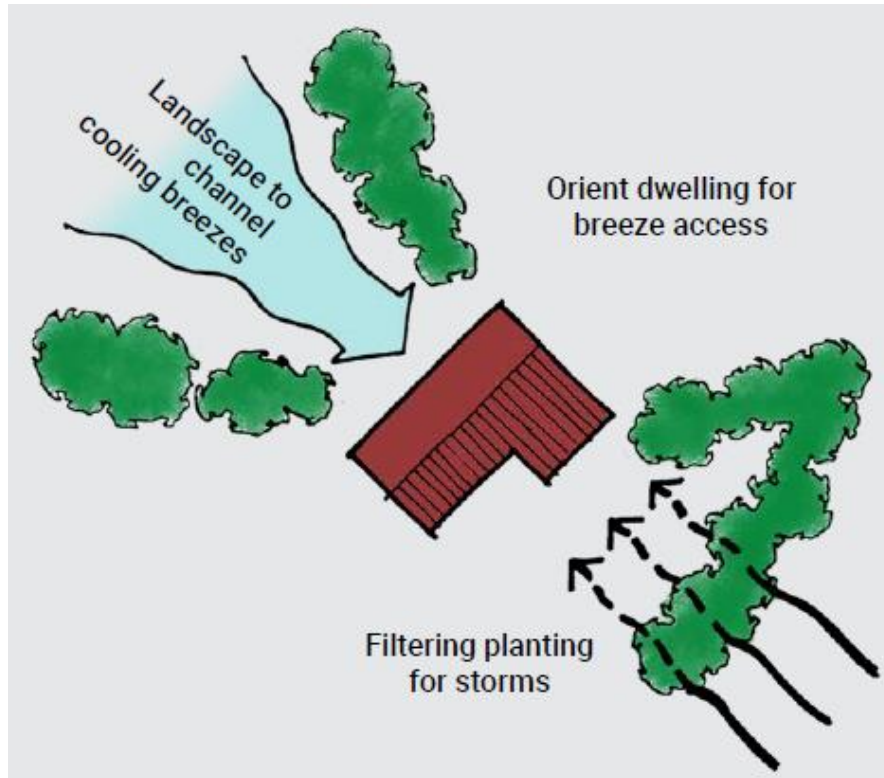
3.1 Τοποθεσία κτιρίου και προσανατολισμός

Η δυνατότητα ενός κτιρίου για προσαρμογή στις όλο και αυξανόμενες θερμοκρασίες έχει άμεση εξάρτηση από την τοποθεσία του. Υπάρχοντα στοιχεία, όπως δέντρα και άλλα κτίρια, μπορούν να προσφέρουν σκίαση εμποδίζοντας τις ακτίνες του ηλίου όποτε είναι απαραίτητο. Η στρατηγικά φυτεμένη βλάστηση στο χώρο μπορεί επίσης να συλλάβει και να κατευθύνει τον άνεμο και τη ροή του για φυσικό αερισμό **(εικόνα 7)**. Ο προσανατολισμός της κατεύθυνσης του ανέμου προς το κτίριο είναι ένας καλός τρόπος για τη δημιουργία δροσιάς μέσω αερισμού σε κατοικήσιμους χώρους.

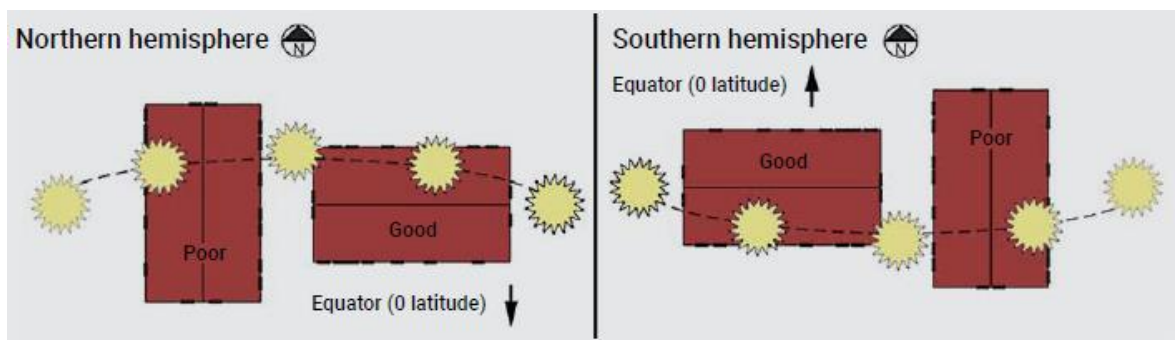
Για να βελτιστοποιήσουν τον προσανατολισμό ενός κτιρίου, οι σχεδιαστές πρέπει να λάβουν υπόψη στοιχεία που χαρακτηρίζουν εκ των προτέρων το οικόπεδο, όπως είναι η σχέση του με τον ισημερινό, η οποία καθορίζοντας τις γωνίες του ήλιου επηρεάζει άμεσα τον προσανατολισμό του σχεδιασμένου κτιρίου.

Για το βέλτιστο παθητικό ηλιακό σχεδιασμό, τα ανοίγματα και οι χώροι του κτιρίου πρέπει να έχουν τον κατάλληλο προσανατολισμό, ώστε να επιτυγχάνεται η κατά το μέγιστο έκθεση στο φως της ημέρας, με μεγιστοποίηση ή ελαχιστοποίηση της απολαβής θερμότητας που εξαρτάται από την τοποθεσία και την εποχή. Κατά κανόνα, τα κτίρια επωφελούνται από τον προσανατολισμό των παραθύρων και των ανοιγμάτων σε απόσταση εντός του πλαισίου +/- 15 μοιρών από τον ισημερινό. Ο μεγαλύτερος άξονας των κτιρίων είναι προτιμότερο να προσανατολίζεται προς την ανατολή ή τη δύση. Αυτό συνεπάγεται ότι οι μακρύτεροι τοίχοι είναι στραμμένοι προς το βορρά και το νότο, ενώ αυτοί με το μικρότερο μήκος στρέφονται προς τα ανατολικά και τα δυτικά, γεγονός που μεγιστοποιεί το φως και επιτρέπει επίσης περισσότερο έλεγχο του κέρδους θερμότητας από την ηλιακή έκθεση των εξωτερικών τοίχων **(εικόνα 8)**. Στο βόρειο ημισφαίριο, η

υψηλή γωνία του ήλιου το καλοκαίρι στη νότια πλευρά είναι εύκολο να σκιαστεί, ενώ οι χαμηλές γωνίες ήλιου στην ανατολική και τη δυτική πλευρά δεν είναι. Στο νότο ισχύει το αντίστροφο με την υψηλή γωνία του ήλιου το καλοκαίρι στη βόρεια πλευρά είναι εύκολο να σκιαστεί.



Εικόνα 7: Κατάλληλη εμφύτευση δέντρων και θάμνων για διοχέτευση των ρευμάτων αέρα [12]

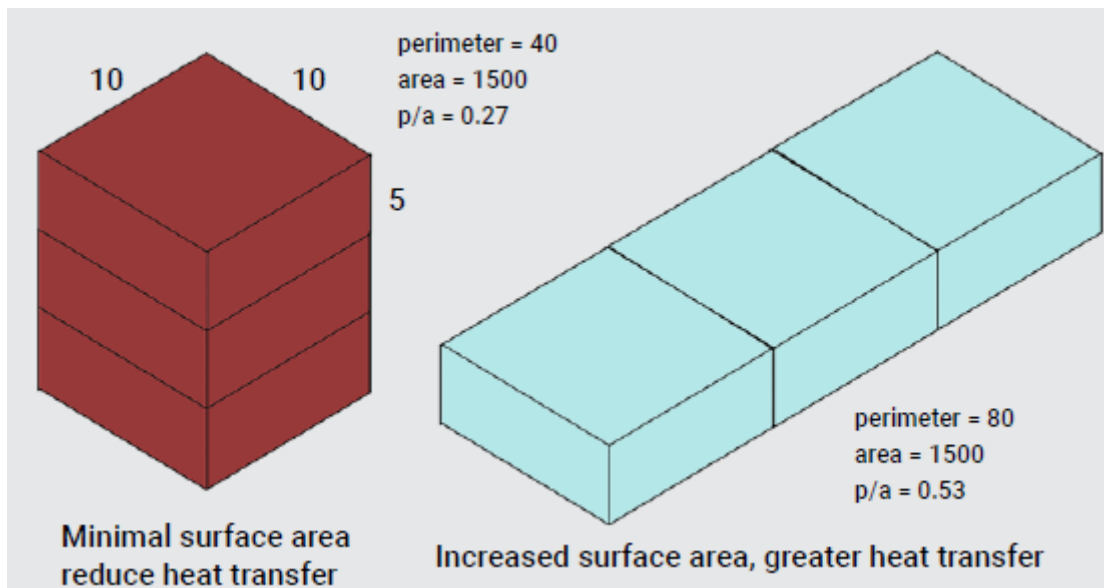


Εικόνα 8: Ιδανικός προσανατολισμός κτιρίου για κάθε ένα από τα δύο ημισφαίρια [13]

Σε ζεστά και ξηρά ή ζεστά και υγρά κλίματα, εκτός από τον προσανατολισμό του κτιρίου, η ποσότητα της θερμότητας από τον ήλιο μπορεί να ελαχιστοποιηθεί κάνοντας το κτίριο συμπαγές και διαμορφώνοντας την εξωτερική πλευρά των τοίχων κατάλληλη ώστε να αντανακλά τη θερμότητα. Η κοντινή κατανομή πολλών κτιρίων με σκοπό να επωφεληθούν από την αμοιβαία σκίαση ελαχιστοποιεί την ηλιακή έκθεση σε κάθετες επιφάνειες κατά

τους καλοκαιρινούς μήνες. Τα μεσαία κτίρια είναι τα πλέον επωφελούμενα όσον αφορά την έκταση του αποτυπώματος, εξασφαλίζοντας μέγιστη σκίαση, πετυχαίνοντας μείωση της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας. Η σε σειρά κατανομή με κοινούς τοίχους είναι επίσης πλεονεκτική, καθώς τα ηλιακά κέρδη μειώνονται εξαιρετικά χάρη στη μέγιστη σκίαση. Και οι δύο αυτές προσεγγίσεις ελαχιστοποιούν την αναλογία της περιμέτρου του κτιρίου προς το εμβαδόν τους. Ένας μικρότερος λόγος περιμέτρου-εμβαδού (P/A) έχει ως αποτέλεσμα τη λιγότερη εκτιθέμενη περιοχή στην ηλιακή ακτινοβολία (**εικόνα 9**). Σχέδια με μεγαλύτερη αναλογία P/A μπορούν να εφαρμοστούν σε ορισμένες περιπτώσεις για να περιλαμβάνουν χαρακτηριστικά όπως αυλές, υδάτινα σώματα και βλάστηση, τα οποία μπορούν να τροποποιήσουν το μικροκλίμα.

Σε ζεστά και ξηρά κλίματα, η αναλογία P/A πρέπει να είναι όσο το δυνατόν χαμηλότερη για να ελαχιστοποιηθεί το κέρδος θερμότητας από τις ακτίνες του ηλίου που προσπίπτουν στις επιφάνειες. Σε ζεστά και υγρά κλίματα, αν και υπάρχει ανάγκη να ελαχιστοποιηθεί το κέρδος θερμότητας στην επιφάνεια, υπάρχει επίσης ανάγκη να δημιουργηθεί ροή αέρα στους χώρους. Αυτό μπορεί να μην οδηγήσει απαραίτητα στην ανάγκη ελαχιστοποίησης του λόγου P/A. [14]



Εικόνα 9: Χαμηλός (αριστερά) και υψηλός (δεξιά) λόγος περιμέτρου προς εμβαδό [14]

3.2 Διαμόρφωση και διάταξη κτιρίου

Η κατάλληλη τοποθέτηση των δωματίων σε ένα κτίριο, γνωστή ως διάταξη, μπορεί επίσης να προσφέρει όφελος ως προς τη θερμική άνεση. Για παράδειγμα, σε ψυχρά κλίματα, τα κύρια δωμάτια πρέπει να έχουν νότιο προσανατολισμό (στο βόρειο

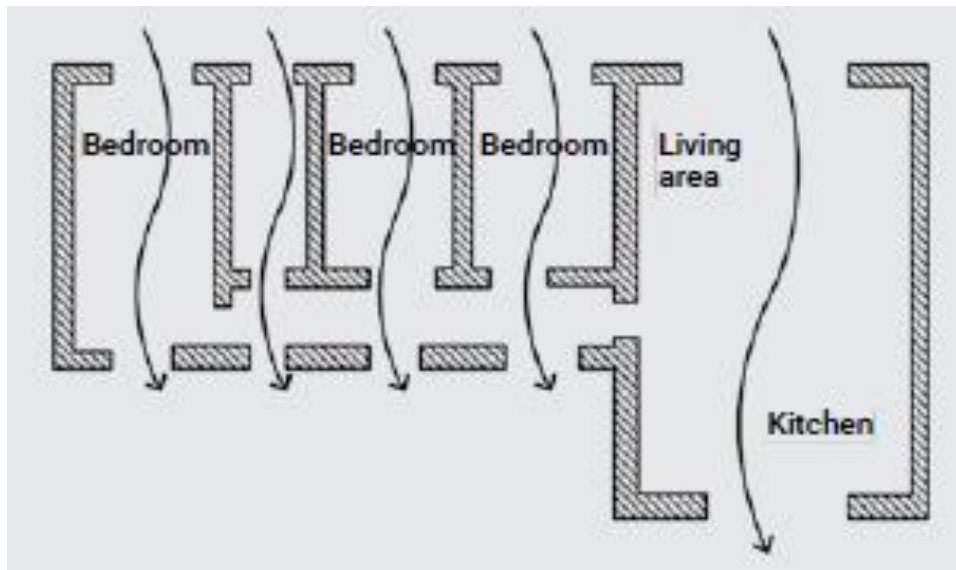
ημισφαίριο) ή βόρειο (στο νότιο ημισφαίριο), για να συλλάβουν όσο το δυνατόν περισσότερο ηλιακό κέρδος. Το αντίθετο καλείται να συμβεί στα θερμά κλίματα με σκοπό η θερμότητα που προέρχεται από τον ήλιο κατά τη διάρκεια της ημέρας να μειωθεί. Εάν ο προσανατολισμός με βάση τα παραπάνω δεν είναι εφικτός, μπορούν να ληφθούν άλλα μέτρα για τη ρύθμιση του ηλιακού κέρδους, τα οποία θα αναλυθούν στα επόμενα κεφάλαια.

Τα σπανίως χρησιμοποιούμενα δωμάτια και αυτά που έχουν συνήθως λίγα παράθυρα, όπως είναι οι ντουλάπες, τα μπάνια, οι βοηθητικοί και αποθηκευτικοί χώροι, οι σκάλες ή τα γκαράζ, μπορούν να λειτουργήσουν ως ζώνες προστασίας στην ανατολική και δυτική πλευρά του σπιτιού, καθώς θα δέχονται απευθείας ήλιο το πρωί και το απόγευμα. Αυτό μπορεί να βοηθήσει στη διατήρηση της θερμότητας από τους κύριους χώρους διαβίωσης. Ένα παράδειγμα αυτής της στρατηγικής μπορεί να βρεθεί στο Βιετνάμ όπου τα σπίτια είναι προσαρμοσμένα σε μεγάλες ποσότητες ηλιακού φωτός. Πιο συγκεκριμένα, τα τυπικά παραδοσιακά κτίρια έχουν νότιο προσανατολισμό, περιλαμβάνοντας μια διάταξη δωματίου με σκάλες, μπάνιου και αποθήκης που βλέπει δυτικά, η οποία προστατεύει τους κύριους χώρους από το άμεσο ηλιακό κέρδος. [15]

3.3 Φυσικός αερισμός

Τόσο ο προσανατολισμός του κτιρίου στο χώρο, όσο και η εσωτερική διαμόρφωση του, μπορούν να σχεδιαστούν έτσι ώστε να εκμεταλλεύεται τα δροσερά ρεύματα αέρα. Η κατεύθυνση του ανέμου που επικρατεί θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη όταν ορίζεται ο προσανατολισμός του κτιρίου στο οικόπεδο, ώστε να γίνεται εφικτή η βέλτιστη τοποθέτηση των παραθύρων και να μεγιστοποιείται ο φυσικός αερισμός τα διαστήματα κατά τα οποία οι εξωτερικές θερμοκρασίες είναι χαμηλές. Όταν οι εξωτερικές θερμοκρασίες είναι υψηλές, τα παράθυρα και τα ανοίγματα κλείνουν για να διατηρηθεί η εσωτερική θερμοκρασία σε δροσερά επίπεδα.

Στα κτίρια μικρότερου βάθους, ο εγκάρσιος αερισμός σε όλη την επιφάνειά τους καθίσταται πιο εύκολος, στοιχείο σημαντικό ιδιαίτερα για ζεστά και υγρά κλίματα (**εικόνα 10**). Στο Βιετνάμ, για προσαρμογή στην υψηλή μέση θερμοκρασία και υγρασία, το ύψος του δωματίου κυμαίνεται στο εύρος από 3,9 m έως 4,2 m, ενώ χρησιμοποιούνται πολλά μεγάλα ανοίγματα για τη βελτίωση του αερισμού.



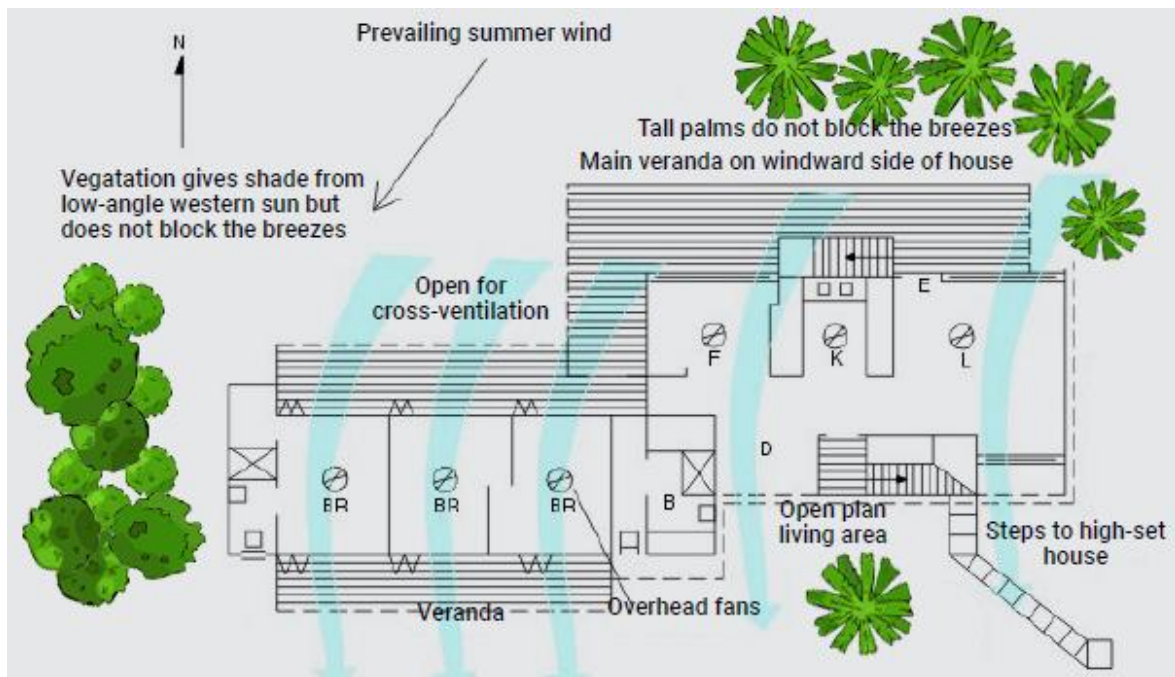
Εικόνα 10: Εγκάρσιος αερισμός μέσω κατάλληλης κάτοψης [12]

Ανάλογα με την τοποθεσία, τα σπίτια και υπόλοιπα κτίρια μπορούν να ομαδοποιηθούν για ευεργετική ή επιζήμια παθητική απόδοση. Κατά τη μετεγκατάσταση κατοικιών Juagarur στο Νέο Δελχί της Ινδίας (**εικόνα 11**), χρησιμοποιήθηκε ένας σχεδιασμός συστάδας, ώστε να παρέχεται σκίαση, επιτρέποντας όμως στον επικρατούντα άνεμο να ρέει εντός του συμπλέγματος για να παρέχει ψύξη στις μονάδες.



Εικόνα 11: Η επανεγκατάσταση της πόλης Juagarur στο Νέο Δελχί [16]

Η δημιουργία των κατάλληλων συνθηκών ώστε η κατεύθυνση των ανέμων που επικρατούν να είναι προς τα κτίρια αποτελεί έναν από τους καλύτερους τρόπους για να δροσίσει το περιβάλλον σε κατοικήσιμους χώρους. Η διαδικασία ανακατεύθυνσης της ροής ανέμου από μια μεγάλη λεκάνη απορροής σε μια μικρότερη θα μετατρέψει τους ανέμους υψηλής πίεσης και χαμηλής ταχύτητας σε ανέμους χαμηλής πίεσης και υψηλής ταχύτητας, παρέχοντας έτσι περισσότερη δροσιά καθώς διέρχονται (**εικόνα 7, εικόνα 12**).



Εικόνα 12: Σχεδιασμός ενός σπιτιού σε θερμό και υγρό κλίμα [17]

Η στρατηγική τοποθέτηση πυκνού φυτικού καλύμματος και τοίχων πτερυγίων (μικροί τοίχοι που προστίθενται στο εξωτερικό ενός κτιρίου για να κατευθύνουν τη ροή του ανέμου) αποτελούν στρατηγικές που αποσκοπούν στη διοχέτευση του ανέμου. Μέσω της σκόπιμης δημιουργίας ζωνών θετικής και αρνητικής πίεσης, η ροή του αέρα εντός του κτιρίου μπορεί να αυξηθεί για να παρέχει πιο αποτελεσματική ψύξη. Αυτή είναι μια από τις πιο ισχυρές στρατηγικές ψύξης που εφαρμόζονται σε ζεστά κλίματα. Η κίνηση του αέρα προκαλεί ψύξη με εξάτμιση από το δέρμα ενός ατόμου, αυξάνοντας την άνεση. Αυτή η στρατηγική, ωστόσο, δεν έχει ίδια απόδοση σε περιοχές με υψηλή υγρασία.

Για τη βέλτιστη εκμετάλλευση της ροής του ανέμου, τα κτίρια πρέπει να είναι προσανατολισμένα σε γωνία προς την επικρατούσα κατεύθυνση του ανέμου. Η στρατηγική αυτή ενδεχομένως να αποτελέσει ανασταλτικό παράγοντα για το σχεδιασμό ηλιακού προσανατολισμού. Για παράδειγμα, οι άνεμοι που επικρατούν σε μια περιοχή, λόγω της τοπικής διαμόρφωσης του περιβάλλοντος, μπορεί να πνέουν από τα δυτικά προς τα ανατολικά. Ο καθορισμός του βέλτιστου προσανατολισμού του μακρύτερου τοίχου του κτιρίου, ώστε να γίνει εφικτή η καλύτερη σύλληψη του κυρίαρχου ανέμου, έρχεται σε αντίθεση με τις σχεδιαστικές προτάσεις που περιγράφηκαν σε προηγούμενες παραγράφους. Μέρος της διαδικασίας του σχεδιασμού αναγκαστικά αποτελεί η στάθμιση των αλληλεπιδράσεων και των οφελών από τις διάφορες στρατηγικές και η εύρεση της ιδανικής ισορροπίας που αποδίδει καλύτερα. Τα κτίρια με μικρότερα βάθη μπορούν να

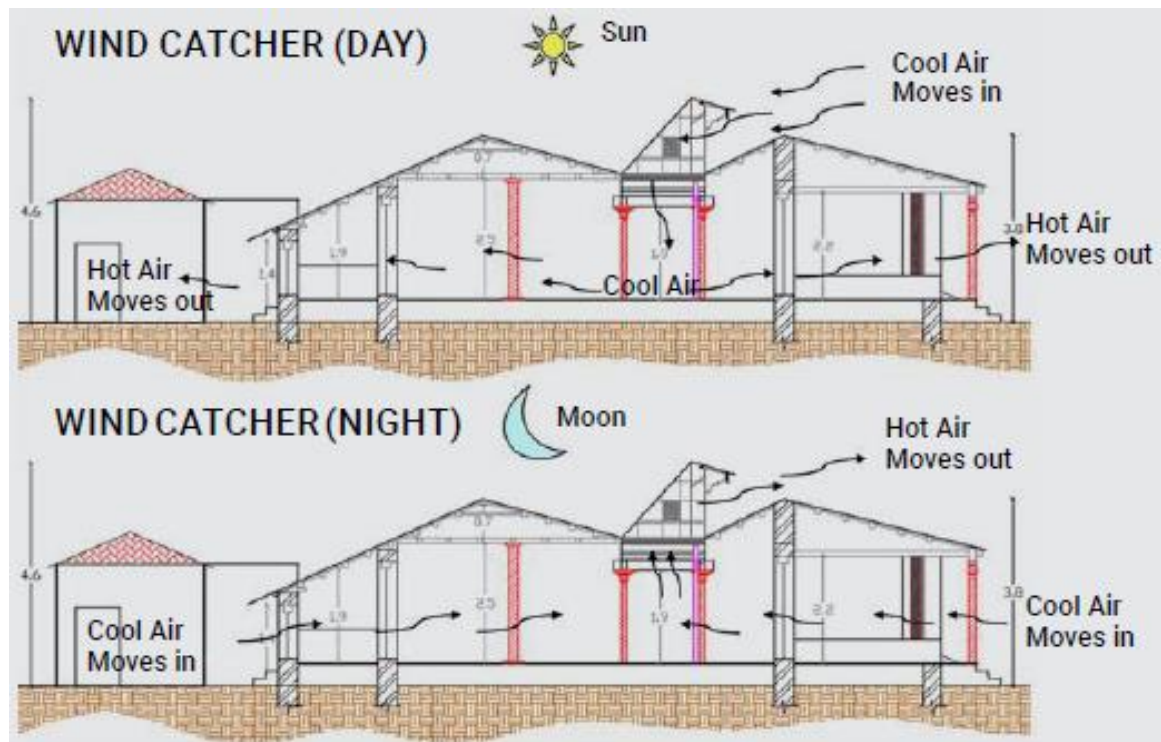
δεχτούν τα οφέλη του εγκάρσιου αερισμού σε όλη την επιφάνειά τους (**εικόνα 10**). Τα γειτονικά οικοδομικά τετράγωνα ή άλλα χαρακτηριστικά, όπως τα δέντρα, θα πρέπει να σχεδιάζονται κατάλληλα, ώστε να επιτυγχάνεται αμοιβαία σκίαση και να αποφεύγεται η άμεση αύξηση της ηλιακής θερμότητας, ειδικά κατά τους θερινούς μήνες.

Οι ανεμιστήρες και τα ανοιχτά παράθυρα κρίνονται απαραίτητα στοιχεία για την επίτευξη της καλοκαιρινής άνεσης στην πλειοψηφία των κτιρίων. Ανάλογα με το κλίμα, το άνοιγμα των παραθύρων, ως μοναδικό μέτρο, μπορεί να μην είναι πάντα αποτελεσματικό για την ανακούφιση από την υπερθέρμανση. Ενδέχεται να χρειαστούν άλλα μέτρα, όπως ο εγκάρσιος αερισμός, η σκίαση παραθύρων και ο στρατηγικός προσανατολισμός της τοποθέτησης γυάλινων τοίχων και παραθύρων για τον περιορισμό της αύξησης της θερμότητας το καλοκαίρι. Επιπλέον, η αποτελεσματικότητα του ανοίγματος των παραθύρων εξαρτάται από τη συμπεριφορά και τις προτιμήσεις του κατοίκου, καθώς ενδέχεται να αποδειχθεί κακή επιλογή σε μέρη που επικρατούν έντομα, σκόνη, δυσάρεστες οσμές, φώτα ή θόρυβος. **[18, 19]**

3.3.1 Αερισμός σε θερμό και υγρό κλίμα

Σε ζεστά και υγρά κλίματα η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ ημέρας και νύχτας συνήθως είναι ελάχιστη. Αυτό σημαίνει ότι πολλοί τύποι κτιρίων σε ζεστά και υγρά κλίματα χρησιμοποιούν υλικά με χαμηλή θερμική μάζα, όπως είναι το ξύλο, καθώς καθιστούν εφικτή την κατασκευή πιο λεπτών τοίχων. Η χρήση υλικών με υψηλή θερμική μάζα, όπως είναι η πέτρα και το τούβλο, είναι πιο αποτελεσματική όταν υπάρχει χρόνος για να συλληφθεί η θερμότητα και έπειτα να απελευθερωθεί κατά τις πιο ψυχρές περιόδους. Ένα υψηλό επίπεδο υγρασίας επιβραδύνει αυτή τη διαδικασία, επομένως η χρήση υλικών με χαμηλή θερμική μάζα είναι συχνά προτιμότερη σε τέτοιου είδους κλίματα. Επομένως, ενώ η θερμική μάζα έχει ευεργετικό ρόλο στη μείωση της ενέργειας ψύξης σε θερμά και ξηρά κλίματα, κάτι τέτοιο δεν ισχύει για τα θερμά και υγρά. **[20]** Τα μεγάλα εύρη ημερήσιας θερμοκρασίας αποτελούν το κλειδί.

Τα κτίρια ενός θερμού και υγρού κλίματος είναι αυτά στα οποία ο φυσικός αερισμός έχει τον πιο καθοριστικό ρόλο (**εικόνα 12, εικόνα 13**).



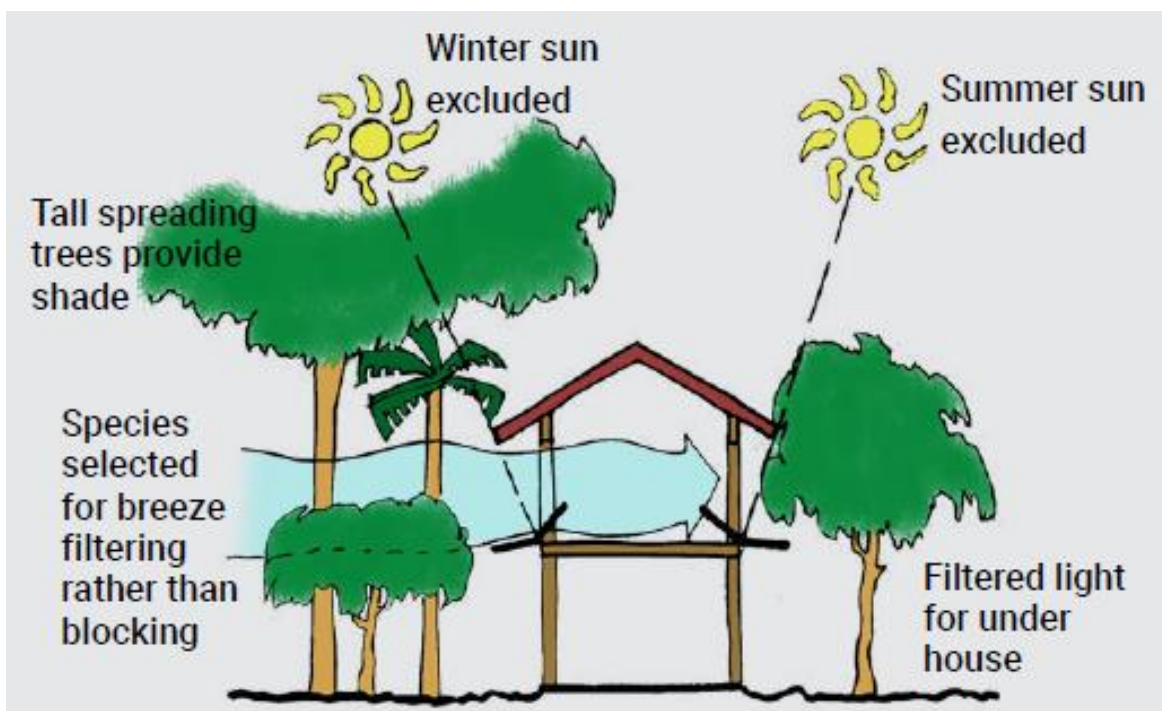
Εικόνα 13:Καθημερινή διαχείριση ενέργειας σε παραδοσιακό κτίριο στο Nagarattinam [21]

Τα ξυλοπόδαρα εκτός από το να παρέχουν προστασία από τις πλημμύρες, επιτρέπουν επίσης σε ένα σπίτι να εκμεταλλεύεται τις υψηλότερες ροές αέρα για αυξημένο αερισμό και άνεση (εικόνα 14). Η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος δύο μέτρων ενδέχεται να είναι διπλάσια από την αντίστοιχη στο ένα μέτρο, ενώ ο αέρας κοντά στο έδαφος συχνά παραμένει στάσιμος. Επομένως, η ανύψωση ενός σπιτιού σε ύψος περίπου 1,6 m πάνω από το έδαφος επιτρέπει καλύτερη θερμική άνεση σε εσωτερικούς χώρους και επίσης αποτρέπει την είσοδο υγρασίας από το έδαφος. [15]

Οι παρακάτω αρχές σχεδιασμού αντλήθηκαν από παραδοσιακά κτίρια σε ζεστό και υγρό κλίμα της Ινδίας: [21]

- Στενοί δρόμοι και κοινές κατασκευές τοίχων για τη δημιουργία πυκνής και συμπαγούς αστικής μορφής, η οποία αυξάνει τη σκίαση στους εξωτερικούς χώρους των κτιρίων και μπορεί να βοηθήσει στη διοχέτευση του ανέμου ώστε να ενισχυθεί ο εξαερισμός.
- Αυλές σε σπίτια για καθημερινές δραστηριότητες, που επιτρέπουν στους ενοίκους να επωφεληθούν από τα ρεύματα αέρα ή να απολαύσουν ψυχρότερες θερμοκρασίες στη σκιά.

- Ανεμοσυλλέκτης στην κορυφή της αυλής για να κατευθύνει την κίνηση του αέρα προς το σπίτι (**εικόνα 13**).
- Τοίχοι πάχους 300 – 600 mm (ανάλογα με το υλικό), καθώς παρέχουν υψηλά επίπεδα θερμικής μάζας ως στρατηγική για τη μείωση της απολαβής θερμότητας. Ωστόσο, με τη χρησιμοποίηση σύγχρονων τεχνικών και υλικών, όπως η μόνωση, είναι προτιμότερο οι νέες κατασκευές σε θερμά και υγρά κλίματα να έχουν μικρότερη θερμική μάζα. Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι ο σχεδιασμός για την κλιματική αλλαγή μπορεί να απαιτεί προσαρμογή των παραδοσιακών στρατηγικών δόμησης κατά τη χρήση σύγχρονων υλικών.

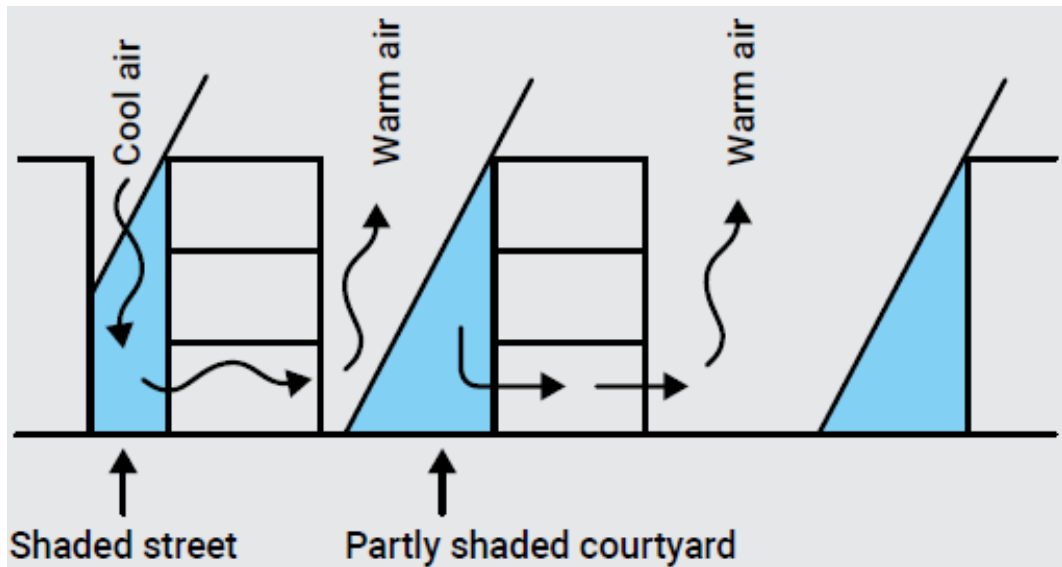


Εικόνα 14: Μεγιστοποίηση του υψομέτρου και της βλάστησης με σκοπό την εκμετάλλευση δροσερών ρευμάτων αέρα σε θερμά και υγρά κλίματα [22]

3.3.2 Αερισμός σε θερμό και ξηρό κλίμα

Ο αερισμός σε ζεστό και ξηρό κλίμα είναι ωφέλιμος με την προϋπόθεση ότι ο εξωτερικός αέρας είναι δροσερός. Έτσι, οι αυλές θα πρέπει να είναι διαμορφωμένες ώστε να είναι κυρίως σκιασμένες και να περιέχουν στοιχεία ψύξης όπως δέντρα και υδάτινα σώματα (**εικόνα 15**). Οι αυλές μπορεί να ψύχονται μέσω σκίασης, διατηρώντας μια αναλογία ύψους προς πλάτος (Υ/Β) περίπου 1:1. Οι μεγάλες και μακριές αυλές

συμβάλλουν επίσης στην ενίσχυση του φυσικού αερισμού και στη μείωση της υγρασίας. Επίσης, οι πλευρικοί διάδρομοι μπορούν και αυτοί να προκαλέσουν ρεύματα αέρα. [17]



Εικόνα 15: Διαφορετικές διαστάσεις αυλής για αερισμό και αμοιβαία σκίαση [17]

Οι αυλές μπορούν να σχεδιαστούν και να διαστασιοποιηθούν ώστε να δημιουργούν διαφορές θερμοκρασίας-πίεσης προκαλώντας έτσι εγκάρσιο αερισμό για ψύξη. Η προσθήκη μικρών πισινών, λεκανών ή σιντριβανιών στις αυλές επιτρέπει επιπλέον ψύξη μέσω της εξάτμισης. Η ψύξη με εξάτμιση λειτουργεί αποδοτικά στο ζεστό και ξηρό κλίμα, καθώς στη συγκεκριμένη ζώνη η υγρασία είναι χαμηλή. Απαραίτητη όμως προϋπόθεση για να λειτουργήσει αξιόπιστα αυτή η τεχνική και να προσφέρει οφέλη, απαιτεί η βιώσιμη διαθεσιμότητα νερού. Δύο άλλες προσεγγίσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ξηρά κλίματα αποτελούν οι πύργοι ανέμου και οι γήινες σήραγγες αέρα.

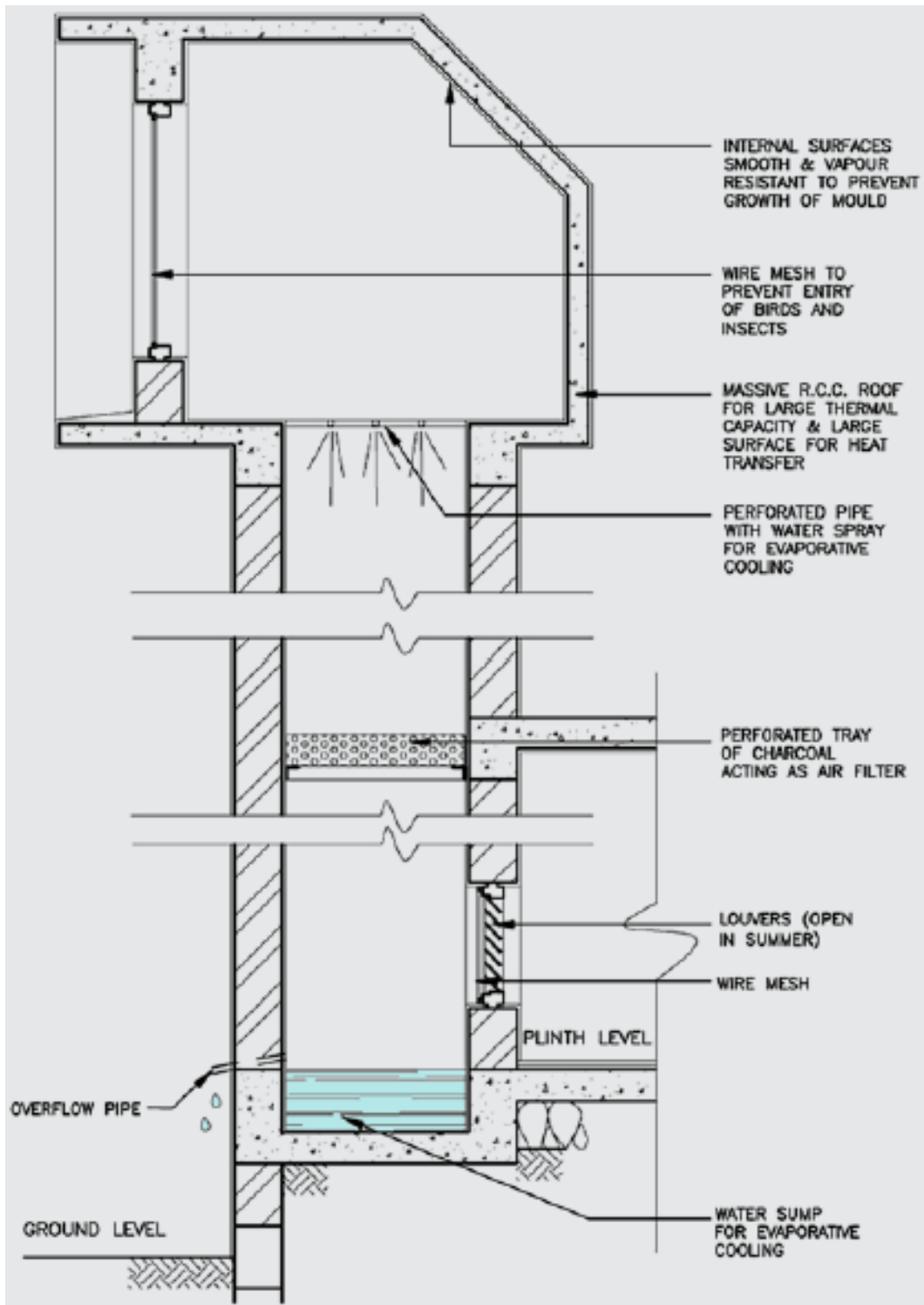
Ένα κεντρικό σύστημα αιολικών πύργων με ψεκάσμο νερού στην κορυφή, είναι χρήσιμο για ψύξη και πιο αποτελεσματικό σε σχέδια με δωμάτια και στις δύο πλευρές ενός διαδρόμου. Αποτελεί μια πολύ αποδεκτή μέθοδο σε περιοχές με ζέστη και ξηρότητα, καθώς η πρόσθετη υγρασία είναι ευπρόσδεκτη γιατί συνεισφέρει στην προσωπική άνεση. Η εισαγωγή υγρών σπηλών ύψους 10 μέτρων μπορεί να μειώσει την εσωτερική θερμοκρασία κατά 12°C στις ζεστές και ξηρές περιοχές. [23] Για περιοχές με πιο έντονους ανέμους, η εγκατάσταση των πύργων μπορεί να ευθυγραμμιστεί με την κυρίαρχη κατεύθυνση του αέρα. [24]

Τόσο το σύστημα αιολικών πύργων, όσο και αυτό των γήινων σφράγγων αέρα, χρησιμοποιούν νυχτερινό αερισμό. Αυτές οι τεχνικές αποδίδουν καλύτερα όταν οι διαφορές μεταξύ της ημερήσιας και της νυχτερινής θερμοκρασίας είναι μεγάλες. Τα κτίρια αερίζονται τη νύχτα, όταν οι θερμοκρασίες περιβάλλοντος είναι χαμηλότερες και συνεπώς οι κατασκευές μπορούν να αντισταθούν στη συσσώρευση θερμότητας. Παραλλαγές αυτής της προσέγγισης χρησιμοποιούνται εκτενώς σε όλο τον κόσμο. Το πιο συνηθισμένο παράδειγμα είναι το άνοιγμα των παραθύρων κατά τη διάρκεια της νύχτας ενός ζεστού καλοκαιριού ώστε να δροσιστεί το κτίριο.

Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτές οι στρατηγικές μπορούν να εξασφαλίσουν ελάχιστα φορτία θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού (HVAC), εάν γίνουν επιθυμητά στο μέλλον συστήματα ενεργού ψύξης.

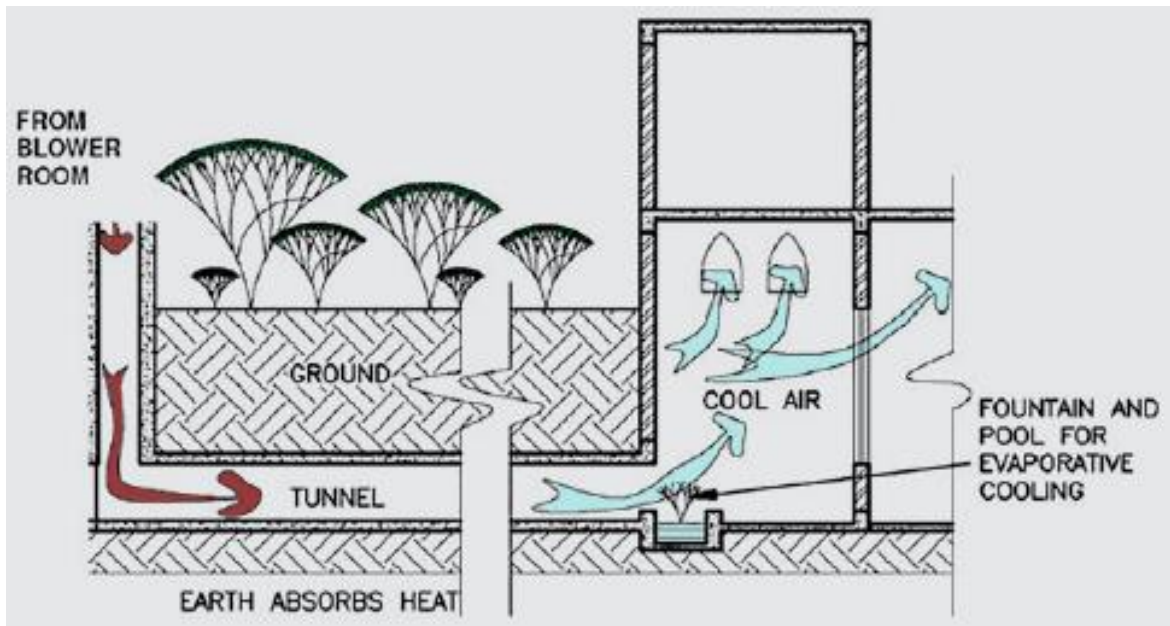


Εικόνα 16: Διώροφος αιολικός πύργος στο Ιράν [24]



Εικόνα 17:Κεντρικός αιολικός πύργος με νερό για ψύξη, κατάλληλος για ζεστά και ξηρά κλίματα

[25]



Εικόνα 18: Σύστημα γήινης σήραγγας αέρα που χρησιμοποιεί υπόγεια θερμοκρασία για ψύξη [25]

3.4 Σκίαση και δροσερές επιφάνειες

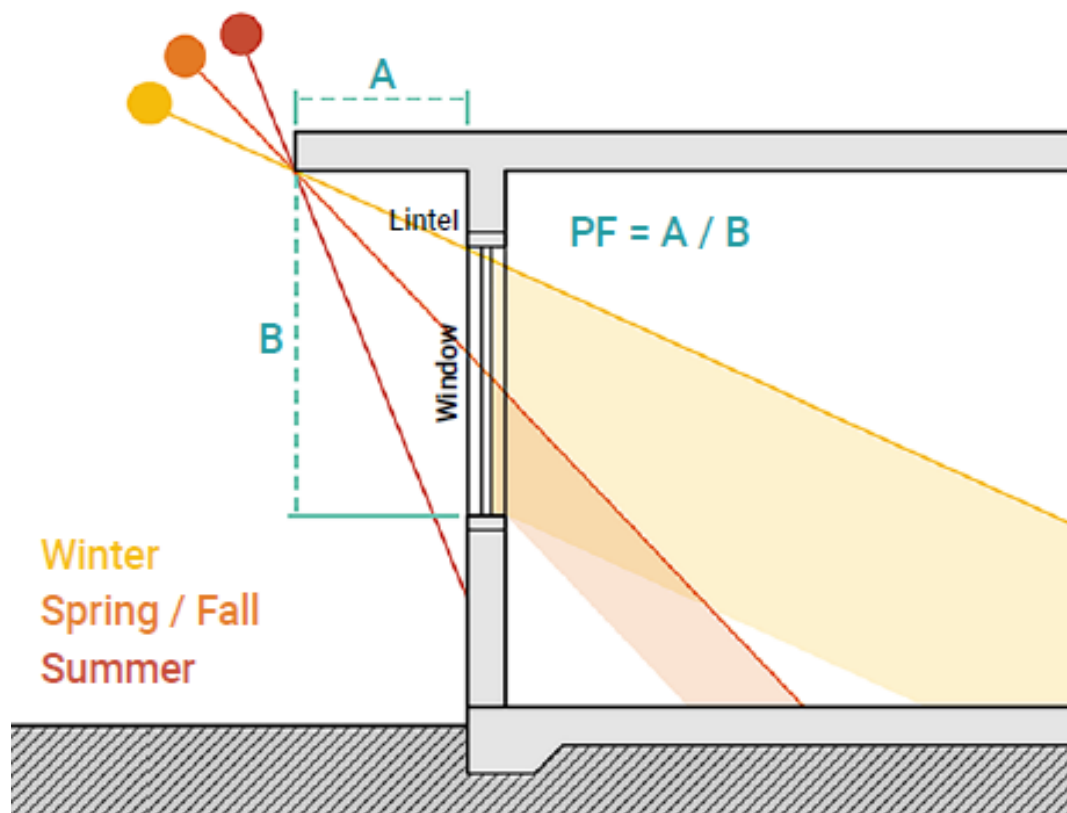
Η σκίαση αποτελεί μια μακροχρόνια χρησιμοποιούμενη προσέγγιση για τη μείωση της ποσότητας του άμεσου ηλιακού φωτός που προσπίπτει σε ένα κτίριο ή εισέρχεται από ένα παράθυρο. Η ρυθμιζόμενη εξωτερική σκίαση ενδεχομένως να είναι προτιμότερη σε σύνθετα ή εύκρατα κλίματα, όπου κατά τη χειμερινή περίοδο η θερμότητα από τον ήλιο είναι επιθυμητή. Παρ' όλ' αυτά, πολλές φορές επιλέγεται σταθερή σκίαση, καθώς δεν απαιτεί τη δραστηριοποίηση του χρήστη.

Σε μία μελέτη για δημόσια κτίρια της Μπουρκίνα Φάσο διαπιστώθηκε ότι λόγω του θερμαινόμενου κλίματος, η ζήτηση για ψύξη θα αυξηθεί κατά 59 % έως το 2050. [26] Αξιολογήθηκαν διάφορες προσαρμοστικές στρατηγικές κτιρίων και συνήχθη το συμπέρασμα ότι η εγκατάσταση εξωτερικής σκίασης είναι το πιο ενεργειακά αποτελεσματικό μέτρο για την αντιμετώπιση της επίδρασης του αυξημένου κέρδους θερμότητας στο προβλεπόμενο μελλοντικό κλίμα. [26, 18] Σε ισημερινά ή εύκρατα κλίματα, η σταθερή σκίαση πιθανότατα δεν θα αποτελέσει πρόβλημα.

3.4.1 Τζάμια, ανοίγματα και σκίαση

Εκτός από τις διαθέσιμες επιλογές για τη σκίαση κτιρίων που βασίζονται στη φύση, υπάρχουν και στρατηγικές σχεδιασμού για την ενίσχυση της σκίασης και κατ' επέκταση τη μείωση της θερμότητας από την έκθεση στον ήλιο. Οι περισσότερες από τις στρατηγικές

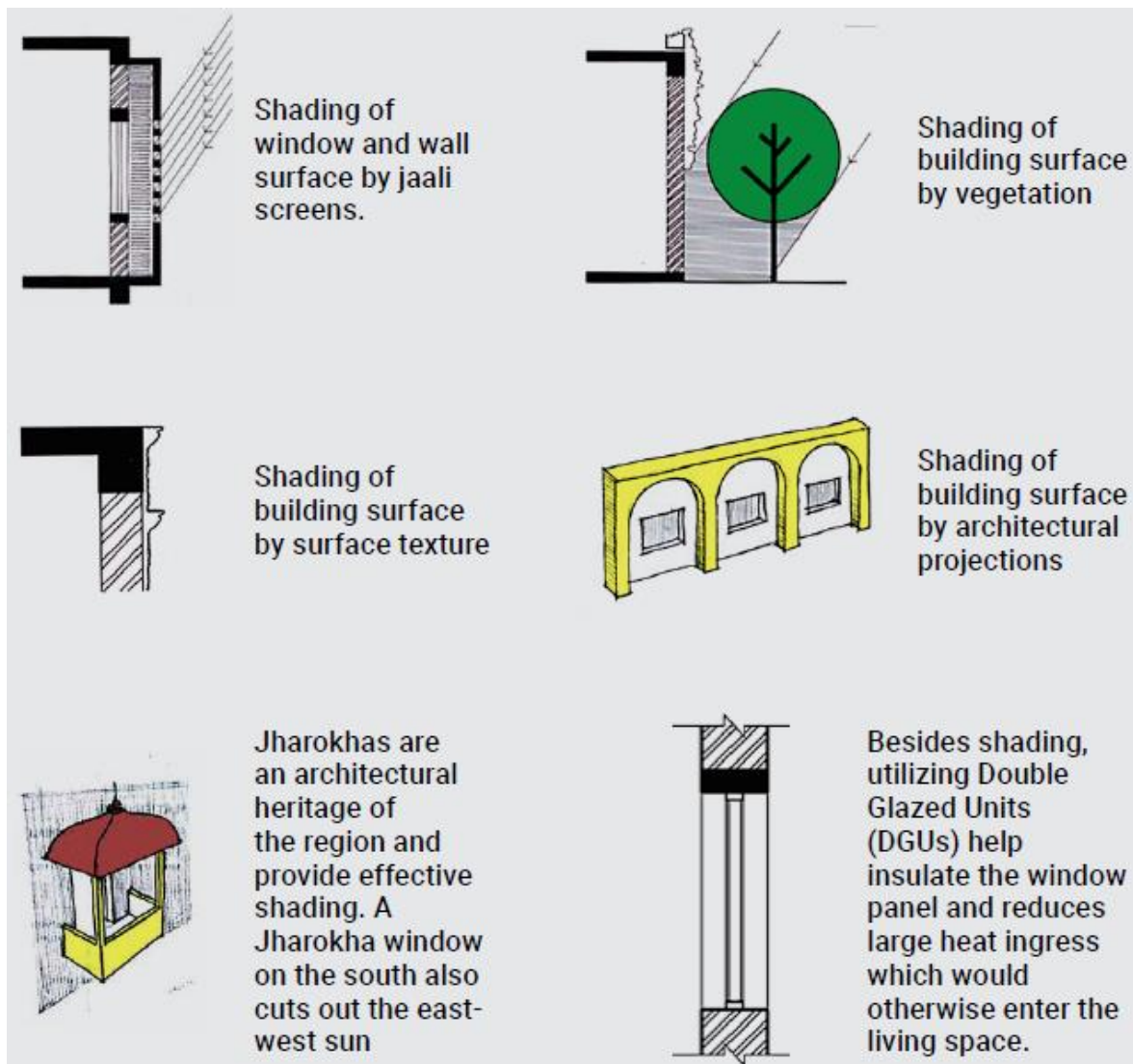
που θα περιγραφούν στη συνέχεια είναι εφαρμόσιμες σε οποιοδήποτε κλίμα. Είναι σημαντικό να διασφαλιστεί ότι τα κτίρια του βορείου ημισφαιρίου έχουν επαρκή σκίαση των παραθύρων που βλέπουν δυτικά και νότια, έτσι ώστε να αποκόβεται η άμεση ηλιακή ακτινοβολία κατά το δεύτερο μισό της ημέρας, ειδικά τους ζεστούς καλοκαιρινούς μήνες, αλλά αντιθέτως να επιτρέπεται η έκθεση στον ήλιο κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών. Στο νότιο ημισφαίριο, τα παράθυρα στη βόρεια πλευρά των κτιρίων είναι αυτά που απαιτούν την καλύτερη σκίαση, ώστε να ελαχιστοποιηθεί η επιρροή από τον ήλιο που ανατέλλει ή δύει. Η σκίαση παραθύρων επιτυγχάνεται συνήθως με προεξοχή (εικόνα 19, σημείο A). Το μέγεθος της προεξοχής υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τον «ελάχιστο συντελεστή προβολής για εξωτερική σκίαση» (γνωστό και ως παράγοντα προβολής). Στις περισσότερες περιπτώσεις θα πρέπει να έχει τιμή 0,5. Ο υπολογισμός του παράγοντα προβολής προκύπτει διαιρώντας το μήκος της προεξοχής με την απόσταση του κάτω μέρους του στοιχείου σκίασης με το κάτω μέρος του υαλοπίνακα του παραθύρου (εικόνα 19). [27]



Εικόνα 19: Ο συντελεστής προβολής (PF) υπολογίζεται διαιρώντας την προεξοχή (A) με το μήκος (B) [28]

Στο Βιετνάμ, τα παραδοσιακά σχέδια, προσαρμοσμένα στην αυξημένη ηλιακή ακτινοβολία, περιλαμβάνουν μεγάλα ανοίγματα που βλέπουν νότια. Πιο συγκεκριμένα, στοχεύοντας στην ενίσχυση του φυσικού αερισμού, στον τοίχο που βρίσκεται στη νότια πλευρά υπάρχουν δύο παράθυρα (1 m × 1,2 m) και τρεις μεγάλες πόρτες (1,9 m × 1,9 m). Ξύλινα οριζόντια πηχάκια ή παραθυρόφυλλα μπορούν να σκιάσουν τα τζάμια, ενώ η χρήση διπλών τζαμιών παρέχει ευέλικτο και λειτουργικό έλεγχο των ανοιγμάτων κατά τις ζεστές και κρύες περιόδους. Ένας πρόσθετος μπροστινός διάδρομος που καλύπτεται από την προεξοχή της οροφής προστατεύει τον εσωτερικό χώρο από τον ήλιο και τη δυνατή βροχή. Επιπλέον, η απορρόφηση θερμότητας από τις προσόψεις ελαχιστοποιείται με τη βαφή τους σε ανοιχτά χρώματα. [15]

Οι στρατηγικές σκίασης για τα ανοίγματα κτιρίων είναι ζωτικής σημασίας για την άνεση σε ζεστό και ξηρό κλίμα (**εικόνα 20**). Για την επίτευξη επαρκούς φυσικού φωτισμού, συνήθως το 10% έως το 15% του τοίχου ενός υπνοδωματίου θα πρέπει να είναι παράθυρα (αναλογία παραθύρου προς τοίχο ή WWR), ενώ για το σαλόνι το συγκεκριμένο ποσοστό αυξάνεται σε 30%. Το WWR σε κάθε πρόσοψη θα πρέπει να καθορίζεται με βάση τη διάρκεια της έκθεσης στον ήλιο.



Εικόνα 20: Στρατηγικές σκίασης για περιοχές με ζεστό και ξηρό κλίμα [17]

Ο λόγος ανοιγόμενου παραθύρου προς το δάπεδο (WFRop) για ζεστά και υγρά κλίματα θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 10%. [29] Σε αυτά τα κλίματα, ο ελάχιστος συντελεστής προβολής για την εξωτερική σκίαση θα πρέπει να είναι 0,5 όπως περιγράφεται στην **εικόνα 19**. [27]

Στο ζεστό και υγρό κλίμα, όπου οι δροσεροί εσωτερικοί χώροι προτιμώνται για το μεγαλύτερο μέρος του έτους, τα μεγάλα παράθυρα με τζάμια θα πρέπει να αποφεύγονται ώστε να μειωθούν τα υπερβολικά κέρδη και οι απώλειες θερμότητας. Μια αναλογία παραθύρου-τοιχών 10% - 15% στα υπνοδωμάτια και 30% στο σαλόνι είναι η βέλτιστη για την παροχή επαρκούς φωτός της ημέρας. Ο σχεδιασμός των παραθύρων σε μεγάλο ύψος στον τοίχο ή η χρήση ραφιών φωτισμού μπορούν να αυξήσουν τη διείσδυση του φωτός της ημέρας στο κτίριο (**εικόνα 19**). Τα ανοίγματα στα κτίρια πρέπει να σχεδιάζονται σε

πλευρές που δεν βλέπουν απευθείας τον ήλιο, όπως η ανατολική ή η δυτική, ώστε να αξιοποιείται το διάχυτο φως. Κατά κανόνα, η απόσταση που διανύει το φως της ημέρας σε ένα δωμάτιο είναι περίπου 2,5 φορές το ύψος του πάνω μέρους του παραθύρου. Οι στρατηγικές σκίασης που περιγράφονται στην **εικόνα 20** μπορούν επίσης να εφαρμοστούν σε θερμά και υγρά κλίματα.

3.4.2 Στέγες και δροσερές επιφάνειες

Η οροφή είναι μια μεγάλη εκτεθειμένη επιφάνεια και ενδεχομένως το ποσοστό της συνολικής απολαβής θερμότητας που πραγματοποιείται μέσω αυτής να φτάνει το 70%. **[30]** Έτσι, το συγκεκριμένο μέρος του κτιρίου μπορεί να αποτελεί ένα σημείο ευπάθειας. Καθώς ο ήλιος χτυπά την επιφάνεια για μεγάλο μέρος της ημέρας, μια σημαντική ποσότητα θερμότητας μπορεί να εισέλθει (σε θερμά κλίματα) ή να διαφύγει από το κτίριο (σε ψυχρά κλίματα). Για παράδειγμα, σε μια μελέτη στην Ινδία, τα διαμερίσματα ακριβώς κάτω από την οροφή είναι αυτά που κάνουν τη μεγαλύτερη χρήση ανεμιστήρα ή κλιματισμού κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. **[31]** Συνεπώς, η προστασία της οροφής μέσω κατάλληλης μόνωσης και ανακλαστικών επιφανειών είναι ύψιστης σημασίας.

Το κέρδος θερμότητας από τους εξωτερικούς τοίχους μπορεί να ελαχιστοποιηθεί χρησιμοποιώντας ανοιχτά χρώματα κατά τη βαφή των εξωτερικών επιφανειών (απορροφητικότητα < 0,4). Το κέρδος θερμότητας από την οροφή δύναται επίσης να μειωθεί μέσω της χρήσης υλικών στέγης με υψηλό δείκτη ηλιακής ανάκλασης (SRI).

Στο Βιετνάμ, οι παραδοσιακές μέθοδοι σχεδιασμού που χρησιμοποιούνται για την προσαρμογή στην αυξημένη ηλιακή ακτινοβολία περιλαμβάνουν: **[15]**

- Καλά αεριζόμενες σοφίτες που διαθέτουν οπές σε σχήμα χωνιού στα πλάγια άκρα της οροφής (αέτωμα)
- Στέγες από υλικά φυτικής προέλευσης με πάχος περίπου 200 mm που παρέχουν ιδανική μόνωση (τιμή U 0,25–0,35 W/m²K) και απορροφούν την υγρασία, συνεισφέροντας στον περιορισμό της υπερθέρμανσης μέσω εξατμιστικής ψύξης.
- Μαρκίζες, που είναι τα μέρη της οροφής που υπερκαλύπτουν τις πλευρές και παρέχουν προστασία στους τοίχους και τα ανοίγματα από τον άμεσο ήλιο.

Οι δροσερές στέγες αντανακλούν το ηλιακό φως και απορροφούν λιγότερη θερμότητα. Μπορούν να προκαλέσουν πτώση στις εσωτερικές θερμοκρασίες κατά 1oC

έως 4°C, γεγονός που δύναται να μειώσει τους λογαριασμούς ενέργειας έως και 20%. Οι επιλογές δροσερής στέγης μπορεί να περιλαμβάνουν: [32]

- Βαφή οροφής με χρώματα καλής ανακλαστικής συμπεριφοράς (**εικόνα 21**):
Δυνατότητα ψύξης 2°C έως 4°C.
Τα ανακλαστικά χρώματα που χρησιμοποιούνται στις στέγες μπορούν να βοηθήσουν στη μείωση της θερμότητας των εσωτερικών χώρων αντανακλώντας τη μακριά από το κτίριο.
- Δευτερεύουσα οροφή (ή "fly roof»):
Δυνατότητα ψύξης: 3°C έως 4°C.
Μία δευτερεύουσα οροφή τοποθετείται σε μια βασική δομή στήριξης, η οποία παρέχει ένα διάκενο αέρα μεταξύ ένας δευτερεύουσας και ένας κύριας οροφής. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται σκιά και ενθαρρύνεται η ροή του αέρα, με αποτέλεσμα τη μείωση ένας θερμοκρασίας.
- Ύφασμα σκίασης:
Δυνατότητα ψύξης 2,5°C έως 3°C
Ένα ύφασμα σκίασης, ένας αυτό που χρησιμοποιείται για την κάλυψη θερμοκηπίων, μπορεί να παρέχει σκιά έως και 70 τοις εκατό. Το χαμηλό κόστος ένας ένας εφαρμογής την καθιστά μία αρκετά ελκυστική επιλογή για την αύξηση ένας θερμικής άνεσης που επιτυγχάνεται μέσω ένας μείωσης ένας θερμοκρασίας ένας επιφάνειας ένας οροφής. Ένας, κάνει ένας επίπεδες βεράντες πιο εύχρηστες κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου.
- Εναλλακτική επιφάνεια οροφής:
Δυνατότητα ψύξης 2°C έως 3°C.

Τέτοιες επιλογές αποτελούν το ασβεστομπετόν, τα πλακάκια υψηλής ανακλαστικότητας και το θερμικό σκυρόδεμα. Το θερμικό σκυρόδεμα είναι ένα είδος σκυροδέματος αναμεμειγμένο με μπάλες Thermocol (εξηλασμένη πολυστερίνη). Αυτές οι μπάλες λειτουργούν ως κοιλότητες αέρα, οι οποίες εμποδίζουν ποσότητα θερμότητας να διαπεράσει το υλικό. Τόσο το σκυρόδεμα, όσο και το πολυστυρένιο, μπορεί να είναι περιβαλλοντικά προβληματικά. Νέες εναλλακτικές λύσεις βρίσκονται υπό ανάπτυξη, συμπεριλαμβανομένων προϊόντων από βιοαποδομήσιμα υλικά, όπως είναι τα γεωργικά απόβλητα και οι μύκητες. Ένας το παρόν, η διαθεσιμότητα ένας αγοράς είναι περιορισμένη, αλλά

πιθανότητα θα αυξηθεί μέσω αυξημένης ζήτησης. Η μερική αντικατάσταση του τσιμέντου (του ενεργοβόρου υλικού στο σκυρόδεμα) από επαναχρησιμοποιήσιμα υλικά θα ήταν ένας αποτελεσματικός τρόπος για τη μείωση των επιπτώσεων αυτών των υλικών. Οι αντικαταστάσεις μπορεί να περιλαμβάνουν τέφρα καπνού, καπνό πυριτίου και τέφρα ξύλου. Το πολυστυρένιο παρότι είναι ανακυκλώσιμο, συνήθως δεν ανακυκλώνεται. Συνεπώς, συνιστάται η ανάπτυξη εναλλακτικών λύσεων.



Εικόνα 21: Βαφή οροφής με χρώματα καλής ανακλαστικής συμπεριφοράς

3.5 Θερμική προσαρμογή σε ψυχρά και εύκρατα κλίματα

3.5.1 Ψυχρά κλίματα

Σε ψυχρά κλίματα όπου η αύξηση της θερμότητας είναι επιθυμητή κατά καιρούς, τα κτίρια θα πρέπει να βρίσκονται στη νότια πλαγιά (στο βόρειο ημισφαίριο) ενός λόφου ή βουνού για καλύτερη πρόσβαση στην ηλιακή ακτινοβολία. Η έκθεση σε ψυχρούς ανέμους μπορεί να ελαχιστοποιηθεί τοποθετώντας το κτίριο στην υπήνεμη πλευρά. Πολλές από τις στρατηγικές προσανατολισμού και διάταξης κτιρίου που αναφέρθηκαν προηγουμένως ισχύουν και εδώ. Ωστόσο, υπάρχουν δύο βασικές διαφορές που αξίζει να επισημανθούν εδώ. Ο αερισμός θα πρέπει να σχεδιάζεται προσεκτικά και θα πρέπει να χρησιμοποιούνται χώροι για κλείδωμα αέρα στα σημεία εισόδου και εξόδου ενός κτιρίου για τη μείωση της απώλειας θερμότητας. Επιπλέον, η θερμότητα που παράγεται από

συσκευές σε δωμάτια όπως οι κουζίνες μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση των άλλων τμημάτων ενός κτιρίου, επομένως η τοποθέτησή τους σε ένα πιο κεντρικό μέρος του κτιρίου μπορεί να είναι ευεργετική. Τέλος, σε αντίθεση με τα θερμά κλίματα, οι δρόμοι στα ψυχρά κλίματα θα πρέπει να είναι αρκετά φαρδιοί ώστε να διασφαλίζεται ότι τα κτίρια εκατέρωθεν δεν σκιάζουν το ένα το άλλο. Οι ανοιχτοί χώροι μεταξύ των κτιρίων θα πρέπει να επιτρέπουν τη μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία να προσπίπτει σε αυτά. **[33]**

Η αποτελεσματικότητα ενός κτιρίου να αντιστέκεται στην απώλεια θερμότητας μετρείται και υπαγορεύεται μέσω των οικοδομικών κανονισμών και των προτύπων σχεδιασμού. Τα δομικά στοιχεία όπως τοίχοι, δάπεδα, στέγες και παράθυρα μετρώνται από το πόσο εύκολα μεταφέρεται η θερμότητα ή το κρύο μέσω του υλικού. Αυτό ονομάζεται θερμική αγωγιμότητα (αναφέρεται επίσης ως τιμή U σε ορισμένες χώρες· σε άλλες χώρες η μέτρηση γίνεται με αντίστροφο τρόπο, δηλαδή μέσω της θερμικής αντίστασης-τιμή R). Η μόνωση μειώνει τη μεταφορά θερμότητας και κρύου και παρέχει ένα πιο ενεργειακά αποδοτικό κτίριο. Τα παράθυρα είναι γενικά το πιο αδύναμο στοιχείο στα κτίρια όσον αφορά τη θερμική αντίσταση.

Σε ένα ψυχρό κλίμα, η μόνωση θα πρέπει να έχει ένα φράγμα ατμών που να είναι επαρκές για να αποτρέπει τη διέλευση υγρασίας στη ζεστή πλευρά και την πρόκληση συμπύκνωσης. Τα κατάλληλα μονωτικά υλικά περιλαμβάνουν δύο στρώσεις πίσσας, φύλλα πολυαιθυλενίου 300 έως 600 gauge και φύλλο αλουμινίου. Σε ορισμένα μέρη με πολύ ζεστά καλοκαίρια (όπως υποδεικνύεται από τον υψηλό αριθμό βαθμοημέρων ψύξης (CDD)), όπου η μόνωση μπορεί να οδηγήσει σε υπερθέρμανση το καλοκαίρι, η εξωτερική μόνωση είναι προτιμότερη από την εσωτερική ή τη μόνωση τοιχώματος κουλότητας. **[34]** Αυτό συμβαίνει επειδή το μονωτικό στρώμα είναι η πρώτη και καλύτερη άμυνα για την αντίσταση στο κέρδος θερμότητας από το περιβάλλον.

Για κτίρια σε περιοχές όπου κυριαρχεί το κρύο (όπως υποδεικνύεται από τον αριθμό των βαθμοημερών θέρμανσης (HDD)), οι εξωτερικές επιφάνειες των τοίχων πρέπει να έχουν σκούρο χρώμα, ώστε να απορροφούν θερμότητα από τον ήλιο κατά τη διάρκεια της ημέρας. Μια αρκετά κεκλιμένη οροφή επιτρέπει γρήγορη αποστράγγιση βρόχινου νερού και χιονιού. Παράθυρα ή γυαλί (γνωστά ως φεγγίτης) στις στέγες δέχονται θερμότητα καθώς και φως τους χειμώνες. Οι φεγγίτες μπορούν να εφοδιαστούν με παντζούρια ή σκιές για να αποφευχθεί η υπερθέρμανση τα καλοκαίρια.

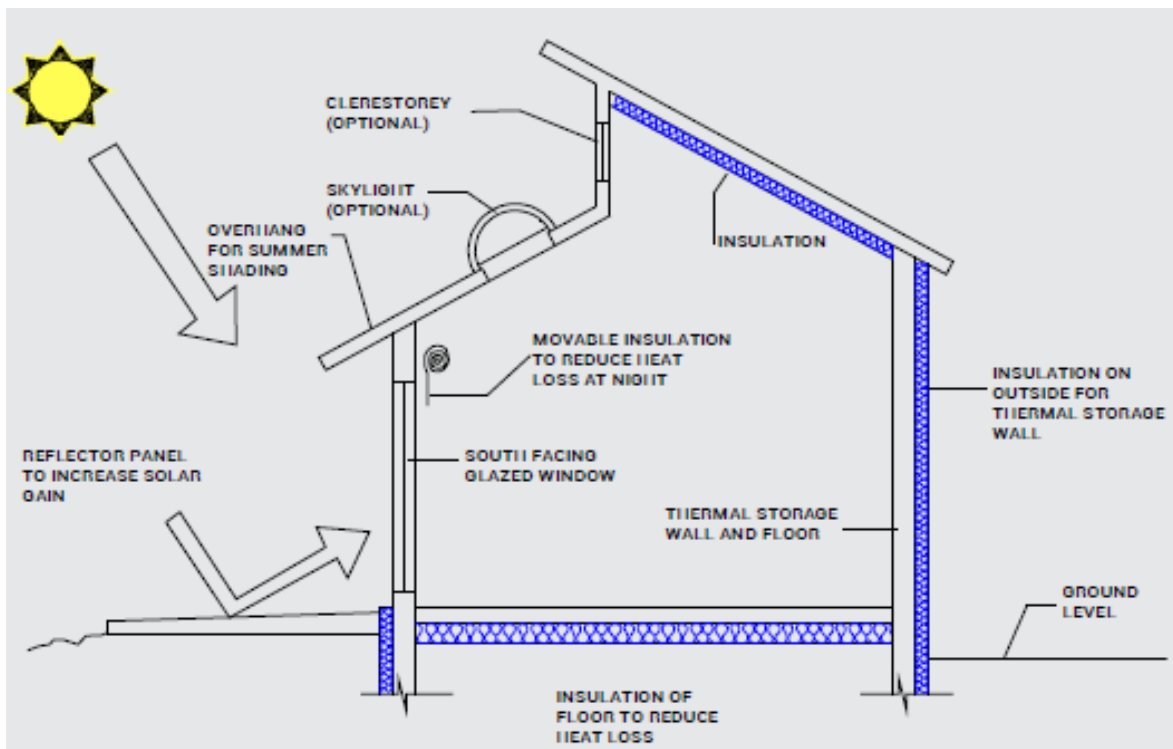
Να σημειωθεί ότι οι βαθμομέρες θέρμανσης (HDD) και οι βαθμομέρες ψύξης (CDD) είναι ένας τρόπος για να μετρηθεί πόσο ζεστό ή ψυχρό είναι το κλίμα σε μια περίοδο 24 ωρών. Οι βαθμομέρες θέρμανσης αφορούν τα διαστήματα που επικρατεί μέση θερμοκρασία κάτω από μια βασική εξωτερική θερμοκρασία (συνήθως ορίζεται μεταξύ 15°C και 18°C). Οι βαθμομέρες ψύξης εκπροσωπούν οποιαδήποτε ημέρα με μέση εξωτερική θερμοκρασία μεγαλύτερη του εύρους 18°C έως 22°C (οι βασικές θερμοκρασίες καθορίζονται συνήθως από τις κυβερνήσεις).

Τα διπλά τζάμια (δύο στρώσεις γυαλιού σε ένα παράθυρο) με γυαλί χαμηλής εκπομπής (Low-E glass) ή διπλό διαφανές γυαλί αποδίδουν καλύτερα από ένα γυαλί μονής στρώσης (τζάμι). Θα πρέπει να σφραγίζονται αποτελεσματικά για να αποφευχθεί η απώλεια θερμότητας κατά τις νύχτες του χειμώνα. Η συμπύκνωση αέρα στο χώρο μεταξύ των υαλοπινάκων πρέπει να αποτρέπεται. Ο λόγος ανοιγόμενου παραθύρου προς δάπεδο (WFRop) για ψυχρά κλίματα θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 8,33 τοις εκατό. Ο λόγος παραθύρου προς τοίχο (WWR) σε κάθε πρόσοψη θα πρέπει να προσδιορίζεται με βάση τη διάρκεια της έκθεσης στον ήλιο. Η διαπερατότητα ορατού φωτός (VLT) των παραθύρων ή άλλων στοιχείων από γυαλί, είτε διαφανή είτε ημιδιαφανή, θα πρέπει να συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις που δίνονται παρακάτω, οι οποίες επιτρέπουν καλύτερο έλεγχο της εσωτερικής θερμοκρασίας ενός κτιρίου. **[35]** Εάν τα παράθυρα καταλαμβάνουν ποσοστό 20 % ή λιγότερο σε σχέση με τον τοίχο, τότε θα πρέπει να επιτρέπουν την εισχώρηση τουλάχιστον του 75 % του ορατού φωτός στο κτίριο. Εάν τα παράθυρα αντιπροσωπεύουν ποσοστό 20% - 30% του τοίχου, τότε θα πρέπει να επιτρέπουν οπωσδήποτε στο 50 % του ορατού φωτός να εισχωρεί στο κτίριο. Ακόμη, εάν το WWR κυμαίνεται στο εύρος 30% - 35%, η ελάχιστη τιμή VLT θα πρέπει να είναι 40%. Ο συνδυασμός αυτής της στρατηγικής με την καλή μόνωση τοίχων και τον σωστό προσανατολισμό του κτιρίου, μπορεί να διατηρήσει τις εσωτερικές συνθήκες του άνετες ακόμα και σε ένα μεταβαλλόμενο κλίμα.

Τα παράθυρα πρέπει να τοποθετούνται έτσι ώστε να διευκολύνεται το άμεσο κέρδος θερμότητας, κάτι που αποτελεί μια τεχνική παθητικής θέρμανσης που έχει ευρεία χρήση σε ψυχρά κλίματα. Η τεχνική αυτή ήταν ένα κοινό χαρακτηριστικό της παραδοσιακής οικοδόμησης σε πολλούς πολιτισμούς, από την αρχαία Κίνα μέχρι τους οικισμούς στη Μέση Ανατολή και την προκολομβιανή Βόρεια Αμερική. Σε αυτή την τεχνική, το ηλιακό φως εισέρχεται στους χώρους διαβίωσης απευθείας μέσω ανοιγμάτων

ή υαλοπινάκων (**εικόνα 22**). Το ηλιακό φως θερμαίνει τους τοίχους και τα δάπεδα, τα οποία στη συνέχεια αποθηκεύουν τη θερμότητα χρησιμοποιώντας τη θερμική τους μάζα και ύστερα τη μεταδίδουν στο εσωτερικό περιβάλλον, συνήθως τη νύχτα.

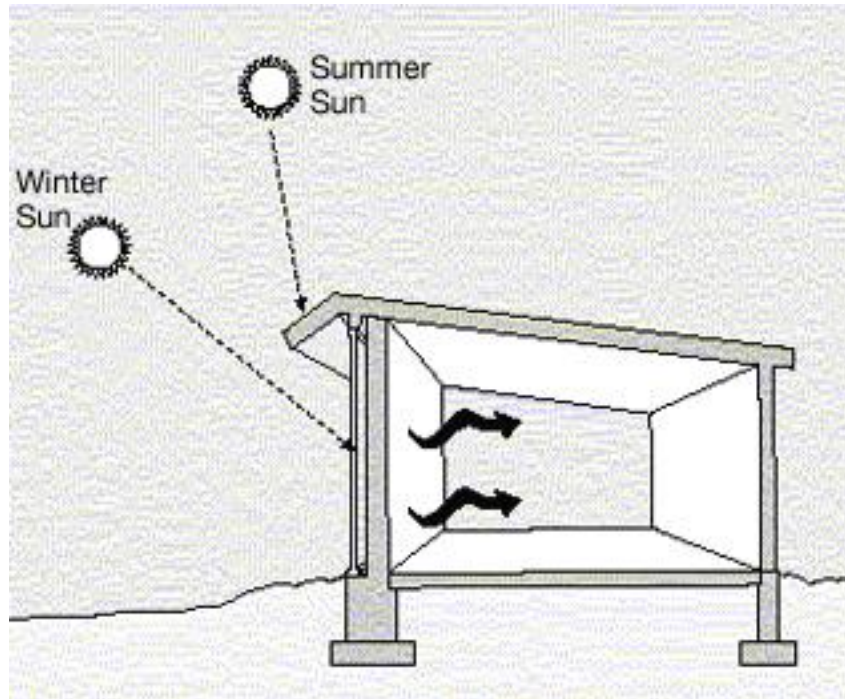
Η κύρια απαίτηση ενός συστήματος άμεσης απολαβής είναι τα τζάμια να έχουν μεγάλο μέγεθος, ώστε να δέχονται τη μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία και τη θερμική μάζα για αποθήκευση, που συμβάλλουν στη μείωση της ταχύτητας της απώλειας θερμότητας. Αυτό φαίνεται στην **εικόνα 22**, το οποίο δείχνει τη θερμική μάζα των τοίχων, των δαπέδων και μέρους της οροφής. Τα χαλιά και οι κουρτίνες δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται για την κάλυψη των δαπέδων και των τοίχων που χρησιμοποιούνται ως μάζα αποθήκευσης, γιατί εμποδίζουν τον ρυθμό ροής θερμότητας. Πρέπει να προβλέπονται κατάλληλες προεξοχές για σκίαση και ανοιγόμενα παράθυρα για αερισμό αποσκοπώντας στην αποφυγή υπερθέρμανσης το καλοκαίρι.



Εικόνα 22: Σύστημα άμεσου ηλιακού κέρδους [33]

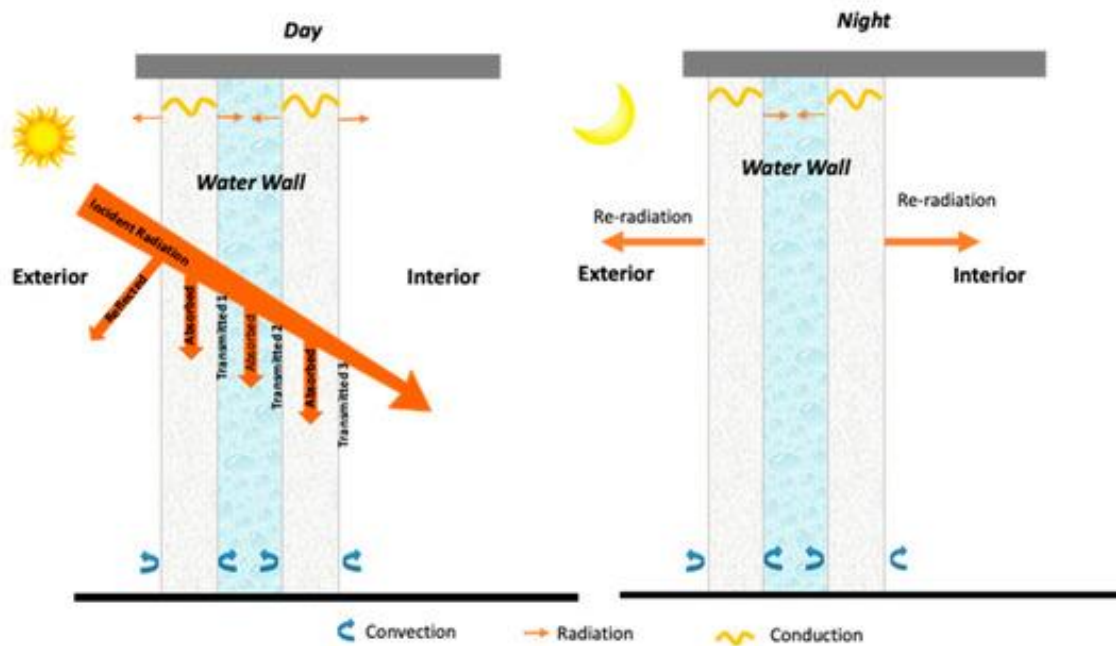
Ο τοίχος Trombe είναι ένας τύπος τεχνολογίας που μπορεί να εγκατασταθεί για να θερμαίνει παθητικά τα κτίρια. Αυτός ο τοίχος είναι χτισμένος από κάποιο σκουρόχρωμο υλικό (μερικές φορές σκυρόδεμα) και είναι στραμμένος προς τον Ήλιο έτσι ώστε η ηλιακή ακτινοβολία να προσπίπτει στην επιφάνειά του. Καλύπτεται από ένα εξωτερικό τζάμι, ενώ υπάρχει μια μικρή ποσότητα αέρα μεταξύ του τοίχου και του υαλοπίνακα. Ο ρόλος του

τζαμιού είναι να λειτουργεί για να παγιδεύει το φως του ήλιου σαν ένα μικρό θερμοκήπιο. Στο βόρειο ημισφαίριο αυτοί οι τοίχοι έχουν νότιο προσανατολισμό. Η βαριά μάζα του τοίχου απορροφά τη θερμότητα από τον ήλιο και την εκπέμπει όταν η θερμοκρασία είναι πιο χαμηλή. Οι τοίχοι Trombe έχουν χρησιμοποιηθεί σε χώρες όπως η Χιλή[36], η Κίνα [37] και η Αίγυπτος [38].



Εικόνα 23: Τοίχος Trombe [2]

Ο τοίχος νερού βασίζεται στην ίδια αρχή με αυτή του τοίχου Trombe, με τη διαφορά ότι χρησιμοποιεί ως υλικό θερμικής αποθήκευσης το νερό. Αποτελείται από τύμπανα νερού στοιβαγμένα πίσω από τζάμια. Είναι βαμμένος εξωτερικά με μαύρο χρώμα, ώστε να αυξηθεί η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτή η διάταξη μπορεί να αποθηκεύσει περισσότερη θερμότητα συγκριτικά με τους τοίχους από σκυρόδεμα, λόγω της υψηλότερης ειδικής θερμότητας του νερού. [33]



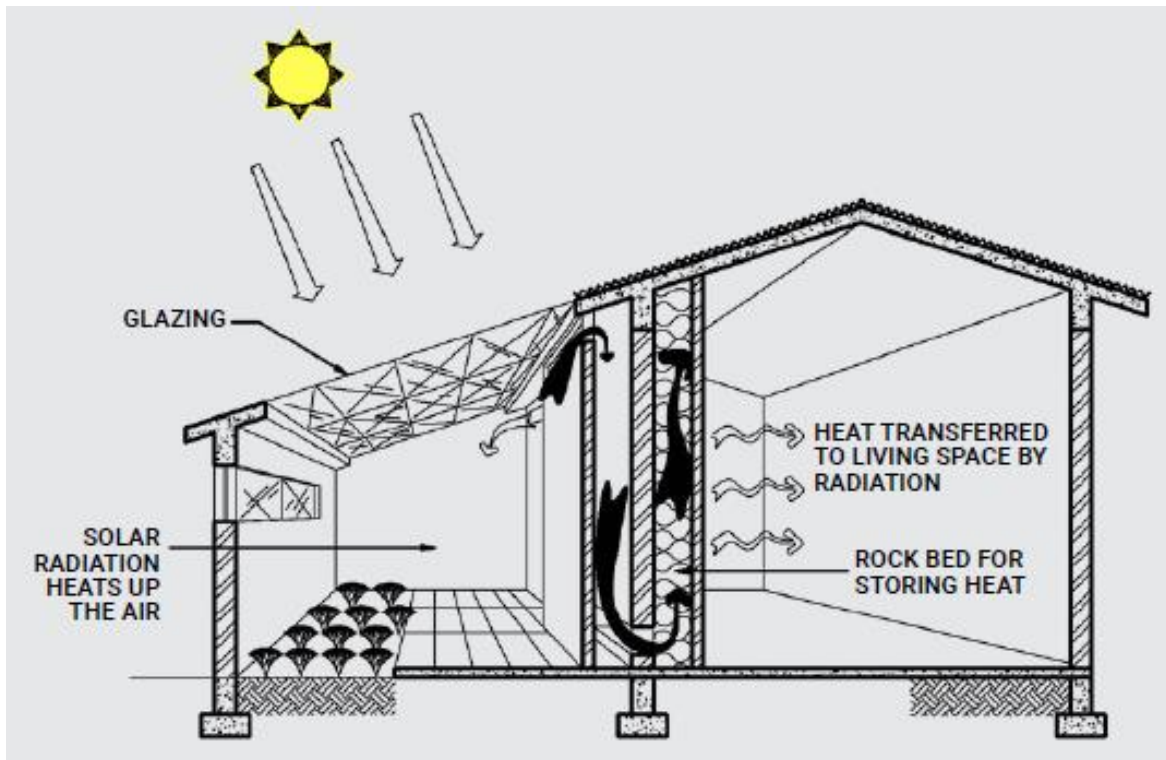
Εικόνα 24: Αποθήκευση ενέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας και απελευθέρωσή της κατά τη διάρκεια της νύχτας από ένα σύστημα τοίχου νερού [39]

Η ιδέα του τοίχου Trombe μπορεί επίσης να εφαρμοστεί στο δάπεδο ενός ηλιόλουστου δωματίου (εικόνα 27). Ένα δωμάτιο ως ηλιακός συλλέκτης μπορεί να ενσωματωθεί στον χώρο με νότιο προσανατολισμό. Η γυάλινη οροφή μπορεί να συλλέξει άμεσο ηλιακό κέρδος και ο ζεστός αέρας που συλλέγεται στο δωμάτιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σκοπούς θέρμανσης των χώρων.

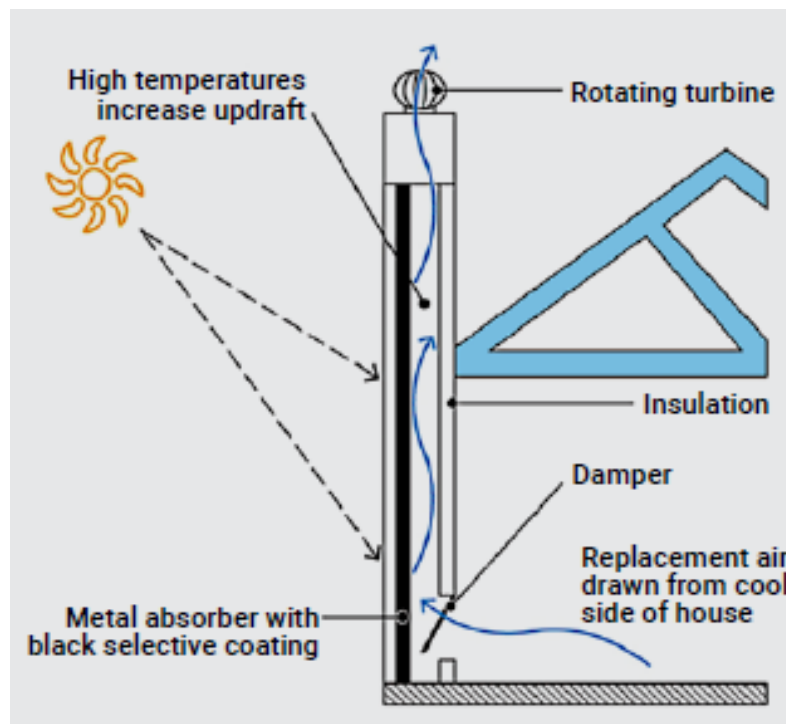
Τους χειμερινούς μήνες σε ψυχρές περιοχές, τα παράθυρα και άλλα ανοίγματα συνήθως μένουν κλειστά. Ο αερισμός που είναι απαραίτητος για τον έλεγχο των οσμών, των ρύπων του αέρα εσωτερικών χώρων και των προϊόντων της καύσης μπορεί να επιτευχθεί είτε με επίδραση στοίβας είτε με κάποια διείσδυση εξωτερικού αέρα λόγω της δράσης του ανέμου.[27]

Η ηλιακή καμινάδα μπορεί να προσφέρει αυτό το φαινόμενο στοίβας (εικόνα 28). Το σύστημα μπορεί να ενσωματωθεί με την οροφή ή έναν τοίχο και είναι μια τροποποίηση σε έναν τοίχο Trombe. Μια ηλιακή καμινάδα, σε έναν εξωτερικό τοίχο, ενισχύει τον αερισμό στοίβας παρέχοντας πρόσθετο ύψος και καλά σχεδιασμένες διόδους αέρα αυξάνοντας έτσι τη διαφορά πίεσης αέρα. Μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, οι καμινάδες θερμαίνουν τον ανερχόμενο αέρα και αυτό αυξάνει τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του εισερχόμενου και του εξερχόμενου αέρα.

Τα παραπάνω μέτρα αυξάνουν τη φυσική μεταφορά και ενισχύουν την έλξη αέρα μέσα από το κτίριο. Εκτός από τις ψυχρές περιοχές, αυτή η προσέγγιση έχει εφαρμοστεί στη Μαλαισία, τη Σιγκαπούρη και τη Μέση Ανατολή.[40], [41]



Εικόνα 25: Εφαρμογή τοίχου Trombe [33]



Εικόνα 26: Ηλιακή καμινάδα [12]

3.5.2 Σύνθετα και εύκρατα κλίματα

Για αυτά τα κλίματα ισχύουν οι ίδιοι κανόνες με εκείνους των θερμών και ψυχρών κλιμάτων που περιγράφηκαν παραπάνω. Σε πολλά σύνθετα και εύκρατα κλίματα πρέπει να εφαρμοστεί ένα μείγμα προσαρμοστικών αποκρίσεων που να ισχύουν τόσο για ζεστά όσο και για ψυχρά κλίματα. Παραμένουν σε ισχύ πολλές από τις προτάσεις αερισμού και σκίασης, αλλά εξαρτώνται από την ποσότητα της εποχικής σκιάς που απαιτείται και την ικανότητα αερισμού, δεδομένου του ιδιαίτερου κλίματος. Σε αντίθεση με το ζεστό κλίμα, όπου η σταθερή σκίαση είναι ευεργετική όλο το χρόνο, η σκίαση που μπορεί να ρυθμιστεί (λειτουργική σκίαση) είναι καλύτερη σε αυτά τα μικτά κλίματα όπου ο εποχιακός έλεγχος της ηλιακής απολαβής είναι ευεργετικός. Οι ειδικές κλιματικές ταξινομήσεις (όπως οι βαθμομέρες) υπαγορεύουν τα απαιτούμενα επίπεδα μόνωσης και οι τοπικοί οικοδομικοί κώδικες ή τα σχέδια πράσινων κτιρίων πιθανότατα περιλαμβάνουν συστάσεις. Όπου αυτές οι συστάσεις δεν υπάρχουν, η μελέτη των οικοδομικών κωδίκων και ιδιαίτερα της τεκμηρίωσης προγραμμάτων πράσινων κτιρίων από παρόμοια κλίματα μπορεί να δώσει πληροφορίες.

3.6 Συνόψιση

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα συνοψισθούν οι παράμετροι για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας στο κλίμα που αναλύθηκαν προηγουμένως.

3.6.1 Σχεδιασμός κτιρίων

Κατά το σχεδιασμό των κτιρίων θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα εξής:

Για όλους τους τύπους κλιμάτων:

- Έλεγχος του ηλιακού κέρδους μέσω αλλαγών τοποθεσίας ή κατάλληλων τροποποιήσεων κτιρίου: λευκές στέγες, αεριζόμενες στέγες, ενσωματωμένο πράσινο κάλυμμα σε τοίχους, εσωτερικές και εξωτερικές συσκευές σκίασης.
- Παροχή επαρκούς μόνωσης και εξαερισμού (φυσικός αερισμός, ανεμιστήρες οροφής, υπερυψωμένες κατασκευές).
- Μείωση των φορτίων φωτισμού και εξοπλισμού.

Για τα θερμά κλίματα:

- Μεγιστοποίηση της επιφάνειας των εξωτερικών τοίχων (τα σχέδια βάθους ενός δωματίου κρίνονται ιδανικά), ώστε να ενισχυθεί η κίνηση του αέρα εντός του κτιρίου (εγκάρσιος αερισμός).
- Αερισμός των χώρων στέγης.
- Προτίμηση ψηλών οροφών και άλλων σχεδιαστικών χαρακτηριστικών για φυσικό αερισμό.
- Τοποθέτηση πολλών κτιρίων σε ελάχιστη απόσταση μεταξύ τους προκειμένου να προκύψει όφελος από την αμοιβαία σκίαση.
- Σκίαση ολόκληρου του κτιρίου καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Προτείνεται η χρήση δευτερεύουσας οροφής ή οποιασδήποτε άλλης στρατηγικής σκίασης οροφής.
- Ελαχιστοποίηση των ανοιγμάτων με ανατολική ή δυτική κατεύθυνση.
- Βαφή της οροφής και των τοίχων σε ανοικτά χρώματα
- Σχεδιασμός προστατευμένων και σκιασμένων υπαίθριων χώρων για πρόσθετη ανακούφιση από τη θερμότητα.

Για τα θερμά και υγρά κλίματα:

- Χρησιμοποίηση υλικών που μειώνουν το κέρδος θερμότητας, παρέχουν τη γρήγορη απώλειά της και ελαχιστοποιούν την υγρασία.
- Περιορισμός του αριθμού των μεγάλων παραθύρων με τζάμια.
- Τα ανοίγματα πρέπει να σχεδιάζονται ώστε να αποφεύγουν τον άμεσο ήλιο.

Για τα θερμά και ξηρά κλίματα:

- Εφαρμογή εξαερισμού με συναγωγή, κατά τον οποίο εξαερίζεται ο ανερχόμενος ζεστός αέρας, ενώ αντλείται ο ψυχρότερος.
- Χρησιμοποίηση υλικών που ελαχιστοποιούν το κέρδος θερμότητας και συλλαμβάνουν την ηλιακή ακτινοβολία όταν οι ημερήσιες θερμοκρασίες είναι υψηλές.
- Κατασκευή και χρησιμοποίηση πύργων ανέμου ή επίγειων σηράγγων αέρα
- Χρησιμοποίηση και αξιοποίηση θερμικής μάζας. Πιο συγκεκριμένα, πρέπει να προτιμάται ελαφριά κατασκευή στις περιοχές όπου το εύρος ημερήσιας

θερμοκρασίας (ημέρα/νύχτα) είναι χαμηλό, ενώ είναι καλό να συμπεριλαμβάνεται υψηλή θερμική μάζα όπου το ημερήσιο εύρος είναι σημαντικό.

- Σκίαση παραθύρων με περσίδες για την ελαχιστοποίηση της αύξησης θερμότητας.
- Χρησιμοποίηση τοίχων Trombe, υδάτινων τοίχων και ηλιακών καμινάδων.

Για τα ψυχρά κλίματα:

- Διαχείριση της σκίασης για την εκμετάλλευση ηλιακών κερδών το χειμώνα.
- Όταν το κέρδος θερμότητας είναι επιθυμητό στο βόρειο ημισφαίριο, τα κτίρια πρέπει να κατασκευάζονται σε νότιες πλαγιές. Για το νότιο ημισφαίριο ισχύει το αντίθετο.
- Η έκθεση σε ψυχρούς ανέμους μπορεί να ελαχιστοποιηθεί τοποθετώντας τα κτίρια στην υπήνεμη πλευρά
- Εξαερισμός για την αποφυγή απώλειας θερμότητας στα σημεία εξόδου.
- Τοποθέτηση των παραθύρων, ώστε να διευκολυνθεί η αύξηση της θερμότητας.
- Χρησιμοποίηση τοίχων Trombe, υδάτινων τοίχων και ηλιακών καμινάδων.

3.6.2 Εξωτερικοί παράγοντες

Για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας στο κλίμα θα πρέπει να ακολουθούνται οι εξής παράμετροι:

Για όλους τους τύπους κλιμάτων:

- Προσανατολισμός του κτιρίου, ώστε οι μεγαλύτεροι τοίχοι να έχουν βόρεια και νότια κατεύθυνση.
- Κατάλληλη τοποθέτηση των δέντρων και των γύρω κατασκευών με σκοπό να συλλαμβάνεται και να κατευθύνεται η ροή του ανέμου και να ελέγχεται το ηλιακό κέρδος.
- Πραγματοποίηση προσπαθειών για την ενίσχυση των δεξιοτήτων της κοινότητας και των δικτύων.

Για τα θερμά κλίματα:

- Αύξηση χώρων πρασίνου για ψύξη μικροκλίματος.
- Χρησιμοποίηση λιμνών κήπου και υδάτινων στοιχείων για την παροχή ψύξης με εξάτμιση.

- Άμεση πρόσβαση σε εξωτερικό σκιερό χώρο για ανακούφιση από την υπερθέρμανση. Αυτό ενδεχομένως να είναι σημαντικό και στα ψυχρά κλίματα, καθώς τα κτίρια που έχουν σχεδιαστεί σε αυτά ενδέχεται να είναι πιο ανεπαρκώς εξοπλισμένα για να αντιμετωπίσουν ακραίες υψηλές θερμοκρασίες.
- Εγκατάσταση συστημάτων συλλογής όμβριων υδάτων.

Για τα ψυχρά κλίματα:

- Σχεδιασμός δρόμων μεγάλου φάρδους αποσκοπώντας στην αποφυγή της σκίασης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ

4.1 Χρήσιμες παράμετροι

Κατά την επιλογή προϊόντων και τον σχεδιασμό του κτιρίου, είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη η θερμική απόδοση. Η θερμική απόδοση, ή το πόσο καλά ένα κτίριο ανταποκρίνεται στις αλλαγές των εξωτερικών θερμοκρασιών, επηρεάζεται περισσότερο από τον τύπο υλικού που επιλέγεται. Επομένως, κατά την επιλογή υλικών, είναι χρήσιμο να λαμβάνεται υπόψη η «θερμική διαπερατότητα» του προϊόντος (γνωστή και ως U-value). Όσο χαμηλότερη είναι η τιμή U ενός υλικού, τόσο καλύτερα διατηρεί την εσωτερική θερμοκρασία άνετη ακόμα και όταν υπάρχουν μεγάλες αλλαγές θερμοκρασίας έξω. Στο επόμενο κεφάλαιο περιέχονται περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τις τιμές θερμικής διαπερατότητας των κοινών υλικών και τις προσεγγίσεις σχεδιασμού.

Εκτός από τη θερμική απόδοση, μπορούν να γίνουν αλλαγές στις εξωτερικές επιφάνειες. Αυτές οι αλλαγές ενδεχομένως να είναι εκτεταμένες αλλά σίγουρα είναι εξαιρετικά ωφέλιμες ως προς την προσαρμογή στην αλλαγή. Η επιλογή ενός υλικού με υψηλή ή χαμηλή ανακλαστικότητα για τις εξωτερικές επιφάνειες ενός κτιρίου μπορεί να είναι χρήσιμη ανάλογα με το κλίμα. Σε ένα ζεστό κλίμα (που κυριαρχεί η ψύξη), η χρήση επιφανειών ή υλικών υψηλής ανακλαστικότητας λειτουργεί καλύτερα. Μπορεί να λειτουργήσει εξίσου καλά σε σύνθετα ή εύκρατα κλίματα. Ωστόσο, θα μειώσει το χρήσιμο κέρδος θερμότητας το χειμώνα. **[18]**

Όπου χρειάζεται να επιτευχθεί ισορροπία, είναι σημαντική η προσεκτική εξέταση των ημερινών ενεργειακών αναγκών καθ' όλη τη διάρκεια του έτους σε συνδυασμό με τη μελλοντική αλλαγή του κλίματος. Με τον ίδιο τρόπο, η μόνωση είναι απαραίτητη τόσο σε ζεστά όσο και σε ψυχρά κλίματα, ωστόσο η θέση της ενδεχομένως να προκαλέσει προβλήματα σε διαφορετικές εποχές. **[34]**

Ένας βασικός τομέας όπου θα πρέπει να ελαχιστοποιηθεί η μετάδοση θερμότητας είναι μέσω των τοίχων και των παραθύρων του κτιρίου. Η αύξηση της θερμικής μάζας, η προσθήκη μόνωσης στον τοίχο και η υιοθέτηση παρόμοιων στρατηγικών θα βοηθήσουν στην ελαχιστοποίηση αυτής της μεταφοράς θερμότητας.

Υπάρχουν αναλύσεις και συστάσεις για σχεδόν κάθε κλιματική περιοχή. Αυτές οι συστάσεις παρέχουν συνήθως μια σειρά από βέλτιστες τιμές U (δείκτης θερμικής απόδοσης) για τοίχους, στέγες και παράθυρα.

Για παράδειγμα, η βασική τιμή U για διαφορετικά εξαρτήματα κτιρίου, όπως ορίζεται στο Πρότυπο Πράσινης Προσιτής Στέγασης του Indian Green Building Council, παρατίθεται παρακάτω [42]. Μια τιμή χαμηλότερη από την τιμή βάσης σημαίνει ότι το εξάρτημα είναι πιο ενεργειακά αποδοτικό. Για παράδειγμα, εάν ένας τοίχος έχει τιμή U 2,0, είναι πιο ενεργειακά αποδοτικός από έναν τοίχο με βασική τιμή 2,5.

Οι συνιστώμενες τιμές σε πολλές χώρες μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με τις τοπικές κλιματικές συνθήκες. Για παράδειγμα, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή U στη Νότια Αφρική κυμαίνεται από 0,45 έως 0,53 για τοίχους και 0,27 έως 0,37 για στέγες, ανάλογα με την τοπική κλιματική ζώνη [43]. Στη Βραζιλία, η οποία έχει ζώνες θερμού-υγρού και θερμού ξηρού κλίματος, κυμαίνεται από 2,2 έως 3,6 για τοίχους και 2,0 έως 2,3 για στέγες [44]. Η γνώση του τοπικού κλίματος και οι συστάσεις για την τιμή U επιτρέπει την επιλογή του καταλληλότερου υλικού.

Τόσο για ενεργειακή, όσο και για οικονομική καλή απόδοση, είναι επίσης σημαντικό να ταιριάζει η ποσότητα μόνωσης και η βέλτιστη θερμική μάζα των υλικών. Η χρήση μόνωσης με υλικά χαμηλής θερμικής μάζας δεν θα είναι αποτελεσματική για τη διατήρηση άνετων θερμοκρασιών εσωτερικών χώρων. Η κατασκευή με υλικά υψηλής θερμικής μάζας και μόνωση είναι η πιο αποτελεσματική στρατηγική σε θερμά κλίματα για τη μείωση των κερδών θερμότητας και θα πρέπει να συνδυάζεται με σωστή σκίαση. Στο ζεστό-ξηρό κλίμα, η μόνωση πρέπει να είναι στην εξωτερική πλευρά με το υλικό υψηλής θερμικής μάζας στο εσωτερικό, προστατεύοντάς το από τον καλοκαιρινό ήλιο.

4.2 Επιλογή υλικών ανά κλιματική ζώνη

4.2.1 Γενικά στοιχεία

Τα δομικά υλικά που καθορίζονται στο σχεδιασμό και χρησιμοποιούνται στην κατασκευή θα πρέπει να επιλέγονται μεταξύ αυτών που είναι τοπικά διαθέσιμα. Αυτή η προσέγγιση έχει μια σειρά από θετικά αποτελέσματα, συμπεριλαμβανομένης της μείωσης της ενέργειας μεταφοράς, της αυξημένης πιθανότητας τοπικό εργατικό δυναμικό να

είναι εξοικειωμένο με το υλικό και της μεγαλύτερης πιθανότητας το υλικό το είναι διαθέσιμο για επισκευές και ανάγκες συντήρησης μετά την κατασκευή.

Θα πρέπει να δίνεται προτεραιότητα στα υλικά που παράγονται ή προέρχονται με αιεφόρο τρόπο όποτε αυτό είναι απαραίτητο και δυνατό. Η προσεκτική ανασκόπηση της προμήθειας και του πλήρη κύκλου ζωής ενός δομικού προϊόντος (που περιλαμβάνει την απόρριψη ή την επαναχρησιμοποίηση του) είναι ευεργετικής σημασίας ώστε να διασφαλιστεί ότι η ζημιά στα τοπικά οικοσυστήματα μετριάζεται ή εξαλείφεται. Η αλόγιστη χρήση των τοπικών πόρων μπορεί να επιδεινώσει την ευπάθεια στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και να επηρεάσει αρνητικά τη βιοποικιλότητα.

Τα υλικά που επισημαίνονται σε αυτήν την ενότητα αντλήθηκαν από δημοφιλή και ευρέως χρησιμοποιούμενα ή προτεινόμενα προϊόντα στις αναπτυσσόμενες χώρες, όπως αυτά που βρίσκονται στον **πίνακα 2**. Αυτοί οι πίνακες μπορούν να παρέχουν το πλαίσιο και ένα σημείο εκκίνησης για συζητήσεις με ειδικούς σχεδιασμού και κατασκευής για έργα που επιδιώκουν να βελτίωση της προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή.

Τα υλικά στην πρώτη στήλη (Τύπος 1) είναι συνήθως ευρέως διαθέσιμα, χαμηλότερου κόστους και απαιτούν περιορισμένη εκπαίδευση για χρήση. Τα υλικά της στήλης δύο (Τύπος 2) μπορούν να συναρμολογηθούν επιτόπου και απαιτούν κάποια δεξιότητα, αλλά είναι ολοένα και πιο κοινά. Η τρίτη στήλη, (Τύπος 3) παραθέτει υλικά που είναι, ίσως, λιγότερο κοινά παγκοσμίως από εκείνα των δύο πρώτων προσεγγίσεων και απαιτούν επίσης κάποια ικανότητα και βιομηχανικά κατασκευασμένα υλικά εφοδιασμού.

Όπως διερευνήθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, η θερμική μάζα και η θερμική απόδοση είναι βασικά μέτρα για τη διασφάλιση ενός άνετου εσωτερικού περιβάλλοντος. Η υψηλή θερμική μάζα είναι καλύτερη σε κλίματα όπου το ηλιακό κέρδος μπορεί να δεσμευτεί και να αποθηκευτεί κατά τη διάρκεια της ημέρας ώστε να απελευθερωθεί τη νύχτα. Είναι ιδανικό όταν η εκ νέου ακτινοβολούμενη θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί, αλλά είναι επίσης αποδεκτό εάν η αποθηκευμένη θερμότητα μπορεί να αεριστεί από τη δομή τη νύχτα χωρίς να υπερθερμανθεί το εσωτερικό περιβάλλον. Η θερμική μάζα πρέπει να ενσωματώνεται μόνο σε σχέδια όπου η υάλωση, η σκίαση και ο αερισμός έχουν βελτιστοποιηθεί για να λειτουργούν με αυτή. Η ιδανική θερμική αγωγιμότητα και αντίσταση επίσης ποικίλλουν ανάλογα με το κλίμα, καθιστώντας τη συζήτηση με τοπικούς ειδικούς ιδιαίτερα σημαντική για να καθοριστεί τι είναι καλύτερο για τη εκάστοτε τοποθεσία.

Πίνακας 2: Κοινά δομικά υλικά και συστήματα [45]

Established and practiced systems		Emerging systems validated and promoted by BMTPC
Type 1: Readily available in the market	Type 2: On site production based / in-situ	Type 3: Evidence of use in demonstration project on social housing
1. Burnt clay brickwork English bond	7. Stone-crete blocks	13. Glass fibre reinforced gypsum (GFRG) panel system
2. Fly-ash brick masonry	8. Stabilized compressed earth blocks	14. Monolithic concrete building system using plastic/aluminium composite
3. Rat rap bond using burnt clay bricks	9. RCC (reinforced concrete cement) filler slab roof	15. Light gauge steel frame (LGSF) system
4. Solid concrete block masonry	10. Precast RCC plank and joist roof	16. Reinforced EPS core panel system
5. Hollow concrete block masonry	11. Precast ferro-cement channel roof	17. Precast large concrete panel system
6. Aerated autoclave concrete (AAC) blocks	12. Reinforced brick panel roof	

Walling Approaches
 Roofing Types
 Combined approaches (Roofs and walls, etc.)

Ο παρακάτω πίνακας παρέχει τη θερμική απόδοση των κοινών προσεγγίσεων που χρησιμοποιούνται στην Ινδία (**πίνακας 3**) και επομένως, τα υλικά που περιέχουν πιθανότατα να είναι ευρέως διαθέσιμα σε όλο τον κόσμο. Επίσης, οι ιδιότητες μετάδοσης θορύβου ορισμένων από αυτά παρουσιάζονται στον **πίνακα 4**. Τα υλικά που μεταδίδουν εύκολα θόρυβο μπορούν να δημιουργήσουν ένα εσωτερικό περιβάλλον που είναι εξαιρετικά θορυβώδες κατά τη διάρκεια καταιγίδων. Αυτό μπορεί να είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο σε εμπορικά ή δημόσια κτίρια, καθιστώντας δύσκολη την ακρόαση οδηγιών ή εντολών εκκένωσης. Θα πρέπει να προτιμώνται όσο το δυνατόν περισσότερο υλικά με χαμηλή τιμή μετάδοσης θορύβου. Οι βαθμολογίες κλάσης μετάδοσης ήχου (STC) χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση ενός δομικού στοιχείου. Για να προκύψει μία εικόνα, η τιμή STC 40 επιτρέπει στην δυνατή ομιλία να γίνεται αντιληπτή από κάποιον έξω από το δωμάτιο, δίχως όμως αυτός να είναι σε θέση να καταλάβει λέξεις, ενώ η αξιολόγηση STC 65 αντιπροσωπεύει μία εξαιρετική ηχομόνωση.

Πίνακας 3: Θερμική απόδοση επιλεγμένων εφαρμογών [45]

Building system	Assembly specifications	U-VALUE W/m ² K	Source
English-bond brickwork (clay work)	225mm burnt clay brickwork in cement mortar, 12.5mm plaster on both sides.	2.13	CARBSE Assembly U-factor calculator:
Fly-ash brick work	230mm fly-ash brick (density – 1240), plaster on both sides.	1.98	Strategies for cleaner walling materials in India'-SHAKTI Foundation (2011)
Rat-trap bond brickwork	230mm masonry, plaster on both sides	1.79	Strategies for cleaner walling materials in India'-SHAKTI Foundation (2011)
Solid concrete block masonry	200mm blocks, 12.5mm plaster on both sides	2.14	Strategies for cleaner walling materials in India'-SHAKTI Foundation (2011)
Hollow concrete block masonry	200mm blocks, 12.5mm plaster on both sides	1.89	Strategies for cleaner walling materials in India'-SHAKTI Foundation (2011)
AAC block masonry	200mm masonry with plaster on both sides	0.7	Strategies for cleaner walling materials in India'-SHAKTI Foundation (2011)
Stone-crete blocks masonry	100mm sandstone, 100mm concrete, 12.5mm plaster on inside face.	3.4	CARBSE Assembly U-factor calculator
CSEB walling	230mm masonry, plaster on both sides	1.94	Strategies for cleaner walling materials in India, Shakti Foundation (2011)
Ferro cement channel roofing	25mm channel roof with 75mm brickbat concrete and 30mm cement screed	2.56	C. Kabre - A new thermal performance index for dwelling roofs in the warm humid tropics. Building and Environment 45(2010) 727-738
RCC filler slab roofing	100mm thick, 12mm plaster on both sides. Filler: mangalore clay tiles of effective thickness of 62mm.	3.94	C. Kabre - A new thermal performance index for dwelling roofs in the warm humid tropics. Building and Environment 45(2010) 727-738
Reinforced brick panel roofing	75mm clay brick with 35mm thick cement mortar on both sides	2.85	CARBSE Assembly U-factor calculator
Pre-cast RCC plank & joist roofing	60mm thick plank, 40mm screed. Effective thickness same as 100mm thick RCC slab.	3.62	C. Kabre - A new thermal performance index for dwelling roofs in the warm humid tropics. Building and Environment 45(2010) 727-738
Reinforced EPS core panel system	150mm thick single panel, includes 70mm EPS core and 40mm shortcrete on both sides.	0.58	BMTPC PACS Manual on Reinforced EPS Core panel System
GFRG panel system	Standard 124mm thick GFRG panel filled with cellular concrete (94mm thick cavity).	2.85 ⁹⁹⁸	FRBL, "Glass fibre reinforced gypsum load bearing panels for affordable housing in fast track & environmental protection"
LGSFS-ICP	Cold formed LGS frame with 20mm thick M20 precast concrete panel, 89 mm thick lightweight concrete, 10mm plaster on external face.	3.87	CARBSE Assembly U-factor calculator
Precast large concrete panel system	100mm thick panel	2	Compendium of Prospective Emerging Technologies for Mass Housing, Second Edition, BMTPC, April 2017
Monolithic concrete construction	100mm RCC wall or roof	3.59	Technology profile of monolithic concrete construction system using aluminium formwork, BMTPC

Πίνακας 4: Μετάδοση θορύβου επιλεγμένων εφαρμογών [45]

Building system	Noise transmission (dB)	Source
AAC block masonry	45	Source: EcoGreen Products Technical Specifications
220mm brick wall plastered on both sides	50	http://www.bertsbricks.co.za/index.php/Brick-Technical/acoustic-performance-of-brickwork.html
CSEB walling	50	Coefficient of acoustic attenuation for 40 cm thick earth wall at 500 Hz
Reinforced EPS Core Panel System	37	BMTPC PACS Manual on Reinforced EPS Core Panel System
GFRG Panel System	40	Source: Compendium of Prospective Emerging Technologies for Mass Housing, Second Edition, BMTPC, April 2017
Precast Large Concrete Panel system	49	Acoustic Properties of precast concrete panels, National precast society, AU
Monolithic Concrete Construction	45	BMTPC PACS Manual on Monolithic Concrete construction using aluminium/plastic formwork

Τα δομικά υλικά σε κάθε περιοχή επιλέγονται βάσει της διαθεσιμότητάς τους. Για παράδειγμα, η χρησιμοποίηση ξύλινου πλαισίου είναι συνηθισμένη στη Βόρεια Αμερική και την Ευρώπη λόγω της ευρείας διαθεσιμότητάς χάρη στη δασοκομία. Ωστόσο, το ξύλο δεν είναι καλός μονωτήρας με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητα και άλλα μονωτικά υλικά στα κλίματα αυτά.

4.2.2 Ψυχρά κλίματα

Τα δομικά υλικά σε ψυχρά κλίματα θα πρέπει να μειώνουν την απώλεια θερμότητας μέσω της αυξημένης θερμικής αντίστασης και των διαστημάτων απορρόφησης (buffer spaces). Οι τοίχοι από κυψελοειδές σκυρόδεμα σε αυτόκλειστο (AAC) μπορούν να εξοικονομήσουν ετησίως θερμαντικά φορτία κατά 26 % σε σύγκριση με έναν τοίχο από τούβλα. Ένας απλός τοίχος από σκυρόδεμα αυξάνει το φορτίο κατά 23 % και, ως εκ τούτου, θα πρέπει να αποφεύγεται. Η μόνωση των τοίχων συμβάλλει σημαντικά στη βελτίωση της απόδοσης. Επιπλέον:

- Οι επιλογές στέγης με μόνωση είναι ζωτικής σημασίας.
- Οι τοίχοι πρέπει να χρησιμοποιούν μόνωση για να μειώσουν τη μεταφορά θερμότητας.
- Οι ψευδοροφές με εσωτερική μόνωση όπως ορυκτοβάμβακας, ξυλοβάμβακας κ.λπ. είναι δεκτές για σπίτια σε ψυχρά κλίματα.
- Το φύλλο αλουμινίου χρησιμοποιείται μεταξύ του μονωτικού στρώματος και της οροφής για τη μείωση της απώλειας θερμότητας προς το εξωτερικό περιβάλλον.

- Ξύλινα κουφώματα στα παράθυρα καθώς το ξύλο είναι κακός αγωγός της θερμότητας.
- Η πέτρα και άλλα ανθεκτικά υλικά χρησιμοποιούνται για τα θεμέλια κτιρίων και σε ορισμένα μέρη τα βαριά υλικά χρησιμοποιούνται για το σχηματισμό μίας βάσης αποσκοπώντας στην αποφυγή της υγρασίας. Ωστόσο, τα κτίρια των περιοχών αυτών είναι συνήθως χτισμένα στο έδαφος.

4.2.3 Θερμά και υγρά κλίματα

Τα υλικά σε θερμά και υγρά κλίματα πρέπει:

- Να μειώνουν το κέρδος θερμότητας μέσω της αυξημένης θερμικής τους αντίστασης και των διαστημάτων απορρόφησης (buffer spaces).
- Να προωθούν τη γρήγορη απώλεια θερμότητας.
- Να ελαχιστοποιούν την υγρασία μέσω της γρήγορης διάχυσης.

Όταν προστατεύονται κατάλληλα από τη βροχή, τα εκτεθειμένα υλικά με υψηλό ρυθμό απορρόφησης έχουν καλή απόδοση απορροφώντας την υγρασία από το εσωτερικό του κτιρίου. Καθώς η ημερήσια διακύμανση είναι χαμηλή, η μόνωση στην οροφή δεν παρέχει υψηλά οφέλη. [27]

Η πλάκα πλήρωσης από τσιμέντο οπλισμένου σκυροδέματος (RCC) συμβάλλει στην αύξηση της μόνωσης και μειώνει το κέρδος θερμότητας από την οροφή. Η ανακλαστική/ελαφριά βαφή ή η χρήση σπασμένων πλακιδίων με τζάμι στην επιφάνεια της οροφής μειώνει περαιτέρω την αύξηση της θερμότητας. Υλικά με κοιλότητες, όπως κοίλοι τσιμεντόλιθοι και δεσμοί με παγίδα αρουραίων, αποδίδουν καλύτερα καθώς εισάγουν χώρους αέρα που λειτουργούν ως ζώνες προστασίας και σημεία αερισμού. Η αδιαβροχοποίηση είναι επίσης ένα ουσιαστικό βήμα στην κατασκευή σε ζεστό-υγρό κλίμα.

Πίνακας 5: Αντοχή των υλικών στο νερό

	Water resistant	Non-water resistant
Insulation	Closed cell foam (polystyrene or polyurethane)	Fiberglass, mineral wool, wool, cellulose
Floors	Concrete (bare or coated) Floorboards, durable or treated timber Concrete or clay tile	Particleboard, medium density fibreboard, plywood Ceramic tile
Walls	Fibre-cement, concrete block, durable or treated timber, PVC, brick	Particleboard, plywood
Interior	Concrete block, fibre-cement, durable or treated timber	Plasterboard, plywood, hardboard, softwood, carpet or vinyl, particleboard

4.2.4 Θερμά και ξηρά κλίματα

Τα υλικά στο ζεστό και ξηρό κλίμα θα πρέπει να ελαχιστοποιούν το κέρδος θερμότητας. Επίσης, καλούνται να δεσμεύουν και να συγκρατούν την ηλιακή ακτινοβολία ώστε να απελευθερωθεί αργότερα, όπου είναι συνηθισμένες οι μεγάλες διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ της ημέρας και της νύχτας.

Υλικά κατάλληλα για θερμό-ξηρό κλίμα είναι:

- Τούβλα αεριωμένου σκυροδέματος σε αυτόκλειστο
- Κανάλια σιδηροτσιμέντου (μεταλλικό πλέγμα συνδυασμένο μεταξύ στρωμάτων σκυροδέματος)
- Αειφόρα απόβλητα ορυχείων όπως πέτρες, πέτρινη σκόνη και ροκανίδια για την κατασκευή τσιμεντόλιθων
- Τούβλα ιπτάμενης τέφρας
- Συμπιεσμένοι σταθεροποιημένοι χωματόλιθοι
- Μπλοκ σκυροδέματος κοίλου πυρήνα
- Διάτρητη τοιχοποιία από τούβλα, δεσμοί με παγίδα αρουραίων
- Παράθυρα UPVC, για καλύτερη μόνωση σε σύγκριση με τα κουφώματα αλουμινίου.
- Μαρμάρινα ροκανίδια που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή τεράτσο
- Χρώματα, κόλλα και στεγανωτικά με χαμηλές πτητικές οργανικές ενώσεις (low-VOC).
- Στέγες από ψαμμίτη

Ανεξάρτητα από το ποιο υλικό επιλέγεται, είναι εξαιρετικά σημαντικό να διασφαλιστεί η χρησιμοποίηση ποιοτικών υλικών. Τα υποβαθμισμένα προϊόντα όπως οι δεσμοί

οπλισμού, οι χαλύβδινες διατομές και το τσιμέντο χαμηλής ποιότητας συμβάλλουν σε μεγάλο βαθμό στις δομικές αστοχίες. Ακόμη και με τις καλύτερες προθέσεις και σχέδια, τα ακατάλληλα υλικά θα αυξήσουν τον κίνδυνο αστοχιών. Αυτός είναι ένας ιδιαίτερος κίνδυνος για τις ευάλωτες κοινότητες και τα έργα που δεν διαθέτουν πόρους, τεχνικές δεξιότητες και γνώσεις. **[46]**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΠΙΚΡΑΤΟΝΤΑ ΚΤΙΡΙΑΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Στο παρόν κεφάλαιο θα εξετασθεί ο βαθμός της ανθεκτικότητας των υπαρχόντων κτιρίων στην κλιματική αλλαγή. Τα εξεταζόμενα δεδομένα αντιπροσωπεύουν την αμερικανική ήπειρο για το έτος 2020 και αντλήθηκαν από τον επίσημο διαχειριστή ενεργειακών πληροφοριών Αμερικής (U.S. Energy Information Administration), ο οποίος τα δημοσίευσε το Μάρτιο του 2023 [47]. Αποσκοπώντας στη δημιουργία μίας όσο το δυνατόν πιο ξεκάθαρης εικόνας, κρίνεται προτιμότερη η παρουσίαση των δεδομένων ανά κλιματική ζώνη, ακολουθώντας το πνεύμα και τη μεθοδολογία των προηγούμενων κεφαλαίων.

5.1 Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά

5.1.1 Έτος κατασκευής

Πίνακας 6: Έτη κατασκευής κατοικιών στις ΗΠΑ για κάθε κλιματική ζώνη [47]

	Αριθμός οικιστικών μονάδων (σε εκατομμύρια)					
	Τύπος κλίματος			Σύνθετο ξηρό/		
	Σύνολο	Ψυχρό	Σύνθετο υγρό	Θερμό ξηρό	Θερμό υγρό	Ωκεάνιο
Όλες οι κατοικίες	123,53	42,50	36,79	15,06	22,31	6,87
Έτος κατασκευής						
Πριν το 1950	20,26	10,28	6,02	1,40	1,25	1,31
1950 έως 1959	12,48	4,85	3,92	1,79	1,28	0,63
1960 έως 1969	12,76	4,32	4,16	1,67	1,82	0,78
1970 έως 1979	18,34	6,26	4,69	2,63	3,67	1,09
1980 έως 1989	16,30	4,50	5,01	2,35	3,61	0,81
1990 έως 1999	17,16	5,21	5,30	2,07	3,69	0,89
2000 έως 2009	16,16	4,43	4,83	2,19	3,97	0,74
2010 έως 2015	5,53	1,36	1,69	0,55	1,61	0,32
2016 έως 2020	4,56	1,28	1,17	0,40	1,41	0,30

Μελετώντας τον πίνακα 6 προκύπτει το συμπέρασμα πως η πλειοψηφία των υπαρχουσών κατοικιών κατασκευάστηκε εντός της περιόδου 1970 – 2009. Πρόσθετα, η κατασκευή τους περιορίστηκε κατά τη δεκαετία 2010 – 2020. Είναι εμφανές πως ο μέσος όρος ηλικίας είναι μεγαλύτερος στα ψυχρά κλίματα όπου συναντώνται αρκετά κτίρια κτισμένα πριν τη δεκαετία του 1950.

5.1.2 Σύσταση εξωτερικών τοίχων

Πίνακας 7: Σύσταση των εξωτερικών τοίχων των κατοικιών κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ

	Αριθμός οικιστικών μονάδων (σε εκατομμύρια)					
	Τύπος κλίματος					
	Σύνολο	Ψυχρό	Σύνθετο υγρό	Σύνθετο ξηρό/ Θερμό ξηρό	Θερμό υγρό	Ωκεάνιο
Όλες οι κατοικίες	123,53	42,50	36,79	15,06	22,31	6,87
Σύσταση εξωτερικών τοίχων						
Εξωτερική επένδυση (αλουμίνιο, ινοσίμεντο, βινύλι ή ασφάλι)	45,44	22,34	15,48	1,31	4,70	1,61
Τούβλο	33,37	9,53	14,61	1,15	7,82	0,25
Ξύλο	18,80	6,90	3,76	2,27	2,88	2,98
Στόκος	15,65	1,42	0,69	9,19	2,53	1,55
Τσιμεντόλιθος	6,42	0,89	0,81	0,85	3,60	0,27
Κεραμίδι (συνθετικό)	1,89	0,82	0,53	0,13	0,29	0,12
Πέτρα	1,46	0,45	0,48	0,08	0,40	0
Άλλο υλικό	0,50	0,16	0,16	0	0	0

Η εξωτερική επένδυση των τοίχων αποτελεί την πιο κοινή μέθοδο που εφαρμόζεται κατά το κτίσιμο νέων κατοικιών στις ΗΠΑ. Αυτό είναι αναμενόμενο αν αναλογιστεί κανείς τα οφέλη που προκύπτουν από τη συγκεκριμένη τεχνική. Πρώτο και κύριο αποτελεί το γεγονός πως η συγκεκριμένη λύση είναι η πιο οικονομικά συμφέρουσα καθώς τόσο το κόστος αγοράς, όσο και αυτό της εγκατάστασης είναι αρκετά χαμηλά συγκριτικά με άλλες μεθόδους όπως είναι η χρησιμοποίηση τούβλων. Επίσης, η εξωτερική επένδυση των τοίχων παρέχει μία μεγάλη ευελιξία κατά την αρχιτεκτονική σχεδίαση, καθώς χάρη στην ποικιλία χρωμάτων και σχεδιασμού μπορεί να προσαρμοστεί σε διάφορα στυλ. Τέλος, το περιβαλλοντικό αποτύπωμα που προκύπτει στο στάδιο της κατασκευής αλλά και από τα απόβλητα είναι χαμηλό αν συγκριθεί με άλλες πρακτικές.

Η αμέσως πιο συνηθισμένη τεχνική για την κατασκευή των εξωτερικών τοίχων είναι η χρησιμοποίηση τούβλων. Σημαντικότερό τους πλεονέκτημα αποτελεί η υψηλή τους ανθεκτικότητα σε όλες τις κλιματολογικές συνθήκες. Δεν είναι τυχαίο που τα σπίτια από τούβλα μπορούν να σταθούν για 150 χρόνια. Πρόσθετα, το χαρακτηριστικό που αποτέλεσε σημαντική αιτία για την καθιέρωση της συγκεκριμένης μεθόδου είναι η τεράστια αντοχή τους στην υγρασία. Αυτό μπορεί να επαληθευτεί εξετάζοντας τον πίνακα 7. Πιο συγκεκριμένα, η χρησιμοποίηση τούβλων για το κτίσιμο τοίχων αποτελεί μία ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδο σε όλους τους κλιματικούς τύπους εκτός από τα ξηρά περιβάλλοντα όπου το συγκεκριμένο πλεονέκτημα δεν έχει καμία αξία.

Οι εξωτερικοί τοίχοι από ξύλο συναντώνται σε κατοικίες κάθε τύπου κλίματος. Η ζεστασιά και η αρμονία που προσδίδει το συγκεκριμένο δομικό υλικό αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες για την όλο και αυξανόμενη χρήση του τόσο στην Αμερική, όσο

και στην Ευρώπη. Εκτός αυτού, η χρησιμοποίηση του ξύλου ενισχύεται από την αντισεισμική και θερμομονωτική συμπεριφορά του. Το πλεονέκτημα των ξύλινων τοίχων έγκειται στη φιλικότητα προς το περιβάλλον και στη σχετικά εύκολη κατεργασία του υλικού. Ο συγκεκριμένος τύπος τοίχων συνεισφέρει στην αύξηση των εσωτερικών θερμοκρασιών κατά τις χειμερινές περιόδους και στη μείωσή τους τα καλοκαίρια, ενώ ενισχύει την ανανέωση του αέρα στους εσωτερικούς χώρους.

Μελετώντας τον πίνακα 7 καθίσταται προφανές ότι οι τοίχοι από στόκο έχουν κυριαρχήσει συντριπτικά στα ξηρά κλίματα, ενώ η παρουσία τους στους υπόλοιπους κλιματικούς τύπους είναι περιορισμένη. Ο στόκος αποτελεί μια επένδυση με βάση το τσιμέντο και προσθέτει ένα ανάγλυφο φινίρισμα στον τοίχο. Είναι κατασκευασμένος από μείγμα τσιμέντου, άμμου, νερού και ασβέστη και χρησιμοποιείται στο εξωτερικό ενός σπιτιού. Ο στόκος παρ' ότι αποτελεί εξαιρετική επιλογή τόσο για θερμά, όσο και για ψυχρά περιβάλλοντα, παρουσιάζει αδυναμία σε κλίματα με αυξημένη υγρασία. Πιο συγκεκριμένα, οι συχνές βροχοπτώσεις και χιονοθύελλες μπορεί να βλάψουν το εσωτερικό του στόκου καθώς προκαλείται απορρόφηση νερού γεγονός που αιτιολογεί τα αντίστοιχα δεδομένα του πίνακα.

Σύμφωνα με τον πίνακα 7, οι εξωτερικοί τοίχοι του 16% των κατοικιών στα θερμά και υγρά κλίματα είναι κατασκευασμένοι από τσιμεντόλιθο. Το συγκεκριμένο υλικό χαρακτηρίζεται από σημαντικά πλεονεκτήματα όπως είναι το υψηλό επίπεδο θερμομόνωσης και η αντοχή του στη φωτιά. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί πως η χρησιμοποίησή του σε κλίματα με αυξημένη υγρασία δεν ενδείκνυται λόγω ενός βασικού μειονεκτήματος. Πιο συγκεκριμένα, οι τσιμεντόλιθοι χαρακτηρίζονται από υψηλή υγροσκοπικότητα καθώς η ποσότητα υγρασίας στη συνολική μάζα μπορεί να φτάσει ποσοστό της τάξεως 35%. Αυτό πρακτικά αναιρεί τις μονωτικές ιδιότητες του υλικού. Επιπλέον, τα στοιχεία διογκώνονται, γεγονός που δύναται να οδηγήσει σε γραμμικές παραμορφώσεις, ρωγμές και αποκόλληση.

5.1.3 Κύριο υλικό στέγης

Πίνακας 8: Κύριο υλικό στέγης των κατοικιών κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ

	Αριθμός οικιστικών μονάδων (σε εκατομμύρια)					
	Τύπος κλίματος					
	Σύνολο	Ψυχρό	Σύνθετο υγρό	Σύνθετο ξηρό/ Θερμό ξηρό	Θερμό υγρό	Ωκεάνιο
Όλες οι κατοικίες	123,53	42,50	36,79	15,06	22,31	6,87
Κύριο υλικό στέγης						
Κεραμίδι (συνθετικό ή ασφάλτου)	76,03	29,48	23,13	6,60	12,90	3,93
Μέταλλο	9,69	2,89	3,60	0,59	2,30	0,31
Ξύλινα κεραμίδια	5,19	1,55	1,52	0,71	1,05	0,36
Κεραμικά ή πύλινα κεραμίδια	4,89	0,76	0,55	2,40	0,91	0,27
Κεραμίδια από σκυρόδεμα	2,14	0,17	0,20	1,18	0,40	0,20
Σχιστόλιθος ή συνθετικός σχιστόλιθος	1,49	0,57	0,54	0,15	0,18	0
Άλλο υλικό	1,26	0,34	0,23	0,30	0,21	0,18
Δεν ερωτήθηκαν(διαμερίσματα σε κτίρια με 5 ή περισσότερες μονάδες)	22,84	6,74	7,03	3,12	4,37	1,57

Καθίσταται προφανές πως η συντριπτική πλειοψηφία των κατοικιών αποτελούνται από σκεπές κατασκευασμένες είτε από ασφαλτικά, είτε από συνθετικά κεραμίδια. Το συγκεκριμένο γεγονός δεν είναι τυχαίο καθώς τα δύο αυτά υλικά παρουσιάζουν μία σειρά από σημαντικά προτερήματα.

Όσον αφορά τα συνθετικά, η κυριαρχία τους οφείλεται στους εξής παράγοντες:

- Αποτελούν μία αισθητικά όμορφη επιλογή, καθώς έχουν σχεδιαστεί για να μοιάζουν ακριβώς με τις οροφές από σχιστόλιθο.
- Είναι φιλικά προς το περιβάλλον, καθώς είναι κατασκευασμένα από ανακυκλωμένα υλικά (καουτσούκ και πλαστικό).
- Έχουν ιδιαίτερα υψηλή ανθεκτικότητα αποτελώντας ένα από τα μακροβιότερα υλικά στέγης στην αγορά με διάρκεια ζωής 40-50 έτη.
- Ο συνθετικός σχιστόλιθος έχει αρκετά χαμηλότερη τιμή από τον πραγματικό, δίχως οι διαφορές στην εμφάνιση να μπορούν να γίνουν εύκολα αντιληπτές.
- Οι εγγυήσεις που προσφέρουν οι κατασκευαστές είναι ικανοποιητικές, γεγονός που παρέχει μία περαιτέρω ασφάλεια στην επένδυση.

Από την άλλη, τα ασφαλτικά κεραμίδια είναι λιγότερο ανθεκτικά στην καταπόνηση σε σύγκριση με τα συνθετικά, ενώ ενδείκνυται η αγορά μεγαλύτερου αριθμού από τα απαιτούμενα, καθώς λόγω της ευαισθησίας τους ενδεχομένως να προκύψουν φθορές κατά το κτίσιμο της σκεπής. Επίσης, η ελάχιστη κλίση που μπορούν να τοποθετηθούν ασφαλτικά κεραμίδια, χωρίς να προκύψουν προβλήματα στεγανότητας, είναι περίπου 20%.

Παρ' όλ' αυτά, ένας μεγάλος αριθμός από πλεονεκτήματα αποτελούν την αιτία για την οποία τα ασφαλικά κεραμίδια έχουν τόσο ευρεία εφαρμογή. Τα σημαντικότερα είναι τα εξής:

- Έχουν πολύ οικονομική τιμή αγοράς.
- Υπάρχει μεγάλη ποικιλία επιλογών καθώς διατίθενται σε πληθώρα σχημάτων και χρωμάτων.
- Είναι ελαφριά και τόσο η τοποθέτησή, όσο και η επισκευή τους είναι εύκολες.
- Παρουσιάζουν υψηλή αντοχή σε ζεστές και κρύες θερμοκρασίες.

5.1.4 Επάρκεια μόνωσης

Πίνακας 9: Επάρκεια μόνωσης των κατοικιών κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ

	Αριθμός οικιστικών μονάδων (σε εκατομμύρια)					
	Τύπος κλίματος			Σύνθετο ξηρό/		
	Σύνολο	Ψυχρό	Σύνθετο υγρό	Θερμό ξηρό	Θερμό υγρό	Ωκεάνιο
Όλες οι κατοικίες	123,53	42,50	36,79	15,06	22,31	6,87
Επάρκεια μόνωσης						
Καλά μονωμένα	34,34	11,84	10,35	3,48	6,77	1,90
Επαρκώς μονωμένα	64,27	22,33	19,52	7,51	11,50	3,42
Ανεπαρκώς μονωμένα	21,29	7,48	5,97	3,40	3,20	1,24
Μη μονωμένα	3,63	0,86	0,95	0,67	0,84	0,30

Όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο 3, μία καλή μόνωση αποτελεί έναν από τους πιο καθοριστικούς παράγοντες για την ενίσχυση της κλιματικής ανθεκτικότητας των κτιρίων κάθε κλίματος. Μελετώντας τον πίνακα 9 παρατηρείται μία ομοιομορφία στις αναλογίες μεταξύ όλων των τύπων κλιμάτων. Στο σύνολο των κατοικιών, το ποσοστό που αντιπροσωπεύει τις καλά μονωμένες ανέρχεται στο 28%, ενώ το 52% αφορά αυτές με επαρκή μόνωση. Από το εναπομείναν 20%, το ποσοστό κατοικιών που δεν είναι καθόλου μονωμένες κυμαίνεται στο 3%. Κατόπιν των ανωτέρω, μπορεί κανείς να αντιληφθεί πως το ένα στα πέντε σπίτια αντιμετωπίζουν πρόβλημα σχετικά με τη μόνωσή τους. Το ποσοστό αυτό είναι αρκετά υψηλό και θα πρέπει η μείωσή του να αποτελέσει προτεραιότητα έτσι ώστε περισσότεροι πολίτες να αποκτήσουν αξιοπρεπείς συνθήκες διαβίωσης και να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας.

5.1.5 Ύψος ταβανιών

Πίνακας 10: Ύψος οροφών των κατοικιών κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ

	Αριθμός οικιστικών μονάδων (σε εκατομμύρια)					
	Τύπος κλίματος			Σύνθετο ξηρό/		
	Σύνολο	Ψυχρό	Σύνθετο υγρό	Θερμό ξηρό	Θερμό υγρό	Ωκεάνιο
Όλες οι κατοικίες	123,53	42,50	36,79	15,06	22,31	6,87
Με ταβάνια ψηλότερα των 2,4 μέτρων						
Ναι	55,18	17,72	15,83	7,19	11,16	3,29
Όχι	61,52	23,27	18,61	7,04	9,36	3,24
Δεν ερωτήθηκαν (τροχόσπιτα)	6,83	1,52	2,35	0,83	1,80	0,34

Βάσει όσων γράφτηκαν στο κεφάλαιο 3, σημαντική προϋπόθεση για την επίτευξη άνετων συνθηκών διαβίωσης στα κτίρια θερμών κλιμάτων αποτελεί ο επαρκής φυσικός αερισμός. Ένας καθοριστικός παράγοντας για την ενίσχυσή του είναι το κτίσιμο ψηλών ταβανιών, ώστε να διευκολυνθεί η κίνηση των ρευμάτων αέρα. Το στοιχείο αυτό αποτυπώνεται στον πίνακα 10, όπου ταβάνια με ύψος μεγαλύτερο των 2,4 μέτρων συναντώνται σε μεγαλύτερα ποσοστά στα θερμά κλίματα. Ωστόσο η διαφορά δεν είναι αρκετά μεγάλη, γεγονός που αποκαλύπτει ότι δεν έχει δοθεί αρκετή έμφαση στο συγκεκριμένο σχεδιαστικό παράγοντα.

5.1.6 Σχεδιασμός παραθύρων

Πίνακας 11: Υλικό κουφωμάτων παραθύρων των κατοικιών κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ

	Αριθμός οικιστικών μονάδων (σε εκατομμύρια)					
	Τύπος κλίματος			Σύνθετο ξηρό/		
	Σύνολο	Ψυχρό	Σύνθετο υγρό	Θερμό ξηρό	Θερμό υγρό	Ωκεάνιο
Όλες οι κατοικίες	123,53	42,50	36,79	15,06	22,31	6,87
Υλικό κουφωμάτων παραθύρων						
Μέταλλο (αλουμίνιο)	47,40	10,10	13,60	8,23	13,16	2,31
Ξύλο	40,31	17,01	12,64	3,45	5,57	1,64
Βινύλι	31,85	13,75	9,40	3,08	2,92	2,69
Γαλοβάμβακας	1,72	0,65	0,53	0,13	0,30	0,11
Συνθετικό	2,25	1,00	0,62	0,17	0,35	0,11

Ο πίνακας 11 καθιστά σαφή την επικράτηση τριών ειδών κουφωμάτων παραθύρων στην αγορά. Η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη κατηγορία είναι τα κουφώματα αλουμινίου, ακολουθούν τα ξύλινα και έπειτα τα PVC.

Τα κουφώματα αλουμινίου συναντώνται πιο συχνά σε όλους τους τύπους κλιμάτων εξαιρουμένων των ψυχρών. Αυτό συμβαίνει χάρη στην πολύ υψηλή μηχανική τους αντοχή, στο γεγονός ότι δεν απαιτούν συντήρηση, αλλά και στο ότι μπορούν να προσαρμοστούν σε ανοίγματα οποιουδήποτε μεγέθους και σχήματος. Το μεγάλο τους μειονέκτημα είναι οι ανεπαρκείς θερμομονωτικές τους ιδιότητες.

Αντιθέτως, σύμφωνα με το κεφάλαιο 4, το ξύλο χάρη στο γεγονός ότι είναι κακός αγωγός θερμότητας, προσφέρει εξαιρετική θερμομόνωση. Το συγκεκριμένο γεγονός αιτιολογεί την επικράτησή του στα ψυχρά κλίματα, όπως αυτή αποτυπώνεται στον πίνακα 11. Εκτός αυτού, το συγκεκριμένο υλικό εκτός από τη φοβερή αισθητική και την αίσθηση ζεστασιάς που δημιουργεί, παρέχει και καλή ηχομόνωση. Ωστόσο, λόγω του ότι είναι φυσικό υλικό, η τιμή του είναι ακριβή σε σύγκριση με αυτή των ανταγωνιστικών λύσεων.

Από την άλλη, τα κουφώματα PVC έχουν επίσης ικανοποιητικό συντελεστή θερμομόνωσης. Το γεγονός αυτό αποτελεί την αιτία για το μεγαλύτερο ποσοστό εφαρμογής τους στα ψυχρά κλίματα σε σχέση με τα θερμά. Επίσης, απαιτούν ελάχιστη συντήρηση και προσφέρουν ικανοποιητική ηχομόνωση. Τα πιο σημαντικά τους μειονεκτήματα είναι ότι διατίθενται σε περιορισμένη ποικιλία διατομών και χρωμάτων και το ότι συχνά παρουσιάζουν προβληματική αντοχή στην ηλιακή ακτινοβολία και στις καταπονήσεις.

Πίνακας 12: Τύποι τζαμιών παραθύρων των κατοικιών κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ

	Αριθμός οικιστικών μονάδων (σε εκατομμύρια)					
	Τύπος κλίματος					
	Σύνολο	Ψυχρό	Σύνθετο υγρό	Σύνθετο ξηρό/ Θερμό ξηρό	Θερμό υγρό	Ωκεάνιο
Όλες οι κατοικίες	123,53	42,50	36,79	15,06	22,31	6,87
Τύπος τζαμιού παραθύρων						
Μονά τζάμια	43,51	12,33	12,44	6,22	10,70	1,81
Διπλά τζάμια	77,95	29,29	23,91	8,64	11,15	4,97
Τριπλά τζάμια	2,07	0,89	0,44	0,20	0,46	0,09

Η χρησιμοποίηση διπλών τζαμιών στα παράθυρα αποτελεί έναν από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους για την ενίσχυση της θερμομόνωσης σύμφωνα με όσα αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 3.5. Βάσει του συγκεκριμένου γεγονότος μπορεί να αιτιολογηθεί η αυξημένη αναλογία τους σε κλίματα όπου επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες, σε σχέση με τα θερμά. Τα διπλά τζάμια, ωστόσο, συνιστώνται σε κάθε κλιματικό τύπο καθώς αποτελούν ένα από τα πιο σημαντικά μέσα για μία πιο αποτελεσματική ηχομόνωση μειώνοντας τους εξωτερικούς θορύβους σε ποσοστό έως και 70%.

Πίνακας 13: Αριθμός παραθύρων των κατοικιών κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ

	Αριθμός οικιστικών μονάδων (σε εκατομμύρια)					
	Τύπος κλίματος					
	Σύνολο	Ψυχρό	Σύνθετο υγρό	Σύνθετο ξηρό/ Θερμό ξηρό	Θερμό υγρό	Ωκεάνιο
Όλες οι κατοικίες	123,53	42,50	36,79	15,06	22,31	6,87
Αριθμός παραθύρων						
1 έως 2	6,95	2,23	1,79	1,07	1,32	0,53
3 έως 5	18,15	5,03	4,97	3,06	3,84	1,25
6 έως 9	29,35	8,65	8,87	4,26	5,90	1,67
10 έως 15	38,42	13,98	11,43	3,99	7,01	2,02
16 έως 19	13,61	5,42	4,23	1,37	2,04	0,55
20 έως 29	12,43	5,23	4,09	0,87	1,63	0,60
30 ή περισσότερα	4,62	1,95	1,41	0,44	0,58	0,24

Στο κεφάλαιο 3 πραγματοποιήθηκε ανάλυση σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο τα παράθυρα ασκούν θετική και αρνητική επίδραση στις εσωτερικές συνθήκες των κτιρίων κάθε κλιματικής ζώνης. Αναφορικά με τα ψυχρά κλίματα, τα ανοίγματα δρουν ευεργετικά επιτρέποντας την εισχώρηση θερμότητας μέσω ηλιακής ακτινοβολίας στους εσωτερικούς χώρους, ενώ παράλληλα έχουν αρνητικό αντίκτυπο στις εσωτερικές συνθήκες, προκαλώντας την διαρροή ψυχρού αέρα. Το συγκεκριμένο πλεονέκτημα μετατρέπεται σε κύριο μειονέκτημα όσον αφορά τα θερμά κλίματα καθώς προκαλεί την αύξηση των ήδη υψηλών θερμοκρασιών. Όμως, αποσκοπώντας στη θερμική άνεση η ύπαρξη παραθύρων στα κλίματα αυτά είναι ζωτικής σημασίας καθώς επιτρέπουν τη δημιουργία δροσερών ρευμάτων αέρα στους εσωτερικούς χώρους. Βάσει όσων αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 3.3, ο φυσικός αερισμός έχει τον πιο καθοριστικό ρόλο στα θερμά και υγρά κλίματα. Στα ξηρά, τα ρεύματα αέρα παύουν να είναι ωφέλιμα όταν ο εξωτερικός αέρας δεν είναι δροσερός. Το γεγονός αυτό αποτελεί την ερμηνεία για την ανομοιομορφία που παρατηρείται στον πίνακα 13. Ειδικότερα, ο μέσος όρος του αριθμού των παραθύρων είναι πιο χαμηλός για τις κατοικίες των θερμών και ξηρών κλιμάτων σε σύγκριση με των υπόλοιπων που δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους.

5.2 Θέρμανση

5.2.1 Χρησιμοποίηση συστημάτων θέρμανσης

Πίνακας 14: Χρησιμοποίηση συστημάτων θέρμανσης στις κατοικίες κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ

	Αριθμός οικιστικών μονάδων (σε εκατομμύρια)					
	Τύπος κλίματος			Σύνθετο ξηρό/		
	Σύνολο	Ψυχρό	Σύνθετο υγρό	Θερμό ξηρό	Θερμό υγρό	Ωκεάνιο
Όλες οι κατοικίες	123,53	42,50	36,79	15,06	22,31	6,87
Χρησιμοποίηση συστημάτων θέρμανσης						
Χρησιμοποιούν κάποιο σύστημα θέρμανσης	117,74	42,34	36,41	13,40	19,08	6,49
Διαθέτουν κάποιο σύστημα θέρμανσης αλλά δεν το χρησιμοποιούν	3,92	0,11	0,21	1,23	2,04	0,33
Δε διαθέτουν κάποιο σύστημα θέρμανσης	1,87	0,05	0,17	0,42	1,19	0

Τα συστήματα θέρμανσης αποτελούν ενδεχομένως το πιο σημαντικό συστατικό για τη δημιουργία υγιών συνθηκών διαβίωσης στο εσωτερικό των κτιρίων. Σύμφωνα με τον πίνακα 14, το ποσοστό των κατοικιών των ΗΠΑ που χρησιμοποιούν κάποιο σύστημα θέρμανσης ανέρχεται στο 95,3%. Το ποσοστό αυτό είναι αναμενόμενα υψηλό αν αναλογιστεί κανείς το πόσες προσιτές τεχνολογίες έχουν αναπτυχθεί για την αποτελεσματική θέρμανση των εσωτερικών χώρων. Από το εναπομείναν ποσοστό μόλις το 1,5% δε διαθέτει κάποιο σύστημα θέρμανσης, ενώ το 3,2% διαθέτει αλλά δεν το χρησιμοποιεί. Όπως αναμενόταν, η συντριπτική πλειοψηφία των κατοικιών που δε χρησιμοποιούν κάποιο σύστημα θέρμανσης βρίσκεται σε θερμά κλίματα.

5.2.2 Κύριο σύστημα θέρμανσης

Πίνακας 15: Κύριο σύστημα θέρμανσης των κατοικιών κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ

	Αριθμός οικιστικών μονάδων (σε εκατομμύρια)					
	Τύπος κλίματος			Σύνθετο ξηρό/		
	Σύνολο	Ψυχρό	Σύνθετο υγρό	Θερμό ξηρό	Θερμό υγρό	Ωκεάνιο
Όλες οι κατοικίες	123,53	42,50	36,79	15,06	22,31	6,87
Κύριο καύσιμο και σύστημα θέρμανσης						
Φυσικό αέριο	62,71	27,24	17,90	9,00	5,04	3,54
Κεντρικό σύστημα θέρμανσης						
Θερμού αέρα	53,26	23,09	14,36	7,92	4,78	3,11
Σύστημα θέρμανσης ατμού ή ζεστού νερού	6,51	3,41	2,89	Q	Q	0,12
Εντοιχισμένη μονάδα	2,77	0,67	0,60	1,00	0,20	0,29
Άλλος εξοπλισμός	0,18	0,07	0,06	Q	Q	Q
Ηλεκτρισμός	42,57	7,70	14,77	3,90	13,58	2,62
Κεντρικό σύστημα θέρμανσης						
Θερμού αέρα	13,82	2,31	4,68	1,18	5,15	0,49
Αντλία θερμότητας	16,13	1,36	6,98	1,20	6,14	0,46
Αντλία θερμότητας χωρίς αγωγούς	1,06	0,20	0,35	0,16	0,19	0,16
Εντοιχισμένη ηλεκτρική μονάδα	7,65	3,15	1,81	0,49	0,98	1,21
Φορητές ηλεκτρικές θερμάστρες	3,03	0,22	0,72	0,87	0,98	0,25
Άλλος εξοπλισμός	0,89	0,45	0,24	Q	0,15	Q
Μαζούτ ή κυροζίνη	4,93	3,31	1,58	Q	N	Q
Κεντρικό σύστημα θέρμανσης						
Θερμού αέρα	3,10	2,15	0,91	Q	N	Q
Σύστημα θέρμανσης ατμού ή ζεστού νερού	1,62	1,05	0,57	N	N	N
Άλλος εξοπλισμός	0,21	0,10	0,10	N	N	Q
Προπάνιο	5,21	2,93	1,50	0,33	0,36	0,09
Κεντρικό σύστημα θέρμανσης						
Θερμού αέρα	4,03	2,36	1,12	0,24	0,23	0,08
Άλλος εξοπλισμός	1,18	0,56	0,39	Q	0,13	Q
Ξύλο	2,25	1,13	0,63	0,17	0,10	0,21
Σόμπα θέρμανσης	1,94	0,93	0,57	0,17	Q	0,21
Άλλος εξοπλισμός	0,31	0,20	0,08	N	Q	N
Άλλο καύσιμο	Q	Q	Q	N	N	N
Δε χρησιμοποιούν κάποιο σύστημα θέρμανσης	5,79	0,16	0,38	1,65	3,23	0,37

Είναι ξεκάθαρο πως η συντριπτική πλειοψηφία των κατοικιών καλύπτει τις ανάγκες της για θέρμανση είτε χρησιμοποιώντας ως καύσιμο φυσικό αέριο, είτε μέσω ηλεκτρισμού.

Η απόλυτα κυρίαρχη μέθοδος είναι η χρησιμοποίηση ενός κεντρικού συστήματος θέρμανσης θερμού αέρα, καθώς αποτελεί το κύριο μέσο θέρμανσης για το 60,2% των κατοικιών των ΗΠΑ. Οι μέθοδοι που έπονται είναι η χρήση αντλίας θερμότητας (13%), συστήματος θέρμανσης ατμού ή ζεστού νερού (7,5%) και η θέρμανση μέσω ενσωματωμένης ηλεκτρικής μονάδας (6,2%).

Αξίζει να σημειωθεί πως η εκμετάλλευση του φυσικού αερίου για τη θέρμανση αποτελεί την πιο διαδεδομένη μέθοδο για τις κατοικίες των ψυχρών, αλλά και των ξηρών κλιμάτων. Αντιθέτως, στα θερμά κλίματα με υγρασία η αξιοποίηση του ηλεκτρισμού

κυριαρχεί ως μέθοδος για τη θέρμανση των κατοικιών. Τέλος, στα υγρά κλίματα με πιο ευρύ φάσμα θερμοκρασιών, οι δύο μέθοδοι έρχονται σε σχετική ισορροπία.

Πίνακας 16: Ηλικία κύριου συστήματος θέρμανσης των κατοικιών κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ

	Αριθμός οικιστικών μονάδων (σε εκατομμύρια)					
	Τύπος κλίματος			Σύνθετο ξηρό/ Θερμό ξηρό / Θερμό υγρό		
	Σύνολο	Ψυχρό	Σύνθετο υγρό	Θερμό ξηρό	Θερμό υγρό	Ωκεάνιο
Όλες οι κατοικίες	123,53	42,50	36,79	15,06	22,31	6,87
Ηλικία κύριου συστήματος θέρμανσης						
Έως 2 έτη	13,29	3,85	3,94	1,54	3,26	0,70
2 έως 4 έτη	17,19	5,24	5,31	2,23	3,58	0,82
5 έως 9 έτη	26,77	8,77	8,99	2,68	4,89	1,43
10 έως 14 έτη	22,29	8,52	6,91	2,35	3,38	1,13
15 έως 19 έτη	14,66	5,63	4,42	1,71	2,13	0,78
Άνω των 20 ετών	23,54	10,32	6,84	2,91	1,83	1,63
Δε χρησιμοποιούν κάποιο σύστημα θέρμανσης	5,79	0,16	0,38	1,65	3,23	0,37

Μελετώντας τον πίνακα 16, προκύπτει το συμπέρασμα πως οι τιμές των στηλών του ακολουθούν μία κοινή αναλογία. Πιο συγκεκριμένα, οι ηλικίες των κύριων συστημάτων θέρμανσης δεν εμφανίζουν σημαντικές διαφορές αν συγκριθούν όλοι οι κλιματικοί τύποι μεταξύ τους. Τα θερμά και υγρά κλίματα είναι αυτά που διαθέτουν τα ελαφρώς νεότερα κύρια συστήματα θέρμανσης, καθώς το ποσοστό των πιο νέων (διετίας) και αυτό των πιο παλιών (ηλικίας μεγαλύτερης των 20 ετών) είναι υψηλότερο και χαμηλότερο αντίστοιχα σε σύγκριση με αυτά που ισχύουν για το σύνολο. Επίσης, οι πιο συνήθεις ηλικίες των συστημάτων θέρμανσης κυμαίνονται από τα πέντε έως τα δεκαπέντε έτη, ενώ αρκετά είναι αυτά με ηλικία μεγαλύτερη των είκοσι ετών.

Πίνακας 17: Τύπος χρησιμοποιούμενου θερμοστάτη του κύριου συστήματος θέρμανσης ή ψύξης των κατοικιών κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ

	Αριθμός οικιστικών μονάδων (σε εκατομμύρια)					
	Τύπος κλίματος			Σύνθετο ξηρό/ Θερμό ξηρό / Θερμό υγρό		
	Σύνολο	Ψυχρό	Σύνθετο υγρό	Θερμό ξηρό	Θερμό υγρό	Ωκεάνιο
Όλες οι κατοικίες	123,53	42,50	36,79	15,06	22,31	6,87
Χρησιμοποίηση θερμοστάτη						
Ναι	109,45	39,70	32,02	12,20	19,93	5,60
Εξυπνο θερμοστάτη ή συνδεδεμένο στο διαδίκτυο	12,78	4,13	3,21	2,01	2,62	0,81
Προγραμματιζόμενο θερμοστάτη	52,59	18,64	15,46	6,13	9,57	2,79
Μη προγραμματιζόμενο θερμοστάτη	44,08	16,93	13,35	4,06	7,74	2,00
Όχι	12,73	2,73	4,65	2,32	2,03	1,00
Δε χρησιμοποιούν κάποιο σύστημα θέρμανσης ή κλιματισμού	1,35	0,07	0,12	0,54	0,35	0,27

Το ποσοστό των κατοικιών που χρησιμοποιούν κάποιο σύστημα θέρμανσης ή ψύξης και διαθέτουν θερμοστάτη ανέρχεται στο 89,6%. Από το συγκεκριμένο ποσοστό, το 48% χρησιμοποιεί προγραμματιζόμενο θερμοστάτη, ο οποίος διαθέτει τη δυνατότητα

προσαρμογής των ωρών ενεργοποίησης της θέρμανσης ή του κλιματισμού σύμφωνα με ένα προκαθορισμένο πρόγραμμα. Το 40,3% διαθέτει μη προγραμματιζόμενο θερμοστάτη, ενώ το εναπομείναν 11,7% χρησιμοποιεί είτε θερμοστάτη συνδεδεμένο στο διαδίκτυο, είτε «έξυπνο». Η χρησιμοποίηση θερμοστάτη με σύνδεση στο διαδίκτυο, παρέχει τη δυνατότητα ρύθμισής του από διαφορετικές συσκευές, όπως υπολογιστές και έξυπνα κινητά τηλέφωνα. Από την άλλη, ένας έξυπνος θερμοστάτης μπορεί με την πάροδο του χρόνου να μάθει τις συνήθειες και τις προτιμήσεις θερμοκρασίας του χρήστη και να προσαρμόζεται αυτόματα ανάλογα με τις ανάγκες του.

5.2.3 Δευτερεύον σύστημα θέρμανσης

Η κλιματική ανθεκτικότητα των κατοικιών ενισχύεται σημαντικά από την ύπαρξη ενός δευτερεύοντος συστήματος θέρμανσης. Ένα τέτοιο σύστημα εκτός από τη σημασία που θα αποκτά κατά τις περιόδους αυξημένου ψύχους, καθώς θα συνεισφέρει συνδυαστικά με το κύριο σύστημα στη δημιουργία θερμικής άνεσης, θα παρέχει και μία περαιτέρω ασφάλεια λόγω του εφεδρικού του χαρακτήρα. Πιο συγκεκριμένα, σε περίπτωση βλάβης ή έλλειψης καυσίμου του κύριου συστήματος θέρμανσης, το κτίριο δε θα μένει εκτεθειμένο στις χαμηλές θερμοκρασίες χάρη στην ύπαρξη του δευτερεύοντος συστήματος θέρμανσης. Η παρουσία, λοιπόν, τέτοιων συστημάτων είναι ιδιαίτερης σημασίας για τη δημιουργία συνθηκών θερμικής άνεσης στα κτίρια κατά τις περιόδους που επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες.

Πίνακας 18: Δευτερεύον σύστημα θέρμανσης των κατοικιών κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ

	Αριθμός οικιστικών μονάδων (σε εκατομμύρια)					
	Τύπος κλίματος					
	Σύνολο	Ψυχρό	Σύνθετο υγρό	Σύνθετο ξηρό/ Θερμό ξηρό	Θερμό υγρό	Ωκεάνιο
Όλες οι κατοικίες	123,53	42,50	36,79	15,06	22,31	6,87
Δευτερεύον καύσιμο και σύστημα θέρμανσης						
Χρησιμοποιεί δευτερεύον σύστημα θέρμανσης	51,80	19,78	16,95	5,10	6,84	3,13
Φυσικό αέριο	7,88	3,10	2,44	0,89	0,78	0,67
Τζάκι	6,94	2,74	2,16	0,77	0,66	0,62
Άλλος εξοπλισμός	0,94	0,36	0,28	0,13	0,12	0
Ηλεκτρισμός	31,57	11,73	10,50	3,19	4,36	1,80
Φορητές ηλεκτρικές θερμάστρες	25,08	8,86	8,61	2,65	3,54	1,43
Αντλία θερμότητας χωρίς αγωγούς	0,93	0,38	0,34	0	0,10	0
Εντοιχισμένη ηλεκτρική μονάδα	3,14	1,58	0,83	0,27	0,24	0,22
Τζάκι	1,82	0,71	0,48	0,19	0,39	0
Άλλος εξοπλισμός	0,59	0,20	0,24	0	0,09	0
Ξύλο	8,83	3,59	2,36	0,96	1,35	0,57
Σόμπα θέρμανσης	3,13	1,89	0,75	0,16	0,07	0,25
Τζάκι	5,68	1,69	1,60	0,80	1,27	0,32
Άλλος εξοπλισμός	0	0	0	0	0	0
Άλλο καύσιμο	3,52	1,37	1,66	0	0,35	0,09
Δε χρησιμοποιεί δευτερεύον σύστημα θέρμανσης	65,94	22,56	19,46	8,31	12,25	3,36
Δε χρησιμοποιούν κάποιο σύστημα θέρμανσης	5,79	0,16	0,38	1,65	3,23	0,37

Βάσει των δεδομένων του πίνακα 18, το ποσοστό των κατοικιών που διαθέτουν κάποιο δευτερεύον σύστημα θέρμανσης ανέρχεται στο 41,9%. Θα θεωρούσε κανείς αναμενόμενο ότι το εν λόγω ποσοστό θα είναι αρκετά αυξημένο στα ψυχρά κλίματα. Παρ' όλ' αυτά, κάτι τέτοιο δεν ισχύει καθώς η τιμή του ανέρχεται μόλις στο 46,5%. Αναμενόμενα, τα χαμηλότερα ποσοστά συναντώνται στα θερμά κλίματα.

Κυρίαρχες πηγές ενέργειας για τα δευτερεύοντα συστήματα θέρμανσης αποτελούν ο ηλεκτρισμός (60,9%), το ξύλο (17%) και το φυσικό αέριο (15,2%). Το πιο σύνηθες σύστημα είναι οι φορητές ηλεκτρικές θερμάστρες με ποσοστό έναντι του συνόλου της τάξεως 48,4%, ενώ έπεται το τζάκι σε ποσοστό 27,9%.

Πίνακας 19: Χρησιμοποίηση των δευτερευόντων συστημάτων θέρμανσης στις κατοικίες κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ

	Αριθμός οικιστικών μονάδων (σε εκατομμύρια)					
	Τύπος κλίματος					
	Σύνολο	Ψυχρό	Σύνθετο υγρό	Σύνθετο ξηρό/ Θερμό ξηρό	Θερμό υγρό	Ωκεάνιο
Όλες οι κατοικίες	123,53	42,50	36,79	15,06	22,31	6,87
Χρησιμοποίηση δευτερεύοντος συστήματος θέρμανσης						
Συνεχής ή πολύ συχνή χρήση	10,92	4,99	3,58	0,75	0,90	0,69
Χρήση τουλάχιστον μία φορά την εβδομάδα	9,40	3,99	2,85	0,94	0,90	0,74
Χρήση μερικές φορές το μήνα	4,72	1,80	1,47	0,49	0,61	0,34
Χρήση αποκλειστικά σε συνθήκες αυξημένου ψύχους	20,18	6,68	6,79	2,16	3,49	1,06
Περιστασιακή χρήση, όπως κατά τη διάρκεια μίας επίσκεψης	6,58	2,32	2,27	0,75	0,94	0,30
Δε χρησιμοποιεί δευτερεύον σύστημα θέρμανσης	65,94	22,56	19,46	8,31	12,25	3,36
Δε χρησιμοποιούν κάποιο σύστημα θέρμανσης	5,79	0,16	0,38	1,65	3,23	0,37

Από το σύνολο των κατοικιών που διαθέτουν κάποιο δευτερεύον σύστημα θέρμανσης, το 39% προβαίνει σε χρησιμοποίησή του αποκλειστικά σε συνθήκες αυξημένου ψύχους. Όπως είναι λογικό, η τιμή του συγκεκριμένου ποσοστού αυξάνεται στα θερμά κλίματα, όπου λόγω των υψηλών μέσων θερμοκρασιών, η ανάγκη για περαιτέρω θέρμανση είναι πιο περιστασιακή. Το 21,1% χρησιμοποιεί τα συγκεκριμένα συστήματα σε πολύ συχνή βάση, το 18,1% κάθε εβδομάδα, ενώ το 9,1% ελάχιστες φορές κατά τη διάρκεια του μήνα. Τέλος, το εναπομένειν 12,7% εκμεταλλεύεται εξαιρετικά σπάνια το δευτερεύον σύστημα θερμότητας.

5.2.4 Χειμερινές εσωτερικές θερμοκρασίες

Πίνακας 20: Εσωτερικές ημερήσιες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών όταν κάποιος βρίσκεται εντός των κατοικιών για τις κατοικίες κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ

	Αριθμός οικιστικών μονάδων (σε εκατομμύρια)					
	Τύπος κλίματος					
	Σύνολο	Ψυχρό	Σύνθετο υγρό	Σύνθετο ξηρό/ Θερμό ξηρό	Θερμό υγρό	Ωκεάνιο
Όλες οι κατοικίες	123,53	42,50	36,79	15,06	22,31	6,87
Εσωτερικές ημερήσιες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του χειμώνα όταν κάποιος βρίσκεται εντός των κατοικιών						
Έως 17,2° C	4,42	1,59	1,14	0,73	0,42	0,54
17,2° C έως 18,9° C	10,30	4,48	2,68	1,14	0,86	1,13
18,9° C έως 20,6° C	32,57	13,91	10,23	2,99	3,32	2,13
20,6° C έως 21,7° C	26,95	10,17	8,42	2,76	4,21	1,39
21,7° C έως 22,8° C	25,20	8,23	8,82	2,54	4,71	0,90
22,8° C και άνω	18,30	3,96	5,13	3,24	5,57	0,41
Δε χρησιμοποιούν κάποιο σύστημα θέρμανσης	5,79	0,16	0,38	1,65	3,23	0,37

Πίνακας 21: Εσωτερικές ημερήσιες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών όταν δε βρίσκεται κανείς εντός των κατοικιών για τις κατοικίες κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ

	Αριθμός οικιστικών μονάδων (σε εκατομμύρια)					
	Τύπος κλίματος					
	Σύνολο	Ψυχρό	Σύνθετο υγρό	Σύνθετο ξηρό/ Θερμό ξηρό	Θερμό υγρό	Ωκεάνιο
Όλες οι κατοικίες	123,53	42,50	36,79	15,06	22,31	6,87
Εσωτερικές ημερήσιες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του χειμώνα όταν δε βρίσκεται κανείς εντός των κατοικιών						
Έως 17,2° C	18,75	7,56	4,32	2,81	1,75	2,32
17,2° C έως 18,9° C	22,15	8,79	6,27	2,90	2,49	1,69
18,9° C έως 20,6° C	30,09	11,70	10,49	2,70	3,76	1,44
20,6° C έως 21,7° C	19,35	6,97	6,51	1,82	3,50	0,54
21,7° C έως 22,8° C	15,06	5,02	5,54	1,25	2,87	0,38
22,8° C και άνω	12,35	2,30	3,28	1,92	4,71	0,13
Δε χρησιμοποιούν κάποιο σύστημα θέρμανσης	5,79	0,16	0,38	1,65	3,23	0,37

Πίνακας 22: Εσωτερικές νυκτερινές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών για τις κατοικίες κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ

	Αριθμός οικιστικών μονάδων (σε εκατομμύρια)					
	Τύπος κλίματος					
	Σύνολο	Ψυχρό	Σύνθετο υγρό	Σύνθετο ξηρό/ Θερμό ξηρό	Θερμό υγρό	Ωκεάνιο
Όλες οι κατοικίες	123,53	42,50	36,79	15,06	22,31	6,87
Εσωτερικές νυκτερινές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του χειμώνα						
Έως 17,2° C	14,85	6,41	3,19	2,34	0,84	2,06
17,2° C έως 18,9° C	19,72	8,29	5,28	2,54	1,93	1,68
18,9° C έως 20,6° C	31,58	12,03	10,90	2,71	4,47	1,47
20,6° C έως 21,7° C	20,22	7,08	6,81	1,84	3,72	0,77
21,7° C έως 22,8° C	17,49	5,36	6,28	1,59	3,94	0,32
22,8° C και άνω	13,88	3,16	3,95	2,39	4,18	0,20
Δε χρησιμοποιούν κάποιο σύστημα θέρμανσης	5,79	0,16	0,38	1,65	3,23	0,37

Το συμπέρασμα που προκύπτει μελετώντας συνδυαστικά τους παραπάνω πίνακες είναι πως το πιο συνηθισμένο εύρος εσωτερικών θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια του χειμώνα είναι από 18,9°C έως 20,6°C. Το συγκεκριμένο εύρος αντιπροσωπεύει τις εσωτερικές συνθήκες του 26,4% των κατοικιών κατά τη διάρκεια της ημέρας όταν κάποιος βρίσκεται εντός του σπιτιού και το 24,4% τις ίδιες ώρες όταν το σπίτι είναι άδειο. Επίσης, οι ίδιες θερμοκρασίες επικρατούν στο 25,6% των κατοικιών τις νυκτερινές ώρες του χειμώνα.

Οι θερμοκρασίες είναι σαφέστατα υψηλότερες κατά τη διάρκεια της ημέρας και όταν βρίσκεται κάποιος εντός της κατοικίας, χάρη στα συστήματα θέρμανσης αλλά και στο ότι οι ημερήσιες θερμοκρασίες είναι κατά κανόνα υψηλότερες από τις νυκτερινές. Οι πιο χαμηλές παρατηρούνται τις ημερήσιες ώρες και όταν το σπίτι είναι άδειο εξαιτίας του γεγονότος ότι τα συστήματα θέρμανσης είναι απενεργοποιημένα. Η διατήρηση των θερμοκρασιών σε υψηλά επίπεδα, κατά τη διάρκεια των συγκεκριμένων ωρών, εξαρτάται

κυρίως από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των κατοικιών όπως αυτά αναλύθηκαν σε προηγούμενα κεφάλαια. Συγκρίνοντας τις τιμές των πινάκων μπορεί να διαπιστωθεί ότι οι εσωτερικές θερμοκρασίες κατά τις νυχτερινές ώρες κινούνται σε ενδιάμεσα επίπεδα σε σχέση με τις υπόλοιπες δύο περιπτώσεις. Αυτό κρίνεται αναμενόμενο, αφενός λόγω του ότι οι θερμοκρασίες τη νύχτα είναι πιο χαμηλές και αφετέρου γιατί τα συστήματα θέρμανσης είναι συνήθως σε λειτουργία.

5.3 Κλιματισμός

5.3.1 Συστήματα ψύξης

Πίνακας 23: Συστήματα ψύξης των κατοικιών κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ

	Αριθμός οικιστικών μονάδων (σε εκατομμύρια)					
	Τύπος κλίματος			Σύνθετο ξηρό/ Θερμό υγρό		
	Σύνολο	Ψυχρό	Σύνθετο υγρό	Θερμό ξηρό	Θερμό υγρό	Ωκεάνιο
Όλες οι κατοικίες	123,53	42,50	36,79	15,06	22,31	6,87
Συστήματα κλιματισμού						
Χρησιμοποιούν κάποιο σύστημα κλιματισμού	109,51	37,58	34,46	12,97	20,99	3,51
Δε χρησιμοποιούν κάποιο σύστημα κλιματισμού	14,02	4,92	2,33	2,09	1,32	3,35
Κύριος τύπος χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού κλιματισμού						
Κεντρικό σύστημα κλιματισμού (συμπεριλαμβανομένης κεντρικής αντλίας θερμότητας)	82,69	24,91	26,82	10,00	18,73	2,23
Αντλία θερμότητας χωρίς αγωγούς	1,76	0,72	0,46	0,17	0,20	0,22
Κλιματιστικό τοίχου ή παραθύρου	21,43	10,37	6,71	1,98	1,91	0,46
Φορητό κλιματιστικό	2,68	1,19	0,46	0,31	0,12	0,60
Σύστημα ψύξης με εξάτμιση	0,95	0,40	0	0,50	0	0
Δε χρησιμοποιούν κάποιο σύστημα κλιματισμού	14,02	4,92	2,33	2,09	1,32	3,35

Το ποσοστό των κατοικιών που χρησιμοποιούν κάποιο σύστημα ψύξης είναι αρκετά υψηλό σε κάθε τύπο κλίματος, ενώ το γενικό ανέρχεται στο 88,7%. Είναι σαφές πως η χρήση κεντρικού συστήματος κλιματισμού, συμπεριλαμβανομένης κεντρικής αντλίας θερμότητας, αλλά και κλιματιστικών τοίχου και παραθύρου αποτελούν τις δύο πιο ευρέως εφαρμοσμένες μεθόδους για την ψύξη των κατοικιών. Η πρώτη κυριαρχεί καταλαμβάνοντας ποσοστό 75,5% έναντι του συνόλου και η δεύτερη έπεται έχοντας ποσοστό εφαρμογής 19,6%. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα κλιματιστικά τοίχου και παραθύρου χρησιμοποιούνται περισσότερο σε κλίματα με χαμηλές θερμοκρασίες.

Πίνακας 24: Ηλικία κύριου συστήματος ψύξης των κατοικιών κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ

	Αριθμός οικιστικών μονάδων (σε εκατομμύρια)					
	Τύπος κλίματος			Σύνθετο ξηρό/ Θερμό υγρό		
	Σύνολο	Ψυχρό	Σύνθετο υγρό	Θερμό ξηρό	Θερμό υγρό	Ωκεάνιο
Όλες οι κατοικίες	123,53	42,50	36,79	15,06	22,31	6,87
Ηλικία κύριου συστήματος κλιματισμού						
Έως 2 έτη	15,63	4,92	4,44	1,91	3,64	0,72
2 έως 4 έτη	21,76	7,01	7,13	2,51	4,30	0,82
5 έως 9 έτη	30,08	10,27	9,73	3,29	5,94	0,85
10 έως 14 έτη	20,49	6,94	6,63	2,44	3,95	0,53
15 έως 19 έτη	11,01	4,22	3,37	1,38	1,75	0,28
Άνω των 20 ετών	10,55	4,22	3,15	1,44	1,40	0,32
Δε χρησιμοποιούν κάποιο σύστημα κλιματισμού	14,02	4,92	2,33	2,09	1,32	3,35

Τα συμπεράσματα που μπορούν να προκύψουν από τον πίνακα 24 είναι ότι οι διαφορές στην ηλικία των συστημάτων ψύξης είναι αμελητέες, αν συγκριθούν οι κλιματικοί τύποι μεταξύ τους, αλλά και το γεγονός ότι οι πιο συνηθισμένες ηλικίες των συστημάτων αυτών είναι έως δεκατέσσερα έτη, δίχως όμως τα πιο παλαιά να εντοπίζονται σπάνια. Το πιο συνηθισμένο ηλικιακό εύρος είναι πέντε έως εννέα έτη.

Πίνακας 25: Δευτερεύον σύστημα ψύξης των κατοικιών κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ

	Αριθμός οικιστικών μονάδων (σε εκατομμύρια)					
	Τύπος κλίματος			Σύνθετο ξηρό/ Θερμό υγρό		
	Σύνολο	Ψυχρό	Σύνθετο υγρό	Θερμό ξηρό	Θερμό υγρό	Ωκεάνιο
Όλες οι κατοικίες	123,53	42,50	36,79	15,06	22,31	6,87
Τύπος χρησιμοποιούμενου δευτερεύοντος συστήματος ψύξης						
Δε χρησιμοποιούν κάποιο δευτερεύον σύστημα κλιματισμού	100,18	34,54	31,32	11,59	19,45	3,27
Κεντρικό σύστημα κλιματισμού (συμπεριλαμβανόμενης κεντρικής αντλίας θερμότητας)	0,86	0,17	0,40	0,15	0,11	0
Αντλία θερμότητας χωρίς αγωγούς	0,81	0,23	0,28	0,09	0,19	0
Κλιματιστικό τοίχου ή παραθύρου	4,62	1,59	1,77	0,36	0,82	0,08
Φορητό κλιματιστικό	2,64	0,92	0,66	0,56	0,39	0,11
Σύστημα ψύξης με εξάτμιση	0,41	0,13	0	0,22	0	0
Δε χρησιμοποιούν κάποιο σύστημα κλιματισμού	14,02	4,92	2,33	2,09	1,32	3,35

Η ύπαρξη ενός δευτερεύοντος συστήματος ψύξης είναι ύψιστης σημασίας για τους αντίστοιχους λόγους που αναλύθηκαν στην ενότητα 5.2.3 των δευτερευόντων συστημάτων θέρμανσης. Παρ' όλ' αυτά, σύμφωνα με τα δεδομένα του πίνακα 25, μόνο το 8,5% των κατοικιών που χρησιμοποιούν κάποιο κύριο σύστημα ψύξης διαθέτουν και κάποιο δευτερεύον. Το 49,5% των κατοικιών αυτών χρησιμοποιεί κλιματιστικά τοίχου ή παραθύρου σα συμπληρωματικό μέσο θέρμανσης, ενώ το 28,3% χρησιμοποιεί φορητά κλιματιστικά.

Πίνακας 26: Αριθμός φορητών κλιματιστικών, τοίχου και παραθύρου των κατοικιών κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ

	Αριθμός οικιστικών μονάδων (σε εκατομμύρια)					
	Τύπος κλίματος					
	Σύνολο	Ψυχρό	Σύνθετο υγρό	Σύνθετο ξηρό/ Θερμό ξηρό	Θερμό υγρό	Ωκεάνιο
Όλες οι κατοικίες	123,53	42,50	36,79	15,06	22,31	6,87
Αριθμός χρησιμοποιούμενων φορητών κλιματιστικών						
Ένα	3,64	1,37	0,76	0,65	0,34	0,52
Δύο	1,28	0,55	0,29	0,15	0,12	0,16
Τρία	0,29	0,16	0	0	0	0
Τέσσερα ή περισσότερα	0,10	0,03	0	0	0	0
Δε χρησιμοποιούν φορητά κλιματιστικά	104,20	35,47	33,33	12,10	20,48	2,81
Δε χρησιμοποιούν κάποιο σύστημα κλιματισμού	14,02	4,92	2,33	2,09	1,32	3,35
Αριθμός χρησιμοποιούμενων κλιματιστικών παραθύρου ή τοίχου						
Ένα	11,90	5,89	3,30	1,20	1,13	0,38
Δύο	8,24	3,57	3,02	0,75	0,78	0,13
Τρία	3,72	1,57	1,39	0,26	0,47	0
Τέσσερα ή περισσότερα	2,18	0,91	0,77	0,13	0,36	0
Δε χρησιμοποιούν κλιματιστικά παραθύρου ή τοίχου	83,46	25,63	25,98	10,62	18,25	2,98
Δε χρησιμοποιούν κάποιο σύστημα κλιματισμού	14,02	4,92	2,33	2,09	1,32	3,35

Βάσει των δεδομένων του πίνακα 26, η σημαντική πλειοψηφία των κατοικιών που χρησιμοποιούν είτε κλιματιστικά τοίχου και παραθύρου, είτε φορητά κλιματιστικά, διαθέτουν το πολύ δύο. Το στοιχείο αυτό ισχύει για όλους τους κλιματικούς τύπους.

5.3.2 Ανεμιστήρες

Πίνακας 27: Τύποι χρησιμοποιούμενων ανεμιστήρων στις κατοικίες κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ

	Αριθμός οικιστικών μονάδων (σε εκατομμύρια)					
	Τύπος κλίματος					
	Σύνολο	Ψυχρό	Σύνθετο υγρό	Σύνθετο ξηρό/ Θερμό ξηρό	Θερμό υγρό	Ωκεάνιο
Όλες οι κατοικίες	123,53	42,50	36,79	15,06	22,31	6,87
Τύποι χρησιμοποιούμενων ανεμιστήρων						
Ανεμιστήρας οροφής	89,45	29,25	27,01	11,06	19,02	3,12
Ανεμιστήρας δαπέδου ή παραθύρου	54,39	21,46	15,02	6,71	7,94	3,25
Ανεμιστήρας ολόκληρου του σπιτιού	7,99	2,59	2,17	1,40	1,48	0,35
Ανεμιστήρας σοφίτας	10,72	3,31	4,18	1,29	1,48	0,46

Το συμπέρασμα που προκύπτει, με βάση τις τιμές του πίνακα 27, είναι ότι οι ανεμιστήρες έχουν ευρεία εφαρμογή και χρησιμοποιούνται στην πλειοψηφία των κατοικιών των ΗΠΑ. Η πιο συνηθισμένη κατηγορία είναι οι ανεμιστήρες οροφής, καθώς το 72,4% των κατοικιών διαθέτει έστω έναν. Ο άλλος τύπος ανεμιστήρα που χρησιμοποιείται σε ένα μεγάλο ποσοστό των κατοικιών, της τάξεως 44%, είναι οι ανεμιστήρες δαπέδου και

παραθύρου. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα υψηλά αυτά ποσοστά αντιπροσωπεύουν όλους τους τύπους κλιμάτων.

Πίνακας 28: Συχνότητα χρήσης των ανεμιστήρων οροφής στις κατοικίες κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ

	Αριθμός οικιστικών μονάδων (σε εκατομμύρια)					
	Τύπος κλίματος			Σύνθετο ξηρό/ Θερμό υγρό		
	Σύνολο	Ψυχρό	Σύνθετο υγρό	Θερμό ξηρό	Θερμό υγρό	Ωκεάνιο
Όλες οι κατοικίες	123,53	42,50	36,79	15,06	22,31	6,87
Συχνότητα χρήσης ανεμιστήρων οροφής						
Χρησιμοποιούν ανεμιστήρα οροφής	89,45	29,25	27,01	11,06	19,02	3,12
Περιστασιακά	28,83	10,35	8,97	3,20	5,12	1,19
Αποκλειστικά τους θερινούς μήνες	22,13	8,53	6,05	3,52	3,04	1,00
Περίπου τους μισούς μήνες του έτους	9,56	2,83	2,77	1,64	2,06	0,27
Όλη ή σχεδόν όλη τη διάρκεια του έτους	28,92	7,52	9,23	2,71	8,81	0,66
Δε χρησιμοποιούν ανεμιστήρα οροφής	34,08	13,26	9,78	4,00	3,29	3,75

Το ερώτημα που πρέπει να απαντηθεί, έπειτα απ' όσα αναφέρθηκαν, είναι το πόσο συχνά χρησιμοποιούνται οι ανεμιστήρες στις κατοικίες κάθε κλιματικής ζώνης. Αρχικά, εξετάζοντας το σύνολο των κατοικιών που διαθέτουν έστω έναν ανεμιστήρα οροφής, το 32,3% προβαίνει σε χρήση καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, ενώ ένα ίδιο ποσοστό περιστασιακά. Από το εναπομείναν ποσοστό, το 24,7% ενεργοποιεί τη λειτουργία των ανεμιστήρων αποκλειστικά κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών, ενώ το 10,7% τους χρησιμοποιεί περίπου τους μισούς μήνες του χρόνου. Συγκρίνοντας τις τιμές κάθε στήλης του πίνακα 28, παρατηρείται ότι όσο πιο θερμό είναι ένα κλίμα, τόσο πιο συχνά ενεργοποιείται η λειτουργία των ανεμιστήρων στις κατοικίες που βρίσκονται σε αυτό. Πιο αναλυτικά, το ποσοστό των κατοικιών στα ψυχρά κλίματα που χρησιμοποιούν κάποιον ανεμιστήρα οροφής τουλάχιστον κατά τη διάρκεια του μισού έτους ανέρχεται σε 24,4%. Το ποσοστό αυτό για τα θερμά κλίματα αυξάνεται σημαντικά σε 48,7% αγγίζοντας το διπλασιασμό.

Πίνακας 29: Αριθμός ανεμιστήρων οροφής, δαπέδου και παραθύρου των κατοικιών κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ

	Αριθμός οικιστικών μονάδων (σε εκατομμύρια)					
	Τύπος κλίματος					
	Σύνολο	Ψυχρό	Σύνθετο υγρό	Σύνθετο ξηρό/ Θερμό ξηρό	Θερμό υγρό	Ωκεάνιο
Όλες οι κατοικίες	123,53	42,50	36,79	15,06	22,31	6,87
Αριθμός χρησιμοποιούμενων ανεμιστήρων οροφής						
Κανένας	34,08	13,26	9,78	4,00	3,29	3,75
Ένας	19,94	8,40	5,08	2,61	2,25	1,60
Δύο	19,42	7,32	5,81	2,24	3,36	0,69
Τρεις	16,02	5,06	5,37	1,60	3,68	0,30
Τέσσερις και άνω	34,07	8,46	10,74	4,61	9,73	0,53
Αριθμός χρησιμοποιούμενων ανεμιστήρων δαπέδου ή παραθύρου						
Κανένας	69,14	21,04	21,77	8,34	14,37	3,61
Ένας	24,53	9,44	7,28	2,67	3,74	1,41
Δύο	18,85	7,51	5,09	2,48	2,73	1,05
Τρεις	7,04	2,90	1,77	0,95	0,94	0,48
Τέσσερις και άνω	3,96	1,62	0,88	0,61	0,54	0,32

Παρατηρώντας τον πίνακα 29, καθίσταται σαφές ότι η πλειοψηφία των κατοικιών που χρησιμοποιούν ανεμιστήρες οροφής, διαθέτουν περισσότερους από δύο. Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό αντιπροσωπεύει το 56% των αναφερόμενων κατοικιών. Από την άλλη, όσον αφορά τους ανεμιστήρες δαπέδου ή παραθύρου, το αντίστοιχο ποσοστό περιορίζεται σημαντικά στο 20,2%. Η μεγάλη απόκλιση των δύο ποσοστών μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι οι ανεμιστήρες δαπέδου και παραθύρου είναι φορητοί, με αποτέλεσμα να δίνεται η δυνατότητα στους κατοίκους να τους τοποθετήσουν στο χώρο που βρίσκονται, σε αντίθεση με τους ανεμιστήρες οροφής, οι οποίοι για να καλύψουν αποτελεσματικά τις ανάγκες των κατοίκων για δροσιά, θα πρέπει να είναι εγκατεστημένοι στα περισσότερα δωμάτια του σπιτιού.

5.3.3 Θερινές εσωτερικές θερμοκρασίες

Πίνακας 30: Εσωτερικές ημερήσιες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών όταν κάποιος βρίσκεται εντός των κατοικιών για τις κατοικίες κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ

	Αριθμός οικιστικών μονάδων (σε εκατομμύρια)					
	Τύπος κλίματος					
	Σύνολο	Ψυχρό	Σύνθετο υγρό	Σύνθετο ξηρό/ Θερμό ξηρό		Ωκεάνιο
Όλες οι κατοικίες	123,53	42,50	36,79	15,06	22,31	6,87
Εσωτερικές ημερήσιες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού όταν κάποιος βρίσκεται εντός των κατοικιών						
Έως 20,6° C	22,99	10,19	8,24	1,67	2,04	0,85
20,6° C έως 21,7° C	18,42	7,09	6,68	1,44	2,59	0,62
21,7° C έως 22,8° C	24,18	8,54	8,71	1,70	4,66	0,58
22,8° C έως 24,4° C	27,17	8,10	7,20	3,47	7,51	0,90
24,4° C έως 26,1° C	11,68	2,34	2,69	2,97	3,35	0,34
26,1° C και άνω	5,07	1,33	0,95	1,72	0,84	0,24
Δε χρησιμοποιούν κάποιο σύστημα θέρμανσης	14,02	4,92	2,33	2,09	1,32	3,35

Πίνακας 31: Εσωτερικές ημερήσιες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών όταν δε βρίσκεται κανείς εντός των κατοικιών για τις κατοικίες κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ

	Αριθμός οικιστικών μονάδων (σε εκατομμύρια)					
	Τύπος κλίματος					
	Σύνολο	Ψυχρό	Σύνθετο υγρό	Σύνθετο ξηρό/ Θερμό ξηρό		Ωκεάνιο
Όλες οι κατοικίες	123,53	42,50	36,79	15,06	22,31	6,87
Εσωτερικές ημερήσιες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού όταν δε βρίσκεται κανείς εντός των κατοικιών						
Έως 20,6° C	18,96	8,65	6,62	1,34	1,65	0,69
20,6° C έως 21,7° C	14,14	5,50	5,24	0,96	1,92	0,52
21,7° C έως 22,8° C	17,40	6,48	6,70	0,93	2,91	0,38
22,8° C έως 24,4° C	27,24	9,43	8,16	2,42	6,50	0,74
24,4° C έως 26,1° C	15,09	3,67	3,83	2,59	4,60	0,40
26,1° C και άνω	16,69	3,85	3,91	4,73	3,41	0,78
Δε χρησιμοποιούν κάποιο σύστημα θέρμανσης	14,02	4,92	2,33	2,09	1,32	3,35

Πίνακας 32: Εσωτερικές νυκτερινές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών για τις κατοικίες κάθε κλιματικής ζώνης στις ΗΠΑ

	Αριθμός οικιστικών μονάδων (σε εκατομμύρια)					
	Τύπος κλίματος					
	Σύνολο	Ψυχρό	Σύνθετο υγρό	Σύνθετο ξηρό/ Θερμό ξηρό		Ωκεάνιο
Όλες οι κατοικίες	123,53	42,50	36,79	15,06	22,31	6,87
Εσωτερικές νυκτερινές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού						
Έως 20,6° C	30,21	12,84	10,30	2,36	3,40	1,30
20,6° C έως 21,7° C	19,84	7,02	6,97	1,80	3,32	0,73
21,7° C έως 22,8° C	23,17	7,75	7,95	1,97	5,13	0,37
22,8° C έως 24,4° C	23,08	7,08	6,19	2,91	6,18	0,71
24,4° C έως 26,1° C	9,07	1,84	2,28	2,36	2,35	0,25
26,1° C και άνω	4,15	1,05	0,77	1,58	0,61	0,15
Δε χρησιμοποιούν κάποιο σύστημα θέρμανσης	14,02	4,92	2,33	2,09	1,32	3,35

Εξετάζοντας συνδυαστικά τις τιμές των παραπάνω πινάκων, είναι σαφές πως οι υψηλότερες θερμοκρασίες παρατηρούνται κατά τη διάρκεια της ημέρας και όταν δε

βρίσκεται κάποιος εντός του σπιτιού. Αυτό είναι απόλυτα αναμενόμενο καθώς, αφενός τις ημερήσιες ώρες επικρατούν οι υψηλότερες θερμοκρασίες και αφετέρου τα συστήματα κλιματισμού συνήθως δε βρίσκονται σε λειτουργία. Η τιμή των εσωτερικών θερμοκρασιών τις συγκεκριμένες ώρες εξαρτάται κυρίως από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του κτιρίου και την ικανότητά του να διατηρεί σταθερές τις εσωτερικές του θερμοκρασίες. Οι αμέσως χαμηλότερες θερμοκρασίες επικρατούν τις ίδιες ώρες και όταν κάποιος βρίσκεται εντός του κτιρίου. Είναι προφανές πως η αιτία που προκαλεί αυτή τη θερμοκρασιακή διαφορά είναι η ενεργοποίηση των συστημάτων κλιματισμού. Τα συστήματα αυτά, σε συνδυασμό με το γεγονός πως τις νυχτερινές ώρες παρατηρείται πτώση των θερμοκρασιών, αποτελούν το λόγο για τον οποίο οι πιο χαμηλές θερμοκρασίες εμφανίζονται τις νυχτερινές ώρες. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως από τις κατοικίες που διαθέτουν κάποιο σύστημα κλιματισμού, το ποσοστό αυτών με θερμοκρασίες άνω των 26,1°C, τις ώρες της ημέρας και όταν κάποιος βρίσκεται εντός, ανέρχεται στο 4,6%. Το ποσοστό αυτό δεν είναι υψηλό, όμως είναι αρκετό ώστε να καταστήσει εμφανή την ενεργειακή φτώχεια αρκετών νοικοκυριών.

5.4 Ενεργειακή ανασφάλεια κατοικιών

Είναι σαφές ότι η κλιματική ανθεκτικότητα των κατοικιών αποτελεί σύνθετη έννοια η οποία για να προσδιοριστεί απαιτείται συνδυαστική μελέτη αρκετών παραμέτρων. Βασικότερος παράγοντας για το σκοπό αυτό είναι τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του κτιρίου. Ωστόσο, σε περιόδους ακραίων καιρικών φαινομένων, η δημιουργία θερμικής άνεσης στο εσωτερικό των κτιρίων δεν μπορεί να επιτευχθεί αποκλειστικά μέσω των συγκεκριμένων χαρακτηριστικών, αλλά απαιτείται και η συμβολή συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού. Καθίσταται φανερό, λοιπόν, ότι για τη δημιουργία των επιθυμητών εσωτερικών συνθηκών απαιτείται συχνά κάποιο κόστος για ενεργειακή κατανάλωση. Εξαιτίας του γεγονότος αυτού, όσα νοικοκυριά δε διαθέτουν την απαιτούμενη οικονομική άνεση, είτε στερούνται βασικές ανάγκες προκειμένου να ανταπεξέλθουν στις ενεργειακές απαιτήσεις, είτε υπόκεινται σε συνθήκες μη θερμικής άνεσης. Η παρούσα ενότητα αποσκοπεί στη δημιουργία μίας σαφούς εικόνας σχετικά με την έκταση του συγκεκριμένου προβλήματος το οποίο έχει άμεση συσχέτιση με την ικανότητα προσαρμογής των κατοικιών στις εκάστοτε κλιματικές συνθήκες.

Πίνακας 33: Αριθμός κατοικιών με ενεργειακή ανασφάλεια για κάθε κλιματική ζώνη

	Αριθμός οικιστικών μονάδων (σε εκατομμύρια)			
	Νοικοκυρία που αναφέρουν			
	Σύνολο	Οποιοδήποτε πρόβλημα ενεργειακής ανασφάλειας	Περιορισμό φαγητού ή ιατρικής περίθαλψης για πληρωμή λογαριασμών	Συνθήκες θερμοκρασιών που δεν προσδίδουν θερμική άνεση
Όλες οι κατοικίες	123,53	33,58	24,61	12,20
Τύπος κλίματος				
Ψυχρό	42,50	10,02	7,23	3,51
Σύνθετο υγρό	36,79	10,51	7,74	3,81
Σύνθετο ξηρό/ Θερμό ξηρό	15,06	4,75	3,41	2,05
Θερμό υγρό	22,31	6,72	5,19	2,11
Ωκεάνιο	6,87	1,58	1,03	0,71

Σύμφωνα με τα στοιχεία του πίνακα 33, το γενικό ποσοστό των κατοικιών που είναι αντιμέτωπες με προβλήματα ενεργειακής ανασφάλειας ανέρχεται στο 27,2%. Το 20% αναγκάζεται να περιορίσει την κατανάλωση φαγητού ή τις υπηρεσίες ιατρικής περίθαλψης προκειμένου να ανταποκριθεί στις πληρωμές των λογαριασμών ενέργειας. Το ποσοστό των κατοικιών στις οποίες για οικονομικούς λόγους δεν επικρατούν θερμοκρασίες που προσδίδουν θερμική άνεση είναι της τάξεως 9,9%.

Συγκρίνοντας τους κλιματικούς τύπους μεταξύ τους, τα ξηρά κλίματα αποτελούν αυτά με το μεγαλύτερο ποσοστό κατοικιών που είναι αντιμέτωπες με ενεργειακή ανασφάλεια. Το ποσοστό αυτό ανέρχεται σε 31,5% , ενώ ο τύπος κλίματος που το συγκεκριμένο πρόβλημα έχει λάβει τη μικρότερη έκταση είναι τα ψυχρά, όπου το αντίστοιχο ποσοστό περιορίζεται στο 23,6%.

Πίνακας 34: Αριθμός κατοικιών με ενεργειακή ανασφάλεια για κάθε χρονική περίοδο κατασκευής

	Αριθμός οικιστικών μονάδων (σε εκατομμύρια)			
	Νοικοκυρία που αναφέρουν			
		Οποιοδήποτε πρόβλημα ενεργειακής ανασφάλειας	Περιορισμό φαγητού ή ιατρικής περίθαλψης για πληρωμή λογαριασμών	Συνθήκες θερμοκρασιών που δεν προσδίδουν θερμική άνεση
	Σύνολο			
Όλες οι κατοικίες	123,53	33,58	24,61	12,20
Έτος κατασκευής				
Πριν το 1950	20,26	5,96	4,16	2,43
1950 έως 1959	12,48	3,70	2,60	1,39
1960 έως 1969	12,76	3,92	2,92	1,29
1970 έως 1979	18,34	5,48	4,21	2,05
1980 έως 1989	16,30	4,52	3,32	1,82
1990 έως 1999	17,16	4,08	3,02	1,31
2000 έως 2009	16,16	3,61	2,66	1,11
2010 έως 2015	5,53	1,34	1,01	0,47
2016 έως 2020	4,56	0,96	0,72	0,33

Θα μπορούσε να ειπωθεί ότι οι τιμές του πίνακα 34 είναι αναμενόμενες, αν ληφθούν υπόψιν τα γενικά ποσοστά που αναφέρθηκαν παραπάνω. Πιο συγκεκριμένα, είναι λογικό τα ποσοστά ενεργειακής ανασφάλειας να έχουν φθίνουσα πορεία, αφενός λόγω του γεγονότος ότι όσο πιο καινούριο είναι ένα σπίτι, τόσο πιο εξελιγμένες είναι οι τεχνολογίες κατασκευής του και τα υλικά του παρουσιάζουν λιγότερη φθορά, και αφετέρου καθώς τα πιο νέα σπίτια έχουν κατά κύριο λόγο πιο οικονομικά ευκατάστατους ιδιοκτήτες. Το ποσοστό ενεργειακής ανασφάλειας προσεγγίζει το 30% για κατασκευές έως το 1979 ενώ στη συνέχεια ακολουθεί πτωτική πορεία έως την τιμή 21,1% που αντιπροσωπεύει κατασκευές της χρονικής περιόδου 2016 έως 2020.

Πίνακας 35: Αριθμός κατοικιών με ενεργειακή ανασφάλεια ανάλογα με την ποιότητα της μόνωσης και τον τύπο τζαμιού παραθύρων

	Αριθμός οικιστικών μονάδων (σε εκατομμύρια)			
	Σύνολο	Νοικοκυρία που αναφέρουν		
		Οποιοδήποτε πρόβλημα ενεργειακής ανασφάλειας	Περιορισμό φαγητού ή ιατρικής περίθαλψης για πληρωμή λογαριασμών	Συνθήκες θερμοκρασιών που δεν προσδίδουν θερμική άνεση
Όλες οι κατοικίες	123,53	33,58	24,61	12,20
Επάρκεια μόνωσης				
Καλά μονωμένα	34,34	6,58	4,90	2,00
Επαρκώς μονωμένα	64,27	15,34	11,13	4,80
Ανεπαρκώς μονωμένα	21,29	9,80	7,17	4,48
Μη μονωμένα	3,63	1,85	1,41	0,92
Τύπος τζαμιού παραθύρων				
Μονά τζάμια	43,51	15,97	11,93	6,07
Διπλά τζάμια	77,95	17,25	12,44	5,93
Τριπλά τζάμια	2,07	0,35	0,24	0,20

Ο πίνακας 35 επιβεβαιώνει την άμεση εξάρτηση των κατασκευαστικών χαρακτηριστικών των κτιρίων με τη θερμική άνεση στο εσωτερικό τους και κατ' επέκταση την αποφυγή ζητημάτων ενεργειακής ανασφάλειας. Όπως έχει αναφερθεί πολλάκις, μία ποιοτική κατασκευή, βάσει των προτύπων της εκάστοτε κλιματικής ζώνης, μειώνει σημαντικά τις ανάγκες για κατανάλωση ενέργειας, εξοικονομώντας σημαντικά χρηματικά ποσά στους κατοίκους. Οι τιμές του πίνακα αποτελούν δείγμα όσων ειπώθηκαν, καθώς τα ποσοστά ενεργειακής ανασφάλειας είναι αντιστρόφως ανάλογα με την ποιότητα της μόνωσης και τις στρώσεις τζαμιών παραθύρου. Το εν λόγω ποσοστό για τις κατοικίες με καλή μόνωση είναι μόλις 19,2% και αυξάνεται σε 23,9% και 46,2% για κατοικίες με επαρκή και κακής ποιότητας μόνωση αντίστοιχα. Επίσης, το ποσοστό ενεργειακής ανασφάλειας για κατοικίες χωρίς μόνωση ανέρχεται στο 51%. Αναφορικά με τις στρώσεις τζαμιών παραθύρων, μόλις το 16,9% των σπιτιών με τριπλά τζάμια αντιμετωπίζει τέτοια ζητήματα, ενώ τα αντίστοιχα ποσοστά για διπλά και μονά τζάμια έχουν τιμές 22,1% και 36,7% αντίστοιχα.

5.5 Σύνοψη

Βάσει των κεφαλαίων που προηγήθηκαν, έχει καταστεί σαφές πως η κλιματική ανθεκτικότητα αποτελεί μία σύνθετη έννοια που για να προσδιοριστεί πρέπει να εξετασθούν πολλοί και διαφορετικής φύσεως παράγοντες. Το γεγονός αυτό

επιβεβαιώνεται και από την ανάλυση του κεφαλαίου 5, όπου, χάρη στις τιμές των παρατιθέμενων πινάκων, δίνεται μία πιο πρακτική εικόνα για το πόσες παράμετροι απαιτούνται ώστε να εξασφαλιστεί μία υψηλή ανθεκτικότητα των κτιρίων στο κλίμα.

Όπως αναλύθηκε στην ενότητα 5.4, οι κατοικίες που βρίσκονται αντιμέτωπες με ζητήματα ενεργειακής ανασφάλειας αντιπροσωπεύουν ποσοστό μεγαλύτερο του ενός τετάρτου έναντι του συνόλου. Βασική αιτία του παραπάνω προβλήματος αποτελεί το γεγονός ότι οι κατασκευές πολλών κτιρίων δεν είναι ικανές να ευνοήσουν τη δημιουργία συνθηκών θερμικής άνεσης. Ενδεικτικά, σύμφωνα με τα στοιχεία του πίνακα 9, η μία στις πέντε κατοικίες, είτε δε διαθέτει μόνωση, είτε αυτή είναι κακής ποιότητας και μη επαρκής. Επίσης, ο πίνακας 12 αποκαλύπτει το υψηλό ποσοστό, της τάξεως 35,2%, των κατοικιών που διαθέτουν παράθυρα με μονά τζάμια. Το ποσοστό αυτό παραμένει σε υψηλά επίπεδα ακόμη και αν η έρευνα περιοριστεί μόνο στα ψυχρά κλίματα, καθώς έχει τιμή 29%. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί πως οι κατοικίες που βρίσκονται στο συγκεκριμένο κλιματικό τύπο έχουν τον πιο υψηλό μέσο όρο ηλικίας. Η βελτίωση των παραπάνω ποσοστών θα πρέπει να αποτελέσει προτεραιότητα, καθώς είναι αναγκαία προϋπόθεση για τη βελτίωση της δημόσιας υγείας και κατ' επέκταση του βιοτικού επιπέδου των πολιτών.

Αναφορικά με τα συστήματα θέρμανσης και βάσει των δεδομένων που παρατέθηκαν στην ενότητα 5.2, αξίζει να γίνουν μερικά σχόλια. Αρχικά, αξιολογώντας το γενικό ποσοστό των κατοικιών που χρησιμοποιούν κάποιο σύστημα θέρμανσης, αυτό κρίνεται ικανοποιητικό, καθώς ανέρχεται στο 95,3%. Θα μπορούσε να ειπωθεί ότι το ποσοστό αυτό θα έπρεπε δεδομένα να είναι υψηλό διότι τα συστήματα θέρμανσης αποτελούν θεμελιώδη αρχή για τη δημιουργία υγιών εσωτερικών συνθηκών. Ωστόσο, το εν λόγω ποσοστό συναντά ραγδαία αύξηση στα ψυχρά κλίματα, όπου και είναι πιο αναγκαίο, μιας και κυμαίνεται στο 99,6%. Πρόσθετα, ο πίνακας 16 αποκαλύπτει την ανάγκη για εκσυγχρονισμό των συστημάτων θέρμανσης σε μία μεγάλη μερίδα κατοικιών. Μελετώντας το σύνολο, το 20% των κατοικιών διαθέτει συστήματα θέρμανσης με ηλικία μεγαλύτερη των είκοσι ετών, ενώ εστιάζοντας στα ψυχρά κλίματα, το συγκεκριμένο ποσοστό αυξάνεται στο 24,4%. Ένα ακόμη στοιχείο άξιο αναφοράς, αποτελεί το περιορισμένο ποσοστό χρησιμοποίησης δευτερευόντων συστημάτων θέρμανσης στις κατοικίες των ψυχρών κλιμάτων. Τα οφέλη της εφαρμογής τέτοιων συστημάτων είναι ιδιαίτερης σημασίας, καθώς, σύμφωνα με την ενότητα 5.2.3, εκτός του γεγονότος ότι αποτελούν σπουδαίο ενισχυτικό παράγοντα για τη δημιουργία συνθηκών θερμικής

άνεσης σε συνθήκες αυξημένου ψύχους, παρέχουν και περαιτέρω ασφάλεια ως εναλλακτική λύση για θέρμανση, αποκτώντας εφεδρικό χαρακτήρα. Παρ' ότι, λοιπόν, το γενικό ποσοστό εφαρμογής δευτερευόντων συστημάτων θέρμανσης έχει την αναμενόμενη τιμή 41,9%, δεν υπόκειται στην αναμενόμενη αύξηση όταν η έρευνα περιορίζεται μόνο τα ψυχρά κλίματα, καθώς προσεγγίζει μόλις το 46,5%.

Αντίστοιχα συμπεράσματα μπορούν να προκύψουν για τα συστήματα ψύξης, μελετώντας την ανάλυση του κεφαλαίου 5.3. Εξετάζοντας το σύνολο, το ποσοστό των κατοικιών που χρησιμοποιούν κάποιο σύστημα ψύξης ανέρχεται στο 88,7%. Άξιο αναφοράς είναι το γεγονός ότι, συγκρίνοντας τους κλιματικούς τύπους, το εν λόγω ποσοστό δεν παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις. Θα μπορούσε να ειπωθεί, λοιπόν, ότι το ποσοστό είναι αφενός ικανοποιητικό για τα ψυχρά κλίματα και αφετέρου ότι χρήζει βελτίωσης για τα θερμά, καθώς στα κλίματα αυτά η δημιουργία υγιών εσωτερικών συνθηκών εξαρτάται σχεδόν απόλυτα από τη λειτουργία συστημάτων ψύξης. Όσον αφορά την ηλικία των συστημάτων αυτών, σχεδόν το ένα στα πέντε σπίτια διαθέτει κάποιο με ηλικία άνω των δεκαπέντε ετών. Εάν ληφθούν υπόψιν αποκλειστικά οι κατοικίες των θερμών κλιμάτων, το ποσοστό αυτό περιορίζεται δίχως όμως να είναι αμελητέο. Συνεπώς, γίνεται αντιληπτή η σημασία αντικατάστασης των παλιών συστημάτων ψύξης με νεότερης τεχνολογίας, προκειμένου να αυξηθεί η απόδοση και κατ' επέκταση να ενισχυθεί η ανθεκτικότητα του κτιρίου σε φαινόμενα καύσωνα. Επίσης, ο πίνακας 26 καθιστά εμφανή την ανάγκη για πιο ευρεία εγκατάσταση και χρησιμοποίηση δευτερευόντων συστημάτων ψύξης, καθώς αυτά προσδίδουν σημαντικά οφέλη αντίστοιχα με αυτά των δευτερευόντων συστημάτων θέρμανσης. Από το σύνολο των κατοικιών που διαθέτουν κάποιο κύριο σύστημα ψύξης, μόλις το 8,5% διαθέτει και δευτερεύον. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ο εξαιρετικά σημαντικός ρόλος που διαθέτουν οι ανεμιστήρες στην ψύξη των κατοικιών, αφού το 72,4% διαθέτει έστω έναν ανεμιστήρα οροφής και το 44% έστω έναν δαπέδου ή παραθύρου.

Κατόπιν των ανωτέρω, το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι οι προσπάθειες για την βελτίωση της προσαρμοστικότητας των κτιρίων θα πρέπει να ενταθούν άμεσα, διότι οι ταχύτατοι ρυθμοί της κλιματικής αλλαγής αναμένεται να φέρουν στην επιφάνεια ακόμη πιο ισχυρές προκλήσεις οι οποίες θα προκαλέσουν όξυνση των ήδη σημαντικών φαινομένων ενεργειακής φτώχειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η διασφάλιση της ανθρώπινης υγείας, του πιο σημαντικού αγαθού στη ζωή, θα πρέπει να τίθεται ως βασική αρχή και προτεραιότητα σε οποιαδήποτε δράση πραγματοποιείται. Λόγω του γεγονότος ότι ο άνθρωπος διανύει τις περισσότερες ώρες της καθημερινότητάς του στο εσωτερικό κτιρίων, καθίσταται προφανής η ανάγκη για την εξασφάλιση συνθηκών θερμικής άνεσης, αλλά και ενός υψηλού βαθμού προστασίας που θα ευνοούν την υγεία, την ευημερία του και θα προσδίδουν το αίσθημα ασφάλειας όταν βρίσκεται στο εσωτερικό τους. Τα όλο και πιο έντονα καιρικά φαινόμενα που παρατηρούνται στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής θέτουν ισχυρές προκλήσεις στην προσαρμοστικότητα των κτιρίων στο κλίμα. Βάσει της ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε στα κεφάλαια 3 και 4 καθίσταται σαφές ότι η επίτευξη μίας υψηλής ανθεκτικότητας των κτιρίων στο κλίμα απαιτεί το συνδυασμό μία πληθώρας ορθών αρχιτεκτονικών και κατασκευαστικών επιλογών. Προκειμένου να διασφαλιστεί ένας αποτελεσματικός και καθολικός περιορισμός των κινδύνων, είναι σημαντικό να δίνεται πρόσθετη προσοχή στη δημιουργία των επιθυμητών συνθηκών για τις ευπαθείς ομάδες και γενικότερα για τα άτομα κάθε ηλικίας, φυσικής ικανότητας και οικονομικής επιφάνειας.

Κατά την ανέγερση ή την ανακαίνιση ενός κτιρίου, απαραίτητη προϋπόθεση για να θεωρηθεί ορθή η μελέτη κατασκευής του, αποτελεί το να συμπεριληφθούν μέτρα αντιμετώπισης όχι μόνο των παρούσων προκλήσεων, αλλά και πιθανών μελλοντικών. Ο σχεδιασμός προσαρμοσίμων κτιρίων για ένα αβέβαιο μέλλον είναι και το πιο απαιτητικό στάδιο της μελέτης κατασκευής. Οι αποφάσεις που λαμβάνονται κατά τη μελέτη αυτή θα έχουν αντίκτυπο για όλη τη διάρκεια της ζωής του κτιρίου. Για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας των κτιρίων στα προβλεπόμενα φαινόμενα κλιματικής αλλαγής συνιστάται και η παράλληλη λήψη μέτρων που δε σχετίζονται με την κατασκευή τους. Η φύτευση δέντρων και ο σχεδιασμός χώρων πρασίνου για παροχή σκιάς και ψύξης στο θερμότερο κλίμα του μέλλοντος αποτελεί ένα από τα μέτρα αυτής της κατηγορίας που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 3.

Βάσει του περιεχομένου των προηγούμενων ενοτήτων, καθίσταται σαφής η ύπαρξη μίας μεγάλης ποικιλίας υλικών, κατασκευαστικών προσεγγίσεων και δεξιοτήτων. Απαραίτητη προϋπόθεση για να γίνουν οι σωστές επιλογές κατά τη μελέτη κατασκευής αποτελεί η κατάλληλη προσαρμογή στο εκάστοτε τοπικό πλαίσιο. Αυτό δεν αφορά μόνο τον ορθό σχεδιασμό των εξωτερικών γωνιών σκίασης ή της προεξοχής της οροφής με βάση την απόσταση από τον ισημερινό, αλλά και τη λήψη αποφάσεων βάσει των τοπικών συνθηκών εργασίας, της υγείας του τοπικού οικοσυστήματος και της διαθεσιμότητας υλικών. Επίσης, η παροχή της κατάλληλης εκπαίδευσης και η ανάπτυξη δεξιοτήτων των κοινοτήτων σχετικά με τους τρόπους αξιοποίησης των τοπικών και των νέων προϊόντων συνεπάγονται τη μείωση της ευπάθειας. Είναι σημαντικό να γίνουν μελέτες και εκτιμήσεις σχετικά με το πως η τοπική διαθεσιμότητα ορισμένων φυσικών υλικών μπορεί να μεταβληθεί λόγω της ζήτησης ή του θερμαινόμενου κλίματος.

Απαραίτητη προϋπόθεση για την αποτελεσματική ενίσχυση της κλιματικής ανθεκτικότητας των κτιρίων αποτελεί η προώθηση ενός ευνοϊκού περιβάλλοντος από τις εκάστοτε κυβερνήσεις για την εφαρμογή των κατάλληλων μέτρων προσαρμογής στον κατασκευαστικό τομέα. Η επίτευξη του στόχου αύξησης της προσαρμοστικότητας δεν είναι εφικτή χωρίς τις ανάλογες προθέσεις των κυβερνήσεων να προβούν σε αλλαγές στα κτιριακά πρότυπα και να προωθήσουν τόσο την κατάρτιση δεξιοτήτων στον κατασκευαστικό τομέα, όσο και την ευαισθητοποίηση σχετικά με τους κινδύνους. Ο κύριος τρόπος για να επιδειχθεί η ηγετική θέση και να υποστηριχθεί η μείωση των κινδύνων στα κτίρια είναι η αναθεώρηση των κωδίκων δόμησης από το κράτος. Κατά την αναθεώρηση των υφιστάμενων ή την υιοθέτηση νέων κωδίκων δόμησης, πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν αμφότερα ο τρόπος κατασκευής των κτιρίων, συμπεριλαμβανομένων των χρησιμοποιούμενων υλικών και του σχεδιασμού του χώρου, και τα συστήματα εξοπλισμού. Οι νέοι οικοδομικοί κώδικες δε θα πρέπει να βασίζονται μόνο στα κλιματικά δεδομένα του παρελθόντος, αλλά και στις κλιματικές εκτιμήσεις του μέλλοντος, διασφαλίζοντας την ικανότητα των κτιρίων να προσαρμοστούν στο μεταβαλλόμενο κλίμα. Οι κώδικες αυτοί θα πρέπει να διδάσκονται ευρέως, αλλά και να επιβάλλονται μέσω επιθεωρήσεων. Πιο συγκεκριμένα, θα ήταν ωφέλιμο να τεθούν σε εφαρμογή υποστηρικτικές πολιτικές και πρακτικές, όπως είναι οι τεχνικές αναθεωρήσεις και η επιβολή προστίμων.

Στην προσπάθεια ενίσχυσης της κλιματικής ανθεκτικότητας των κτιρίων, εξίσου σημαντικός παράγοντας με τη λήψη των κατάλληλων μέτρων από το κράτος, είναι και η ενίσχυση της τοπικής γνώσης μέσω της εκπαίδευσης των μελών της κοινότητας. Συχνά αναφέρεται ότι η βασική αιτία αποτυχίας των κτιρίων των αναπτυσσόμενων χωρών να ανταπεξέλθουν στα έντονα κλιματικά φαινόμενα είναι το γεγονός ότι οι συγκεκριμένες χώρες έχουν περιορισμένη πρόσβαση σε αρκετά οικοδομικά υλικά. Ωστόσο, σε αρκετές περιπτώσεις, οι βασικοί λόγοι είναι η κακή εφαρμογή τεχνικών, η λάθος αξιοποίηση των υλικών και οι επιθεωρήσεις από άτομα ελλιπούς εκπαίδευσης. Καθίσταται, λοιπόν, σαφές ότι ο μονόδρομος για τη μείωση της ευπάθειας των κτιρίων είναι η σύζευξη της διεθνούς υποστήριξης, μέσω της χορήγησης των κατάλληλων υλικών και τεχνολογιών όπου αυτό είναι απαραίτητο, με τη σωστή εκπαίδευση για την ανάπτυξη τεχνογνωσίας και δεξιοτήτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] De Wilde, P. and D. Coley, The implications of a changing climate for buildings. 2012
- [2] Ιστοσελίδα Wikipedia, <https://www.wikipedia.org/>
- [3] Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ΟΔΗΓΙΑ (ΕΕ) 2018/844 ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 30ής Μαΐου 2018 για την τροποποίηση της οδηγίας 2010/31/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων και της οδηγίας 2012/27/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση, 2018
- [4] Thomas Herzog: "Architecture and Technology", Prestel, Hardcover , May, 2002
- [5] Rachel Einecker and Andrew Kirby, Climate Change: A Bibliometric Study of Adaptation, Mitigation and Resilience, 2020
- [6] Albers, R.A.W., Bosch, P.R., Blocken, B., van den Dobbelen, A.A.J.F., van Hove, L.W.A., Spit, T.J.M., van de Ven, F., van Hooff, T. and Rovers, V., Overview of challenges and achievements in the climate adaptation of cities and in the Climate Proof Cities program. Building and Environment, 2015
- [7] Lomas, K.J. and Giridharan, R., Thermal comfort standards, measured internal temperatures and thermal resilience to climate change of free-running buildings: A case study of hospital wards. Building and Environment, 2012
- [8] Coley, D. and Kershaw, T., Changes in internal temperatures within the built environment as a response to a changing climate. Building and Environment, 2010
- [9] Short, C.A., Lomas, K.J., Giridharan, R. and Fair, A.J., Building resilience to overheating into 1960's UK hospital buildings within the constraint of the national carbon reduction target: Adaptive strategies. Building and Environment, 2012
- [10] Trebilcock-Kelly, M., Soto-Muñoz, J. and Marín-Restrepo, L., Adaptive thermal comfort for resilient office buildings. Journal of Physics: Conference Series, 2019
- [11] Daniel Feldmeyer, Daniela Wilden, Christian Kind, Theresa Kaiser, Rüdiger Goldschmidt, Christian Diller and Jörn Birkmann, 2019

- [12] Reardon, C. and D. Clarke, Passive design: Passive cooling. Passive Design, 2013
- [13] Rupperta, K., et al, Passive Solar Orientation, 2015
- [14] CLEAR, Comfortable Low Energy Architecture, 2020
- [15] Nguyen, A.-T., et al., An investigation on climate responsive design strategies of vernacular housing in Vietnam. Building and Environment, 2011
- [16] Anangpur Building Centre, Juanapur Slum Resettlement, 2013
- [17] CPWD, Integrated Green Design for Urban & Rural Buildings in Hot-Dry Climate Zone, 2013
- [18] Williams, K., et al., Suburban Neighbourhood Adaptation for a Changing Climate (SNACC) Final Report, 2012
- [19] Good Homes Alliance, OVERHEATING IN NEW HOMES: Tool and guidance for identifying and mitigating early stage overheating risks in new homes, 2019
- [20] Pratiwi, R.D., I.S. Fatimah and A. Munandar, Spatial planning for green infrastructure in Yogyakarta City based on land surface temperature. in IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018
- [21] Priya, R.S., et al., Solar passive techniques in the vernacular buildings of coastal regions in Nagapattinam, TamilNadu-India—aqualitative and quantitative analysis. Energy and buildings, 2012
- [22] McGee, C., C. Reardon and D. Clarke, Passive Design: orientation. Australian Government, 2013
- [23] Benhammou, M., et al., Performance analysis of an earth-to-air heat exchanger assisted by a wind tower for passive cooling of buildings in arid and hot climate. Energy conversion and management, 2015
- [24] Dehghani-sanij, A.R., M. Soltani, and K. Raahemifar, A new design of wind tower for passive ventilation in buildings to reduce energy consumption in windy regions. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015
- [25] Kamal, M.A., An overview of passive cooling techniques in buildings: Design concepts and architectural interventions. Acta Technica Napocensis: Civil Engineering & Architecture, 2012

- [26] Ouedraogo, B.I., G.J. Levermore and J.B. Parkinson, Future energy demand for public buildings in the context of climate change for Burkina Faso. *Building and Environment*, 2012
- [27] Bureau of Indian Standards, National Building Code of India, 2016
- [28] Overbey, D., Gauging the Impact of Exterior Shading using the Projection Factor, in *The BE Blog*, 2019
- [29] BEEP, Energy Conservation building code for residential buildings, 2017
- [30] Al-Obaidi, K., M. Ismail, and A. Rahman, Passive cooling techniques through reflective and radiative roofs in tropical houses in Southeast Asia: A literature review. *Frontiers of Architectural Research*, 2014
- [31] Indraganti, M., Behavioural adaptation and the use of environmental controls in summer for thermal comfort in apartments in India. *Energy and buildings*, 2010
- [32] Fouvret, C., Heatwaves and cool roofs - Reimagining concrete solutions to a rising urban problem, in *Shashwat Magazine*, 2017
- [33] Nayak, J.K. and J.A. Prajapati, Handbook on energy conscious buildings for climates in Indian context, MNRE, Editor, 2006
- [34] Gupta, R. and M. Gregg, Preventing the overheating of English suburban homes in a warming climate. *Building Research & Information*, 2013
- [35] BEE, Energy Conservation Building Code (ECBC) 2017, in *Compliance & Approach*, 2017
- [36] Agurto, L., et al., Design and experimental study of a low-cost prefab Trombe wall to improve indoor temperatures in social housing in the Biobío region in Chile. *Solar Energy*, 2020
- [37] Zhang, H. and H. Shu, A Comprehensive Evaluation on Energy, Economic and Environmental Performance of the Trombe Wall during the Heating Season. *Journal of Thermal Science*, 2019
- [38] Dabaieh, M. and A. Elbably, Ventilated Trombe wall as a passive solar heating and cooling retrofitting approach; a low-tech design for off-grid settlements in semi-arid climates. *Solar Energy*, 2015

- [39] Uthpala Rathnayake, Denvid Lau and Cheuk Lun Chow, Review on Energy and Fire Performance of Water Wall Systems as a Green Building Façade, 2020
- [40] Chung, L.P., et al., Effective Solar Chimney Cross Section Ventilation Performance in Malaysia Terraced House. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 2015
- [41] Aboulnaga, M.M., A roof solar chimney assisted by cooling cavity for natural ventilation in buildings in hot arid climates: An energy conservation approach in Al-Ain city. Renewable Energy, 1998
- [42] IGBC, IGBC Rating System for Green Affordable Housing Pilot Version, 2017
- [43] AAAMSA, The Guide to Energy Efficient Thermal Insulation in Buildings, 2010
- [44] Oliveira, R.D., et al., Concrete Walls Thermal Performance Analysis by Brazilian Standards. Energy Procedia, 2015
- [45] Caleb, P.R., et al., Mainstreaming Sustainable Social Housing in India Project MaS-SHIP: Technical Report WP 4, 2019
- [46] Sinha, S., Architecture for rapid change and scarce resources, 2012
- [47] Ιστοσελίδα U.S. Energy Information Administration, <https://www.eia.gov/>