



«Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών και Βιώσιμου
Σχεδιασμού»

«Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών
Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός (ΠΣΧ)»

Διπλωματική Εργασία

«Ανασχεδιασμός υφιστάμενου σχολικού κτιρίου με αρχές
βιοκλιματικού σχεδιασμού και βιώσιμης αρχιτεκτονικής:
Αρχές βιώσιμου σχεδιασμού και ενεργειακής αναβάθμισης»

Ελευθερία Συλεούνη

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Γιάνναρου Σοφία

Πάτρα, Ιούλιος 2026

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

«Ανασχεδιασμός υφιστάμενου σχολικού κτιρίου με αρχές
βιοκλιματικού σχεδιασμού και βιώσιμης αρχιτεκτονικής: Αρχές
βιώσιμου σχεδιασμού και ενεργειακής αναβάθμισης»

Ελευθερία Συλεούνη

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Γιάνναρου Σοφία

Δρ. Πολιτικός Μηχανικός – Δασολόγος
Μεταδιδακτορική Ερευνήτρια ΕΑΠ

Συν-Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Χατζηδημητρίου Αγγελική

«Δρ. Αρχιτέκτων Μηχανικός - Επίκουρη
Καθηγήτρια Πανεπιστημίου Πατρών»

Πάτρα, Ιούλιος 2026

Αρχικά, θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες στην επιβλέπουσα Καθηγήτρια, κ. Σοφία Γιάνναρου που χωρίς την αμέριστη βοήθεια και συμπαράσταση της δε θα είχε υλοποιηθεί η παρούσα διπλωματική εργασία.

Ευχαριστώ από καρδιάς τους γονείς μου, Ιωάννη και Αθανασία, τον αδερφό μου Γιώργο, και κυρίως τον αγαπημένο μου σύζυγο Βαγγέλη, που μου προσέφεραν την αμέριστη ηθική συμπαράσταση, κατανόηση και στήριξη ώστε να φέρω σε πέρας τη διπλωματική μου εργασία καθώς και τον παππού μου Φώτη που «έχασα» στη πορεία. Τέλος, αλλά και πιο σημαντικό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον πιο πολύτιμο άνθρωπο της ζωής μου, τον υιό μου Θεμιστοκλή που αποτέλεσε πηγή δύναμης και έμπνευσης σε αυτή την προσπάθεια.

Στον Θεμιστοκλή μου!

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται τον βιοκλιματικό ανασχεδιασμό υφιστάμενων σχολικών κτιρίων, εξετάζοντας την αξιοποίηση των αρχών του βιοκλιματικού σχεδιασμού και της βιώσιμης αρχιτεκτονικής για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος και της συνολικής λειτουργικότητας των εκπαιδευτικών εγκαταστάσεων. Βασικός στόχος της έρευνας είναι η διαμόρφωση μιας δομημένης μεθοδολογίας αξιολόγησης και βιοκλιματικού ανασχεδιασμού υφιστάμενων σχολικών μονάδων, καθώς και η ανάπτυξη ενός Οδηγού εφαρμογής της προτεινόμενης μεθοδολογίας, ο οποίος περιγράφει με συστηματικό τρόπο τα διαδοχικά στάδια αξιολόγησης, λήψης αποφάσεων και σχεδιασμού των προτεινόμενων βιοκλιματικών παρεμβάσεων. Η προτεινόμενη μεθοδολογία εφαρμόζεται και τεκμηριώνεται μέσω της μελέτης περίπτωσης του 12ου Δημοτικού Σχολείου Λαμίας. Η θεωρητική προσέγγιση βασίζεται στη διερεύνηση των αρχών του βιοκλιματικού σχεδιασμού, των στρατηγικών βιώσιμης αρχιτεκτονικής και των σύγχρονων απαιτήσεων ενεργειακής αναβάθμισης εκπαιδευτικών κτιρίων, όπως αυτές αποτυπώνονται στη διεθνή και ελληνική βιβλιογραφία.

Στο ερευνητικό μέρος πραγματοποιείται συστηματική ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης του σχολικού συγκροτήματος μέσω της καταγραφής των κλιματικών, λειτουργικών και κατασκευαστικών χαρακτηριστικών του κτιρίου, καθώς και της αξιολόγησης της θερμικής άνεσης, του φυσικού φωτισμού, του φυσικού αερισμού και της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος. Η ερευνητική διαδικασία υποστηρίζεται από τη χρήση δομημένου ερωτηματολογίου που απευθύνεται αποκλειστικά στους εκπαιδευτικούς της σχολικής μονάδας, με σκοπό τη διερεύνηση της εμπειρίας των καθημερινών χρηστών και την τεκμηρίωση των αναγκών βελτίωσης του σχολικού περιβάλλοντος.

Με βάση τα αποτελέσματα της θεωρητικής διερεύνησης και της ανάλυσης της μελέτης περίπτωσης, διαμορφώνεται ολοκληρωμένη πρόταση βιοκλιματικού ανασχεδιασμού, η οποία περιλαμβάνει παρεμβάσεις στο κτιριακό κέλυφος, στα ανοίγματα και στα συστήματα σκίασης, στον φυσικό αερισμό και τον παθητικό δροσισμό, στα δώματα, καθώς και στον περιβάλλοντα χώρο. Η αποτελεσματικότητα των προτεινόμενων παρεμβάσεων αξιολογείται μέσω συγκριτικής ανάλυσης της υφιστάμενης και της

προτεινόμενης κατάστασης, αναδεικνύοντας τις αναμενόμενες βελτιώσεις ως προς την ενεργειακή συμπεριφορά, την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος, τη λειτουργικότητα και τις συνθήκες άνεσης των χρηστών. Παράλληλα, η εργασία δεν περιορίζεται στη διατύπωση μιας αρχιτεκτονικής πρότασης για μία συγκεκριμένη σχολική μονάδα, αλλά αναπτύσσει μία δομημένη μεθοδολογία αξιολόγησης και βιοκλιματικού ανασχεδιασμού, συνοδευόμενη από ερευνητικά εργαλεία και πρωτόκολλα εφαρμογής, τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν σε αντίστοιχες μελέτες υφιστάμενων σχολικών κτιρίων. Η έρευνα καταλήγει στη διαμόρφωση ενός Οδηγού εφαρμογής της προτεινόμενης μεθοδολογίας, ο οποίος συνθέτει τα θεωρητικά δεδομένα, τα ερευνητικά εργαλεία και τα αποτελέσματα της μελέτης περίπτωσης σε ένα ενιαίο και πρακτικά αξιοποιήσιμο μεθοδολογικό πλαίσιο. Με τον τρόπο αυτό, η εργασία συμβάλλει στην προώθηση του βιοκλιματικού σχεδιασμού στην εκπαιδευτική αρχιτεκτονική και στη διαμόρφωση μιας επιστημονικά τεκμηριωμένης μεθοδολογικής προσέγγισης για την αξιολόγηση και τη βιώσιμη αναβάθμιση του υφιστάμενου σχολικού κτιριακού αποθέματος.

Λέξεις – Κλειδιά

Βιοκλιματικός σχεδιασμός, Ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίου, Αειφορία, Εξοικονόμηση ενέργειας, Βιώσιμη αρχιτεκτονική, «Πράσινες» Υποδομές

«Redesign of a school building following bioclimatic and sustainable architecture principles:

Sustainable Design and Energy Efficiency Strategies»

Eleftheria Syleouni

Abstract

This master's thesis investigates the bioclimatic redesign of existing school buildings by examining the application of bioclimatic design principles and sustainable architectural strategies to improve energy performance, indoor environmental quality, and the overall functionality of educational facilities. The primary objective of the research is to develop a structured methodology for the evaluation and bioclimatic redesign of existing school buildings, together with the development of an Application Guide for the proposed methodology, which systematically describes the successive stages of assessment, decision-making, and the design of the proposed bioclimatic interventions. The proposed methodology is applied and documented through the case study of the 12th Primary School of Lamia, Greece. The theoretical framework is based on the investigation of the fundamental principles of bioclimatic design, sustainable architectural strategies, and contemporary approaches to the energy upgrading of educational buildings, as presented in both the international and the Greek scientific literature.

The research component includes a systematic assessment of the existing condition of the school building through the documentation of its climatic, functional, and construction characteristics, as well as the evaluation of thermal comfort, daylight availability, natural ventilation, and indoor environmental quality. The research process is supported by a structured questionnaire addressed exclusively to the teaching staff of the school, aiming to investigate the experiences of the building's daily users and to identify the needs for improving the indoor educational environment.

Based on the findings of the theoretical investigation and the case study analysis, an integrated bioclimatic redesign proposal is developed, including interventions to the building envelope, building openings and solar shading systems, natural ventilation and passive cooling strategies, roof systems, as well as the surrounding outdoor environment. The effectiveness of the proposed interventions is evaluated through a comparative assessment of the existing and the proposed conditions, highlighting the expected improvements in energy performance, indoor environmental quality, building functionality, and occupants' comfort conditions.

Furthermore, the study is not limited to the development of an architectural proposal for a single school building but also establishes a structured methodology for the evaluation and bioclimatic redesign of existing school facilities, supported by research tools and implementation protocols that may be utilized in similar studies of existing educational buildings. The research culminates in the development of an Application Guide for the proposed methodology, integrating the theoretical background, research instruments, and findings of the case study into a unified and practically applicable methodological framework. In this way, the thesis contributes to the advancement of bioclimatic design in educational architecture while providing a scientifically documented methodological approach for the evaluation and sustainable upgrading of the existing school building stock.

Keywords

Bioclimatic design, Energy renovation, Sustainable, Energy Conservation, Sustainable architecture, Green infrastructure

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	v
Abstract	vii
Περιεχόμενα	ix
Κατάλογος Διαγραμμάτων.....	xi
Κατάλογος Πινάκων	xiii
Συντομογραφίες & Ακρωνύμια.....	xiv
Highlights.....	xv
Συνεισφορά εργασίας.....	xvi
1. Θεωρητικό υπόβαθρο – Βιοκλιματικός σχεδιασμός.....	1
1.1 Βασικές αρχές και στόχοι του βιοκλιματικού σχεδιασμού	5
1.1.1. Κλιματικοί παράγοντες και περιβαλλοντικές συνθήκες που επηρεάζουν τα κτίρια.....	8
1.1.2. Εφαρμογή της βιώσιμης αρχιτεκτονικής στις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού.....	10
1.1.3. Ενεργειακή κατανάλωση κτιρίου	12
1.1.4. Μέθοδοι εξοικονόμησης ενέργειας.....	13
1.1.5. Θεμελιώδεις νόμοι του βιοκλιματικού σχεδιασμού των ελληνικών σχολικών υποδομών	16
2. Βιώσιμη αρχιτεκτονική & αρχές βιώσιμου σχεδιασμού.....	18
2.1. Η βιωσιμότητα στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό	20
2.1.1. Μέθοδοι μείωσης του περιβαλλοντικού αποτυπώματος στα κτίρια.....	21
2.1.2. Διεθνή και Ελληνικά πρότυπα, κανονισμοί και συστήματα περιβαλλοντικής αξιολόγησης	23
3. Παρουσίαση & ανάλυση υφιστάμενου σχολικού κτιρίου	26
3.1. Γενικά στοιχεία κτιρίου	26
3.1.1. Καταγραφή και ανάλυση κλιματικών και περιβαλλοντικών συνθηκών	27
3.1.2. Χωροθέτηση και ηλιακός προσανατολισμός του κτιρίου	30
3.1.3. Υλικά δόμησης και χαρακτηριστικά του κτιριακού κελύφους.....	32
3.1.4. Καταγραφή και ανάλυση των ενεργειακών απαιτήσεων των χρηστών	33
3.1.5. Καταγραφή των υφιστάμενων συνθηκών θερμικής άνεσης.....	37
3.1.6. Καταγραφή των υφιστάμενων συνθηκών φυσικού φωτισμού	42
3.1.7. Καταγραφή των υφιστάμενων συνθηκών φυσικού αερισμού	44
3.2. Συνολική αξιολόγηση υφιστάμενης κατάστασης και σύνθεση ευρημάτων.....	46
4. Βιοκλιματικές παρεμβάσεις – Ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίου	49
4.1. Εισαγωγή – Σκοπός και λογική των παρεμβάσεων.....	49
4.1.1. Μεθοδολογική σύνδεση παρεμβάσεων με τα ευρήματα του Κεφαλαίου 3.....	55
4.1.2. Παρεμβάσεις στο κτιριακό κέλυφος.....	64
4.1.3. Συστήματα και έλεγχος ηλιακής ακτινοβολίας	69
4.1.4. Βελτιστοποίηση φυσικού φωτισμού και οπτικής άνεσης.....	75
4.1.5. Φυσικός αερισμός, ποιότητα αέρα και παθητικός δροσισμός.....	79
4.1.6. Παρεμβάσεις στον περιβάλλοντα χώρο και βελτίωση μικροκλίματος.....	88
4.1.7. Αναβάθμιση ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων και ενεργειακών συστημάτων	96

4.1.8.	Συγκριτική ανάλυση σεναρίων βιοκλιματικής αναβάθμισης	99
4.1.9.	Συνολική στρατηγική αναβάθμισης και σύνδεση με το Κεφάλαιο 5	102
5.	Αρχιτεκτονική πρόταση βιοκλιματικού ανασχεδιασμού και αξιολόγηση	107
5.1.	Συνθετική σχεδιαστική προσέγγιση	107
5.2.	Αρχιτεκτονική σύνθεση & Βιοκλιματική οργάνωση	109
5.2.1	Χωροταξική οργάνωση και λειτουργική αναδιάρθρωση	114
5.2.2.	Βιοκλιματική αναβάθμιση του κτιριακού κελύφους.....	120
5.2.3.	Αναβάθμιση θερμικής προστασίας εξωτερικών τοιχοποιιών	122
5.2.4.	Βιοκλιματικός σχεδιασμός ανοιγμάτων και συστημάτων σκίασης	124
5.2.5.	Ενίσχυση φυσικού αερισμού και παθητικού δροσισμού	126
5.2.6.	Αναβάθμιση δωμάτων και διαχείριση ηλιακής ακτινοβολίας	128
5.2.7.	Συμβολή του κελύφους στη βελτίωση της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος (Indoor Environmental Quality – IEQ)	130
5.3.	Αξιολόγηση της βιοκλιματικής πρότασης.....	132
5.3.1.	Συγκριτική αξιολόγηση της υφιστάμενης και της προτεινόμενης κατάστασης	136
5.3.2.	Συζήτηση των αποτελεσμάτων	138
5.3.3.	Πιθανές θεωρητικές ή/και πρακτικές εφαρμογές των αποτελεσμάτων της εργασίας	139
5.3.4.	Περιορισμοί της παρούσας μελέτης και δυνατότητες μελλοντικής εφαρμογής της προτεινόμενης μεθοδολογίας.....	143
5.4.	Συμπεράσματα Κεφαλαίου.....	144
6.	Συζήτηση.....	146
6.1.	Απάντηση στα Ερευνητικά Ερωτήματα	146
6.2.	Αναπάντητα Ερωτήματα & Αδυναμίες Εργασίας.....	147
6.3.	Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα	148
6.4.	Θεωρητικές Εφαρμογές και Πρακτικές Εφαρμογές Αποτελεσμάτων	148
	Συμπεράσματα	150
	Βιβλιογραφικές Αναφορές	151
	Παραρτήματα	166
	Παράρτημα Α: Ερωτηματολόγιο αξιολόγησης σχολικού περιβάλλοντος από εκπαιδευτικούς	166
	Παράρτημα Β: Δελτίο αρχιτεκτονικής και περιβαλλοντικής αυτοψίας σχολικής μονάδας	170
	Παράρτημα Γ: Οδηγός εφαρμογής της προτεινόμενης μεθοδολογίας αξιολόγησης και βιοκλιματικού ανασχεδιασμού υφιστάμενων σχολικών μονάδων.....	173
	Παράρτημα Δ: Πρωτόκολλο πολλαπλών κριτηρίων βιοκλιματικής αξιολόγησης υφιστάμενων σχολικών κτιρίων	175

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 3.1: Μέση μηνιαία θερμοκρασία Λαμίας.....	29
Διάγραμμα 3.2: Κατανομή ενεργειακών απαιτήσεων	37
Διάγραμμα 3.3: Σύγκριση θερμικής άνεσης	40
Διάγραμμα 4.1: Μεθοδολογική αλυσίδα βιοκλιματικού ανασχεδιασμού.....	52
Διάγραμμα 4.2: Τοπογραφικό διάγραμμα - Διάγραμμα ηλιασμού (πηγή σχεδίων ΥΔΟΜ Λαμιέων Ο.Α. 503/9-6-1989, ίδια επεξεργασία με Autocad Architecture)	53
Διάγραμμα 4.3: Διάγραμμα θερμικών αδυναμιών στις όψεις του σχολείου (πηγή σχεδίων ΥΔΟΜ Λαμιέων Ο.Α. 503/9-6-1989, ίδια επεξεργασία με Autocad Architecture)	56
Διάγραμμα 4.4: Διάγραμμα ανάλυσης φωτισμού στο ισόγειο του σχολείου (πηγή σχεδίων ΥΔΟΜ Λαμιέων Ο.Α. 503/9-6-1989, ίδια επεξεργασία με Autocad Architecture)	57
Διάγραμμα 4.5: Διάγραμμα ανάλυσης φωτισμού στον Ά όροφο του σχολείου (πηγή σχεδίων ΥΔΟΜ Λαμιέων Ο.Α. 503/9-6-1989, ίδια επεξεργασία με Autocad Architecture)	58
Διάγραμμα 4.6: Διάγραμμα φυσικού αερισμού στο ισόγειο του σχολείου (πηγή σχεδίων ΥΔΟΜ Λαμιέων Ο.Α. 503/9-6-1989, ίδια επεξεργασία με Autocad Architecture)	59
Διάγραμμα 4.7: Διάγραμμα φυσικού αερισμού στον Ά όροφο του σχολείου (πηγή σχεδίων ΥΔΟΜ Λαμιέων Ο.Α. 503/9-6-1989, ίδια επεξεργασία με Autocad Architecture)	60
Διάγραμμα 4.8: Διάγραμμα παρεμβάσεων στο κτιριακό κέλυφος (ιδία δημιουργία με CorelDRAW και Photoshop)	67
Διάγραμμα 4.9: Συστήματα σκίασης – τυπολογίες & στρατηγικές εφαρμογής (ιδία δημιουργία με CorelDRAW και Photoshop)	71
Διάγραμμα 4.10: Φύτευση ως φυσικό σύστημα σκίασης & βιοκλιματικής βελτίωσης (ιδία δημιουργία με CorelDRAW και Photoshop)	73
Διάγραμμα 4.11: Στρατηγικές βελτιστοποίησης φυσικού φωτισμού (ιδία δημιουργία με CorelDRAW και Photoshop)	77
Διάγραμμα 4.12: Στρατηγικές φυσικού αερισμού & παθητικού δροσισμού (ιδία δημιουργία με CorelDRAW και Photoshop)	81
Διάγραμμα 4.13: Συσχέτιση φυσικού αερισμού - ποιότητας αέρα – θερμικής άνεσης – μαθησιακής απόδοσης (ιδία δημιουργία με CorelDRAW και Photoshop).....	83
Διάγραμμα 4.14: Νυχτερινός αερισμός και αποφόρτιση θερμικής μάζας (ιδία δημιουργία με CorelDRAW και Photoshop)	85
Διάγραμμα 4.15: Μεθοδολογική σύνδεση παρεμβάσεων φυσικού αερισμού με τα ευρήματα του Κεφ. 3 (ιδία δημιουργία με CorelDRAW και Photoshop).....	87
Διάγραμμα 4.16: Στρατηγικές βελτίωσης μικροκλίματος στον περιβάλλοντα χώρο σχολικού κτιρίου (ιδία δημιουργία με CorelDRAW και Photoshop)	91
Διάγραμμα 4.17: Συσχέτιση περιβάλλοντος χώρου – μικροκλίματος – θερμικής άνεσης – IEQ (ιδία δημιουργία με CorelDRAW και Photoshop)	93
Διάγραμμα 4.19: Συγκριτική αξιολόγηση σεναρίων βιοκλιματικής αναβάθμισης σχολικού κτιρίου	101
Διάγραμμα 4.20: Συνοπτικό ολοκληρωμένο μοντέλο βιοκλιματικών στρατηγικών αναβάθμισης και μετάβαση στην αρχιτεκτονική σύνθεση (ιδία δημιουργία με Blender, CorelDRAW και Photoshop)	105

Διάγραμμα 5.1: Ολοκληρωμένο μοντέλο αρχιτεκτονικής σύνθεσης και βιοκλιματικού ανασχεδιασμού του εξεταζόμενου σχολικού κτιρίου (ιδία δημιουργία με Blender, CorelDRAW και Photoshop)	112
Διάγραμμα 5.2.: Χωροταξική οργάνωση και λειτουργική αναδιάρθρωση της προτεινόμενης βιοκλιματικής επέμβασης (ιδία δημιουργία με Blender, CorelDRAW και Photoshop).....	118
Διάγραμμα 5.3: Μεθοδολογικό πλαίσιο αξιολόγησης της προτεινόμενης βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής παρέμβασης (ιδία δημιουργία με CorelDRAW και Photoshop).....	134
Διάγραμμα 5.4: Προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο αξιολόγησης και βιοκλιματικού ανασχεδιασμού υφιστάμενων σχολικών μονάδων (ιδία δημιουργία με CorelDRAW και Photoshop).....	141

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 3.1: Μέσες κλιματικές συνθήκες Λαμίας	29
Πίνακας 3.2: Σύνδεση κλίματος με στρατηγικές σχεδιασμού	30
Πίνακας 3.3: Καταγραφή ενεργειακών απαιτήσεων ανά κατηγορία χρήσης	35
Πίνακας 3.4: Ιεράρχηση ενεργειακών απαιτήσεων χρηστών	36
Πίνακας 3.5: Συσχέτιση παραγόντων που επηρεάζουν την θερμική άνεση	38
Πίνακας 3.6: Αξιολόγηση θερμικής άνεσης ανά εποχή.....	39
Πίνακας 3.7: Θερμική διάγνωση ανά πρόβλημα	41
Πίνακας 3.8: Παράγοντες που επηρεάζουν τον φυσικό φωτισμό.....	42
Πίνακας 3.9: Παράγοντες που επηρεάζουν τον φυσικό αερισμό	44
Πίνακας 3.10: Συνολική αξιολόγηση υφιστάμενης κατάστασης σχολικού κτιρίου	47
Πίνακας 3.11: Βαθμολόγηση IEQ.....	48
Πίνακας 4.1: Αξιοποίηση σχεδίων αποτύπωσης κτιρίου & οικοπέδου στη λογική των παρεμβάσεων	51
Πίνακας 4.2: Συσχέτιση αρχιτεκτονικών σχεδίων και περιβαλλοντικής ανάλυσης	55
Πίνακας 4.3: Μεθοδολογικό πλαίσιο αλληλεπίδρασης ενεργειακών απαιτήσεων χρηστών (συσχέτιση ενεργειακών απαιτήσεων, κτιριακού κελύφους, ενεργειακής κατανάλωσης και ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος IEQ)	62
Πίνακας 4.4: Μεθοδολογική σύνδεση ευρημάτων και παρεμβάσεων.....	63
Πίνακας 4.5: Μεθοδολογική σύνδεση αδυναμιών και προτεινόμενων παρεμβάσεων	68
Πίνακας 4.6: Επιλογή σκίασης ανά προσανατολισμό	74
Πίνακας 4.7: Παρεμβάσεις φυσικού και τεχνητού φωτισμού.....	78
Πίνακας 4.8: Προτεινόμενες παρεμβάσεις αναβάθμισης ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων & ενεργειακών συστημάτων.....	98
Πίνακας 5.1: Συγκριτική ποιοτική αξιολόγηση της υφιστάμενης και της προτεινόμενης κατάστασης του 12 ^{ου} Δημοτικού σχολείου Λαμίας	137

Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
IEQ	Indoor Environmental Quality (Ποιότητα Εσωτερικού Περιβάλλοντος)
LCA	Life Cycle Assessment (Ανάλυση του Κύκλου της Ζωής)
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method (Μέθοδος Περιβαλλοντικής Αξιολόγησης Κτιρίου)
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design (Πρωτοπορία στον Ενεργειακό και Περιβαλλοντικό Σχεδιασμό)
KENAK	Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων
ΠΕΑ	Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης
IAQ	Indoor Air Quality (Ποιότητα Εσωτερικού Αέρα)
POE	Post Occupancy Evaluation (Αξιολόγηση Κτιρίου κατά την Χρήση του)

Highlights

- Ανάπτυξη ολοκληρωμένης μεθοδολογίας βιοκλιματικού ανασχεδιασμού σχολικών κτιρίων
- Σύνδεση της διάγνωσης της υφιστάμενης κατάστασης με τεκμηριωμένες αρχιτεκτονικές παρεμβάσεις
- Μελέτη περίπτωσης 12^{ου} Δημοτικού Σχολείου Λαμίας
- Αξιολόγηση περιβαλλοντικών, λειτουργικών και βιοκλιματικών παραμέτρων
- Μεθοδολογικό πλαίσιο με δυνατότητα εφαρμογής σε άλλες σχολικές μονάδες

Συνεισφορά εργασίας

Η παρούσα εργασία συμβάλλει στην ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογικής προσέγγισης για τον βιοκλιματικό ανασχεδιασμό υφιστάμενων σχολικών κτιρίων, συνδέοντας συστηματικά την ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης με τη διαμόρφωση τεκμηριωμένων αρχιτεκτονικών παρεμβάσεων. Η πρωτοτυπία της έγκειται στην ενσωμάτωση περιβαλλοντικών, λειτουργικών και βιοκλιματικών κριτηρίων σε ένα ενιαίο πλαίσιο αξιολόγησης και σχεδιασμού, το οποίο εφαρμόζεται στο 12ο Δημοτικό Σχολείο Λαμίας. Παράλληλα, η προτεινόμενη μεθοδολογία δεν περιορίζεται στη συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης, αλλά μπορεί να αποτελέσει χρήσιμο υπόβαθρο για την αξιολόγηση και τον βιοκλιματικό ανασχεδιασμό αντίστοιχων σχολικών μονάδων, ενισχύοντας τη σύνδεση της επιστημονικής έρευνας με την αρχιτεκτονική πρακτική και τη βιώσιμη αναβάθμιση των εκπαιδευτικών υποδομών.

ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΣΧΟΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΑΡΧΕΣ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΒΙΩΣΙΜΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ: ΑΡΧΕΣ ΒΙΩΣΙΜΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ

Συλεούννη Ελευθερία¹, Γιάνναρου Σοφία¹

¹Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών και Βιώσιμου Σχεδιασμού, Ελληνικό Ανοικτό
Πανεπιστήμιο, Πάροδος Αριστοτέλους 18, 26335. Πάτρα
email: std170948@ac.eap.gr, giannarou.sofia@ac.eap.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία παρουσιάζει μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία αξιολόγησης και βιοκλιματικού ανασχεδιασμού υφιστάμενων σχολικών κτιρίων, χρησιμοποιώντας ως μελέτη περίπτωσης το 12^ο Δημοτικό σχολείο Λαμίας. Η προσέγγιση συνδυάζει βιβλιογραφική ανασκόπηση, τεχνική αποτύπωση του κτιρίου, αξιολόγηση των συνθηκών εσωτερικού περιβάλλοντος και τεκμηριωμένες βιοκλιματικές παρεμβάσεις. Η συγκριτική αποτίμηση αναδεικνύει δυνατότητες βελτίωσης της θερμικής άνεσης, του φυσικού φωτισμού, του φυσικού αερισμού και της συνολικής ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου. Παράλληλα προτείνεται επαναλήψιμο μεθοδολογικό πλαίσιο εφαρμογής σε αντίστοιχες σχολικές μονάδες.

Λέξεις - κλειδιά: βιοκλιματικός σχεδιασμός, βιώσιμη αρχιτεκτονική, σχολικά κτίρια, ενεργειακή αναβάθμιση, ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος.

ABSTRACT

This thesis presents an integrated methodology for the assessment and bioclimatic redesign of existing school buildings using the 12th Primary School of Lamia as a case study. The proposed approach combines literature review, technical building assessment, user-oriented evaluation and evidence-based bioclimatic interventions. The comparative assessment demonstrates the potential for improving thermal comfort, daylight availability, natural ventilation and overall building energy performance while introducing a transferable methodological framework for similar educational buildings.

Keywords: bioclimatic design, sustainable architecture, school buildings, energy retrofit, indoor environmental quality.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα υφιστάμενα σχολικά κτίρια στην Ελλάδα κατασκευάστηκαν σε μεγάλο βαθμό πριν από την εφαρμογή σύγχρονων ενεργειακών κανονισμών, με αποτέλεσμα αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις και περιορισμένη περιβαλλοντική απόδοση. Η βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς τους αποτελεί βασική προτεραιότητα της ευρωπαϊκής και εθνικής πολιτικής για τη βιώσιμη ανάπτυξη. Παράλληλα, η ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος επηρεάζει άμεσα την υγεία, την άνεση και την εκπαιδευτική απόδοση μαθητών και εκπαιδευτικών (Olgyay, 2015; Szokolay, 2014).

Στόχος του άρθρου είναι η παρουσίαση μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας αξιολόγησης και βιοκλιματικού ανασχεδιασμού μέσω της μελέτης περίπτωσης του 12ου Δημοτικού Σχολείου Λαμίας. Η προτεινόμενη προσέγγιση συνδυάζει θεωρητική τεκμηρίωση, επιτόπια αξιολόγηση και αρχιτεκτονική πρόταση, με έμφαση στη δυνατότητα εφαρμογής της και σε άλλες σχολικές μονάδες (Givoni, 1998).

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ – ΠΗΓΕΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

2.1. Ερευνητικός σχεδιασμός

Η μεθοδολογία βασίστηκε σε συνδυασμό βιβλιογραφικής ανασκόπησης, ανάλυσης μελέτης περίπτωσης και ανάπτυξης αρχιτεκτονικής πρότασης βιοκλιματικού ανασχεδιασμού. Η ερευνητική διαδικασία οργανώθηκε σε διαδοχικά στάδια ώστε να εξασφαλιστεί η συστηματική αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης και η τεκμηρίωση των προτεινόμενων παρεμβάσεων. Ως μελέτη περίπτωσης επιλέχθηκε το 12ο Δημοτικό Σχολείο Λαμίας. Πραγματοποιήθηκε αποτύπωση των αρχιτεκτονικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών, της σχέσης με το μικροκλίμα, του προσανατολισμού, του κελύφους και των υπαίθριων χώρων. Η αξιολόγηση της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος πραγματοποιήθηκε μέσω

δομημένων πινάκων ελέγχου και ποιοτικής εκτίμησης των συνθηκών θερμικής άνεσης, φυσικού φωτισμού, φυσικού αερισμού και συνολικής λειτουργικότητας των χώρων (Olgyay, 2015; Givoni, 1998).

2.2 Ερωτηματολόγιο

Χρησιμοποιήθηκε ερωτηματολόγιο για τους εκπαιδευτικούς, για την αποτύπωση της εμπειρίας των χρηστών σχετικά με την άνεση, την ποιότητα αέρα, τον φωτισμό και τη λειτουργικότητα των χώρων. Τα αποτελέσματα αξιοποιήθηκαν για την ιεράρχηση των αναγκών ανασχεδιασμού (Barrett et al., 2015; Mendell & Heath, 2005).

2.3. Ανάπτυξη της αρχιτεκτονικής πρότασης

Η αρχιτεκτονική πρόταση αναπτύχθηκε με βάση τις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού και της βιώσιμης αρχιτεκτονικής. Περιλάμβανε παρεμβάσεις στο κέλυφος, στα ανοίγματα, στη σκίαση, στον φυσικό αερισμό και στη διαμόρφωση του περιβάλλοντος χώρου. Η τελική αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε μέσω ποιοτικής σύγκρισης της υφιστάμενης και της προτεινόμενης κατάστασης, αναδεικνύοντας τη δυνατότητα εφαρμογής της μεθοδολογίας και σε άλλες σχολικές μονάδες (Olgyay, 2015; Szokolay, 2014).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η αξιολόγηση του σχολικού κτιρίου ανέδειξε αδυναμίες που σχετίζονται με τη θερμική προστασία του κελύφους, την περιορισμένη αποτελεσματικότητα των συστημάτων σκίασης, τον ανεπαρκή φυσικό αερισμό και τη μέτρια ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος. Οι αδυναμίες αυτές αποτέλεσαν τη βάση για την ανάπτυξη της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής παρέμβασης. Η προτεινόμενη λύση περιλαμβάνει ενίσχυση της θερμομόνωσης, βελτίωση των ανοιγμάτων, κατάλληλα συστήματα σκίασης, αξιοποίηση φυσικού φωτισμού και αερισμού, καθώς και αναβάθμιση του περιβάλλοντος χώρου μέσω

φύτευσης και βιοκλιματικών διαμορφώσεων (Wargocki & Wyon, 2013; Barrett et al., 2015).

ΚΡΙΤΗΡΙΟ	ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ
Θερμική άνεση	Μέτρια	Βελτίωση
Φυσικός φωτισμός	Περιορισμένος	Ενίσχυση
Φυσικός αερισμός	Ανεπαρκής	Βελτίωση
Ενεργειακή απόδοση	Μεγάλες απώλειες	Βελτίωση απόδοσης
Εξωτερικό περιβάλλον	Περιορισμένη βλάστηση	Ενίσχυση μικροκλίματος
Λειτουργικότητα	Χρίζει βελτίωσης	Βελτιστοποίηση

Πίνακας 1. Συγκριτική ποιοτική αξιολόγηση

Η συγκριτική αξιολόγηση καταδεικνύει ότι οι προτεινόμενες παρεμβάσεις αντιμετωπίζουν συστηματικά τις αδυναμίες της υφιστάμενης κατάστασης μέσω του συνδυασμού βιοκλιματικών στρατηγικών και όχι μεμονωμένων τεχνικών λύσεων, οδηγώντας σε συνολική βελτίωση της ενεργειακής και περιβαλλοντικής απόδοσης του σχολικού κτιρίου (Olgyay, 2015; Wargocki & Wyon, 2013).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα μελέτη ανέπτυξε και εφάρμοσε μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία βιοκλιματικού ανασχεδιασμού σε υφιστάμενο σχολικό κτίριο, λαμβάνοντας ως μελέτη περίπτωσης το 12ο Δημοτικό Σχολείο Λαμίας. Η συστηματική αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης ανέδειξε τις βασικές αδυναμίες του κτιρίου και τεκμηρίωσε την ανάγκη εφαρμογής παρεμβάσεων που βελτιώνουν τόσο την ενεργειακή απόδοση όσο και την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος (Szokolay, 2014; Givoni, 1998).

Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική λύση συνδυάζει παθητικές βιοκλιματικές στρατηγικές, αναβάθμιση του κελύφους, βελτιστοποίηση του φυσικού φωτισμού και αερισμού, καθώς

και ανασχεδιασμό των υπαίθριων χώρων. Η συγκριτική αξιολόγηση έδειξε σημαντική ποιοτική βελτίωση στους βασικούς δείκτες θερμικής άνεσης, λειτουργικότητας και περιβαλλοντικής απόδοσης (Olgyay, 2015; Wargocki & Wyon, 2013).

Πέρα από τη συγκεκριμένη εφαρμογή, η έρευνα προτείνει ένα επαναλήψιμο μεθοδολογικό πλαίσιο που μπορεί να αξιοποιηθεί για την αξιολόγηση και αναβάθμιση αντίστοιχων σχολικών μονάδων στην Ελλάδα, συμβάλλοντας στους στόχους της βιώσιμης αρχιτεκτονικής, της ενεργειακής αποδοτικότητας και της δημιουργίας υγιών εκπαιδευτικών περιβαλλόντων (Barrett et al., 2015).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Barrett, P., Davies, F., Zhang, Y., & Barrett, L. (2015). The impact of classroom design on pupils' learning. *Building and Environment*, 89, 118–133.
- Givoni, B. (1998). *Climate Considerations in Building and Urban Design*. John Wiley & Sons.
- Mendell, M. J., & Heath, G. A. (2005). Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? *Indoor Air*, 15(1), 27–52.
- Olgyay, V. (2015). *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism* (Updated edition). Princeton University Press.
- Szokolay, S. V. (2014). *Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design* (3rd ed.). Routledge.
- Wargocki, P., & Wyon, D. P. (2013). Providing better thermal and air quality conditions in school classrooms would be cost-effective. *Building and Environment*, 59, 581–589.

Ανασχεδιασμός υφιστάμενου σχολικού κτιρίου με αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού και βιώσιμης αρχιτεκτονικής: Αρχές βιώσιμου σχεδιασμού και ενεργειακής αναβάθμισης

Ελευθερία Συλεούνη¹, Σοφία Γιάνναρου¹

¹ Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών και Βιώσιμου Σχεδιασμού, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο

Περίληψη

Η παρούσα έρευνα εξετάζει τον βιοκλιματικό ανασχεδιασμό του 12ου Δημοτικού Σχολείου Λαμίας με στόχο τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος (IEQ) και της λειτουργικότητας. Η μελέτη βασίστηκε σε βιβλιογραφική ανασκόπηση, αποτύπωση του κτιρίου, ερωτηματολόγια, checklists και συγκριτική αξιολόγηση. Προτάθηκαν παρεμβάσεις στο κέλυφος, στη σκίαση, στον φυσικό φωτισμό, στον φυσικό αερισμό και στον υπαίθριο χώρο.

Σκοπός

Ανάπτυξη ολοκληρωμένης πρότασης βιοκλιματικού ανασχεδιασμού, βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς, της θερμικής άνεσης, του φυσικού φωτισμού, του φυσικού αερισμού και της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος, καθώς και διαμόρφωση μεθοδολογίας εφαρμογής σε άλλες σχολικές μονάδες.

Μεθοδολογία

- Βιβλιογραφική ανασκόπηση
- Αποτύπωση και αξιολόγηση υφιστάμενης κατάστασης
- Ερωτηματολόγια εκπαιδευτικών και μαθητών
- Checklists
- Συγκριτική αξιολόγηση πριν – μετά
- Ανάπτυξη πρότασης βιοκλιματικού ανασχεδιασμού

Ερευνητικά εργαλεία

Δομημένα ερωτηματολόγια, πίνακες ελέγχου (checklists) και συγκριτικοί πίνακες αξιολόγησης για την αποτίμηση της θερμικής άνεσης, του φυσικού φωτισμού, του φυσικού αερισμού, της IEQ και της λειτουργικής επάρκειας του σχολικού κτιρίου.

Προτεινόμενες παρεμβάσεις

- Θερμομόνωση κελύφους
- Νέα ενεργειακά κουφώματα
- Συστήματα σκίασης
- Ενίσχυση φυσικού αερισμού
- Αξιοποίηση φυσικού φωτισμού
- Φύτευση και βελτίωση μικροκλίματος
- Αναβάθμιση υπαίθριων χώρων και λειτουργικής οργάνωσης

Πίνακας 1. Συγκριτική αξιολόγηση υφιστάμενης κατάστασης και μετά τις παρεμβάσεις

Παράμετρος	Υφιστάμενη κατάσταση	Μετά την εφαρμογή των παρεμβάσεων
Θερμική άνεση	Μέτρια	Υψηλή
Φωτισμός	Μέτριος	Βελτιωμένος
Αερισμός	Περιορισμένος	Διαμετρής
IEQ	Μέτρια	Υψηλή

Διάγραμμα 1:

Ολοκληρωμένο μοντέλο αρχιτεκτονικής σύνθεσης και βιοκλιματικού ανασχεδιασμού του εξεταζόμενου σχολικού κτιρίου (ιδία δημιουργία με Blender, CorelDRAW και Photoshop)



Αποτελέσματα – Συμπεράσματα

Η συγκριτική αξιολόγηση έδειξε σημαντική βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς, της θερμικής άνεσης, του φυσικού φωτισμού, του φυσικού αερισμού και της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος (IEQ). Ο βιοκλιματικός ανασχεδιασμός αποτελεί εφαρμόσιμη στρατηγική ενεργειακής αναβάθμισης υφιστάμενων σχολικών κτιρίων και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρότυπο για αντίστοιχες σχολικές μονάδες.

Βιβλιογραφία:

- Barrett, P., Davies, F., Zhang, Y., & Barrett, L. (2015). The impact of classroom design on pupils' learning. *Building and Environment*, 89, 118–133
- Givoni, B. (1998). *Climate Considerations in Building and Urban Design*. John Wiley & Sons
- Olgyay, V. (2015). *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism* (Updated edition). Princeton University Press

1. Θεωρητικό υπόβαθρο – Βιοκλιματικός σχεδιασμός

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός αποτελεί μια επιστημονική προσέγγιση αρχιτεκτονικού σχεδιασμού που αξιοποιεί τα κλιματολογικά και περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά μίας περιοχής με στόχο τη μείωση των ενεργειακών αναγκών και τη βελτίωση της θερμικής και οπτικής άνεσης των χρηστών. Η θεμελιώδης θεωρία του βιοκλιματικού σχεδιασμού αναπτύχθηκε ήδη από τη δεκαετία του 1960, με τα έργα του Olgyay, ο οποίος συνέδεσε για πρώτη φορά τα βιοκλιματικά δεδομένα με την αρχιτεκτονική μορφή και τις παθητικές στρατηγικές.

Στη σύγχρονη βιβλιογραφία, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός αποτελεί τμήμα της βιώσιμης αρχιτεκτονικής και της προσπάθειας περιορισμού της ενεργειακής κατανάλωσης στο κτίριο (Olgyay, 2015; Givoni, 1998; Yannas, 1994).

Οι βασικές αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού στηρίζονται στην αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας, στον φυσικό αερισμό, στη θερμική μάζα, στην ηλιοπροστασία και στη γεωμετρία του κτιριακού κελύφους. Ο προσανατολισμός και η χωροθέτηση του κτιρίου καθορίζει την απολαβή ηλιακής ενέργειας τον χειμώνα και την προστασία από την υπερθέρμανση το καλοκαίρι. Η βιοκλιματική προσέγγιση συνδέεται άμεσα με τις ενεργειακές προσομοιώσεις και την ολιστική θεώρηση «κτιρίου–περιβάλλοντος» (Szokolay, 2014; Santamouris et al., 1996).

Στην ουσία, αποτελεί μια ολοκληρωμένη προσέγγιση που ενσωματώνει οικολογική ευαισθησία, περιβαλλοντική βιωσιμότητα και αρχιτεκτονική, με στόχο τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος του κτιριακού τομέα (Ανδρεαδάκη - Χρονάκη, 2017).

Ιστορικά, η βιοκλιματική σκέψη συγκροτήθηκε γύρω από την ιδέα ότι το κτίριο πρέπει να λειτουργεί ως «ρυθμιστής» μεταξύ του εξωτερικού κλίματος και των ανθρώπινων αναγκών. Οι κλασικές προσεγγίσεις (π.χ., Olgyay, 2015) εισήγαγαν τη λογική των κλιματικών περιοχών και την έννοια της «ζώνης άνεσης» ως σημείο αναφοράς για να αποφασιστούν στρατηγικές που θα αφορούσαν την σκίαση/ ηλιασμό, την αξιοποίηση του ανέμου, και τα δομικά υλικά και κτιριακό κέλυφος. Ο Givoni (1998) ανέπτυξε αναθεωρημένα βιοκλιματικά διαγράμματα και διαδικασίες μετατροπής των κλιματικών δεδομένων σε συγκεκριμένες παθητικές στρατηγικές, επισημαίνοντας και τα όρια της

«καθολικής» εφαρμογής σταθερών προτύπων άνεσης σε ελεύθερα (μη κλιματιζόμενα) κτίρια.

Στο πλαίσιο της κλιματικής ανάλυσης, τα βιοκλιματικά διαγράμματα δρουν ως εργαλεία «μετάφρασης» του κλίματος σε σχεδιαστικές κατευθύνσεις. Πιο συγκεκριμένα, δείχνουν πότε οι εξωτερικές συνθήκες βρίσκονται εντός/εκτός ζώνης άνεσης και ποια παθητικά μέτρα (σκίαση, φυσικός αερισμός, ύγρανση/αφύγρανση, θερμική μάζα, παθητικά ηλιακά κέρδη) είναι καταλληλότερα για να μετακινηθεί το εσωτερικό περιβάλλον προς αποδεκτές συνθήκες. Μέσω των βιοκλιματικών διαγραμμάτων μπορούν να ληφθούν στρατηγικές αποφάσεις στο προ-σχεδιαστικό στάδιο ενός κτιρίου συνδέοντας κλιματικά δεδομένα με συγκεκριμένη λογική παθητικών μέτρων (Olgyay, 2015; Givoni, 1998; 1992).

Στον βιοκλιματικό ανασχεδιασμό, ο προσανατολισμός και η αρχιτεκτονική μαζικοποίηση ενός κτιρίου αντιμετωπίζονται ως πρωταρχικές αποφάσεις καθώς καθορίζουν την έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία, τη δυνατότητα φυσικού φωτισμού και τις ροές του αέρα. Σε μεσογειακά κλίματα, η στρατηγική του σχεδιασμού συνήθως συνδυάζει τον έλεγχο των θερινών κερδών με οριζόντιες/κατακόρυφες σκιάσεις ανά προσανατολισμό, την αξιοποίηση των χειμερινών κερδών (όπου είναι ωφέλιμο), και τον σχεδιασμό ανοιγμάτων/διαμπερών διαδρομών αέρα ώστε ο φυσικός αερισμός να λειτουργεί τόσο ως υγειονομικός αερισμός όσο και ως «φυσικός» μηχανισμός απομάκρυνσης θερμότητας. Η βιβλιογραφία για σχολικά κτίρια σε μεσογειακά κλίματα όπως στην Ελλάδα, δείχνει ότι τα παθητικά μέτρα με υψηλή συχνότητα εφαρμογής σε αυτά, είναι ο φυσικός αερισμός/δροσισμός κι ο μικτός (υβριδικός) αερισμός, η ηλιακή σκίαση, η βελτίωση των κουφωμάτων με θερμομονωτικά/θερμοδιακοπτόμενα πλαίσια με ενεργειακούς υαλοπίνακες, και τα «πράσινα» δώματα (Díaz-López et al., 2022; Gil-Báez et al., 2019).

Το κτιριακό κέλυφος είναι ο βασικός «βιοκλιματικός μηχανισμός» που διαχειρίζεται τις ανταλλαγές θερμότητας (αγωγή – ακτινοβολία – συναγωγή) και επηρεάζει άμεσα την ενεργειακή ζήτηση και τις συνθήκες άνεσης. Σε υφιστάμενα σχολικά κτίρια, η ενεργειακή αναβάθμιση του κελύφους (θερμομονωτική προστασία, αεροστεγανότητα με ελεγχόμενο αερισμό, αναβάθμιση πλαισίων & υαλοπινάκων, αντιμετώπιση θερμογεφυρών) πρέπει να εφαρμόζεται με γνώμονα την δημιουργία αποδεκτών συνθηκών: π.χ. η δημιουργία ενός υπερβολικά αεροστεγανού κελύφους χωρίς την ύπαρξη σωστής διαχείρισης του αερισμού μπορεί να επιβαρύνει την ποιότητα αέρα. Σε μεσογειακά σχολεία, οικονομικά

προσβάσιμες παρεμβάσεις (π.χ. σκίαση, αναβάθμιση των κουφωμάτων/ υαλοπινάκων και τοποθέτηση/αναβάθμιση θερμομόνωσης) όταν αυτές συνδυάζονται σωστά στο κτιριακό κέλυφος έχουν δείξει μείωση των ενεργειακών αναγκών θέρμανσης και ψύξης (Gil-Báez et al., 2019).

Τα σχολικά κτίρια αποτελούν ειδική κατηγορία με υψηλές απαιτήσεις φωτισμού, αερισμού και θερμικής άνεσης λόγω της συνεχούς παρουσίας μαθητών σε κλειστούς χώρους. Η διεθνής βιβλιογραφία καταδεικνύει ότι στρατηγικές όπως η βελτιστοποίηση του φυσικού φωτισμού, ο διαμεπής αερισμός, οι φυτεύσεις στον περιβάλλοντα χώρο και η θερμική μάζα / τα θερμικά κέρδη βελτιώνουν τόσο την ενεργειακή απόδοση όσο και την εκπαιδευτική απόδοση των μαθητών. Μελέτες δείχνουν ότι σχολικές αίθουσες με υψηλότερα επίπεδα φυσικού φωτισμού παρουσιάζουν καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα και μειωμένα επίπεδα κόπωσης, καθιστώντας έτσι τον βιοκλιματικό σχεδιασμό ως παρέμβαση ευζωίας (Barrett et al., 2013; Earthman, 2004; Hescong, 2002).

Η σκίαση αποτελεί κύρια στρατηγική βιοκλιματικού σχεδιασμού σε σχολικά κτίρια, καθώς οι αίθουσες διδασκαλίας έχουν υψηλά εσωτερικά θερμικά φορτία (άνθρωποι, ηλεκτρονικός εξοπλισμός) και μεγάλη ευαισθησία σε υπερθέρμανση. Η «ορθή» σκίαση δεν σημαίνει απλώς λιγότερο ήλιο, αλλά έλεγχο της ηλιακής ακτινοβολίας με τέτοιο τρόπο ώστε να διατηρείται επαρκής ο φυσικός φωτισμός χωρίς την δημιουργία θάμβωσης (glare), να μειώνεται το ψυκτικό φορτίο και να υποστηρίζεται η οπτική άνεση. Η ύπαρξη κατάλληλων συνθηκών φωτισμού/σκίασης, μέσω του προσανατολισμού και της διαμόρφωσης των ανοιγμάτων, επηρεάζει τους δείκτες της σχολικής επίδοσης των μαθητών, επιβεβαιώνοντας ότι ο βιοκλιματικός χειρισμός του φωτός είναι και ζήτημα ευζωίας, όχι μόνο ενέργειας (Baloch et al., 2021; Hescong et al., 2002).

Η διεθνής βιβλιογραφία δείχνει ότι βελτιώσεις σε θερμοκρασία και σε ρυθμούς αερισμού συσχετίζονται με την καλύτερη απόδοση των μαθητών, ενώ η υποβάθμιση αυτών των παραμέτρων μπορεί να αυξήσει συμπτώματα δυσφορίας και να επηρεάσει συγκέντρωση/μαθησιακή απόδοση. Σε παρεμβατικές μελέτες τάξης, η αύξηση θερμοκρασίας και/ ή η μείωση αερισμού συνδέθηκε με μετρήσιμη πτώση στην απόδοση παιδιών σε σχολικές εργασίες, ενισχύοντας την ανάγκη να σχεδιάζουμε αίθουσες που

«αναπνέουν» σωστά και δεν «υπερθερμαίνονται». (Mendell & Heath, 2005; Wargocki & Wyon, 2007).

Η ποιότητα εσωτερικού αέρα δεν είναι μόνο θέμα «άνεσης», αλλά και γνωστικής λειτουργίας. Ερευνητικά ευρήματα σε ελεγχόμενα πειράματα δείχνουν ότι αυξημένες συγκεντρώσεις CO₂ (εντός εύρους που παρατηρείται σε πραγματικούς εσωτερικούς χώρους) μπορεί να σχετίζονται με μείωση των δεικτών λήψης αποφάσεων, ενώ σε σχολικά περιβάλλοντα οι επιπτώσεις της ανεπαρκούς ποιότητας αέρα αντανακλώνται σε συμπτώματα, απουσίες και επιδόσεις. Για τον βιοκλιματικό ανασχεδιασμό, αυτό σημαίνει ότι η «ενεργειακή» λογική (μείωση απωλειών/διηθήσεων) πρέπει να συνδυάζεται με επαρκή και ελεγχόμενη ανανέωση αέρα, ιδίως σε αίθουσες υψηλής πυκνότητας χρήσης (Satish et al., 2012; Mendell & Heath, 2005).

Η οπτική επαφή των μαθητών με χώρους πρασίνου, αυλών με βελτιωμένο μικροκλίμα, σκιασμένων υπαίθριων χώρων, συμβάλει στη μείωση/αποβολή του στρες που καταβάλλει τους μαθητές κατά την διάρκεια των μαθημάτων και την δημιουργία ενός πιο «ευχάριστου» χώρου. Ο όρος «αποκαταστατικής θέας» χρησιμοποιείται ευρέως για τη σημασία της ύπαρξης θέας/πράσινου και σε σχολικά περιβάλλοντα, ειδικά όταν ο βιοκλιματικός σχεδιασμός αντιμετωπίζει την αυλή και τους ημιυπαίθριους χώρους ως κρίσιμες «θερμικές και κοινωνικές υποδομές» του σχολείου. Σε μεσογειακά κλίματα, η σκίαση με φυτεύσεις και η διαχείριση του υπαίθριου μικροκλίματος μπορεί να μειώσει το θερμικό στρες και να ενισχύσει παράλληλα τη χρήση των εξωτερικών χώρων (Gonçalves et al., 2019).

Σε επίπεδο ενεργειακής αναβάθμισης υφιστάμενων σχολικών κτιρίων, η διεθνής έρευνα για μεσογειακά κλίματα δείχνει ότι ο αποτελεσματικός δρόμος είναι «παθητικό-πρώτα» (σκίαση, φυσικός αερισμός, θερμική μάζα/νυχτερινός δροσισμός, βελτιωμένο κέλυφος) και έπειτα στοχευμένες ενεργητικές αναβαθμίσεις. Ανασκοπήσεις για παθητικές στρατηγικές σε μεσογειακά σχολεία συγκλίνουν ότι τα παθητικά μέτρα δεν είναι μόνο ενεργειακές λύσεις, αλλά και λύσεις περιβαλλοντικής εργονομίας (μείωση υπερθέρμανσης, καλύτερη αίσθηση ελέγχου από τους χρήστες, υποστήριξη υγιεινού αερισμού). Παράλληλα, μελέτες ανακαίνισης σε μεσογειακά κτίρια αναδεικνύουν τεχνικές όπως ανεμοπαγίδες, δυναμικές όψεις και εξατμιστικό δροσισμό ως επιλογές με υψηλό

δυναμικό, όπου το επιτρέπουν οι συνθήκες και η χρήση (Díaz-López et al., 2022; Spentzou et al., 2022).

Η σύνδεση βιοκλιματικού σχεδιασμού και «ευζωίας» στα σχολεία τεκμηριώνεται κυρίως μέσω της έννοιας της Ποιότητας Εσωτερικού Περιβάλλοντος (Indoor Environmental Quality - IEQ), που περιλαμβάνει θερμική άνεση, ποιότητα αέρα, φωτισμό και ακουστική. Η βιβλιογραφία δείχνει ότι η κακή IEQ είναι αρκετά συχνή στα σχολεία ώστε να αποτελεί θέμα δημόσιου ενδιαφέροντος, με ενδείξεις επιδράσεων σε υγεία και απόδοση (Sadrizadeh et al., 2022; Wargocki & Wyon, 2013; Mendell & Heath, 2005).

Συνοψίζοντας θεωρητικά, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός για υφιστάμενο σχολικό κτίριο στην Κεντρική Ελλάδα όπου είναι η περιοχή μελέτης στην παρούσα διπλωματική εργασία, μπορεί να τεκμηριωθεί ως μια λογική και διαδοχική διαδικασία, «αλυσίδα αποφάσεων» η οποία θα περιλαμβάνει την κλιματική διάγνωση με έμφαση στη θερινή ξηρή περίοδο και στη διαχείριση ηλιακών κερδών, την παθητική στρατηγική (σκίαση/ηλιακός έλεγχος, φυσικός αερισμός και νυχτερινός δροσισμός, θερμική μάζα, αναβάθμιση κελύφους), και την αξιολόγηση των επιπτώσεων στην ευζωία μέσω δεικτών IEQ (θερμική άνεση, CO₂/αερισμός, φωτισμός) (Baloch et al., 2020; Gil-Báez et al., 2019; Lappas et al., 2013; Wargocki & Wyon, 2007; Mendell & Heath, 2005).

1.1 Βασικές αρχές και στόχοι του βιοκλιματικού σχεδιασμού

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός ορίζεται ως η αρχιτεκτονική προσέγγιση που ξεκινά από την ανάλυση του τοπικού κλίματος και στοχεύει στη διαμόρφωση κτιρίων τα οποία επιτυγχάνουν συνθήκες άνεσης με ελάχιστη εξάρτηση από μηχανικά συστήματα, μέσω κυρίως παθητικών στρατηγικών (προσανατολισμός, σκίαση, φυσικός αερισμός, θερμική μάζα, ηλιοπροστασία/ηλιασμός). Η βασική αρχή είναι ότι το κτίριο λειτουργεί ως «μεσολαβητής» ανάμεσα στο εξωτερικό περιβάλλον και τον άνθρωπο, μετατρέποντας τις κλιματικές ροές (ηλιακή ακτινοβολία, άνεμος, θερμοκρασία, υγρασία) σε ωφέλιμες ή ελεγχόμενες επιδράσεις, ώστε να διασφαλίζεται η ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος με χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις (Olgyay, 2015; Givoni, 1992).

Κεντρικός στόχος του βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι η θερμική, οπτική και υγιεινή άνεση των χρηστών ως προϋπόθεση ευζωίας και λειτουργικότητας του κτιρίου. Ένας

σχεδιασμός που επιδιώκει τον περιορισμό της θερμικής καταπόνησης (υπερθέρμανση/υποθέρμανση), την εξασφάλιση επαρκούς και ποιοτικού φυσικού φωτισμού με έλεγχο θάμβωσης, τη διατήρηση αποδεκτής ποιότητας αέρα μέσω κατάλληλου αερισμού και τη δημιουργία αποδεκτών συνθηκών για τους ανθρώπους που χρησιμοποιούν τον χώρο (Baker & Steemers, 2000; Givoni, 1992).

Μία θεμελιώδης αρχή του βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι ότι η κλιματική διάγνωση προηγείται του σχεδιασμού, Δηλαδή, η επιλογή στρατηγικών αποτελεί απάντηση σε συγκεκριμένα κλιματικά δεδομένα της περιοχής και σε χαρακτηριστικά χρήσης του κτιρίου. Η χρήση εργαλείων όπως τα βιοκλιματικά διαγράμματα και οι κλιματικές αναλύσεις επιτρέπει τη συστηματική αντιστοίχιση των συνθηκών του τόπου με κατάλληλες παθητικές τεχνικές (π.χ. πότε απαιτείται σκίαση, πότε ωφελεί ο φυσικός αερισμός, πότε χρειάζεται θερμική μάζα). Έτσι, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός συγκροτείται ως μεθοδολογία λήψης αποφάσεων στο πρώιμο στάδιο (concept/schematic design), όπου οι επιλογές έχουν τη μεγαλύτερη επίδραση στη μετέπειτα ενεργειακή και περιβαλλοντική συμπεριφορά (Givoni, 1992).

Στη σύγχρονη θεωρία, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός ευθυγραμμίζεται με την προσαρμοστική θεώρηση της άνεσης. Πιο συγκεκριμένα, οι άνθρωποι δεν είναι παθητικοί «δέκτες» ενός σταθερού θερμικού περιβάλλοντος, αλλά προσαρμόζονται (συμπεριφορικά και ψυχολογικά) και επηρεάζονται από το βαθμό ελέγχου που έχουν στο περιβάλλον τους (π.χ. παράθυρα, σκίαση). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την ανάγκη σχεδιασμού χώρων που προσφέρουν επιλογές, δυνατότητα ρύθμισης και ανθεκτικότητα στις μεταβολές, ειδικά σε κτίρια με φυσικό αερισμό ή μικτή λειτουργία (Nicol & Humphreys, 2002).

Κομβική αρχή του βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι η ελαχιστοποίηση των φορτίων μέσω αρχιτεκτονικών επιλογών (όγκος-σχήμα-σύνθεση κτιρίου, προσανατολισμός, σκίαση), και έπειτα η επιλογή αποδοτικών ενεργητικά συστημάτων. Στα θερμά/μεσογειακά κλίματα, αυτή η λογική μεταφράζεται ιδιαίτερα σε έλεγχο ηλιακών κερδών, οργάνωση φυσικού δροσισμού (διαμπερή ροή, νυχτερινός αερισμός), και αξιοποίηση της θερμικής μάζας ώστε να μειώνεται η υπερθέρμανση και η αιχμή ψύξης. Η διεθνής έρευνα σε σχολεία σε μεσογειακό κλίμα δείχνει ότι στρατηγικές όπως ο ηλιακός έλεγχος και ο φυσικός αερισμός είναι από τις πιο συχνά εφαρμοζόμενες και αποτελεσματικές παθητικές επιλογές για ταυτόχρονη βελτίωση άνεσης και βιωσιμότητας (Díaz-López et al., 2022).

Στους βασικούς στόχους περιλαμβάνεται η ενίσχυση του φυσικού φωτισμού ως μέσο μείωσης της κατανάλωσης για τεχνητό φωτισμό, αλλά και ως παράγοντας που συνδέεται με την εμπειρία και τη λειτουργικότητα των χώρων μάθησης. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της μεγιστοποίησης ωφέλιμου φυσικού φωτός σε βάθος χώρου και του ελέγχου θάμβωσης και ανεπιθύμητων ηλιακών κερδών μέσω κατάλληλης γεωμετρίας ανοιγμάτων και σκιάσεων. Μελέτες σε σχολικές αίθουσες έχουν δείξει συσχετίσεις μεταξύ καλύτερων συνθηκών daylighting και δεικτών ανθρώπινης απόδοσης/επίδοσης, γεγονός που ενισχύει τον στόχο του βιοκλιματικού σχεδιασμού να συνδέει την ενεργειακή λογική με ανθρωποκεντρικά αποτελέσματα (Heschong et al., 2002).

Ιδιαίτερα για σχολικά κτίρια, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός στοχεύει επίσης στη διασφάλιση επαρκούς αερισμού και ποιότητας εσωτερικού αέρα, καθώς ο υψηλός συνωστισμός και οι μακρές ώρες χρήσης καθιστούν την αίθουσα ευάλωτη σε αυξημένες συγκεντρώσεις CO₂ και σε αίσθημα δυσφορίας. Η αρχή του “healthy ventilation” στον βιοκλιματικό σχεδιασμό σημαίνει ότι η εξοικονόμηση ενέργειας δεν μπορεί να επιτευχθεί εις βάρος του αερισμού· αντίθετα, ο σχεδιασμός οφείλει να υποστηρίξει αποτελεσματικές ροές αέρα (φυσικές ή υβριδικές) χωρίς να προκαλεί υπερβολικά θερμικά φορτία. Πειραματικά δεδομένα σε σχολικές τάξεις τεκμηριώνουν ότι η θερμοκρασία και ο ρυθμός αερισμού επηρεάζουν την απόδοση σχολικών εργασιών, άρα αποτελούν κρίσιμους στόχους του βιοκλιματικού σχεδιασμού (Wargocki & Wyon, 2007).

Ένας ακόμη βασικός στόχος είναι η μείωση της συνολικής ενεργειακής ζήτησης (θέρμανση/ψύξη/φωτισμός/αερισμός) μέσω ολοκληρωμένης στρατηγικής που συνδυάζει κέλυφος, παθητικές τεχνικές και κατάλληλη λειτουργία. Στη θεωρία του περιβαλλοντικού/ενεργειακού σχεδιασμού, η μείωση της ζήτησης αντιμετωπίζεται ως αποτέλεσμα επιλογών που λαμβάνονται νωρίς (μορφή, προσανατολισμός, ανοίγματα, σκίαση, δομικά υλικά κτιρίου) και όχι μόνο ως ζήτημα αντικατάστασης H/M εξοπλισμού. Αυτό είναι κρίσιμο ειδικά σε ανασχεδιασμό υφιστάμενων κτιρίων, όπου οι παθητικές παρεμβάσεις (π.χ. σκίαση, βελτίωση υαλοπινάκων/πλαισίων, ενίσχυση θερμικής μάζας/νυχτερινού αερισμού) μπορούν να μειώσουν φορτία πριν εισαχθεί οποιαδήποτε μηχανολογική λύση (Lechner, 2022; Baker & Steemers, 2000).

Τέλος, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός ενσωματώνει την έννοια της ανθεκτικότητας και της προσαρμογής. Πιο συγκεκριμένα, να μπορεί ένα κτίριο να μεταβάλλεται σε ακραία

γεγονότα και αλλαγές στη χρήση. Αυτό οδηγεί σε λύσεις που αυξάνουν τη «παθητική ανθεκτικότητα», δηλαδή την ικανότητα διατήρησης αποδεκτών συνθηκών χωρίς την πλήρη εξάρτηση από μηχανικά συστήματα, καθώς και σε επιλογές που υποστηρίζουν ασφαλή λειτουργία σε περιόδους ενεργειακού στρες. Στη βιβλιογραφία της προσαρμογής κτιρίων και πόλεων, η βιοκλιματική λογική παρουσιάζεται ως βασικό εργαλείο επιβίωσης και μείωσης κινδύνου μέσω σχεδιασμού που αξιοποιεί το κλίμα αντί να το “αντιμάχεται” αποκλειστικά με ενέργεια (Chricton et al., 2009).

1.1.1. Κλιματικοί παράγοντες και περιβαλλοντικές συνθήκες που επηρεάζουν τα κτίρια

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός θεμελιώνεται στην κατανόηση των κλιματικών παραμέτρων που επηρεάζουν τη θερμική και ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων. Οι βασικοί μακροκλιματικοί παράγοντες που λαμβάνονται υπόψιν, περιλαμβάνουν τη θερμοκρασία του αέρα, την ηλιακή ακτινοβολία, την υγρασία, την ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου και τη βροχόπτωση. Οι παράγοντες αυτοί καθορίζουν τα θερμικά φορτία θέρμανσης και ψύξης, την ανάγκη σκίασης ή ηλιασμού καθώς και τις δυνατότητες φυσικού αερισμού. Η συστηματική ανάλυση του κλίματος προηγείται του σχεδιασμού, καθώς επιτρέπει την προσαρμογή της μορφής και του κελύφους του κτιρίου στις ιδιαίτερες συνθήκες του τόπου (Olgyay, 2015; Givoni, 1998).

Η θερμοκρασία του αέρα αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα που επηρεάζει τη θερμική ισορροπία του ανθρώπινου σώματος και τις ενεργειακές απαιτήσεις ενός κτιρίου. Οι διακυμάνσεις ημερήσιας και εποχικής θερμοκρασίας επηρεάζουν τη στρατηγική θερμικής μάζας/θερμικά κέρδη, τη θερμομόνωση και τη διαστασιολόγηση των ανοιγμάτων. Σε κλίματα με υψηλές θερινές θερμοκρασίες, η έμφαση δίνεται στον περιορισμό της υπερθέρμανσης μέσω σκίασης και νυχτερινού δροσισμού, ενώ σε ψυχρότερα κλίματα προτεραιότητα έχει η αξιοποίηση των ηλιακών κερδών και η μείωση των απωλειών. Η θερμική άνεση σχετίζεται άμεσα με τη θερμοκρασία, όπως τεκμηριώνεται από τα μοντέλα ενεργειακής ισορροπίας του ανθρώπινου σώματος (Nicol & Humphreys, 2002; Fanger, 1970).

Η ηλιακή ακτινοβολία επηρεάζει καθοριστικά το ενεργειακό ισοζύγιο του κτιρίου. Η άμεση και διάχυτη ακτινοβολία συμβάλλουν τόσο στα ωφέλιμα ηλιακά κέρδη τον

χειμώνα όσο και στην υπερθέρμανση το καλοκαίρι. Η γεωμετρία του κτιρίου, ο προσανατολισμός, το μέγεθος και η θέση των ανοιγμάτων, καθώς και τα συστήματα σκίασης, καθορίζουν τον βαθμό εκμετάλλευσης ή ελέγχου της ηλιακής ενέργειας. Στη βιβλιογραφία επισημαίνεται ότι η σωστή διαχείριση της ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να μειώσει σημαντικά τις ανάγκες τεχνητής θέρμανσης και φωτισμού, ενισχύοντας ταυτόχρονα την οπτική άνεση (Lechner, 2022).

Η σχετική υγρασία επηρεάζει τόσο την ανθρώπινη άνεση όσο και τη δομική συμπεριφορά των υλικών. Υψηλά επίπεδα υγρασίας μπορεί να εντείνουν την αίσθηση θερμικής δυσφορίας σε θερμά κλίματα, ενώ πολύ χαμηλή υγρασία μπορεί να προκαλέσει ξηρότητα και δυσφορία. Παράλληλα, η υγρασία σχετίζεται με φαινόμενα συμπύκνωσης και ανάπτυξης μούχλας, επηρεάζοντας τη μακροχρόνια ανθεκτικότητα του κελύφους. Η ολοκληρωμένη προσέγγιση βιοκλιματικού σχεδιασμού λαμβάνει υπόψη τη διαχείριση υδρατμών μέσω κατάλληλων υλικών και αερισμού (ASHRAE, 2021).

Ο άνεμος αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για τον φυσικό αερισμό και τον παθητικό δροσισμό. Η ταχύτητα και η διεύθυνση των επικρατούντων ανέμων επηρεάζουν τον σχεδιασμό των ανοιγμάτων, τη διάταξη των όγκων και τη δυνατότητα διαμερούς ροής. Η αξιοποίηση του ανέμου μπορεί να μειώσει τις ανάγκες μηχανικού αερισμού και να συμβάλει στην απομάκρυνση θερμότητας από τη θερμική μάζα του κτιρίου. Η ανάλυση των ανέμων είναι επομένως βασικό στάδιο στη βιοκλιματική μελέτη (Givoni, 1998; Koenigsberger et al., 1974).

Εκτός από το μακροκλίμα, ιδιαίτερη σημασία έχει το μικροκλίμα, δηλαδή οι τοπικές περιβαλλοντικές συνθήκες που διαμορφώνονται από το δομημένο περιβάλλον (αστική μορφολογία, βλάστηση, υλικά επιφανειών). Το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας, η σκίαση από γειτονικά κτίρια και η ανακλαστικότητα των υλικών μεταβάλλουν τις πραγματικές θερμικές συνθήκες που δέχεται το κτίριο. Η μικροκλιματική ανάλυση επιτρέπει τον σχεδιασμό αυλών, φυτεύσεων και σκιάσεων που βελτιώνουν το θερμικό ισοζύγιο του κτιρίου και των υπαίθριων χώρων (Emmanuel, 2005; Oke, 2002).

Η ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος (IEQ) επηρεάζεται άμεσα από τους παραπάνω κλιματικούς παράγοντες και αποτελεί βασικό δείκτη αξιολόγησης του βιοκλιματικού σχεδιασμού. Η θερμοκρασία, ο αερισμός και τα επίπεδα CO₂ συνδέονται με τη γνωστική απόδοση και την αντιλαμβανόμενη ευεξία, ιδιαίτερα σε σχολικά κτίρια. Συνεπώς, η

κατανόηση των κλιματικών παραμέτρων δεν αφορά μόνο την ενεργειακή απόδοση, αλλά και την υγεία και την λειτουργικότητα των χρηστών (Santamouris, 2013; Wargocki & Wyon, 2007).

Συνεπώς, οι κλιματικοί παράγοντες και οι περιβαλλοντικές συνθήκες αποτελούν τη βάση πάνω στην οποία αναπτύσσεται ο βιοκλιματικός σχεδιασμός. Η ολοκληρωμένη κατανόηση του μακροκλίματος και του μικροκλίματος επιτρέπει τη μετάφραση των δεδομένων σε συγκεκριμένες αρχιτεκτονικές στρατηγικές, διαμορφώνοντας κτίρια ενεργειακά αποδοτικά, περιβαλλοντικά ανθεκτικά και ανθρωποκεντρικά (Olgyay, 2015; Givoni, 1998).

1.1.2. Εφαρμογή της βιώσιμης αρχιτεκτονικής στις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού

Η βιώσιμη αρχιτεκτονική αποτελεί ένα ευρύτερο πλαίσιο σχεδιασμού που ενσωματώνει περιβαλλοντικές, κοινωνικές και οικονομικές διαστάσεις στη διαδικασία παραγωγής του δομημένου περιβάλλοντος. Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός συνιστά τον πυρήνα της περιβαλλοντικής διάστασης της βιωσιμότητας, καθώς εστιάζει στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης μέσω προσαρμογής του κτιρίου στο τοπικό κλίμα. Η εφαρμογή της βιώσιμης αρχιτεκτονικής στις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού μεταφράζεται σε μια ολοκληρωμένη προσέγγιση που δεν περιορίζεται μόνο στη θερμική άνεση, αλλά επεκτείνεται στη μείωση εκπομπών CO₂, στη διαχείριση φυσικών πόρων και στη βελτίωση της ποιότητας ζωής των χρηστών (Kibert, 2022; Edwards, 2014).

Κεντρική αρχή της βιώσιμης αρχιτεκτονικής είναι η μείωση της ενεργειακής ζήτησης μέσω παθητικών στρατηγικών, πριν από την ενσωμάτωση ενεργητικών τεχνολογιών. Η λογική “passive-first” ευθυγραμμίζεται πλήρως με τον βιοκλιματικό σχεδιασμό, καθώς δίνει προτεραιότητα στον προσανατολισμό, στη μορφή/δομή του κτιρίου, στη θερμομόνωση, στον έλεγχο ηλιακών κερδών και στον φυσικό αερισμό. Μελέτες δείχνουν ότι ο βέλτιστος συνδυασμός παθητικών και ενεργητικών τεχνολογιών μπορεί να μειώσει σημαντικά το ενεργειακό αποτύπωμα των κτιρίων, ιδίως σε κλίματα με έντονες εποχικές διακυμάνσεις (Díaz-López et al., 2022; Lechner, 2022).

Στη βιώσιμη αρχιτεκτονική δεν εξετάζεται μόνο η λειτουργική φάση του κτιρίου, αλλά και η ενσωματωμένη ενέργεια των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν, η ανθεκτικότητα και

η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης αυτών, καθώς και η περιβαλλοντική επιβάρυνση κατά την κατασκευή και κατεδάφιση ενός κτιρίου. Η έννοια της «Ανάλυσης του Κύκλου της Ζωής» “Life Cycle Assessment (LCA)” επιτρέπει τη σύγκριση εναλλακτικών λύσεων και ενισχύει τον βιοκλιματικό σχεδιασμό με μετρήσιμα περιβαλλοντικά κριτήρια έτσι ώστε η σχεδιαστική πρόταση να μην είναι μόνο «ενεργειακά αποδοτική» αλλά και ολιστικά βιώσιμη (Cabeza et al., 2013).

Η εφαρμογή της βιώσιμης αρχιτεκτονικής στις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού περιλαμβάνει επίσης την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), όπως φωτοβολταϊκά και ηλιακά θερμικά συστήματα. Ωστόσο, η ενσωμάτωση ΑΠΕ θεωρείται συμπληρωματική στρατηγική, αφού πρώτα έχει μειωθεί η ενεργειακή ζήτηση μέσω παθητικών μέτρων. Στη διεθνή βιβλιογραφία υπογραμμίζεται ότι τα κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης επιτυγχάνουν τους στόχους τους μόνο όταν συνδυάζουν βιοκλιματικές αρχές με αποδοτικά ενεργητικά συστήματα και παραγωγή καθαρής ενέργειας (Sartori et al., 2012).

Μία ακόμη σημαντική διάσταση είναι η διαχείριση υδάτινων πόρων και μικροκλίματος, μέσω πράσινων στεγών, φυτεύσεων και διαπερατών επιφανειών. Οι παρεμβάσεις αυτές μειώνουν τη θερμική επιβάρυνση του αστικού περιβάλλοντος και βελτιώνουν τις εξωτερικές και εσωτερικές συνθήκες άνεσης. Η σύνδεση βιώσιμης αρχιτεκτονικής και βιοκλιματικού σχεδιασμού σε αυτό το επίπεδο αποσκοπεί στη μείωση της αστικής θερμικής νησίδας και στη βελτίωση της περιβαλλοντικής ποιότητας των σχολικών αυλών και υπαίθριων χώρων (Santamouris, 2014; Oke, 2002).

Η κοινωνική διάσταση της βιώσιμης αρχιτεκτονικής ενσωματώνεται στον βιοκλιματικό σχεδιασμό μέσω της ανθρωποκεντρικής προσέγγισης της άνεσης και της ευζωίας.

Η ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος (IEQ), η πρόσβαση σε φυσικό φως, ο καθαρός αέρας και η θερμική ισορροπία συνδέονται με τη γνωστική απόδοση και την υγεία των χρηστών, ιδιαίτερα σε σχολικά κτίρια. Συνεπώς, η βιώσιμη αρχιτεκτονική δεν επιδιώκει μόνο ενεργειακή αποδοτικότητα, αλλά και τη δημιουργία υγιών μαθησιακών περιβαλλόντων (Allen et al, 2016; Wargocki et al, 2007).

Συμπερασματικά, η εφαρμογή της βιώσιμης αρχιτεκτονικής στις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού διαμορφώνει ένα συνεκτικό πλαίσιο όπου η ενεργειακή αποδοτικότητα, η

περιβαλλοντική προστασία και η ανθρώπινη ευημερία λειτουργούν συμπληρωματικά. Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός παρέχει τη μεθοδολογική βάση (κλιματική ανάλυση και παθητικές στρατηγικές), ενώ η βιώσιμη αρχιτεκτονική διευρύνει το πεδίο σε ζητήματα κύκλου ζωής, κοινωνικής ευθύνης και περιβαλλοντικής ανθεκτικότητας, καθιστώντας το κτίριο ενεργειακά αποδοτικό, περιβαλλοντικά υπεύθυνο και παιδαγωγικά υποστηρικτικό (Kibert, 2022; Sartori et al., 2012).

1.1.3. Ενεργειακή κατανάλωση κτιρίου

Η ενεργειακή κατανάλωση ενός κτιρίου αντιπροσωπεύει το συνολικό ποσό ενέργειας που χρησιμοποιείται για την κάλυψη λειτουργικών αναγκών όπως θέρμανση, ψύξη, αερισμός, φωτισμός, ζεστό νερό χρήσης και λοιπές ηλεκτρικές χρήσεις. Τα κτίρια αποτελούν έναν από τους κυριότερους τομείς κατανάλωσης ενέργειας παγκοσμίως και ευθύνονται για σημαντικό ποσοστό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, γεγονός που καθιστά την κατανάλωση αυτή κεντρικό άξονα έρευνας και πολιτικής για τον περιορισμό περιβαλλοντικών επιπτώσεων και την προώθηση βιώσιμων στρατηγικών σχεδιασμού και λειτουργίας (Zero-energy building, Wikipedia, 2026; Passive house, Wikipedia, 2025).

Κατά την λειτουργία ενός κτιρίου η ενεργειακή κατανάλωση εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από τον σχεδιασμό του κελύφους (φέροντας οργανισμούς/ μόνωση) και των ανοικτών συστημάτων (πλαίσια/υαλοπίνακες) καθώς αυτά αρχικά δρουν αμυντικά ενάντια στις κλιματικές συνθήκες κι επηρεάζουν την ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος (Li, 2024).

Στο πλαίσιο της βιώσιμης αρχιτεκτονικής και του βιοκλιματικού σχεδιασμού, η ενεργειακή κατανάλωση συνδέεται στενά με την έννοια της ενεργειακής απόδοσης. Η ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου αντικατοπτρίζει την ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για να επιτευχθούν καθορισμένες συνθήκες άνεσης και λειτουργίας, σε σχέση με την μορφολογία ενός κτιριακού όγκου. Η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης συνδέεται με τη μείωση των θερμικών απωλειών και τη βελτιστοποίηση των ενεργειακών συστημάτων, αλλά και με την υιοθέτηση παθητικών στρατηγικών που εκμεταλλεύονται το φυσικό περιβάλλον για να καλύψουν μέρος των θερμικών ή φωτιστικών αναγκών που κι ο πυρήνας του βιοκλιματικού σχεδιασμού (Elaouzy, 2023).

Συχνά, σε επίπεδο πολιτικών και κανονισμών, η ενεργειακή κατάταξη και η ενεργειακή επιθεώρηση χρησιμοποιούνται ως εργαλεία για τη μέτρηση και τον έλεγχο της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων. Η κατάταξη αυτή βασίζεται στην εκτιμώμενη κατανάλωση ενέργειας σε σχέση με ένα πρότυπο ή αναφορά και καθορίζει τις κατηγορίες ενεργειακής απόδοσης (A+, A, B, B+, Γ, Δ, Z, H), ενθαρρύνοντας τη βελτίωση των αποδόσεων με παρεμβάσεις στο κέλυφος και στα συστήματα. Η ενεργειακή επιθεώρηση λειτουργεί ως εργαλείο διάγνωσης και κατεύθυνσης των παρεμβάσεων αυτών (Κ.Ε.Ν.Α.Κ. & Βιοκλιματικός Σχεδιασμός, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 2011).

Η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης αποτελεί βασικό στόχο της βιώσιμης αρχιτεκτονικής και του βιοκλιματικού σχεδιασμού, στοχεύοντας στη μείωση των λειτουργικών δαπανών, των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και της εξάρτησης από συμβατικές πηγές ενέργειας. Οι στρατηγικές που εφαρμόζονται περιλαμβάνουν τη βελτιστοποίηση του κελύφους, την ενσωμάτωση παθητικών μέτρων, την επιλογή αποδοτικών συστημάτων (θέρμανση, αερισμός, κλιματισμός) και φωτισμού και, όπου είναι εφικτό, την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Τέτοιες ολοκληρωμένες προσεγγίσεις επιδιώκουν να καταστήσουν τα κτίρια όχι μόνο ενεργειακά αποδοτικά αλλά και περιβαλλοντικά ανθεκτικά και λειτουργικά βιώσιμα (Elaouzy, 2023).

1.1.4. Μέθοδοι εξοικονόμησης ενέργειας

Οι μέθοδοι εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια αποτελούν ένα κρίσιμο υποσύνολο του βιοκλιματικού και βιώσιμου σχεδιασμού, με στόχο τη μείωση των ενεργειακών αναγκών χωρίς να σημειωθεί υποβάθμιση της άνεσης των χρηστών. Η διεθνής βιβλιογραφία διακρίνει δύο γενικές κατηγορίες:

- τις παθητικές στρατηγικές, που αξιοποιούν φυσικές δυνάμεις και σχεδιαστικές επιλογές,
- και τις ενεργητικές/τεχνολογικές στρατηγικές, που περιλαμβάνουν αποδοτικά συστήματα θέρμανσης, ψύξης και διαχείρισης ενέργειας. Η συνδυασμένη εφαρμογή αυτών μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, ενισχύοντας ταυτόχρονα τη βιωσιμότητα του κτιρίου (Kokatnur, 2025; Balali, 2023).

Παθητικές Μέθοδοι Εξοικονόμησης Ενέργειας:

Οι παθητικές μέθοδοι αποτελούν το πρώτο και πιο κρίσιμο επίπεδο εξοικονόμησης ενέργειας, καθώς δεν απαιτούν μηχανικά ή ηλεκτρολογικά συστήματα για να λειτουργήσουν. Βασίζονται σε γνωστές αρχές κλιματικής σχεδίασης, προσαρμόζοντας το κτίριο στο περιβάλλον του με τρόπο που να ελαχιστοποιεί τις ενεργειακές απώλειες και να αξιοποιεί τα φυσικά πλεονεκτήματα του κλίματος. Οι πιο διαδεδομένες παθητικές στρατηγικές περιλαμβάνουν:

- Τη θερμομόνωση και τη στεγανοποίηση του κτιριακού κελύφους (στην επιστέγαση, στην εξωτερική τοιχοποιία και στον φέροντα οργανισμό) που μειώνουν τις απώλειες θερμότητας τον χειμώνα και τα θερμικά κέρδη το καλοκαίρι.
- Την ελεγχόμενη σκίαση και διάταξη ανοιγμάτων, ώστε να περιορίζονται τα ανεπιθύμητα ηλιακά κέρδη και να βελτιώνεται ο φυσικός φωτισμός.
- Την χρήση θερμικής μάζας, για εξισορρόπηση των θερμικών διακυμάνσεων μέσα στην ημέρα.
- Τον φυσικό αερισμό και την ροή αέρα, που μειώνουν την ανάγκη για μηχανικό δροσισμό (Kokatnur, 2025).

Η εφαρμογή των παθητικών στρατηγικών δύναται να μειώσει σημαντικά την ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων, ιδιαίτερα για τις ανάγκες θέρμανσης και ψύξης. Μελέτες δείχνουν ότι η θερμομόνωση, η βελτίωση του κελύφους και ο σωστός σχεδιασμός των ανοιγμάτων μπορούν να μειώσουν τα συνολικά ενεργειακά φορτία έως και κατά δεκάδες ποσοστιαίες μονάδες, ειδικά όταν οι στρατηγικές αυτές συνδυάζονται βέλτιστα (Balali, 2022).

Ενεργητικές/Τεχνολογικές Μέθοδοι Εξοικονόμησης Ενέργειας:

Εκτός από τα παθητικά μέτρα, η εξοικονόμηση ενέργειας επιτυγχάνεται μέσω τεχνολογικών λύσεων που μειώνουν την ενεργειακή δαπάνη των λειτουργικών συστημάτων του κτιρίου. Τέτοια μέτρα περιλαμβάνουν:

- Τα αποδοτικά συστήματα θέρμανσης, κλιματισμού και αερισμού με έξυπνο έλεγχο και ανάκτηση θερμότητας.

- Την χρήση συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (π.χ. φωτοβολταϊκά, ηλιακά θερμικά) για παραγωγή μέρους της απαιτούμενης ενέργειας.
- Τα συστήματα διαχείρισης ενέργειας κτιρίου που ελέγχουν και βελτιστοποιούν σε πραγματικό χρόνο την κατανάλωση.
- Την ενεργειακή αναβάθμιση των εγκαταστάσεων φωτισμού με χρήση LED και συστημάτων αυτόματου ελέγχου. (European Parliament & Council, 2024).

Συνδυασμένη Προσέγγιση Παθητικών και Ενεργητικών Μεθόδων:

Η βιβλιογραφία τονίζει ότι ο συνδυασμός παθητικών και ενεργητικών μεθόδων είναι κρίσιμος για την επίτευξη υψηλών επιπέδων ενεργειακής απόδοσης, ειδικά σε περιβάλλοντα με αυστηρές απαιτήσεις άνεσης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Η εφαρμογή μόνο παθητικών μέτρων μπορεί να μειώσει σημαντικά τις ανάγκες σε θέρμανση/ψύξη, αλλά η ολοκληρωμένη στρατηγική που περιλαμβάνει και αποδοτικά ενεργητικά συστήματα και συστήματα ελέγχου μεγιστοποιεί τα οφέλη και επιτρέπει ακόμη μεγαλύτερη μείωση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας (Kokatnur, 2025; Balali, 2023).

Εφαρμογές στον Κτιριακό Τομέα:

Στην πράξη, οι μέθοδοι εξοικονόμησης ενέργειας εφαρμόζονται τόσο σε νέα όσο και σε υφιστάμενα κτίρια μέσω παρεμβάσεων όπως η βελτίωση θερμομόνωσης, η εγκατάσταση ηλιακών σκιάστρων, η αναβάθμιση πλαισίων και υαλοπινάκων, η ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών και η χρήση συστημάτων ανάκτησης θερμότητας σε μονάδες αερισμού. Τέτοιες πρακτικές έχουν αποδειχθεί ότι μπορούν να μειώσουν την ενεργειακή κατανάλωση και τα λειτουργικά κόστη, συμβάλλοντας ταυτόχρονα στη μείωση των εκπομπών CO₂ και στην ενίσχυση της βιωσιμότητας (Balali, 2023).

Συμπερασματικά:

οι μέθοδοι εξοικονόμησης ενέργειας στηρίζονται σε ένα ευρύ φάσμα στρατηγικών που περιλαμβάνουν τόσο σχεδιαστικές επιλογές (παθητικές) όσο και τεχνολογικές λύσεις (ενεργητικές). Η ενσωμάτωσή τους στο σχεδιασμό και στη λειτουργία των κτιρίων αποτελεί προϋπόθεση για την επίτευξη υψηλών επιπέδων ενεργειακής απόδοσης, τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των

χρηστών. Ο συνδυασμός των μεθόδων αυτών είναι απαραίτητος για την ολοκληρωμένη, βιώσιμη και ευέλικτη αντιμετώπιση των προκλήσεων που θέτει η ενεργειακή κρίση και η κλιματική αλλαγή στον κτιριακό τομέα (Kokatnur, 2025; Balali, 2023).

1.1.5. Θεμελιώδεις νόμοι του βιοκλιματικού σχεδιασμού των ελληνικών σχολικών υποδομών

Στο ελληνικό πλαίσιο οι βασικοί νόμοι και κανονισμοί που διέπουν τον βιοκλιματικό σχεδιασμό των σχολικών κτιρίων έχουν εισαχθεί τόσο σε γενικούς κανονισμούς δόμησης όσο και σε εξειδικευμένες τεχνικές οδηγίες και πρακτικές κατευθύνσεις. Οι νομικές ρυθμίσεις στοχεύουν στην ενσωμάτωση περιβαλλοντικών και ενεργειακών απαιτήσεων από το στάδιο του σχεδιασμού του κτιρίου, με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης, την υγεία και την άνεση των χρηστών, καθώς και τη μείωση ενεργειακών αναγκών καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του σχολικού κελύφους.

Στον Νέο Οικοδομικό Κανονισμό (ΝΟΚ), ο βιοκλιματικός σχεδιασμός ορίζεται ως σχεδιασμός που αποσκοπεί στη βέλτιστη αξιοποίηση των φυσικών και κλιματολογικών συνθηκών για την επίτευξη κατάλληλων εσωτερικών περιβαλλοντικών συνθηκών και την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Αυτός ο ορισμός ενσωματώθηκε στην ελληνική νομοθεσία για να υποστηρίξει την ενεργειακή και περιβαλλοντική απόδοση των κτιρίων και αποτελεί θεμελιώδη νομική αρχή για τον σχεδιασμό σχολικών υποδομών (Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-6/2022, 2022).

Στο επίπεδο της εθνικής νομοθεσίας για τα κτίρια, ο Νέος Οικοδομικός Κανονισμός (Ν. 4067/2012) και οι τροποποιήσεις του, ενσωματώνουν αρχές που υποστηρίζουν θεμελιώδεις νόμους του βιοκλιματικού σχεδιασμού, όπως η ενεργειακή απόδοση, η μόνωση, η εκμετάλλευση ηλιακής ενέργειας και η ελαχιστοποίηση απωλειών. Η νομοθεσία αυτή απαιτεί από κάθε μελετητή, να λαμβάνει υπόψη κλιματικούς παράγοντες στην αρχική φάση σχεδιασμού, ως προϋπόθεση για την έκδοση των απαραίτητων αδειοδοτήσεων (ΕΛΙΝΥΑΕ., Βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίου, 2020).

Μία εκ των θεμελιωδών νομικών πηγών στον ελληνικό χώρο αποτελεί η Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-6: Βιοκλιματικός σχεδιασμός στον ελλαδικό χώρο, η οποία λειτουργεί ως κατευθυντήρια τεχνική οδηγία για μηχανικούς, αρχιτέκτονες και μελετητές,

συμπεριλαμβάνοντας βασικές αρχές, στρατηγικές και διαδικασίες που πρέπει να ληφθούν υπόψη στην πράξη. Αυτή η τεχνική οδηγία δεσμεύει τη σχεδιαστική διαδικασία με συγκεκριμένες παραμέτρους, όπως η αξιοποίηση ηλιακών κερδών, ο έλεγχος θερμικών απωλειών, η διαχείριση μικροκλίματος και ο φυσικός αερισμός, και χρησιμοποιείται ως τεκμηριωμένο πλαίσιο για τη μελέτη δημόσιων κτιρίων συμπεριλαμβανομένων σχολικών (Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-6/2022, 2022).

Οι θεμελιώδεις νόμοι του βιοκλιματικού σχεδιασμού στις ελληνικές σχολικές υποδομές περιλαμβάνουν επίσης τις κατευθυντήριες αρχές που έχουν αναπτυχθεί ειδικά για σχολικά κτίρια, σύμφωνα με οδηγούς δημόσιων φορέων όπως ο Οργανισμός Σχολικών Κτιρίων (ΟΣΚ). Σε αυτούς τους οδηγούς τοποθετούνται ως θεμελιώδεις αρχές η πρώτη ενσωμάτωση παθητικών μέτρων (προσανατολισμός, σκίαση, φυσικός φωτισμός, φυσικός αερισμός) και η ελαχιστοποίηση ενεργειακών απωλειών ήδη από τη φάση του σχεδιασμού, προκειμένου να εξασφαλιστεί ένα υγιεινό, ενεργειακά αποδοτικό και θερμικά άνετο περιβάλλον μάθησης (Οργανισμός Σχολικών Κτιρίων, 2008).

Ένας ακόμη θεμελιώδης «νόμος» στην πράξη των ελληνικών σχολικών υποδομών δεν περιορίζεται αποκλειστικά σε γραπτή νομοθεσία, αλλά περιγράφεται στην επιστημονική και τεχνική βιβλιογραφία ως αρχή της κατάλληλης προσαρμογής στο τοπικό κλίμα. Αυτή η αρχή προκύπτει από την παραδοχή ότι οι ελληνικές γεωγραφικές και κλιματικές συνθήκες (π.χ. μεγάλη ηλιοφάνεια, Μεσογειακό κλίμα) απαιτούν σχεδιασμό που εκμεταλλεύεται τα ηλιακά κέρδη τον χειμώνα και περιορίζει την υπερθέρμανση το καλοκαίρι, ενσωματώνοντας κατάλληλες τεχνικές και υλικά. Αυτή η πρακτική έχει θεμελιωθεί στον ελληνικό βιοκλιματικό σχεδιασμό σχολικών κτιρίων.

Τέλος, οι θεμελιώδεις νόμοι του βιοκλιματικού σχεδιασμού των σχολικών υποδομών δεν αναφέρονται μόνο σε τεχνικά κριτήρια, αλλά έχουν και εκπαιδευτικό και κοινωνικό χαρακτήρα. Πιο συγκεκριμένα η προώθησή τους συμβάλλει στην περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση της σχολικής κοινότητας και στην εκπαίδευση για βιωσιμότητα, ενισχύοντας την επίγνωση των μαθητών σχετικά με την ενεργειακή απόδοση και την ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος (Χριστοδουλάκης, 2022).

2. Βιώσιμη αρχιτεκτονική & αρχές βιώσιμου σχεδιασμού

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός, όπως αναπτύχθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, επικεντρώνεται κυρίως στην προσαρμογή του κτιρίου στις τοπικές κλιματικές συνθήκες και στην αξιοποίηση παθητικών στρατηγικών για τη βελτίωση της ενεργειακής και περιβαλλοντικής του συμπεριφοράς. Η βιώσιμη αρχιτεκτονική αποτελεί ευρύτερο πλαίσιο, καθώς ενσωματώνει, πέρα από τη βιοκλιματική προσέγγιση, ζητήματα κύκλου ζωής, επιλογής υλικών, κατανάλωσης πόρων, κοινωνικής ισότητας, οικονομικής βιωσιμότητας, ανθεκτικότητας και μακροχρόνιας προσαρμοστικότητας. Υπό αυτή την έννοια, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός αποτελεί βασική, αλλά όχι αποκλειστική, συνιστώσα της βιώσιμης αρχιτεκτονικής

Η βιώσιμη αρχιτεκτονική συγκροτεί ένα ολιστικό πεδίο θεωρίας και πράξης που στοχεύει στη διαμόρφωση κτιρίων και χώρων με μειωμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, υψηλή αποδοτικότητα πόρων και θετική συμβολή στην υγεία, άνεση και ευζωία των χρηστών. Σε αντίθεση με προσεγγίσεις που περιορίζονται σε “ενεργειακές” λύσεις, η βιώσιμη αρχιτεκτονική αντιμετωπίζει το κτίριο ως σύστημα που αλληλοεπιδρά με τα οικοσυστήματα, τους οικονομικούς πόρους και τις κοινωνικές ανάγκες, επιδιώκοντας ισορροπία μεταξύ περιβαλλοντικής υπευθυνότητας και λειτουργικής ποιότητας (Kibert, 2022; Edwards, 2014).

Κεντρική αρχή της βιώσιμης αρχιτεκτονικής είναι η συστημική σκέψη: η απόδοση του κτιρίου δεν αξιολογείται μόνο από μεμονωμένες τεχνολογίες (π.χ. ΑΠΕ), αλλά από το συνολικό ισοζύγιο ενέργειας, υλικών και επιπτώσεων σε όλο τον κύκλο ζωής. Η λογική αυτή μεταφράζεται σε έναν σχεδιασμό που δίνει έμφαση στη μείωση ζήτησης, στη βελτιστοποίηση του κτιριακού κελύφους, στην παθητική αξιοποίηση του κλίματος και στη συνέχεια σε αποδοτικά συστήματα. Η διεθνής βιβλιογραφία για τα “green buildings” τονίζει ότι η βιωσιμότητα είναι πολυκριτηριακή έννοια και απαιτεί συνδυασμό τεχνικών, οργανωτικών και κοινωνικών παρεμβάσεων (Kibert, 2022; Zuo et al., 2014).

Η ενεργειακή αποδοτικότητα ενός κτιρίου αποτελεί τον πυρήνα των αρχών του βιώσιμου σχεδιασμού, κι έχει ως στόχο τον περιορισμό των θερμικών φορτίων αρχικά μέσω παθητικών στρατηγικών, δηλαδή με αρχιτεκτονικά μέσα (προσανατολισμός, σκίαση, φυσικός αερισμός, θερμική μάζα, θερμομόνωση), και στη συνέχεια την επιλογή

αποδοτικών ενεργητικών συστημάτων για την κάλυψη των υπόλειπομενων αναγκών ενός κτιρίου. Ειδικά σε σχολικά κτίρια, οι παθητικές στρατηγικές θεωρούνται κρίσιμες για τη μείωση της υπερθέρμανσης, την εξομάλυνση θερμικών αιχμών και τη βελτίωση των συνθηκών άνεσης των χρηστών (Díaz-López et al., 2022; Lechner, 2022).

Μια δεύτερη θεμελιώδης αρχή είναι η μετάβαση από το «λειτουργικό» στο «ολικό» ενεργειακό αποτύπωμα, δηλαδή τη συνεκτίμηση της ενσωματωμένης ενέργειας και των εκπομπών των υλικών, πέρα από την ενέργεια λειτουργίας. Καθώς η ενεργειακή απόδοση των κτιρίων βελτιώνεται, η σχετική σημασία του ενσωματωμένου αποτυπώματος αυξάνεται, κάνοντας κρίσιμη την επιλογή των κατάλληλων υλικών χαμηλού CO₂, την ανακύκλωση και την επαναχρησιμοποίηση τους και τον σχεδιασμό με βάση τη μακροβιότητα, ενισχύοντας την ανθεκτικότητα και μειώνοντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Kibert, 2022; Cabeza et al., 2013).

Η βιβλιογραφία υπογραμμίζει ότι η σύγκριση και η επιλογή λύσεων πρέπει να γίνεται με βάση τεκμηριωμένα δεδομένα κύκλου ζωής και όχι μόνο με τις λειτουργικές καταναλώσεις (Kibert, 2022; Cabeza et al., 2013).

Η ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος (Indoor Environmental Quality – IEQ) κατέχει κεντρική θέση στον βιώσιμο σχεδιασμό των εκπαιδευτικών κτιρίων, καθώς οι συνθήκες θερμικής, οπτικής και ακουστικής άνεσης, ο επαρκής αερισμός και ο περιορισμός των εσωτερικών ρύπων μπορούν να επηρεάσουν την υγεία, την ευεξία, τη συγκέντρωση και τη μαθησιακή εμπειρία των χρηστών. Επομένως, η ενεργειακή εξοικονόμηση δεν πρέπει να επιτυγχάνεται εις βάρος της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος (Allen et al., 2016).

Τέλος, αναφέρεται ότι στις σχολικές υποδομές η βιωσιμότητα των σχολικών υποδομών δεν κρίνεται μόνο από τους ενεργειακούς δείκτες, αλλά και από τη μαθησιακή εμπειρία, την ισότητα πρόσβασης σε ποιοτικούς χώρους και την ανθεκτικότητα του κτιρίου σε μελλοντικές κλιματικές πιέσεις. Έτσι, οι αρχές βιώσιμου σχεδιασμού χρειάζεται να μεταφράζονται σε τεκμηριωμένες επιλογές, προσαρμοσμένες στο τοπικό πλαίσιο και στη λειτουργία του σχολείου (Zuo et al., 2014; Guy et al., 2001).

2.1. Η βιωσιμότητα στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό

Η βιωσιμότητα στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό αποτελεί μια ολοκληρωμένη προσέγγιση που υπερβαίνει τις παραδοσιακές λειτουργικές και αισθητικές απαιτήσεις, προκειμένου να ελαχιστοποιήσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των κτιρίων καθ' όλο τον κύκλο ζωής τους, από την εξόρυξη και την επεξεργασία των πρώτων υλών έως την κατασκευή, τη λειτουργία, τη συντήρηση, την αποδόμηση και, όπου είναι εφικτό, την επαναχρησιμοποίηση των δομικών στοιχείων. Ο σχεδιασμός βιώσιμων κτιρίων βασίζεται σε αρχές που ενσωματώνουν ενεργειακή απόδοση, χρήση πόρων, διαχείριση νερού, ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος και κοινωνική βιωσιμότητα, ενώ αναγνωρίζει ότι οι ανθρώπινες ανάγκες πρέπει να ικανοποιούνται με σεβασμό στο περιβάλλον και τις μελλοντικές γενιές (Ragheb, 2016).

Η αρχιτεκτονική βιωσιμότητα δεν περιορίζεται στην ενεργειακή απόδοση, αλλά περιλαμβάνει κι ευρύτερους στόχους όπως η μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μέσω της διαχείρισης φυσικών πόρων, η προστασία της βιοποικιλότητας, η εφαρμογή παθητικών στρατηγικών και η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η έννοια της βιωσιμότητας αφορά τη δημιουργία κτιρίων που λειτουργούν αποδοτικά, μειώνουν το περιβαλλοντικό αποτύπωμα και ταυτοχρόνως ανταποκρίνονται στις ανάγκες των χρηστών σε θέματα άνεσης, υγείας και ευζωίας (Mba et al, 2024).

Ένα θεμελιώδες χαρακτηριστικό της βιώσιμης αρχιτεκτονικής είναι η ολιστική ενσωμάτωση περιβαλλοντικών παραμέτρων από τα πρώτα στάδια του σχεδιασμού, με στόχο τη βέλτιστη και εποχικά ελεγχόμενη αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας, του φυσικού φωτισμού και του φυσικού αερισμού, ενώ παράλληλα να ελαχιστοποιηθούν οι ενεργειακές ανάγκες μέσω βέλτιστων μορφών και διατάξεων. Η βιωσιμότητα απαιτεί επίσης κατανόηση και βελτιστοποίηση των τοπικών κλιματικών συνθηκών και περιβαλλοντικών δεδομένων ώστε η μορφή και η λειτουργία του κτιρίου να προσαρμόζονται στα τοπικά κλιματικά χαρακτηριστικά, αντί να εξαρτώνται αποκλειστικά από ενεργοβόρα μηχανικά συστήματα (Feria, 2019).

Η σύγχρονη βιβλιογραφία επισημαίνει την ανάγκη ενσωμάτωσης της ανθεκτικότητας και της προσαρμοστικότητας στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό, ώστε τα κτίρια να μπορούν να ανταποκρίνονται σε ακραία κλιματικά φαινόμενα, στις μεταβολές των περιβαλλοντικών

συνθηκών και στις νέες τεχνολογικές απαιτήσεις χωρίς να καταφεύγουν αποκλειστικά σε εντατικές ενεργειακές λύσεις (Mba, 2024).

Η βιώσιμη αρχιτεκτονική απαιτεί επίσης την ενσωμάτωση των κοινωνικών και των πολιτισμικών παραμέτρων στον σχεδιασμό κτιρίων και του δομημένου περιβάλλοντος. Αυτό σημαίνει ότι οι χώροι πρέπει να είναι λειτουργικοί, προσβάσιμοι, να προάγουν την ευζωία των χρηστών και να ενισχύουν το κοινωνικό ιστό της κοινότητας στην οποία εντάσσονται, λαμβάνοντας υπόψη τις αξίες, τις ανάγκες και τον πολιτιστικό χαρακτήρα του τόπου. Η βιωσιμότητα στοχεύει στη συνολική ποιότητα ζωής και όχι μόνο στη μείωση ενέργειας ή πόρων (Korance, 2021).

Πιο συγκεκριμένα η βιωσιμότητα στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό απαιτεί συνδυασμό πολλαπλών παραγόντων, περιβαλλοντικών, κοινωνικών, οικονομικών και λειτουργικών, ώστε να δημιουργούνται κτίρια ενεργειακά αποδοτικά, λειτουργικά, ανθεκτικά και φιλικά προς τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Η ενσωμάτωση αυτών των αρχών αποτελεί ουσιαστική προϋπόθεση για τη μετάβαση σε μια πραγματικά βιώσιμο και ανθεκτικό δομημένο περιβάλλον (Sustainable architecture, 2026; Korance, 2021).

2.1.1. Μέθοδοι μείωσης του περιβαλλοντικού αποτυπώματος στα κτίρια

Η μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των κτιρίων αποτελεί βασικό στόχο της βιώσιμης αρχιτεκτονικής, δεδομένου ότι ο κτιριακός τομέας ευθύνεται για σημαντικό ποσοστό της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών CO₂. Το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των κτιρίων περιλαμβάνει τις επιπτώσεις που συνδέονται με τη λειτουργική κατανάλωση ενέργειας, την ενσωματωμένη ενέργεια και τον ενσωματωμένο άνθρακα των υλικών, καθώς και με την κατανάλωση πόρων και νερού, την παραγωγή αποβλήτων και τις επιπτώσεις που εμφανίζονται σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής. Η σύγχρονη βιβλιογραφία τονίζει ότι η στρατηγική μείωσης πρέπει να καλύπτει ολόκληρο τον κύκλο ζωής του κτιρίου, από τον σχεδιασμό έως την αποδόμηση (Cabeza et al., 2013; Pomponi et al., 2016).

Μία από τις σημαντικότερες μεθόδους μείωσης του περιβαλλοντικού αποτυπώματος είναι η βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης μέσω παθητικών στρατηγικών σχεδιασμού. Η μείωση των θερμικών απωλειών και κερδών μέσω θερμομόνωσης, ελέγχου ηλιακής ακτινοβολίας, φυσικού αερισμού και αξιοποίησης θερμικής μάζας μειώνει σημαντικά τις

ανάγκες για μηχανική θέρμανση και ψύξη. Η βιβλιογραφία υποστηρίζει ότι η προτεραιότητα στη μείωση της ενεργειακής ζήτησης μέσω παθητικών και κτιριακών παρεμβάσεων αποτελεί συνήθως βασική προϋπόθεση για μια αποτελεσματική και οικονομικά ορθολογική στρατηγική απανθρακοποίησης (Lechner, 2021; Diaz-Lopez et al., 2022).

Η επιλογή υλικών χαμηλού ενσωματωμένου άνθρακα αποτελεί επίσης κρίσιμη μέθοδο περιορισμού του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Η επιλογή υλικών πρέπει να βασίζεται σε τεκμηριωμένα δεδομένα κύκλου ζωής. Η τοπική προέλευση μπορεί να μειώνει τις επιπτώσεις μεταφοράς, δεν αποτελεί όμως από μόνη της εγγύηση χαμηλού περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Επιπλέον, η επιλογή υλικών με μεγάλη διάρκεια ζωής και δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης συμβάλλει στη συνολική περιβαλλοντική βελτιστοποίηση (Cabeza et al, 2013; Pomponi et al, 2016).

Η εφαρμογή της ανάλυσης κύκλου ζωής (Life Cycle Assessment-LCA) αποτελεί βασικό εργαλείο για τη συστηματική αξιολόγηση και μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Η LCA επιτρέπει τη σύγκριση εναλλακτικών σχεδιαστικών λύσεων με βάση συστηματικά και συγκρίσιμα δεδομένα, υπό σαφώς καθορισμένα όρια συστήματος και παραδοχές εκπομπών και ενεργειακής κατανάλωσης σε όλα τα στάδια ζωής του κτιρίου. Η χρήση LCA ενισχύει τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων και καθιστά μετρήσιμη την περιβαλλοντική απόδοση (Dixit et al., 2010).

Η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) συμβάλλει στη μείωση των λειτουργικών εκπομπών άνθρακα, ιδίως όταν συνδυάζεται με μείωση ενεργειακής ζήτησης. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα, οι ηλιακοί θερμικοί συλλέκτες και οι αντλίες θερμότητας χαμηλής κατανάλωσης επιτρέπουν την κάλυψη σημαντικού μέρους των ενεργειακών αναγκών από καθαρές πηγές. Παράλληλα, η εφαρμογή αποδοτικών αντλιών θερμότητας μπορεί να περιορίσει την κατανάλωση συμβατικών καυσίμων, υπό την προϋπόθεση ότι το σύστημα έχει διαστασιολογηθεί ορθά και λειτουργεί σε κτίριο με επαρκώς αναβαθμισμένο κέλυφος. Η συνολική περιβαλλοντική τους συμβολή εξαρτάται επίσης από την προέλευση της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνουν. Ωστόσο, η βιβλιογραφία τονίζει ότι η επιτυχής εφαρμογή ΑΠΕ εξαρτάται από την προηγούμενη βελτιστοποίηση του κελύφους και της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου (Lechner, 2022; Sartori et al., 2012).

Τέλος, η παρακολούθηση και η έξυπνη διαχείριση ενέργειας (Building Energy Management Systems-BEMS) μειώνει τη σπατάλη μέσω συνεχούς ελέγχου και βελτιστοποίησης της λειτουργίας των συστημάτων. Για παράδειγμα η χρήση αισθητήρων κι αυτοματισμών επιτρέπει τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και τη μείωση των εκπομπών χωρίς την υποβάθμιση της άνεσης. Μελέτες δείχνουν ότι τα συστήματα διαχείρισης μπορούν να επιτύχουν σημαντικές μειώσεις κατανάλωσης όταν συνδυάζονται με σωστό σχεδιασμό και με ευαισθητοποίηση χρηστών (Allen et al., 2016; Ding et al., 2008).

2.1.2. Διεθνή και Ελληνικά πρότυπα, κανονισμοί και συστήματα περιβαλλοντικής αξιολόγησης

Η ενσωμάτωση της βιωσιμότητας στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό δεν περιορίζεται σε θεωρητικές αρχές, αλλά θεσμοθετείται και μέσω διεθνών και εθνικών προτύπων, κανονισμών και συστημάτων αξιολόγησης. Τα πρότυπα αυτά λειτουργούν ως κατευθυντήριες γραμμές για τον σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργία κτιρίων με μειωμένο περιβαλλοντικό αποτύπωμα, προσφέροντας μεθοδολογικά εργαλεία μέτρησης και συγκριτικής αξιολόγησης. Στη διεθνή βιβλιογραφία επισημαίνεται ότι η ύπαρξη προτύπων ενισχύει τη διαφάνεια, τη συγκρισιμότητα και τη βελτίωση της περιβαλλοντικής επίδοσης του δομημένου περιβάλλοντος (Ding et al., 2008; Cole et al., 1999).

Σε διεθνές επίπεδο, ιδιαίτερη σημασία έχουν τα συστήματα περιβαλλοντικής πιστοποίησης κτιρίων, όπως το BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) και το LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), τα οποία αξιολογούν την περιβαλλοντική επίδοση βάσει κριτηρίων όπως ενέργεια, νερό, υλικά, ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος και διαχείριση αποβλήτων. Τα συστήματα αυτά συνέβαλαν στη θεσμοθέτηση μετρήσιμων δεικτών βιωσιμότητας και στην ενσωμάτωση της περιβαλλοντικής λογικής στη διαδικασία του σχεδιασμού (Ding et al., 2008).

Σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν επίσης τα διεθνή πρότυπα της σειράς ISO 14000, τα οποία καθορίζουν αρχές περιβαλλοντικής διαχείρισης και ανάλυσης κύκλου ζωής (LCA). Το ISO 14040 και το ISO 14044 παρέχουν το πλαίσιο για την αξιολόγηση των

περιβαλλοντικών επιπτώσεων προϊόντων και κτιρίων σε όλα τα στάδια ζωής τους, ενισχύοντας τη μετάβαση από απλές ενεργειακές εκτιμήσεις σε ολοκληρωμένες περιβαλλοντικές αξιολογήσεις (ISO 14000, 2026).

Στο πεδίο της ενεργειακής απόδοσης, καθοριστική σημασία έχει η Ευρωπαϊκή Οδηγία 2024/1275/ΕΕ για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων (EPBD) καθώς και η αναθεώρησή της, η οποία εισήγαγε την έννοια των κτιρίων σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας (nZEB). Η Οδηγία αυτή υποχρεώνει τα κράτη-μέλη να θεσπίσουν ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης και να ενισχύσουν τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα νέα και υφιστάμενα κτίρια, επηρεάζοντας άμεσα και τον σχεδιασμό σχολικών υποδομών (Sartori et al., 2012, European Parliament & Council, 2024).

Στην Ελλάδα, το βασικό ρυθμιστικό εργαλείο για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων είναι ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK), ο οποίος θεσπίστηκε σε συμμόρφωση με την ευρωπαϊκή νομοθεσία και καθορίζει ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης, διαδικασίες ενεργειακής επιθεώρησης και έκδοση Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ). Ο ΚENAK ενσωματώνει υποχρεώσεις για θερμομόνωση, απόδοση συστημάτων και αξιοποίηση ΑΠΕ, αποτελώντας το βασικό εργαλείο εφαρμογής της βιωσιμότητας στην ελληνική κτιριακή πράξη (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2017).

Συμπληρωματικά, οι Τεχνικές Οδηγίες του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.), όπως η Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701 για την ενεργειακή απόδοση και η 20701-6 για τον βιοκλιματικό σχεδιασμό, παρέχουν εξειδικευμένες μεθοδολογικές κατευθύνσεις για υπολογισμούς θερμικών απωλειών, ενεργειακής κατανάλωσης και ενσωμάτωσης βιοκλιματικών στρατηγικών στον ελληνικό χώρο. Οι οδηγίες αυτές μεταφράζουν τις γενικές ευρωπαϊκές απαιτήσεις σε πρακτικό εργαλείο για τον μελετητή μηχανικό (Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 2022; 2017).

Συνολικά, τα διεθνή και ελληνικά πρότυπα διαμορφώνουν ένα πολυεπίπεδο θεσμικό πλαίσιο που καθοδηγεί τη βιώσιμη αρχιτεκτονική από τη θεωρία στην πράξη. Η ύπαρξη κανονιστικών απαιτήσεων και συστημάτων αξιολόγησης επιτρέπει την ποσοτικοποίηση της περιβαλλοντικής επίδοσης και ενισχύει τη διαφάνεια και τη συγκρισιμότητα μεταξύ έργων. Στο πλαίσιο των σχολικών υποδομών, η συμμόρφωση με τα πρότυπα αυτά αποτελεί βασική προϋπόθεση για την επίτευξη της ενεργειακής αναβάθμισης, της

περιβαλλοντικής ποιότητας και της μακροχρόνιας βιωσιμότητας (Ding et al., 2008; Sartori et al., 2012).

3. Παρουσίαση & ανάλυση υφιστάμενου σχολικού κτιρίου

3.1. Γενικά στοιχεία κτιρίου

Η παρούσα ενότητα επικεντρώνεται στην παρουσίαση και στην ανάλυση ενός υφιστάμενου σχολικού κτιρίου που χρησιμοποιείται ως πεδίο εφαρμογής της έρευνας, και συγκεκριμένα του 12ου Δημοτικού Σχολείου εντός του εγκεκριμένου σχεδίου πόλεως Λαμίας στον Δήμο Λαμιέων της Περιφερειακής Ενότητας Φθιώτιδας. Το κτίριο εξετάζεται όχι ως μια μεμονωμένη και αποκομμένη περίπτωση, αλλά ως αντιπροσωπευτικό παράδειγμα σχολικής υποδομής που εντάσσεται σε ευρύτερη κατηγορία ελληνικών δημόσιων σχολικών κτιρίων, τα οποία συχνά έχουν κατασκευαστεί με βασικά λειτουργικά και κατασκευαστικά κριτήρια, χωρίς εξαρχής ενσωματωμένες αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού. Η επιλογή αυτή επιτρέπει την εξαγωγή συμπερασμάτων που μπορούν να συνδεθούν με παρόμοια σχολικά κτίρια σε μεσογειακές κλιματικές συνθήκες και όχι να περιοριστούν αποκλειστικά σε μία στενή μελέτη περίπτωσης (Lechner, 2022; Santamouris, 2013).

Η ανάλυση υφιστάμενου κτιρίου αποτελεί αναγκαίο στάδιο πριν από οποιαδήποτε πρόταση ενεργειακής ή αρχιτεκτονικής αναβάθμισης, διότι επιτρέπει την κατανόηση των πραγματικών αδυναμιών του κτιρίου και όχι απλώς την εφαρμογή γενικών λύσεων. Στην περίπτωση των σχολικών κτιρίων, η ανάγκη αυτή είναι ακόμη πιο σημαντική επειδή οι χρήστες είναι κυρίως παιδιά, τα οποία επηρεάζονται άμεσα από τη θερμική δυσφορία, τον ανεπαρκή αερισμό, τη θάμβωση και τις μεταβολές της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος. Επομένως, η παρουσίαση του κτιρίου δεν περιορίζεται στην περιγραφή της θέσης και της μορφής του, αλλά επεκτείνεται στην αξιολόγηση του τρόπου με τον οποίο το κτίριο ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις άνεσης, υγείας και ενεργειακής αποδοτικότητας (Barrett et al., 2013; Wargocki & Wyon, 2013).

Το υπό μελέτη σχολικό ανήκει στη Δημόσια Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση και λειτουργεί ως ολόημερη σχολική μονάδα στον Δήμο Λαμιέων, της Περιφερειακής Ενότητας Φθιώτιδας. Ως τυπικό σχολικό κτίριο της ελληνικής επικράτειας, παρουσιάζει χαρακτηριστικά που συνδέονται με τις προδιαγραφές σχεδιασμού προηγούμενων δεκαετιών, όπου η ενεργειακή απόδοση δεν αποτελούσε βασικό κριτήριο σχεδιασμού. Τα σχολικά κτίρια αυτού του τύπου χαρακτηρίζονται από απλή γεωμετρία, τυποποιημένες κατόψεις και

περιορισμένη προσαρμογή στις τοπικές κλιματικές συνθήκες, γεγονός που επηρεάζει την ενεργειακή και περιβαλλοντική τους συμπεριφορά (Neufert, 2012; OECD, 2011).

Η ένταξή του στο αστικό περιβάλλον έχει ιδιαίτερη σημασία, καθώς το μικροκλίμα του οικοπέδου επηρεάζεται από τα γειτονικά κτίρια, τις σκληρές επιφάνειες/δομικά υλικά και από την περιορισμένη βλάστηση. Τα στοιχεία αυτά επιδρούν τόσο στις εξωτερικές συνθήκες όσο και στη θερμική και περιβαλλοντική συμπεριφορά του ίδιου του σχολικού κελύφους. Έτσι, η ανάλυση δεν πρέπει να αντιμετωπίζει το σχολείο ως μεμονωμένο αντικείμενο, αλλά ως μέρος ενός ευρύτερου περιβαλλοντικού και αστικού συστήματος (Emmanuel, 2005; Oke, 2002).

Η υφιστάμενη κατάσταση του κτιρίου εξετάζεται με βάση τη λογική της «διάγνωσης» πριν από την παρέμβαση. Με άλλα λόγια, το κεφάλαιο αυτό λειτουργεί ως η τεκμηριωμένη βάση πάνω στην οποία θα στηριχθούν οι προτάσεις του Κεφαλαίου 4. Αν η ανάλυση δεν είναι επαρκής, οι παρεμβάσεις κινδυνεύουν να είναι αποσπασματικές ή αισθητικού χαρακτήρα, χωρίς ουσιαστική επίδραση στην ενεργειακή και περιβαλλοντική συμπεριφορά του κτιρίου. Για τον λόγο αυτό, η παρουσίαση του σχολείου οργανώνεται γύρω από τους βασικούς άξονες του βιοκλιματικού σχεδιασμού: κλίμα, προσανατολισμός, κέλυφος, ενεργειακές απαιτήσεις, θερμική άνεση, φυσικός φωτισμός και φυσικός αερισμός (Olgyay, 2015; Givoni, 1998).

Η μελέτη του 12ου Δημοτικού Σχολείου Λαμίας αποκτά ερευνητικό ενδιαφέρον ακριβώς επειδή μπορεί να λειτουργήσει ως πεδίο εφαρμογής ενός γενικότερου πλαισίου αξιολόγησης σχολικών κτιρίων. Η εργασία δεν επιδιώκει απλώς να περιγράψει ένα συγκεκριμένο σχολείο, αλλά να διερευνήσει ποια προβλήματα εμφανίζονται σε ένα τυπικό σχολικό κτίριο μεσογειακής περιοχής και ποιες βιοκλιματικές στρατηγικές μπορούν να απαντήσουν σε αυτά. Έτσι, το συγκεκριμένο κτίριο λειτουργεί ως εργαλείο εφαρμογής και όχι ως το μοναδικό αντικείμενο της έρευνας, επιτρέποντας τη σύνδεση των ευρημάτων με ευρύτερες κατηγορίες υφιστάμενων σχολικών υποδομών (Creswell et al., 2018).

3.1.1. Καταγραφή και ανάλυση κλιματικών και περιβαλλοντικών συνθηκών

Η περιοχή της Λαμίας εντάσσεται στην κλιματική ζώνη της Κεντρικής Ελλάδας και χαρακτηρίζεται από τυπικό μεσογειακό κλίμα, με θερμά και ξηρά καλοκαίρια και ήπιους

έως δροσερούς χειμώνες. Οι υψηλές θερινές θερμοκρασίες, οι οποίες συχνά υπερβαίνουν τους 30°C, σε συνδυασμό με τα αυξημένα επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας, οδηγούν σε σημαντική αύξηση των ψυκτικών φορτίων των κτιρίων και ενισχύουν το φαινόμενο της υπερθέρμανσης των εσωτερικών χώρων ιδιαίτερα όταν το κτίριο δεν διαθέτει επαρκή σκίαση, θερμομόνωση ή φυσικό αερισμό. Βέβαια, η θερμική επιβάρυνση δεν οφείλεται μόνο στη θερμοκρασία του αέρα, αλλά και στη συσσώρευση θερμότητας στα δομικά στοιχεία, τα οποία απορροφούν ηλιακή ακτινοβολία και την αποδίδουν σταδιακά στο εσωτερικό του κτιρίου. Αυτό το φαινόμενο είναι ιδιαίτερα έντονο σε κτίρια με ανεπαρκές θερμομονωτικό κέλυφος και μεγάλες εκτεθειμένες επιφάνειες. Η διαχείριση των θερμικών κερδών μέσω κατάλληλων παθητικών στρατηγικών κρίνεται αναγκαία ιδιαίτερα στην περίπτωση του σχολικού κτιρίου, όπου η χρήση γίνεται κατά τις πρωινές και μεσημβρινές ώρες (Lechner, 2022; Szokolay, 2014; Santamouris, 2013; Givoni, 1998).

Η σχετική υγρασία και η παρουσία τοπικών ανέμων επηρεάζουν άμεσα τις συνθήκες θερμικής άνεσης και τον βαθμό αποδοτικότητας του φυσικού αερισμού. Σε περιοχές με θερμά καλοκαίρια, ακόμη και μικρές αυξήσεις στην κίνηση του αέρα μπορούν να βελτιώσουν την αντιλαμβανόμενη θερμική άνεση, εφόσον ο αερισμός είναι οργανωμένος και όχι τυχαίος. Αντίθετα, όταν το κτίριο δεν επιτρέπει διαμπερή ροή ή όταν τα ανοίγματα δεν λειτουργούν αποτελεσματικά, η θερμότητα παραμένει εγκλωβισμένη στους εσωτερικούς χώρους, αυξάνοντας τη δυσφορία των χρηστών. Αυτό συνδέεται άμεσα με την ανάγκη αξιολόγησης του φυσικού αερισμού ως βασικό στοιχείο της υφιστάμενης κατάστασης (Nicol & Humphreys, 2012).

Σε αστικές περιοχές, όπως η Λαμία, η πυκνή δόμηση και οι σκληρές επιφάνειες συμβάλλουν στην ενίσχυση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας, αυξάνοντας περαιτέρω τη θερμοκρασία του μικροκλίματος και επιβαρύνοντας το θερμικό ισοζύγιο των κτιρίων. Επιπλέον, εάν ο περιβάλλων χώρος του σχολείου έχει περιορισμένη βλάστηση κι ελάχιστες υδατοπερατές ή ψυχρές επιφάνειες, τότε η θερμική επιβάρυνση εντείνεται, επηρεάζοντας τόσο τις υπαίθριες δραστηριότητες όσο και τη θερμική συμπεριφορά του κτιρίου (Santamouris, 2015; Oke, 2002).

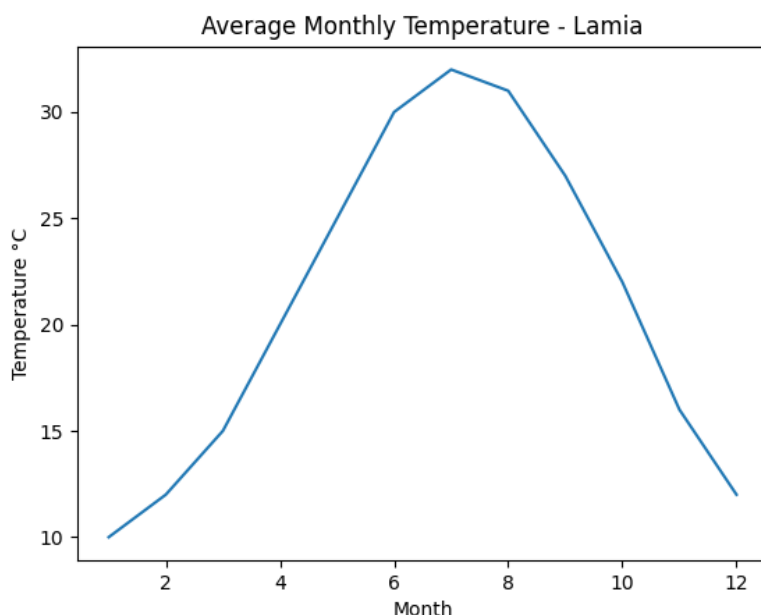
Η κατανόηση των τοπικών κλιματικών συνθηκών αποτελεί βασική προϋπόθεση για τον ορθολογικό σχεδιασμό επεμβάσεων ενεργειακής αναβάθμισης και τη βελτίωση της

περιβαλλοντικής απόδοσης των σχολικών κτιρίων (Santamouris, 2013; Emmanuel, 2005; Oke, 2002; Givoni, 1998).

Παράμετρος	Χειμώνας	Καλοκαίρι
Μέση θερμοκρασία	8–12°C	28–32°C
Μέγιστη θερμοκρασία	15°C	>35°C
Σχετική υγρασία	60–75%	40–60%
Ηλιακή ακτινοβολία	Μέτρια	Υψηλή
Άνεμος	Χαμηλός	Μέτριος

Πίνακας 3.1: Μέσες κλιματικές συνθήκες Λαμίας

Οι τιμές του Πίνακα 3.1 καταδεικνύουν ότι η περιοχή παρουσιάζει έντονη θερινή θερμική καταπόνηση, γεγονός που επιβεβαιώνει τη σημασία του παθητικού δροσισμού και της ηλιοπροστασίας. Η υψηλή ηλιακή ακτινοβολία κατά τη θερινή περίοδο αυξάνει τα θερμικά κέρδη μέσω των ανοιγμάτων και του κελύφους, ενώ οι σχετικά περιορισμένοι άνεμοι καθιστούν τον φυσικό αερισμό λιγότερο αποδοτικό χωρίς κατάλληλο σχεδιασμό (Santamouris, 2013; Givoni, 1998).



Διάγραμμα 3.1: Μέση μηνιαία θερμοκρασία Λαμίας

Με βάση τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής (Διάγραμμα 3.1), η πλειονότητα των θερινών ωρών βρίσκεται εκτός της ζώνης θερμικής άνεσης, γεγονός που απαιτεί

εφαρμογή στρατηγικών παθητικού δροσισμού. Σύμφωνα με τα βιοκλιματικά διαγράμματα του Givoni, οι συνθήκες της Λαμίας το καλοκαίρι εντάσσονται σε περιοχές όπου ενδείκνυνται τεχνικές όπως η αξιοποίηση του φυσικού αερισμού, η χρήση θερμικής μάζας και η ενίσχυση του μικροκλίματος μέσω φυτεύσεων. Αντίθετα, κατά τη χειμερινή περίοδο, το κτίριο πρέπει να μπορεί να αξιοποιεί παθητικά ηλιακά κέρδη χωρίς όμως να δημιουργεί προβλήματα υπερθέρμανσης τις μεταβατικές περιόδους (Olgyay, 2015; Brown et al, 2014).

Η ψυχομετρική αυτή ανάλυση αναδεικνύει ότι η στρατηγική αναβάθμισης πρέπει να είναι ισορροπημένη και να ανταποκρίνεται στις εποχικές διακυμάνσεις του μεσογειακού κλίματος (Szokolay, 2014; Givoni, 1998).

Η σύνδεση των κλιματικών δεδομένων με συγκεκριμένες στρατηγικές (Πίνακας 3.2) αποτελεί βασική αρχή του βιοκλιματικού σχεδιασμού, καθώς επιτρέπει την προσαρμογή του σχολικού κτιρίου στο τοπικό περιβάλλον και τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης (Olgyay, 2015; Santamouris, 1996).

Κλιματικό Πρόβλημα	Προτεινόμενη Στρατηγική
Υψηλές θερμοκρασίες καλοκαιριού	Εξωτερική σκίαση, φυτεύσεις
Έντονη ηλιακή ακτινοβολία	Οριζόντια σκίαστρα, περσίδες
Περιορισμένος άνεμος	Διαμπερής αερισμός
Θερμική νησίδα	Πράσινες επιφάνειες, ψυχρά υλικά
Θερμικές απώλειες χειμώνα	Θερμομόνωση, νότιος προσανατολισμός

Πίνακας 3.2: Σύνδεση κλίματος με στρατηγικές σχεδιασμού

3.1.2. Χωροθέτηση και ηλιακός προσανατολισμός του κτιρίου

Η χωροθέτηση και ο ηλιακός προσανατολισμός αποτελούν βασικούς παράγοντες που καθορίζουν την ενεργειακή και περιβαλλοντική συμπεριφορά ενός κτιρίου. Στα σχολικά κτίρια, η σημασία τους είναι ιδιαίτερα απαραίτητη καθώς οι αίθουσες διδασκαλίας απαιτούν σταθερές συνθήκες φωτισμού και θερμικής άνεσης κατά τη διάρκεια της ημέρας. Ο προσανατολισμός του κτιρίου επηρεάζει την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στις όψεις, τη δυνατότητα αξιοποίησης του φυσικού φωτισμού, αλλά και τον κίνδυνο υπερθέρμανσης κατά τους θερμούς μήνες (Lechner, 2022; Dekay et al., 2014).

Στο μεσογειακό κλίμα, ο νότιος προσανατολισμός θεωρείται γενικά ευνοϊκός, καθώς επιτρέπει την αξιοποίηση της χαμηλής χειμερινής ηλιακής ακτινοβολίας και ταυτόχρονα μπορεί να προστατέψει το κτίριο σχετικά εύκολα κατά τη θερινή περίοδο, με τη χρήση οριζόντιων σκιάστρων. Αντιθέτως οι ανατολικές και κυρίως οι δυτικές όψεις είναι πιο δύσκολο να ελεγχθούν, επειδή δέχονται χαμηλή ηλιακή ακτινοβολία κατά τις πρωινές και απογευματινές ώρες αντίστοιχα. Η δυτική έκθεση είναι ιδιαίτερα επιβαρυντική, καθώς συμπίπτει με τις ώρες κατά τις οποίες η θερμοκρασία περιβάλλοντος έχει ήδη αυξηθεί (Olgyay, 2015; Szokolay, 2014).

Στην περίπτωση του 12ου Δημοτικού Σχολείου Λαμίας, η ανάλυση του προσανατολισμού πρέπει να επικεντρωθεί στη σχέση των αιθουσών διδασκαλίας με τις κύριες όψεις του κτιρίου και στη διαχείριση των ηλιακών κερδών. Αν οι αίθουσες διαθέτουν ανοίγματα με ανατολικό ή δυτικό προσανατολισμό χωρίς επαρκή σκίαση, είναι πιθανό να εμφανίζονται συνθήκες έντονης θάμβωσης και αυξημένης θερμοκρασίας σε συγκεκριμένες ώρες της ημέρας. Το φαινόμενο αυτό δεν είναι απλώς ζήτημα άνεσης, αλλά επηρεάζει τη λειτουργικότητα της αίθουσας και τη δυνατότητα των μαθητών να παρακολουθήσουν το μάθημα χωρίς οπτική ή θερμική δυσφορία (Baker, 2002).

Η χωροθέτηση του κτιρίου επηρεάζεται επίσης από τον περιβάλλοντα αστικό ιστό. Τα γειτονικά κτίρια, η περιτοίχιση ενός οικοπέδου, η βλάστηση, οι σκληρές επιφάνειες/δρόμοι μπορούν να διαφοροποιήσουν τη σκίαση, την πρόσβαση στον άνεμο και την ηλιακή πρόσπτωση. Η ύπαρξη ακάλυπτων χώρων γύρω από το σχολείο μπορεί να αυξήσει την ηλιακή έκθεση, ενώ η έλλειψη βλάστησης περιορίζει τη φυσική σκίαση και τη βελτίωση του μικροκλίματος. Επομένως, η αξιολόγηση του προσανατολισμού δεν πρέπει να περιορίζεται στο ίδιο το κτίριο, αλλά να επεκτείνεται στον άμεσο περιβάλλοντα χώρο (Emmanuel, 2005; Oke, 2002).

Η ανάλυση του ηλιακού προσανατολισμού αναδεικνύει τη σημασία της στοχευμένης σκίασης ως μελλοντικής παρέμβασης. Τα οριζόντια σκιάστρα είναι καταλληλότερα για νότιες όψεις, ενώ οι κατακόρυφες περσίδες ή τα πλευρικά σκιάστρα είναι πιο αποτελεσματικά για ανατολικές και δυτικές όψεις. Έτσι, το Κεφάλαιο 3 δεν περιορίζεται στην περιγραφή του προβλήματος, αλλά δημιουργεί τη βάση για τις τεχνικές λύσεις του Κεφαλαίου 4, όπου η σκίαση θα αποτελέσει το βασικό εργαλείο περιορισμού των θερμικών κερδών και της θάμβωσης (Lechner, 2022; Dekay et al., 2014).

3.1.3. Υλικά δόμησης και χαρακτηριστικά του κτιριακού κελύφους

Το κτιριακό κέλυφος αποτελεί το βασικό όριο μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος και καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τη θερμική συμπεριφορά του κτιρίου. Στη περίπτωση υφιστάμενων σχολικών κτιρίων, το κέλυφος συχνά παρουσιάζει ανεπαρκή θερμομονωτική προστασία, παλαιά κουφώματα και θερμογέφυρες, στοιχεία που αυξάνουν τις θερμικές απώλειες τον χειμώνα και τα θερμικά κέρδη το καλοκαίρι. Για τον λόγο αυτό, η αξιολόγηση του κελύφους είναι κεντρική για την κατανόηση της ενεργειακής απόδοσης ενός σχολείου (Santamouris, 2015).

Σε πολλά ελληνικά σχολικά κτίρια, ο φέροντας οργανισμός τους αποτελείται από οπλισμένο σκυρόδεμα και οι τοιχοποιίες πλήρωσης έχουν κατασκευαστεί από οπτοπλινθοδομές με βασικά κριτήρια αντοχής και λειτουργικότητας και όχι τη θερμική απόδοση. Αυτό σημαίνει ότι οι εξωτερικές επιφάνειες μπορεί να έχουν υψηλό συντελεστή θερμοπερατότητας, επιτρέποντας την εύκολη μεταφορά θερμότητας. Το αποτέλεσμα είναι ότι το κτίριο ψύχεται γρήγορα τον χειμώνα και υπερθερμαίνεται το καλοκαίρι, απαιτώντας μεγαλύτερη χρήση μηχανικών συστημάτων για τη διατήρηση ανεκτών συνθηκών (Kolokotsa et al., 2016; Santamouris, 2013).

Τα κουφώματα αποτελούν ιδιαίτερα κρίσιμο σημείο του κελύφους, καθώς μπορούν να επιτυγχάνουν μείωση των θερμικών απωλειών κατά την διάρκεια του χειμώνα και των θερμικών κερδών τους θερινούς μήνες, την ελαχιστοποίηση των «θερμογεφυρών», και παράλληλα να συμβάλουν στην αεροστεγανότητα και στην ηχομόνωση του κτιρίου. Παράλληλα, όταν δεν συνοδεύονται από κατάλληλη σκίαση, λειτουργούν ως σημεία ανεξέλεγκτης εισόδου ηλιακής ακτινοβολίας και θερμότητας. Έτσι, τα κουφώματα πρέπει να εξετάζονται όχι μόνο ως κατασκευαστικά στοιχεία, αλλά και ως ενεργειακοί και περιβαλλοντικοί μηχανισμοί (Lechner, 2022; Baker et al., 2000).

Η οροφή ενός κτιρίου αποτελεί επίσης σημαντικό στοιχείο της θερμικής συμπεριφοράς, ειδικά σε μεσογειακά κλίματα όπου η ηλιακή ακτινοβολία είναι έντονη. Μια ανεπαρκώς θερμομονωμένη οροφή, με υψηλό συντελεστή θερμοπερατότητας, μπορεί να αποτελέσει την κύρια αιτία των ενεργειακών απωλειών ενός κτιρίου και τη δημιουργία συνθηκών χαμηλής θερμικής άνεσης κατά την διάρκεια του χειμώνα και να λειτουργήσει ως μέσο απορρόφησης θερμότητας κατά τους θερινούς μήνες, μεταφέροντας το θερμικό φορτίο στους εσωτερικούς χώρους. Σε σχολικά κτίρια ενός ή περισσότερων ορόφων, η θερμική

επιβάρυνση της οροφής μπορεί να επηρεάζει ιδιαίτερα τις αίθουσες που βρίσκονται στους ανώτερους ορόφους, αυξάνοντας τη θερμική δυσφορία κατά τη θερινή περίοδο (Santamouris, 2015; Givoni, 1998).

Η ύπαρξη θερμογεφυρών αποτελεί έναν ακόμη παράγοντα που επηρεάζει τη θερμική απόδοση του κτιριακού κελύφους. Θερμογέφυρες εμφανίζονται συνήθως σε σημεία σύνδεσης δοκών, υποστυλωμάτων, πλακών και ανοιγμάτων, όπου η θερμική ροή είναι αυξημένη σε σχέση με τις υπόλοιπες επιφάνειες. Εκτός από την αύξηση των θερμικών απωλειών, οι θερμογέφυρες μπορούν να προκαλέσουν τοπικά χαμηλές επιφανειακές θερμοκρασίες και προβλήματα συμπύκνωσης, επηρεάζοντας την υγιεινή και την ανθεκτικότητα του κτιρίου (Asdrubali et al., 2012).

Η συνολική εικόνα του κελύφους οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το κτίριο παρουσιάζει σημαντικές δυνατότητες ενεργειακής βελτίωσης. Η μελλοντική αναβάθμιση θα πρέπει να περιλαμβάνει τη θερμομόνωση εξωτερικών τοιχοποιίας, τη θερμομόνωση δώματος ή στέγης / πλάκας κάτω από μη θερμομονωμένη στέγη, την αντικατάσταση κουφωμάτων με θερμοδιακοπτόμενα πλαίσια και με ενεργειακούς υαλοπίνακες και την αντιμετώπιση των θερμογεφυρών. Οι παρεμβάσεις αυτές δεν θα συμβάλουν μόνο στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, αλλά και στη σταθεροποίηση των εσωτερικών θερμοκρασιών που συνεπάγεται με τη βελτίωση της θερμικής άνεσης των μαθητών και εκπαιδευτικών (Lechner 2022; Santamouris, 2016).

3.1.4. Καταγραφή και ανάλυση των ενεργειακών απαιτήσεων των χρηστών

Οι ενεργειακές απαιτήσεις ενός σχολικού κτιρίου δεν προκύπτουν μόνο από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του, αλλά και από το πρόγραμμα λειτουργίας του, τη συχνότητα χρήσης των χώρων και τον αριθμό των χρηστών. Σχολικά κτίρια όπως το 12ο Δημοτικό Σχολείο Λαμίας λειτουργούν κυρίως τις πρωινές και μεσημβρινές ώρες, περίοδο κατά την οποία η ηλιακή ακτινοβολία και η εσωτερική θερμική επιβάρυνση μπορεί να είναι ιδιαίτερα σημαντικές. Η υψηλή πυκνότητα μαθητών στις αίθουσες αυξάνει τις απαιτήσεις για αερισμό και επηρεάζει τη θερμική και περιβαλλοντική λειτουργία του κτιρίου (Wargocki & Wyon, 2013).

Η κατανάλωση ενέργειας σε ένα σχολικό κτίριο συνδέεται κυρίως με τη θέρμανση, την ψύξη, τον τεχνητό φωτισμό και τη λειτουργία ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού. Σε

κτίρια με ανεπαρκές θερμομονωτικό κέλυφος, οι ανάγκες θέρμανσης και ψύξης αυξάνονται, επειδή το κτίριο δεν μπορεί να διατηρήσει σταθερές εσωτερικές συνθήκες χωρίς συνεχή ενεργειακή υποστήριξη. Παράλληλα, όταν ο φυσικός φωτισμός δεν είναι ποιοτικά επαρκής, αυξάνεται η ανάγκη για χρήση τεχνητού φωτισμού ακόμη και κατά τη διάρκεια της ημέρας (Santamouris, 2013; Baker et al., 2002)

Οι χρήστες ενός σχολικού κτιρίου έχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις άνεσης, οι οποίες διαφέρουν από άλλες κατηγορίες κτιρίων. Οι μαθητές περνούν αρκετές ώρες σε αίθουσες διδασκαλίας, με συνθήκες περιορισμένης κινητικότητας, γεγονός που αυξάνει την ευαισθησία τους σε θερμική δυσφορία, σε θάμβωση ή σε κακή ποιότητα αέρα. Επομένως, οι ενεργειακές απαιτήσεις δεν πρέπει να αξιολογούνται αποκλειστικά ως ποσοτικά μεγέθη κατανάλωσης, αλλά σε σχέση με την ικανότητα του κτιρίου να υποστηρίζει τις εκπαιδευτικές λειτουργίες (Allen et al., 2016; Barrett et al., 2013).

Κατηγορία χρήσης	Κύρια ενεργειακή ανάγκη	Περίοδος αυξημένης απαίτησης	Σύνδεση με λειτουργία σχολείου	Βαρύτητα
Αίθουσες διδασκαλίας	Θέρμανση/Ψύξη/ Φωτισμός/Αερισμός	Όλο το σχολικό έτος	Συνεχής χρήση κατά τις πρωινές ώρες	Υψηλή
Γραφεία Εκπαιδευτικών	Θέρμανση/Ψύξη/ Φωτισμός	Όλο το σχολικό έτος	Διοικητική και υποστηρικτική λειτουργία	Μέτρια
Διάδρομοι/ Κοινόχρηστοι χώροι	Φωτισμός/Αερισμός	Πρωινές ώρες λειτουργίας	Κυκλοφορία και σύνδεση χρηστών	Μέτρια
Χώροι Υγιεινής	Φωτισμός/Αερισμός	Όλο το σχολικό έτος	Υγιεινή και καθημερινή χρήση	Χαμηλή προς μέτρια
Αύλειος Χώρος	Σκίαση/ Θερμική προστασία	Άνοιξη-καλοκαίρι	Διάλειμμα, συγκέντρωση υπαίθριες δραστηριότητες	Υψηλή σε θερμές περιόδους

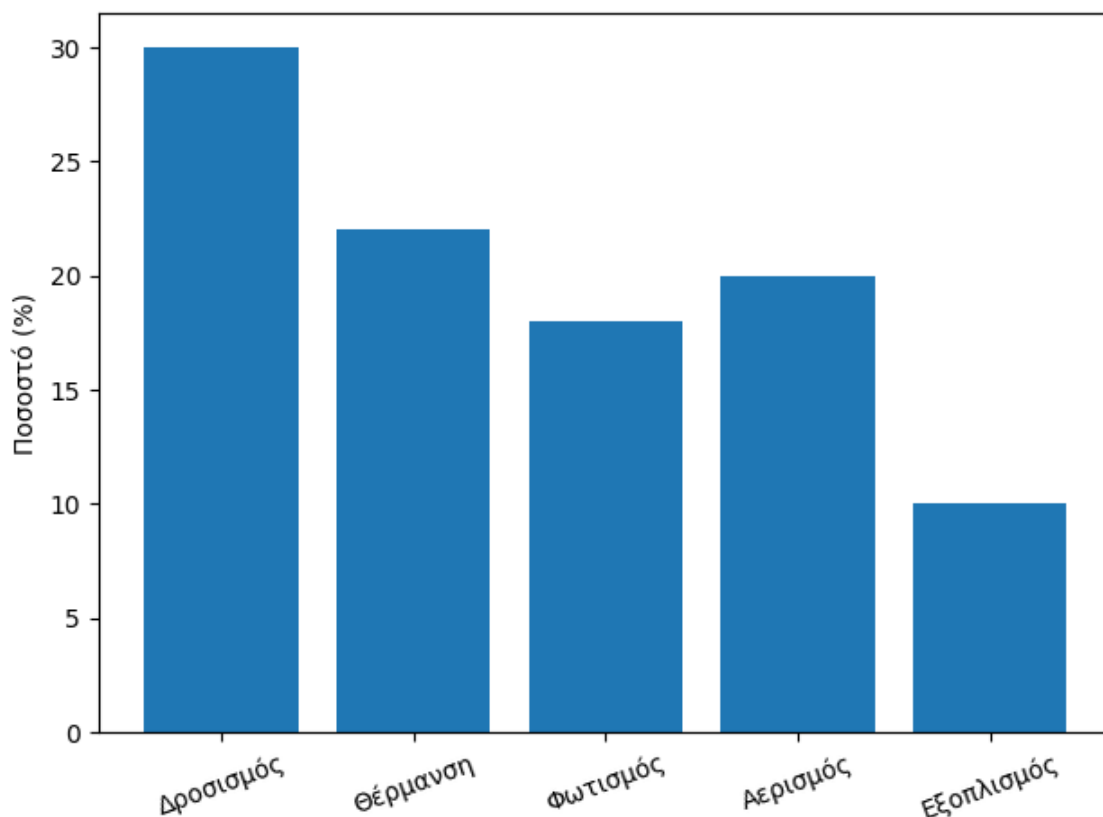
Πίνακας 3.3: Καταγραφή ενεργειακών απαιτήσεων ανά κατηγορία χρήσης

Η ανάλυση των ενεργειακών απαιτήσεων των χρηστών (Πίνακας 3.3), που προέκυψε έπειτα από την συλλογή δεδομένων μέσω ημιδομημένων ερωτηματολογίων, των οποίων η στατιστική επεξεργασία έγινε με το λογισμικό JASP, και συνεντεύξεων με τους εκπαιδευτικούς καθώς και μέσω της αξιοποίησης της επιτόπιας παρατήρησης, αναδεικνύει αρχικά ότι οι αίθουσες διδασκαλίας παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες ενεργειακές απαιτήσεις λόγω αυξημένου χρόνου χρήσης και υψηλής πυκνότητας χρηστών και ότι το κτίριο πρέπει να προσφέρει θερμική σταθερότητα, επαρκή αερισμό και οπτική άνεση με όσο το δυνατόν μικρότερη ενεργειακή κατανάλωση.

Παράμετρος	Μέση Αξιολόγηση Χρηστών (1-5)	Ερμηνεία Αποτελέσματος	Προτεινόμενη Σύνδεση με Κεφάλαιο 4
Ανάγκη για θέρμανση τον χειμώνα	3,7	Μέτρια προς υψηλή ανάγκη	Βελτίωση κτιριακού κελύφους & αντικατάσταση κουφωμάτων
Ανάγκη για δροσισμό το καλοκαίρι	4,4	Πολύ υψηλή ανάγκη	Σκίαση, φυσικός αερισμός, νυχτερινός δροσισμός
Ανάγκη για τεχνητό φωτισμό	3,2	Μέτρια ανάγκη	Βελτίωση φυσικού φωτισμού & LED
Ανάγκη για συχνό άνοιγμα παραθύρων	4,1	Υψηλή ανάγκη αερισμού	Διαμπερής αερισμός & έλεγχος CO ₂
Ανάγκη για σκίαση	4,3	Πολύ υψηλή ανάγκη	Εξωτερικά σκίαστρα & φύτευση

Πίνακας 3.4: Ιεράρχηση ενεργειακών απαιτήσεων χρηστών

Τα αποτελέσματα του Πίνακα 3.4 ενισχύουν τη διαπίστωση ότι η θερινή περίοδος αποτελεί την πιο κρίσιμη ενεργειακή και περιβαλλοντική πρόκληση για το σχολικό κτίριο. Η υψηλή βαθμολογία στην ανάγκη για δροσισμό και σκίαση συνδέεται άμεσα με τα προβλήματα υπερθέρμανσης που αναδείχθηκαν στο Κεφάλαιο 3 και τεκμηριώνει την ανάγκη να δοθεί προτεραιότητα σε παθητικές στρατηγικές ηλιοπροστασίας και φυσικού αερισμού στο Κεφάλαιο 4 (Lechner, 2022; Givoni, 1998).



Διάγραμμα 3.2: Κατανομή ενεργειακών απαιτήσεων

Οι ανάγκες δροσισμού και θέρμανσης αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος της συνολικής ενεργειακής επιβάρυνσης, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 3.2. Αυτό σημαίνει ότι η μελλοντική αναβάθμιση δεν μπορεί να βασιστεί αποκλειστικά σε μηχανολογικά συστήματα, αλλά πρέπει να ξεκινά από τη μείωση των ίδιων των αναγκών μέσω παθητικών παρεμβάσεων. Η λογική αυτή είναι η βασική αρχή του βιοκλιματικού σχεδιασμού και θα αποτελέσει κεντρικό άξονα στο Κεφάλαιο 4 (Lechner, 2022; Olgyay, 2015; Santamouris, 2015; Givoni, 1998).

3.1.5. Καταγραφή των υφιστάμενων συνθηκών θερμικής άνεσης

Η θερμική άνεση αποτελεί βασικό δείκτη ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος και συνδέεται άμεσα με τη σωματική και πνευματική κατάσταση των χρηστών. Σε σχολικούς χώρους, η θερμική δυσφορία μπορεί να επηρεάσει τη συγκέντρωση, τη συμμετοχή και τη μαθησιακή απόδοση. Η θερμική άνεση δεν εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία του αέρα, αλλά και από τη σχετική υγρασία, την ταχύτητα του αέρα, τη θερμοκρασία των

επιφανειών στον περιβάλλοντα χώρο, τη δραστηριότητα των χρηστών και την ενδυμασία τους (Nicol & Humphreys, 2012; Fanger, 1970).

Παράγοντας	Επίδραση στη θερμική άνεση	Παρατηρούμενο πρόβλημα	Σύνδεση με προτεινόμενη παρέμβαση
Θερμομόνωση κτιριακού κελύφους	Ρύθμιση θερμικών απωλειών/κερδών	Ασταθής εσωτερική θερμοκρασία	Θερμομόνωση εξωτερικής τοιχοποιίας/δώματος
Ηλιακή ακτινοβολία	Αύξηση θερμικών κερδών	Υπερθέρμανση αιθουσών	Σκίαστρα & φύτευση
Φυσικός αερισμός	Απομάκρυνση θερμότητας	Περιορισμένη ανανέωση αέρα	Διαμπερής & νυχτερινός αερισμός
Θερμική μάζα	Αποθήκευση θερμότητας	Ασταθής εσωτερική θερμοκρασία	Νυχτερινός δροσισμός
Κουφώματα	Απώλειες & αεροδιείσδυση	Ασταθής εσωτερική θερμοκρασία	Ενεργειακά κουφώματα

Πίνακας 3.5: Συσχέτιση παραγόντων που επηρεάζουν την θερμική άνεση

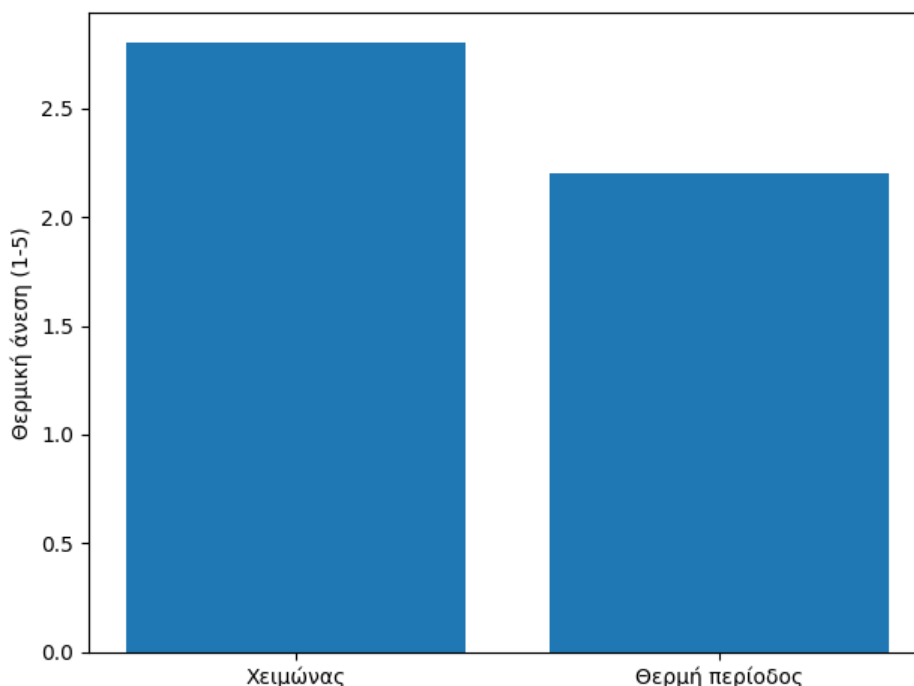
Ο Πίνακας 3.5 τεκμηριώνει ότι η θερμική άνεση δεν επηρεάζεται από έναν μόνο παράγοντα, αλλά από τη συνδυαστική λειτουργία του κελύφους, του ήλιου, του αερισμού και των ανοιγμάτων. Η σύνθετη αυτή σχέση εξηγεί γιατί μια μεμονωμένη παρέμβαση δεν επαρκεί για τη συνολική βελτίωση των συνθηκών. Αντίθετα, απαιτείται συνδυασμός θερμομόνωσης, σκίασης και φυσικού αερισμού, ώστε να αντιμετωπιστεί τόσο η χειμερινή όσο και η θερινή θερμική δυσφορία (Lechner, 2022; Givoni, 1998).

Παράμετρος	Χειμερινή περίοδος	Θερινή περίοδος	Ερμηνεία
Αντιλαμβανόμενη θερμική άνεση	2,8/5	2,2/5	Χαμηλότερη άνεση στη θερινή περίοδο
Συχνότητα θερμικής δυσφορίας	3,2/5	4,4/5	Η δυσφορία τους θερινούς μήνες είναι εντονότερη
Ανάγκη παρέμβασης χρηστών	3,5/5	4,5/5	Οι χρήστες προσπαθούν να προσαρμοστούν στο περιβάλλον
Ικανοποίηση από υφιστάμενες συνθήκες	2,9/5	2,1/5	Μη ικανοποιητική συνολική εικόνα

Πίνακας 3.6: Αξιολόγηση θερμικής άνεσης ανά εποχή

Στο εξεταζόμενο σχολικό κτίριο, οι συνθήκες θερμικής άνεσης εκτιμάται ότι παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις από τα επιθυμητά επίπεδα (Πίνακας 3.6), κυρίως κατά τη θερινή περίοδο. Η αυξημένη ηλιακή ακτινοβολία, η ανεπαρκής σκίαση, η περιορισμένη θερμομονωτική προστασία και ο ανεπαρκής φυσικός αερισμός συνδυάζονται και δημιουργούν συνθήκες υπερθέρμανσης. Η θερμική δυσφορία δεν αποτελεί μεμονωμένο φαινόμενο, αλλά αποτέλεσμα της συνολικής αδυναμίας του κτιρίου να ελέγξει τις θερμικές ανταλλαγές του με το περιβάλλον (Santamouris, 2013; Givoni, 1998).

Κατά τη χειμερινή περίοδο, το πρόβλημα διαφοροποιείται, καθώς η ανεπαρκής θερμομόνωση μπορεί να οδηγήσει σε θερμικές απώλειες και σε χαμηλότερες εσωτερικές θερμοκρασίες, ιδιαίτερα κατά τις πρωινές ώρες όπου ξεκινά η λειτουργία του σχολείου και οι αίθουσες πρέπει να έχουν αποδεκτές θερμικές συνθήκες από την αρχή της ημέρας. Αν το κτίριο δεν έχει θερμική σταθερότητα, απαιτείται μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση για τη γρήγορη επίτευξη άνεσης (Lechner, 2022; Fanger 1970)



Διάγραμμα 3.3: Σύγκριση θερμικής άνεσης

Το Διάγραμμα 3.3 αναδεικνύει ότι οι χρήστες αξιολογούν δυσμενέστερα τις συνθήκες θερμικής άνεσης κατά τη θερινή περίοδο. Η διαφορά αυτή είναι συμβατή με την κλιματική ανάλυση της Λαμίας, όπου οι υψηλές θερμοκρασίες και η έντονη ηλιακή ακτινοβολία αυξάνουν τα ψυκτικά φορτία και τη θερμική δυσφορία. Επομένως, το σχολικό κτίριο χρειάζεται παρεμβάσεις που να στοχεύουν κυρίως στη θερινή προστασία, όπως σκίαση, φυσικός αερισμός και περιορισμός θερμικών κερδών.

Η αξιολόγηση της θερμικής άνεσης πρέπει να συνδυάζει τεχνική εκτίμηση και εμπειρική αντίληψη των χρηστών. Για παράδειγμα, μια αίθουσα μπορεί να βρίσκεται θεωρητικά εντός αποδεκτών θερμοκρασιακών ορίων, αλλά οι χρήστες να βιώνουν δυσφορία λόγω ακτινοβολούμενης θερμότητας από τις υπάρχουσες σκληρές επιφάνειες, λόγω έλλειψης αέρα ή έντονης ηλιακής πρόσπτωσης. Για τον λόγο αυτό, τα ερωτηματολόγια και οι παρατηρήσεις χρήσης αποτελούν σημαντικά εργαλεία τεκμηρίωσης της πραγματικής λειτουργίας του κτιρίου (Olgyay, 2015; Santamouris, 2013; Nicol & Humphreys, 2012; de Dear & Brager, 1998).

Η χαμηλή αξιολόγηση της θερμικής άνεσης στο πλαίσιο της παρούσας ανάλυσης δείχνει ότι απαιτούνται παρεμβάσεις που θα περιορίζουν τα θερμικά φορτία και θα βελτιώνουν

τον φυσικό δροσισμό. Οι παρεμβάσεις αυτές δεν πρέπει να περιοριστούν στην εγκατάσταση μηχανικών συστημάτων, αλλά να ξεκινήσουν από τη βελτίωση του κελύφους, τη σκίαση και τον αερισμό. Η σύνδεση αυτή είναι κρίσιμη, επειδή μεταφέρει τα ευρήματα του Κεφαλαίου 3 σε συγκεκριμένες στρατηγικές του Κεφαλαίου 4 (Santamouris 2016; Olgyay, 2015).

Πρόβλημα	Πιθανή αιτία	Επίπτωση στους χρήστες	Προτεραιότητα παρέμβασης
Υψηλή θερμοκρασία αιθουσών	Ηλιακά κέρδη κι ανεπαρκής σκίαση	Θερμική δυσφορία, μειωμένη συγκέντρωση	Πολύ υψηλή
Απότομες θερμικές μεταβολές	Αδύναμο κέλυφος	Αίσθηση αστάθειας	Υψηλή
Ανεπαρκής δροσισμός	Περιορισμένος φυσικός αερισμός	Κόπωση και δυσφορία	Υψηλή
Θερμή ακτινοβολία από επιφάνειες	Θερμική συσσώρευση	Επιβάρυνση άνεσης	Μέτρια προς υψηλή
Ανάγκη συχνής χρήσης μηχανημάτων	Παθητική ανεπάρκεια	Αυξημένη κατανάλωση	Υψηλή

Πίνακας 3.7: Θερμική διάγνωση ανά πρόβλημα

Ο Πίνακας 3.7 συνοψίζει ότι η θερμική δυσφορία στο σχολικό κτίριο είναι αποτέλεσμα πολλαπλών αλληλοσυνδεόμενων παραγόντων. Η υψηλή προτεραιότητα παρέμβασης στις περισσότερες κατηγορίες δείχνει ότι η θερμική αναβάθμιση πρέπει να αποτελέσει κεντρικό άξονα του σχεδιασμού. Η σύνδεση της δυσφορίας με την πιθανή μείωση συγκέντρωσης των μαθητών ενισχύει τη σημασία της παρέμβασης όχι μόνο ως ενεργειακής επιλογής, αλλά και ως εκπαιδευτικής και λειτουργικής αναγκαιότητας (Wargocki & Wyon, 2013; Barrett et al., 2013).

Η συνολική εικόνα που προκύπτει από τους πίνακες και τα διαγράμματα δείχνει ότι οι ενεργειακές απαιτήσεις των χρηστών και οι συνθήκες θερμικής άνεσης συνδέονται άμεσα. Η ανάγκη για δροσισμό, σκίαση και αερισμό εμφανίζεται ως κυρίαρχη, γεγονός που επιβεβαιώνει ότι το κτίριο δεν μπορεί να αξιολογηθεί μόνο με βάση τη χειμερινή ενεργειακή συμπεριφορά. Αντίθετα, η θερινή περίοδος αποτελεί καθοριστική παράμετρο για τη βιοκλιματική αναβάθμιση του σχολείου (Nicol & Humphreys, 2012; Givoni, 1998).

Τα δεδομένα τεκμηριώνουν ότι οι παρεμβάσεις του Κεφαλαίου 4 πρέπει να ιεραρχηθούν με βάση τη θερμική προστασία και τη βελτίωση της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος. Η θερμομόνωση, η σκίαση, ο φυσικός αερισμός και η βελτίωση του φωτισμού δεν πρέπει να αντιμετωπιστούν ως ανεξάρτητες λύσεις, αλλά ως αλληλοσυμπληρούμενες στρατηγικές. Με τον τρόπο αυτό, η ερευνητική καταγραφή των ενεργειακών απαιτήσεων οδηγεί άμεσα στη διαμόρφωση τεκμηριωμένων βιοκλιματικών παρεμβάσεων (Lechner, 2022; Santamouris, 2016)

3.1.6. Καταγραφή των υφιστάμενων συνθηκών φυσικού φωτισμού

Ο φυσικός φωτισμός αποτελεί καθοριστική παράμετρο της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος (Indoor Environmental Quality – IEQ), καθώς επηρεάζει άμεσα την οπτική άνεση, τη συγκέντρωση, την απόδοση και την ψυχολογική κατάσταση των χρηστών.

Σε μια σχολική αίθουσα, ο φωτισμός πρέπει να είναι επαρκής, ομοιόμορφος και απαλλαγμένος από έντονη θάμβωση. Η ποιότητα του φυσικού φωτισμού δεν εξαρτάται μόνο από το μέγεθος των ανοιγμάτων, αλλά και από τον προσανατολισμό τους, το βάθος της αίθουσας, τις ανακλαστικές ιδιότητες των επιφανειών και την ύπαρξη συστημάτων σκίασης (Baker & Steemers, 2014; Boyce, 2014).

Παράγοντας	Παρατηρούμενη Επίδραση	Ενδεχόμενη συνέπεια
Προσανατολισμός	Μεταβολή ποσότητας φωτισμού	Αναμοιομορφία
Μέγεθος ανοιγμάτων	Διαφορετική διείσδυση φωτός	Περιορισμένη κάλυψη
Σκίαση από γειτονικά κτίρια	Μείωση φωτισμού	Ανάγκη τεχνητού φωτισμού
Ανακλαστικότητα εσωτερικών επιφανειών	Μεταβολή διάχυσης	Οπτική άνεση ή θάμβωση

Πίνακας 3.8: Παράγοντες που επηρεάζουν τον φυσικό φωτισμό

Στο εξεταζόμενο σχολικό κτίριο, ο φυσικός φωτισμός φαίνεται να είναι ποσοτικά επαρκής σε αρκετές περιπτώσεις, αλλά ποιοτικά προβληματικός (Πίνακας 3.8). Αυτό σημαίνει ότι το πρόβλημα δεν είναι απαραίτητα η έλλειψη φωτός, αλλά η μη ομοιόμορφη κατανομή

του και η ανεξέλεγκτη είσοδος άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας. Σε τέτοιες συνθήκες, οι περιοχές κοντά στα παράθυρα μπορεί να είναι υπερβολικά φωτεινές, ενώ οι βαθύτερες ζώνες της αίθουσας να παραμένουν σχετικά σκοτεινές (Reinhart, 2020; Tregenza et al., 2011).

Οι νότιες και δυτικές αίθουσες παρουσιάζουν υψηλότερα επίπεδα φωτισμού λόγω μεγαλύτερης έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία, ενώ οι αίθουσες που χωροθετούνται στο βορρά εμφανίζουν χαμηλότερες τιμές. Σημειώνεται ότι οι υψηλές τιμές σε ορισμένους χώρους πιθανόν να συνοδεύονται από φαινόμενα θάμβωσης, γεγονός που υποδηλώνει ότι η ποσότητα φωτός δεν αποτελεί το μοναδικό κριτήριο αξιολόγησης, αλλά πρέπει να εξετάζεται και η ποιότητά του.

Η θάμβωση αποτελεί ένα από τα σοβαρότερα προβλήματα σε αίθουσες διδασκαλίας, καθώς επηρεάζει την ορατότητα του πίνακα, την ανάγνωση, τη γραφή και τη χρήση ψηφιακών μέσων. Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία, όταν δεν ελέγχεται με σκίαστρα ή κατάλληλη διάταξη ανοιγμάτων, μπορεί να δημιουργήσει έντονες αντιθέσεις φωτεινότητας. Αυτές οι αντιθέσεις προκαλούν οπτική κόπωση και οδηγούν τους χρήστες είτε στη χρήση κουρτινών είτε στην ενεργοποίηση τεχνητού φωτισμού, ακόμη και όταν υπάρχει επαρκές φυσικό φως (Boyce, 2014; Jakubiec et al., 2012).

Η ποιότητα του φυσικού φωτισμού συνδέεται επίσης με τα χρώματα και τα υλικά των εσωτερικών επιφανειών. Ανοιχτόχρωμες επιφάνειες με υψηλή ανακλαστικότητα μπορούν να βελτιώσουν τη διάχυση του φωτός, ενώ σκουρόχρωμες ή απορροφητικές επιφάνειες μειώνουν την αποτελεσματική διάδοση του φωτισμού στο εσωτερικό. Επομένως, η αξιολόγηση του φυσικού φωτισμού δεν αφορά μόνο τα ανοίγματα, αλλά συνολικά τη σχέση μεταξύ κελύφους, εσωτερικών επιφανειών και χρήσης της αίθουσας (Reinhart, 2020; Baker & Steemers, 2014).

Η ανεπαρκής ποιότητα φυσικού φωτισμού έχει άμεση ενεργειακή συνέπεια, καθώς αυξάνει την ανάγκη χρήσης τεχνητού φωτισμού κατά τη διάρκεια της ημέρας. Αυτό δημιουργεί έναν φαύλο κύκλο: η άμεση ηλιακή ακτινοβολία προκαλεί θάμβωση, οι χρήστες περιορίζουν το φυσικό φως με κουρτίνες ή στόρια, και στη συνέχεια απαιτείται τεχνητός φωτισμός. Έτσι, ένα κτίριο που θεωρητικά διαθέτει επαρκή ανοίγματα μπορεί στην πράξη να έχει χαμηλή ενεργειακή απόδοση λόγω κακής διαχείρισης του φυσικού φωτός (Lechner, 2022; Boyce, 2014).

Συνολικά, η αξιολόγηση του φυσικού φωτισμού δείχνει ότι το κτίριο διαθέτει δυνατότητες βελτίωσης χωρίς απαραίτητα να απαιτούνται μεγάλες επεμβάσεις. Η προσθήκη κατάλληλων σκιάστρων, η χρήση φωτεινών επιφανειών και η πιθανή εφαρμογή φωτιστικών ραφιών (light shelf) μπορούν να επιτρέψουν την ομοιόμορφη κατανομή φωτισμού και το περιορισμό φαινομένων θάμβωσης ειδικότερα στις θέσεις των χρηστών που βρίσκονται κοντά στα ανοίγματα και παράλληλα να μειωθεί η άμεση ηλιακή ακτινοβολία συμβάλλοντας έτσι στον περιορισμό των θερμικών κερδών κατά τη θερινή περίοδο (Reinhart, 2020; Costanzo et al., 2017; Meresi, 2016).

3.1.7. Καταγραφή των υφιστάμενων συνθηκών φυσικού αερισμού

Ο φυσικός αερισμός αποτελεί κρίσιμη παράμετρο για την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος και την υγεία των χρηστών, ιδιαίτερα σε σχολικές αίθουσες όπου η πυκνότητα πληθυσμού είναι υψηλή. Η ανεπαρκής ανανέωση του αέρα μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένες συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα, πτητικών οργανικών ενώσεων και άλλων ρύπων, επηρεάζοντας αρνητικά τη συγκέντρωση και την απόδοση των μαθητών. Επομένως, η αξιολόγηση του φυσικού αερισμού είναι βασικό τμήμα της ανάλυσης του κτιρίου (Awbi, 2003; Daisey et al., 2003).

Παράγοντας	Παρατηρούμενη Επίδραση
Προσανατολισμός κτιρίου	Επηρεάζει τη διεύθυνση ροής του αέρα
Θέση ανοιγμάτων	Καθορίζει τη διαμερή κυκλοφορία
Περιβάλλοντας χώρος	Επηρεάζει την ταχύτητα του ανέμου
Θερμοκρασιακές διαφορές	Δημιουργούν φυσική ροή αέρα

Πίνακας 3.9: Παράγοντες που επηρεάζουν τον φυσικό αερισμό

Η αποτελεσματικότητα του φυσικού αερισμού προκύπτει από τη συνεργασία κλιματικών και μορφολογικών παραγόντων (Πίνακας 3.9). Η βελτίωση της ποιότητας αέρα απαιτεί

συνεπώς ολοκληρωμένη αντιμετώπιση και όχι αποσπασματικές λύσεις (Awbi, 2003; Givoni, 1998).

Στο εξεταζόμενο σχολικό κτίριο, ο φυσικός αερισμός φαίνεται να περιορίζεται από τη θέση, το μέγεθος και τη λειτουργικότητα των ανοιγμάτων. Όταν τα ανοίγματα βρίσκονται μόνο σε μία όψη ή δεν τοποθετούνται με τρόπο που να ευνοεί τη διαμπερή ροή, ο αέρας δεν ανανεώνεται αποτελεσματικά. Η απουσία διαμπερούς αερισμού έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία στάσιμων ζωνών, στις οποίες η θερμότητα και οι ρύποι παραμένουν στο εσωτερικό της αίθουσας (Awbi, 2003; Givoni, 1998).

Η ποιότητα του αέρα συνδέεται άμεσα με τη γνωστική λειτουργία. Μελέτες έχουν δείξει ότι υψηλότερα επίπεδα CO₂ και ανεπαρκής αερισμός μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την απόδοση των μαθητών κατά την διάρκεια της διδασκαλίας, ενώ η βελτίωση του αερισμού συνδέεται με καλύτερη συγκέντρωση και λιγότερα συμπτώματα δυσφορίας. Για ένα σχολικό κτίριο, η παράμετρος αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική, διότι η ποιότητα αέρα δεν είναι απλώς ζήτημα άνεσης, αλλά εκπαιδευτικής απόδοσης και υγείας (Allen et al., 2016; Wargocki & Wyon, 2013).

Ο φυσικός αερισμός έχει διπλό ρόλο στο υπό μελέτη κτίριο: αφενός συμβάλλει στην απομάκρυνση ρύπων και αφετέρου μπορεί να λειτουργήσει ως παθητικός μηχανισμός δροσισμού. Σε μεσογειακά κλίματα, ο αερισμός κατά τις κατάλληλες ώρες της ημέρας ή της νύχτας μπορεί να μειώσει τη θερμική επιβάρυνση των εσωτερικών χώρων. Ωστόσο, για να λειτουργήσει αποτελεσματικά, απαιτείται σωστή διάταξη ανοιγμάτων, δυνατότητα ελέγχου από τους χρήστες και σύνδεση με τη θερμική μάζα του κτιρίου (Nicol & Humphreys, 2012; Givoni, 1998).

Η απουσία οργανωμένης στρατηγικής αερισμού μπορεί να οδηγήσει είτε σε ανεπαρκή ανανέωση αέρα είτε σε ανεξέλεγκτες απώλειες θερμότητας. Για παράδειγμα, το άνοιγμα παραθύρων χωρίς σχεδιασμό μπορεί να δημιουργεί ρεύματα αέρα τον χειμώνα ή να εισάγει θερμό αέρα το καλοκαίρι, αντί να βελτιώνει τις συνθήκες. Επομένως, η αναβάθμιση του φυσικού αερισμού δεν σημαίνει απλώς αύξηση των ανοιγμάτων, αλλά σχεδιασμό ροών, διαφοροποίηση υψών και αξιοποίηση των επικρατούντων ανέμων (Lechner, 2022; Awbi, 2003). Η αξιολόγηση του φυσικού αερισμού οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το κτίριο χρειάζεται παρεμβάσεις που θα ενισχύσουν τη διαμπερή ροή και θα επιτρέψουν ελεγχόμενη ανανέωση του αέρα. Οι παρεμβάσεις αυτές μπορούν να

περιλαμβάνουν βελτίωση της λειτουργικότητας των ανοιγμάτων, αξιοποίηση φεγγιτών ή ανοιγμάτων σε υψηλότερα σημεία και οργάνωση νυχτερινού αερισμού. Μέσω της προσθήκης των ανοιγμάτων σε κατάλληλες θέσεις δύναται να επιτευχθεί η δημιουργία διαμπερούς ροής αέρα μεταξύ διαφορετικών πλευρών του χώρου, επιτρέποντας την ανανέωση του αέρα και την απομάκρυνση θερμικών φορτίων και αέριων ρύπων. Η εφαρμογή φυσικού αερισμού συνδέεται με βελτίωση της θερμικής άνεσης και της ποιότητας εσωτερικού αέρα, ενώ παράλληλα συμβάλλει στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης που σχετίζεται με μηχανικά συστήματα αερισμού και ψύξης (Awbi, 2003; Daisey et al., 2003; Givoni, 1998; Santamouris, 2013; Givoni, 1998).

3.2. Συνολική αξιολόγηση υφιστάμενης κατάστασης και σύνθεση ευρημάτων

Η συνολική αξιολόγηση του σχολικού κτιρίου δείχνει ότι τα προβλήματα που εντοπίζονται δεν είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους, αλλά αλληλοσυνδέονται. Η ανεπαρκής θερμομόνωση αυξάνει τη θερμική δυσφορία, ο μη ελεγχόμενος φυσικός φωτισμός δημιουργεί θάμβωση και πρόσθετα θερμικά κέρδη, ενώ ο περιορισμένος αερισμός δυσχεραίνει τόσο την ποιότητα αέρα όσο και τον φυσικό δροσισμό. Επομένως, η υφιστάμενη κατάσταση πρέπει να αντιμετωπιστεί ως ενιαίο σύστημα προβλημάτων και όχι ως σύνολο μεμονωμένων στοιχείων (Lecnher, 2022; Santamouris, 2016;).

Η ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος συγκροτείται από πολλαπλούς δείκτες, με βασικότερους τη θερμική άνεση, τον φωτισμό, τον αερισμό και την ποιότητα του αέρα. Στην περίπτωση του σχολείου, οι δείκτες αυτοί εμφανίζουν μέτριες ή χαμηλές επιδόσεις, γεγονός που υποδηλώνει την ανάγκη για συνολική βελτίωση. Η ανάλυση IEQ είναι ιδιαίτερα σημαντική, διότι συνδέει την τεχνική αξιολόγηση με την ανθρώπινη εμπειρία και μετατρέπει την ενεργειακή αναβάθμιση σε ζήτημα υγείας και λειτουργικότητας (Wargocki & Wyon, 2013; Bluyssen, 2010).

Η θερμική άνεση εμφανίζεται ως η πιο κρίσιμη αδυναμία, επειδή επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες ταυτόχρονα: το κέλυφος, τον προσανατολισμό, τη σκίαση και τον αερισμό. Αν το κτίριο δεν μπορεί να περιορίσει τα θερμικά κέρδη ούτε να αποβάλει αποτελεσματικά τη θερμότητα, τότε η δυσφορία γίνεται συστηματικό πρόβλημα. Το εύρημα αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι παρεμβάσεις του επόμενου κεφαλαίου πρέπει

να ξεκινήσουν από τη θερμική προστασία του κελύφους και την ηλιοπροστασία (Santamouris, 2016; Fanger, 1970).

Ο φυσικός φωτισμός αξιολογείται ως μέτριος, όχι επειδή απουσιάζει, αλλά επειδή δεν ελέγχεται επαρκώς. Η ύπαρξη φωτός χωρίς ομοιομορφία και χωρίς έλεγχο θάμβωσης δεν συνιστά ποιοτικό φωτισμό. Αυτό είναι κρίσιμο για σχολικό περιβάλλον, όπου η οπτική άνεση πρέπει να εξυπηρετεί διαφορετικές δραστηριότητες, όπως ανάγνωση, γραφή, χρήση πίνακα και χρήση ψηφιακών μέσων. Συνεπώς, οι μελλοντικές παρεμβάσεις πρέπει να στοχεύουν όχι στην απλή αύξηση του φωτός, αλλά στη βελτίωση της ποιότητάς του (Boyce, 2014; Reinhart, 2014).

Ο φυσικός αερισμός αξιολογείται ως ανεπαρκής, επειδή δεν εξασφαλίζεται σταθερή και αποτελεσματική η ανανέωση του αέρα. Η χαμηλή απόδοση του αερισμού επιβαρύνει την ποιότητα του αέρα και μειώνει τη δυνατότητα παθητικού δροσισμού. Το πρόβλημα αυτό συνδέεται άμεσα με τη διάταξη των ανοιγμάτων και τη λειτουργική διαχείρισή τους. Επομένως, το επόμενο κεφάλαιο πρέπει να προτείνει λύσεις που θα ενισχύουν τον ελεγχόμενο φυσικό αερισμό και όχι απλώς την τυχαία διάνοιξη παραθύρων (Πίνακας 3.10) (Allen et al., 2016; Awbi, 2003).

Παράμετρος αξιολόγησης	Κύριο πρόβλημα	Εκτιμώμενη ένταση	Σύνδεση με παρέμβαση Κεφ.4
Θερμική Άνεση	Υπερθέρμανση/ απώλειες	Υψηλή	Θερμομόνωση, σκίαση, φυσικός δροσισμός
Φυσικός φωτισμός	Θάμβωση/ ανομοιομορφία	Μέτρια	Σκίαση, light shelves, ανακλαστικές επιφάνειες
Φυσικός αερισμός	Ανεπαρκής ανανέωση αέρα	Υψηλή	Διαμεπής αερισμός, νυχτερινός δροσισμός
Κέλυφος	Χαμηλή θερμική προστασία	Υψηλή	Εξωτερική θερμομόνωση, κουφώματα
Περιβάλλοντας χώρος	Θερμική επιβάρυνση	Μέτρια	Βλάστηση, μαλακά υλικά, ψυχρά υλικά, σκίαση αυλής

Πίνακας 3.10: Συνολική αξιολόγηση υφιστάμενης κατάστασης σχολικού κτιρίου

Δείκτης IEQ	Βαθμολογία (1-5)	Ερμηνεία
Θερμική άνεση	2,2	Χαμηλή
Οπτική άνεση/φυσικός φωτισμός	3,1	Μέτρια
Φυσικός αερισμός/ ποιότητα αέρα	2,5	Χαμηλή
Συνολικός δείκτης IEQ	2,6	Μη ικανοποιητικός

Πίνακας 3.11: Βαθμολόγηση IEQ

Η σύνθεση των ευρημάτων δείχνει ότι το σχολικό κτίριο απαιτεί παρεμβάσεις που να λειτουργούν συνδυαστικά (Πίνακας 3.11). Η θερμομόνωση χωρίς σκίαση μπορεί να μειώσει τις απώλειες, αλλά δεν αντιμετωπίζει πλήρως τη θερινή υπερθέρμανση. Η αύξηση του φυσικού φωτισμού χωρίς ηλιακό έλεγχο μπορεί να ενισχύσει τη θάμβωση. Ο φυσικός αερισμός χωρίς έλεγχο μπορεί να προκαλέσει απώλειες ή δυσφορία. Επομένως, η στρατηγική αναβάθμισης πρέπει να είναι ολοκληρωμένη και όχι αποσπασματική (Lechner, 2022; Givoni, 1998).

Με βάση τα παραπάνω, το Κεφάλαιο 3 καταλήγει σε μια σαφή διάγνωση: το κτίριο παρουσιάζει σημαντικές δυνατότητες βελτίωσης, αλλά η αναβάθμιση πρέπει να βασιστεί σε ιεράρχηση παρεμβάσεων. Πρώτα απαιτείται μείωση των ενεργειακών αναγκών μέσω του κελύφους, της σκίασης και του φυσικού αερισμού, και στη συνέχεια μπορούν να ενσωματωθούν ενεργητικά συστήματα και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η λογική αυτή διαμορφώνει τη βάση του Κεφαλαίου 4, όπου τα προβλήματα που καταγράφηκαν μετατρέπονται σε συγκεκριμένες βιοκλιματικές στρατηγικές (Santamouris, 2016; Olygay, 2015).

4. Βιοκλιματικές παρεμβάσεις – Ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίου

4.1. Εισαγωγή – Σκοπός και λογική των παρεμβάσεων

Η ανάλυση που προηγήθηκε στο Κεφάλαιο 3 ανέδειξε μια σειρά από περιβαλλοντικές, λειτουργικές και ενεργειακές αδυναμίες του υφιστάμενου σχολικού κτιρίου. Η αξιολόγηση των κλιματικών δεδομένων της περιοχής, η καταγραφή των χαρακτηριστικών του κελύφους, η διερεύνηση των συνθηκών θερμικής άνεσης, φυσικού φωτισμού και φυσικού αερισμού, καθώς και η ανάλυση των ενεργειακών απαιτήσεων των χρηστών, κατόπιν συλλογής δεδομένων μέσω ερωτηματολογίων και συνεντεύξεων με τους εκπαιδευτικούς και της αξιολόγησης της επιτόπιας έρευνας, κατέδειξαν ότι το κτίριο παρουσιάζει σημαντικές δυνατότητες βιοκλιματικής βελτίωσης. Ως εκ τούτου, το παρόν κεφάλαιο επικεντρώνεται στη διαμόρφωση ενός ολοκληρωμένου πλαισίου παρεμβάσεων, το οποίο στοχεύει τόσο στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης όσο και στην αναβάθμιση της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος (Lechner, 2022; Santamouris 2016). Στα σχολικά κτίρια, η δεύτερη διάσταση είναι εξίσου σημαντική με την πρώτη, καθώς οι συνθήκες θερμικής και οπτικής άνεσης, καθώς και η ποιότητα του αέρα, συνδέονται με τη συγκέντρωση, την υγεία και τη μαθησιακή απόδοση των μαθητών. (Barrett et al., 2015; Wargocki & Wyon, 2013).

Η μετάβαση από τη διάγνωση στην πρόταση αναβάθμισης είναι κρίσιμη, διότι οι παρεμβάσεις που προτείνονται δεν πρέπει να αποτελούν γενικές ή αποσπασματικές λύσεις, αλλά να απαντούν τεκμηριωμένα στα προβλήματα που έχουν ήδη εντοπιστεί. Επομένως, το Κεφάλαιο 4 λειτουργεί ως το τμήμα της εργασίας όπου τα ευρήματα της ανάλυσης μετατρέπονται σε συγκεκριμένες αρχιτεκτονικές, βιοκλιματικές και ενεργειακές στρατηγικές. Οι παρεμβάσεις δεν αντιμετωπίζονται ως απλές τεχνικές προσθήκες, αλλά ως οργανωμένη στρατηγική ανασχεδιασμού, η οποία προκύπτει από τα πραγματικά χαρακτηριστικά του κτιρίου, τα σχέδια της οικοδομικής άδειας, την κλιματική συνθήκη της Λαμίας και τα ευρήματα της αξιολόγησης IEQ.

Τα πολεοδομικά σχέδια αποτύπωσης του κτιρίου και του οικοπέδου επί του οποίου υφίσταται, δηλαδή οι κατόψεις, οι όψεις οι τομές και το τοπογραφικό διάγραμμα που την συνοδεύουν, αποτελούν βασικό τεκμήριο για τη διαμόρφωση της στρατηγικής

παρέμβασης. Από αυτά μπορεί να αναγνωριστεί η γεωμετρία του κτιρίου, η διάταξη των αιθουσών, η σχέση του κτιρίου με το ανάγλυφο του οικοπέδου, η κατανομή των ανοιγμάτων και η μορφολογία των όψεων. Η αξιοποίηση αυτών των σχεδίων ενισχύει τον ερευνητικό χαρακτήρα της εργασίας, καθώς οι παρεμβάσεις δεν παρουσιάζονται γενικά, αλλά συνδέονται με συγκεκριμένα αρχιτεκτονικά δεδομένα του υφιστάμενου σχολικού κτιρίου (Creswell et al., 2018; Yin, 2018).

Στο υπό μελέτη κτίριο του οποίου τα χαρακτηριστικά συναντώνται συχνά σε δημόσια σχολικά κτίρια, η ανάγκη παρέμβασης προκύπτει από τη συνδυαστική επίδραση πολλών παραγόντων. Η γεωμετρία του κτιρίου και η διάταξη των αιθουσών επηρεάζουν τον φωτισμό και τον αερισμό, ενώ η μορφή των όψεων και η αναλογία ανοιγμάτων – συμπαγών επιφανειών επηρεάζουν τα θερμικά κέρδη και τις απώλειες. Παράλληλα, το τοπογραφικό διάγραμμα δείχνει ότι η ένταξη του κτιρίου στο οικόπεδο και η σχέση του με το φυσικό ανάγλυφο μπορούν να αξιοποιηθούν για τη διαμόρφωση στρατηγικών ηλιασμού, σκίασης, φύτευσης και φυσικού αερισμού.

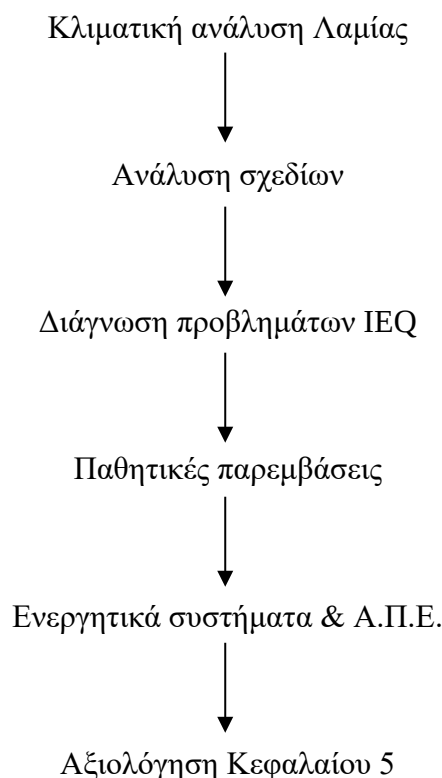
Η λογική των προτεινόμενων παρεμβάσεων βασίζεται στις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού, σύμφωνα με τις οποίες το κτίριο πρέπει να λειτουργεί σε αρμονία με το τοπικό κλίμα και όχι να βασίζεται αποκλειστικά σε μηχανικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης. Στο πλαίσιο αυτό, η αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού, του φυσικού αερισμού, της ηλιακής ακτινοβολίας και των τοπικών κλιματικών χαρακτηριστικών αποτελεί βασική στρατηγική για τη βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς του σχολείου (Olgyay 2015; Givoni 1998).

Η πρόταση αναβάθμισης δεν περιορίζεται στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, αλλά επιδιώκει τη συνολική βελτίωση της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τα σχολικά κτίρια, όπου η θερμική άνεση, ο φωτισμός και ο αερισμός συνδέονται άμεσα με την υγεία, τη συγκέντρωση και τη μαθησιακή απόδοση των μαθητών. Επομένως, οι παρεμβάσεις αξιολογούνται με διπλό κριτήριο: αφενός την ενεργειακή τους απόδοση και αφετέρου τη συμβολή τους στη δημιουργία καλύτερων συνθηκών μάθησης (Barrett et al., 2015; Wargocki & Wyon, 2013).

Θέμα Σχεδίου	Πληροφορία που παρέχει	Σύνδεση με βιοκλιματική παρέμβαση
Τοπογραφικό Διάγραμμα	Θέση κτιρίου, ανάγλυφο, σχέση με το οικοπέδο	Σκίαση, φύτευση, μικροκλίμα & ηλιασμός
Κάτοψη ισογείου	Διάταξη αιθουσών, διάδρομοι, ανοίγματα	Φυσικός αερισμός, φωτισμός, ροές χρηστών
Κάτοψη Α ορόφου	Κατανομή αιθουσών & ανοιγμάτων	Διαμπερής αερισμός, φωτιστική αξιολόγηση
Όψεις	Αναλογία ανοιγμάτων & συμπαγών επιφανειών	Σκιάστρα, κουφώματα, θερμομόνωση
Τομές	Υψομετρικές σχέσεις & όγκοι	Νυχτερινός αερισμός

Πίνακας 4.1: Αξιοποίηση σχεδίων αποτύπωσης κτιρίου & οικοπέδου στη λογική των παρεμβάσεων

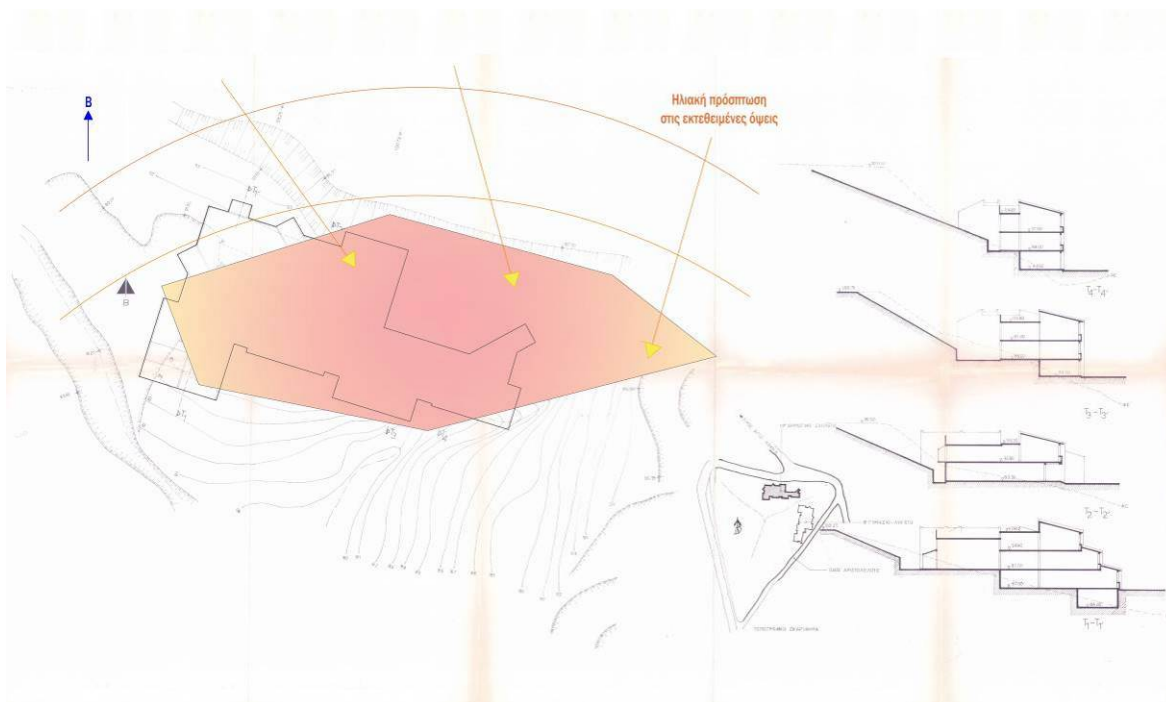
Ο Πίνακας 4.1 δείχνει ότι τα σχέδια αποτύπωσης δεν λειτουργούν απλώς ως τεχνική τεκμηρίωση του κτιρίου, αλλά ως βασικά εργαλεία ανάλυσης για τη διαμόρφωση των παρεμβάσεων. Μέσω των κατόψεων, των όψεων, των τομών και του τοπογραφικού μπορεί να τεκμηριωθεί η επιλογή σκιάστρων, θερμομονωτικών παρεμβάσεων, φυσικού αερισμού και στρατηγικής φύτευσης (Lechner, 2022; Dekay et al., 2014).



Διάγραμμα 4.1: Μεθοδολογική αλυσίδα βιοκλιματικού ανασχεδιασμού

Το Διάγραμμα 4.1 αποτυπώνει τη λογική πορεία της εργασίας και δείχνει ότι οι προτεινόμενες παρεμβάσεις προκύπτουν από ερευνητική διαδικασία. Η ανάλυση ξεκινά από το κλίμα και το υφιστάμενο κτίριο, συνεχίζει με τη διάγνωση των προβλημάτων και καταλήγει σε τεκμηριωμένες στρατηγικές αναβάθμισης, οι οποίες θα αξιολογηθούν στο επόμενο κεφάλαιο (Attia, 2018; Santamouris, 2016).

Η τοπογραφική αποτύπωση του οικοπέδου και η ανάλυση ηλιασμού του 12ου Δημοτικού Σχολείου Λαμίας αποτέλεσαν κρίσιμο στάδιο για τη διαμόρφωση της στρατηγικής βιοκλιματικής αναβάθμισης του κτιρίου. Η μελέτη του αναγλύφου, του προσανατολισμού και της γεωμετρίας του σχολικού συγκροτήματος επέτρεψε την κατανόηση της σχέσης του κτιρίου με το τοπικό μικροκλίμα και ανέδειξε τους βασικούς περιβαλλοντικούς παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική και ενεργειακή του συμπεριφορά. Η αξιολόγηση αυτή θεωρείται ιδιαίτερα σημαντική στη βιοκλιματική αρχιτεκτονική, καθώς η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, η έκθεση των όψεων και η μορφολογία του οικοπέδου επηρεάζουν άμεσα τα θερμικά κέρδη, τον φυσικό φωτισμό και τις συνθήκες φυσικού αερισμού των εσωτερικών χώρων (Olgyay, 2015; Givoni, 1998).



Διάγραμμα 4.2: Τοπογραφικό διάγραμμα - Διάγραμμα ηλιασμού (πηγή σχεδίων ΥΔΟΜ Λαμίων Ο.Α. 503/9-6-1989, ιδία επεξεργασία με Autocad Architecture)

Το Διάγραμμα 4.2 αναδεικνύει τη σχέση του κτιρίου με την ηλιακή τροχιά και το ανάγλυφο του οικοπέδου. Η επισήμανση των ζωνών αυξημένης ηλιακής έκθεσης τεκμηριώνει την ανάγκη ελέγχου των θερινών ηλιακών κερδών μέσω σκίασης, φύτευσης και βελτίωσης του μικροκλίματος. Η ανάλυση του τοπογραφικού διαγράμματος έδειξε ότι το σχολικό συγκρότημα αναπτύσσεται σε οικόπεδο με υψομετρικές διαφοροποιήσεις, γεγονός που επηρεάζει τόσο τη χωρική διάταξη των όγκων όσο και τη συνολική περιβαλλοντική λειτουργία του κτιρίου. Η ένταξη του κτιρίου στο φυσικό ανάγλυφο δημιουργεί διαφοροποιήσεις στην έκθεση των όψεων στην ηλιακή ακτινοβολία και επηρεάζει τις δυνατότητες φυσικού αερισμού και μικροκλιματικής διαμόρφωσης του περιβάλλοντος χώρου. Παράλληλα, η ύπαρξη μεγάλων επιφανειών έκθεσης στον ήλιο κατά τη θερινή περίοδο συνδέεται με αυξημένα θερμικά κέρδη, τα οποία είχαν ήδη καταγραφεί στο Κεφάλαιο 3 μέσω της ανάλυσης θερμικής άνεσης και των συνθηκών υπερθέρμανσης στις αίθουσες διδασκαλίας.

Το διάγραμμα ηλιασμού ανέδειξε τη σημαντική επίδραση του νότιου και δυτικού προσανατολισμού σε συγκεκριμένες όψεις του σχολικού κτιρίου, ιδιαίτερα κατά τη θερινή περίοδο όπου η ηλιακή ακτινοβολία οδηγεί σε αυξημένη θερμική επιβάρυνση και

επιδείνωση των συνθηκών θερμικής άνεσης κατά τη θερινή περίοδο. Η διαπίστωση αυτή συνδέεται άμεσα με τα ευρήματα του Κεφαλαίου 3, όπου παρατηρήθηκαν υψηλές θερμοκρασίες στους εσωτερικούς χώρους κατά τους θερμούς μήνες και αυξημένη ανάγκη χρήσης μηχανικών μέσων δροσισμού. Για τον λόγο αυτό, η ανάλυση ηλιασμού χρησιμοποιήθηκε ως βασικό εργαλείο για την επιλογή παθητικών στρατηγικών σκιασμού, περιορισμού των ανεπιθύμητων ηλιακών κερδών και βελτιστοποίησης της ενεργειακής συμπεριφοράς του κελύφους.

Παράλληλα, η διερεύνηση της πορείας του ήλιου και της σκίασης των όψεων κατέδειξε ότι η εφαρμογή βιοκλιματικών τεχνικών, όπως εξωτερικά σκίαστρα, φυτεύσεις, ημιυπαίθριες ζώνες και κατάλληλα συστήματα ελέγχου της ηλιακής ακτινοβολίας, μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στη μείωση της θερμικής επιβάρυνσης του κτιρίου. Η προσέγγιση αυτή είναι συμβατή με τις αρχές του παθητικού σχεδιασμού, σύμφωνα με τις οποίες η διαχείριση της ηλιακής ακτινοβολίας αποτελεί μία από τις σημαντικότερες στρατηγικές ενεργειακής αναβάθμισης στα κτίρια της μεσογειακής κλιματικής ζώνης. Επιπλέον, η αξιοποίηση φυσικών στοιχείων σκίασης και μικροκλιματικής προστασίας συνδέεται με τη βελτίωση της ποιότητας του εξωτερικού σχολικού περιβάλλοντος και τη δημιουργία ευνοϊκότερων συνθηκών θερμικής άνεσης για τους χρήστες (Olgyay, 2015; Dekay et al., 2014; Oke, 2002).

Η ενσωμάτωση του τοπογραφικού διαγράμματος και της ανάλυσης ηλιασμού στην παρούσα ενότητα ενισχύει τη μεθοδολογική σύνδεση μεταξύ της καταγραφής της υφιστάμενης κατάστασης και της διαμόρφωσης των προτεινόμενων παρεμβάσεων. Τα στοιχεία αυτά δεν χρησιμοποιούνται μόνο ως τεχνική τεκμηρίωση του κτιρίου, αλλά ως εργαλεία ερμηνείας της περιβαλλοντικής λειτουργίας του σχολείου και ως βάση για την ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης στρατηγικής βιοκλιματικού ανασχεδιασμού. Με τον τρόπο αυτό, το Κεφάλαιο 4 αποκτά σαφή ερευνητική συνέχεια με τα ευρήματα του Κεφαλαίου 3 και προετοιμάζει το πλαίσιο για την αναλυτική παρουσίαση των επιμέρους παρεμβάσεων που ακολουθούν (Creswell et al., 2018; Yin, 2018).

Σχέδιο	Περιβαλλοντική παράμετρος	Σκοπός ανάλυσης
Τοπογραφικό Διάγραμμα	Ηλιασμός/μικροκλίμα	Διερεύνηση ηλιακής έκθεσης και περιβαλλοντικής ένταξης
Κάτοψη ισογείου	Φυσικός αερισμός	Ανάλυση διαμπερούς αερισμού και ροών αέρα
Κάτοψη Α ορόφου	Φυσικός φωτισμός	Αξιολόγηση διάχυσης φυσικού φωτός
Όψεις	Θερμική συμπεριφορά κελύφους	Εντοπισμός θερμικών επιβαρύνσεων
Τομές	Φυσικός κατακόρυφος αερισμός	Διερεύνηση δυνατοτήτων φυσικού ελκυσμού

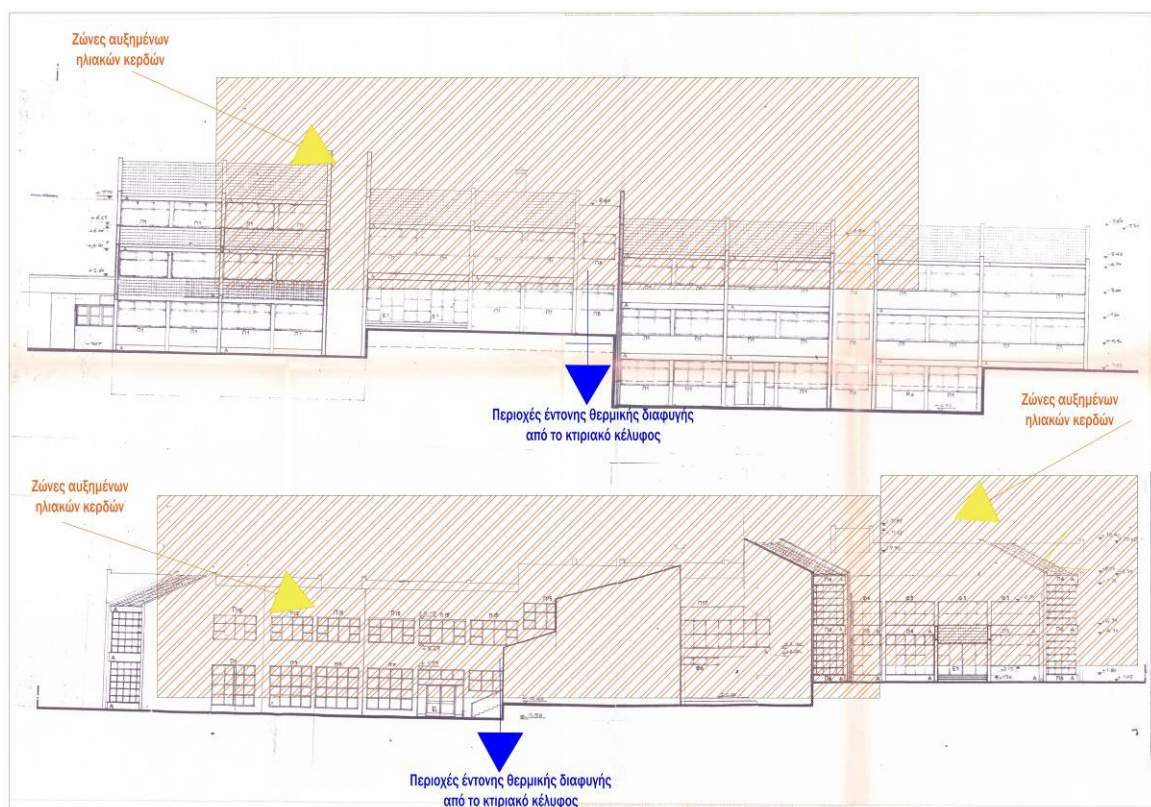
Πίνακας 4.2: Συσχέτιση αρχιτεκτονικών σχεδίων και περιβαλλοντικής ανάλυσης

Στον Πίνακα 4.2 παρουσιάζεται η μεθοδολογική σύνδεση μεταξύ των αρχιτεκτονικών σχεδίων του σχολικού συγκροτήματος και των βασικών περιβαλλοντικών παραμέτρων που διερευνήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας. Η αξιοποίηση του τοπογραφικού διαγράμματος, των κατόψεων, των όψεων και των τομών επέτρεψε τη συστηματική ανάλυση της περιβαλλοντικής λειτουργίας του κτιρίου και συνέβαλε στην τεκμηρίωση των προτεινόμενων βιοκλιματικών παρεμβάσεων. Η διαδικασία αυτή ενίσχυσε τη σύνδεση μεταξύ της καταγραφής της υφιστάμενης κατάστασης και της ανάπτυξης στοχευμένων στρατηγικών ενεργειακής και περιβαλλοντικής αναβάθμισης (Lechner, 2022; Yin, 2018).

4.1.1. Μεθοδολογική σύνδεση παρεμβάσεων με τα ευρήματα του Κεφαλαίου 3

Η μεθοδολογική σύνδεση μεταξύ του Κεφαλαίου 3 και του Κεφαλαίου 4 είναι απαραίτητη, ώστε οι προτεινόμενες παρεμβάσεις να μην εμφανίζονται ως αυθαίρετες επιλογές, αλλά ως τεκμηριωμένη απάντηση στα προβλήματα που εντοπίστηκαν. Στο Κεφάλαιο 3 καταγράφηκαν προβλήματα θερμικής άνεσης, φυσικού φωτισμού, φυσικού αερισμού και ενεργειακών απαιτήσεων των χρηστών. Στο παρόν κεφάλαιο, τα προβλήματα αυτά μετατρέπονται σε σχεδιαστικές κατευθύνσεις και τεχνικές λύσεις (Greswell et al., 2018; Santamouris, 2013).

Η πρώτη ομάδα ευρημάτων αφορά τη θερμική άνεση. Η ανάλυση του Κεφαλαίου 3 έδειξε ότι η θερινή περίοδος αποτελεί το πιο κρίσιμο διάστημα για το σχολικό κτίριο, λόγω υψηλών θερμοκρασιών, έντονης ηλιακής ακτινοβολίας και περιορισμένης φυσικής αποφόρτισης των χώρων. Η αντίστοιχη παρέμβαση στο Κεφάλαιο 4 αφορά τη βελτίωση του κελύφους, την εφαρμογή σκίασης, τη χρήση φυσικού αερισμού και την αναβάθμιση του μικροκλίματος του αύλειου χώρου (Nicol & Humphreys, 2012; Fanger, 1970).

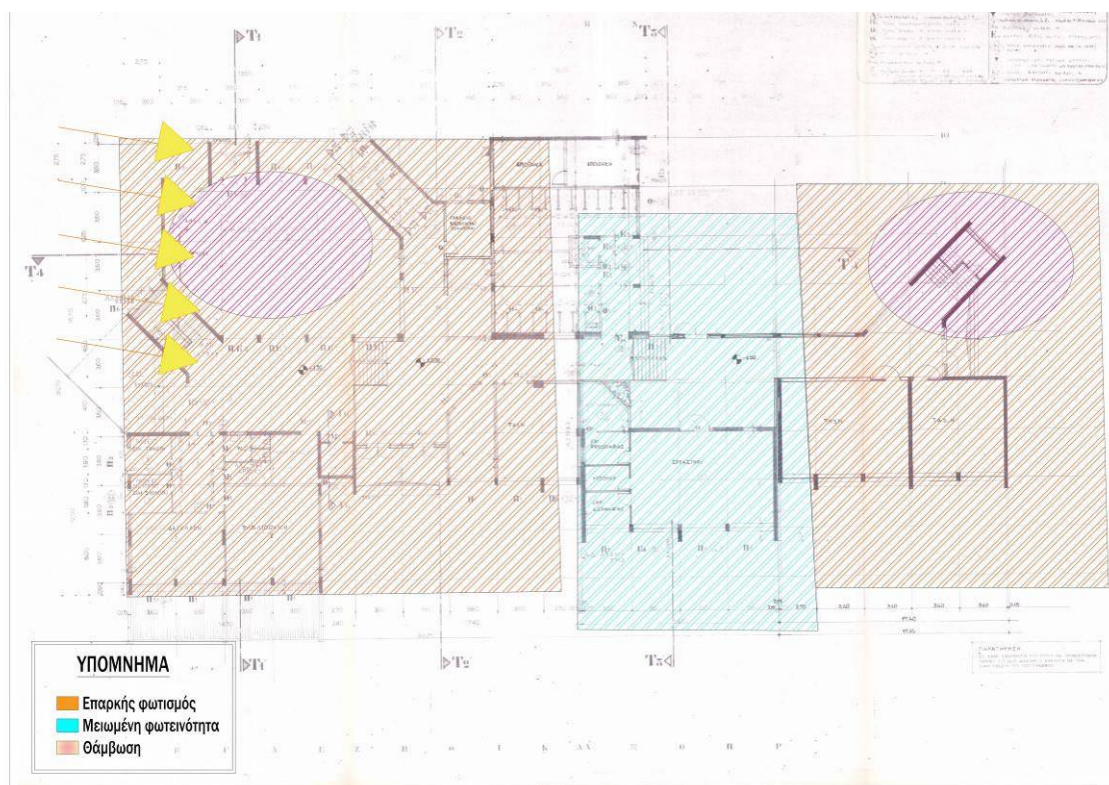


Διάγραμμα 4.3: Διάγραμμα θερμικών αδυναμιών στις όψεις του σχολείου (πηγή σχεδίων ΥΔΟΜ Λαμιέων Ο.Α. 503/9-6-1989, ιδία επεξεργασία με Autocad Architecture)

Το Διάγραμμα 4.3 ανέδειξε τα βασικά σημεία του κελύφους στα οποία παρατηρούνται αυξημένες θερμικές επιβαρύνσεις και σημαντικές ενεργειακές απώλειες. Η ανάλυση έδειξε ότι οι νότιες και δυτικές όψεις του σχολικού συγκροτήματος εμφανίζουν εντονότερα φαινόμενα υπερθέρμανσης κατά τη θερινή περίοδο λόγω της αυξημένης έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία, ενώ παράλληλα εντοπίστηκαν περιοχές πιθανών θερμογεφυρών και ανεπαρκούς θερμικής προστασίας. Τα ευρήματα αυτά συνδέονται άμεσα με τις συνθήκες θερμικής δυσφορίας που καταγράφηκαν στο Κεφάλαιο 3 και τεκμηριώνουν την ανάγκη εφαρμογής παρεμβάσεων θερμομόνωσης, εξωτερικής σκίασης

και βελτίωσης της ενεργειακής συμπεριφοράς του κελύφους. Παράλληλα, το διάγραμμα λειτουργεί ως εργαλείο ερμηνείας της περιβαλλοντικής λειτουργίας των όψεων και συμβάλλει στη διαμόρφωση στοχευμένων στρατηγικών βιοκλιματικής αναβάθμισης του σχολικού κτιρίου (Lechner, 2022; Santamouris, 2016; Givoni, 1998).

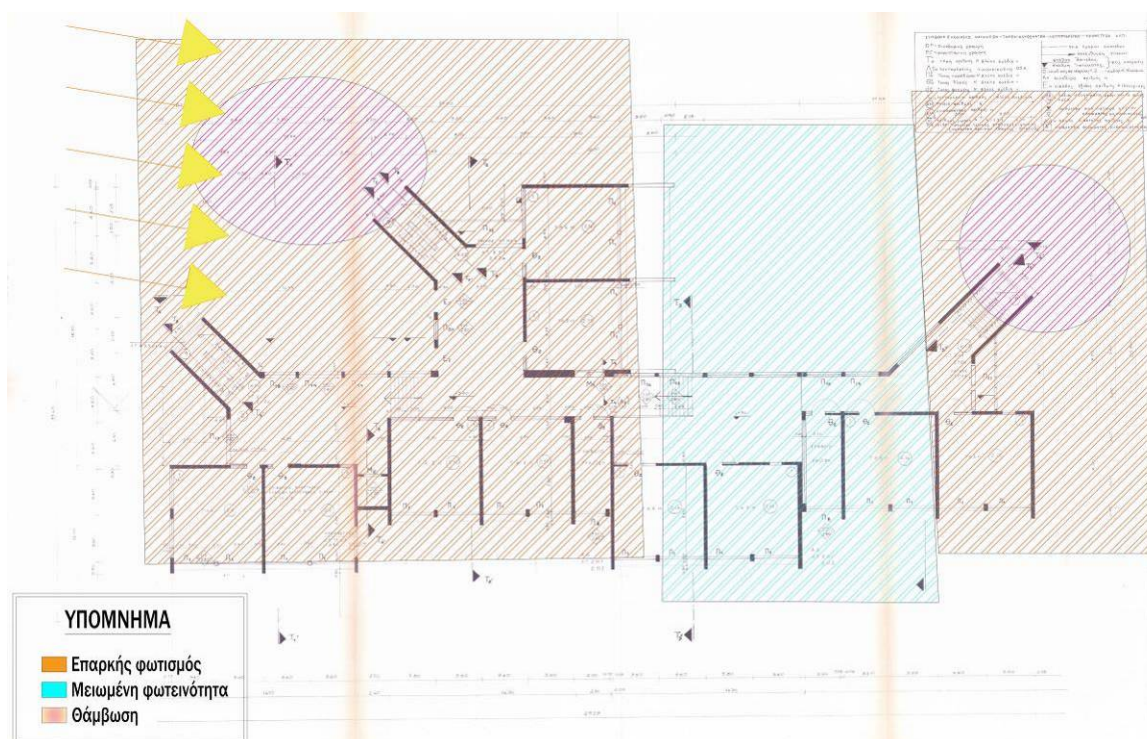
Η δεύτερη ομάδα ευρημάτων αφορά τον φυσικό φωτισμό. Στο Κεφάλαιο 3 διαπιστώθηκε ότι το πρόβλημα δεν είναι απαραίτητα η έλλειψη φωτός, αλλά η ανομοιομορφία, η θάμβωση και η ανεπαρκής διαχείριση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας. Για τον λόγο αυτό, οι παρεμβάσεις δεν περιορίζονται στην αύξηση των ανοιγμάτων, αλλά εστιάζουν στον έλεγχο του φωτός μέσω σκιάστρων, φωτιστικών ραφιών, ανακλαστικών επιφανειών και ενεργειακά αποδοτικού τεχνητού φωτισμού (Reinhart, 2020; Boyce, 2014).



Διάγραμμα 4.4: Διάγραμμα ανάλυσης φωτισμού στο ισόγειο του σχολείου (πηγή σχεδίων ΥΔΟΜ Λαμιέων Ο.Α. 503/9-6-1989, ιδία επεξεργασία με Autocad Architecture)

Το Διάγραμμα 4.4 ανέδειξε διαφοροποιήσεις στη διείσδυση της φυσικής φωτεινότητας μεταξύ των επιμέρους λειτουργικών ζωνών του σχολικού συγκροτήματος. Οι χώροι που βρίσκονται σε άμεση επαφή με τα κύρια ανοίγματα εμφανίζουν αυξημένη επάρκεια φυσικού φωτισμού και καλύτερες συνθήκες οπτικής άνεσης, ενώ οι βαθύτερες εσωτερικές

περιοχές παρουσιάζουν μειωμένη διάχυση φυσικού φωτός και αυξημένη ανάγκη χρήσης τεχνητού φωτισμού. Παράλληλα, σε ορισμένες εκτεθειμένες όψεις παρατηρούνται πιθανές περιοχές θάμβωσης λόγω έντονης ηλιακής ακτινοβολίας, γεγονός που τεκμηριώνει την ανάγκη εφαρμογής παρεμβάσεων ελέγχου της ηλιακής ακτινοβολίας και βελτιστοποίησης του daylight performance. Η ανάλυση αυτή συνδέεται άμεσα με τα ευρήματα του Κεφαλαίου 3 και υποστηρίζει τη λογική των προτεινόμενων βιοκλιματικών παρεμβάσεων του Κεφαλαίου 4 (Lechner, 2022; Baker et al., 2014; Boyce, 2014).

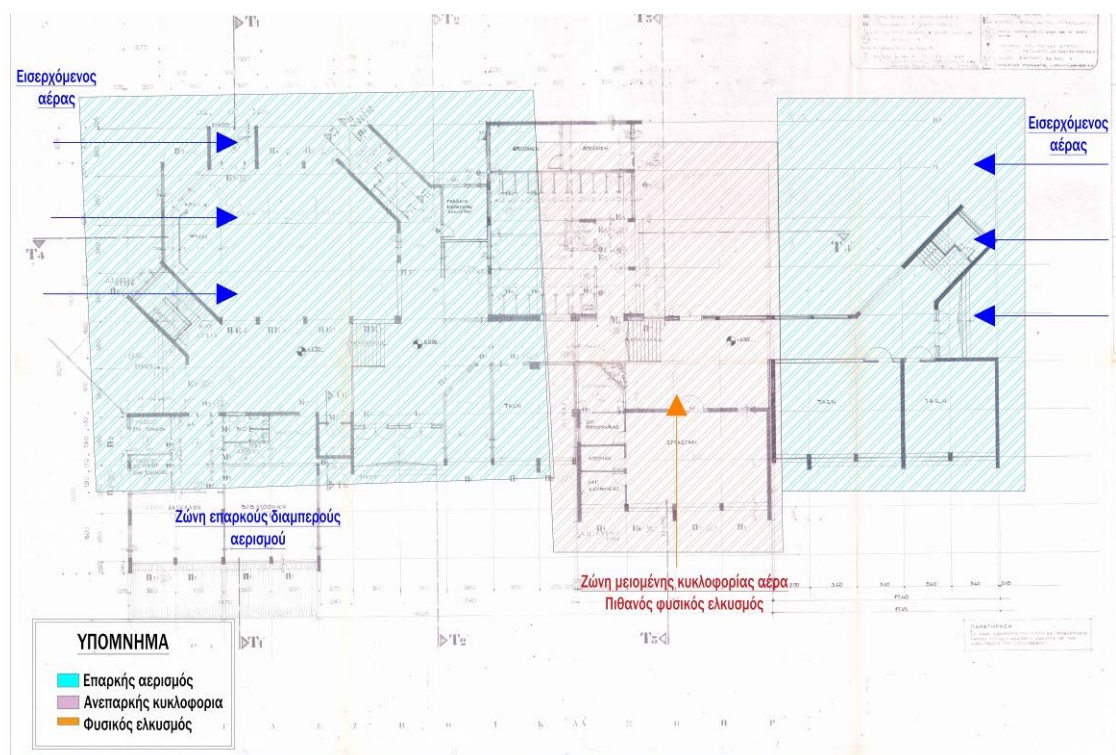


Διάγραμμα 4.5: Διάγραμμα ανάλυσης φωτισμού στον Α όροφο του σχολείου (πηγή σχεδίων ΥΔΟΜ Λαμιέων Ο.Α. 503/9-6-1989, ιδία επεξεργασία με Autocad Architecture)

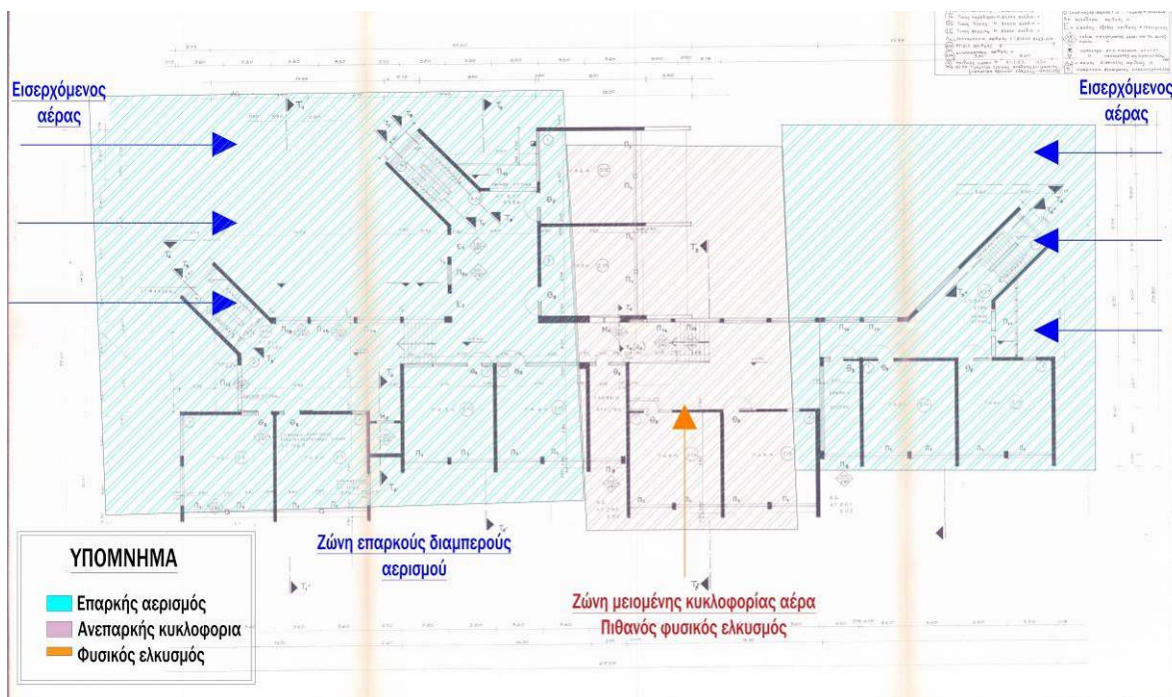
Στο Διάγραμμα 4.5 φαίνεται η διαφοροποίηση της φυσικής φωτεινότητας μεταξύ των αιθουσών διδασκαλίας και των κεντρικών ζωνών κυκλοφορίας, σε συνάρτηση με τον προσανατολισμό, τη διάταξη των ανοιγμάτων και το βάθος των εσωτερικών χώρων. Οι αίθουσες που αναπτύσσονται κατά μήκος των εξωτερικών όψεων παρουσιάζουν αυξημένη πρόσβαση σε φυσικό φως και βελτιωμένες συνθήκες οπτικής άνεσης, ενώ οι εσωτερικές περιοχές εμφανίζουν μειωμένη φωτεινότητα και μεγαλύτερη εξάρτηση από τεχνητό φωτισμό. Επιπλέον, η αυξημένη ηλιακή έκθεση σε συγκεκριμένες όψεις δημιουργεί πιθανές ζώνες θάμβωσης και θερμικής επιβάρυνσης, γεγονός που ενισχύει την

ανάγκη εφαρμογής συστημάτων σκιασμού και τεχνικών daylight optimization στο πλαίσιο του συνολικού βιοκλιματικού ανασχεδιασμού του σχολικού κτιρίου (Lechner, 2022; Baker et al., 2014; Dekay et al., 2014).

Η τρίτη ομάδα ευρημάτων αφορά τον φυσικό αερισμό και την ποιότητα του αέρα. Η αξιολόγηση του Κεφαλαίου 3 έδειξε ότι οι χώροι χωρίς διαμερή ροή αέρα εμφανίζουν χαμηλότερη ποιότητα αερισμού και αυξημένη πιθανότητα συγκέντρωσης CO₂. Η αντίστοιχη σχεδιαστική κατεύθυνση αφορά την αξιοποίηση της διάταξης των ανοιγμάτων, τη δημιουργία ελεγχόμενης διαμερούς ροής, την πιθανή χρήση υψηλών ανοιγμάτων και τη διερεύνηση στρατηγικών νυχτερινού αερισμού (Awbi, 2003; Daisey et al., 2003).



Διάγραμμα 4.6: Διάγραμμα φυσικού αερισμού στο ισόγειο του σχολείου (πηγή σχεδίων ΥΔΟΜ Λαμιέων Ο.Α. 503/9-6-1989, ιδία επεξεργασία με Autocad Architecture)



Διάγραμμα 4.7: Διάγραμμα φυσικού αερισμού στον Α όροφο του σχολείου (πηγή σχεδίων ΥΛΟΜ Λαμιέων Ο.Α. 503/9-6-1989, ιδία επεξεργασία με Autocad Architecture)

Τα Διαγράμματα 4.6, 4.7 ανέδειξαν τη διαφοροποίηση της κυκλοφορίας του αέρα μεταξύ των επιμέρους λειτουργικών ζωνών του σχολικού συγκροτήματος. Οι περιοχές που βρίσκονται σε άμεση σχέση με τα εξωτερικά ανοίγματα παρουσιάζουν δυνατότητες επαρκούς διαμεπερούς αερισμού και καλύτερες συνθήκες ανανέωσης του εσωτερικού αέρα, ενώ οι κεντρικές εσωτερικές ζώνες εμφανίζουν περιορισμένη κυκλοφορία αέρα και αυξημένη πιθανότητα θερμικής δυσφορίας. Παράλληλα, η γεωμετρία του κτιρίου και η διάταξη των κατακόρυφων στοιχείων δημιουργούν δυνατότητες φυσικού ελκυσμού (stack ventilation), οι οποίες μπορούν να αξιοποιηθούν μέσω βιοκλιματικών στρατηγικών φυσικού δροσισμού και ενίσχυσης της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος (Lechner, 2022; Santamouris, 2016; Givoni, 1998).

Η σύνδεση των διαγραμμάτων φυσικού αερισμού με τα ευρήματα του Κεφαλαίου 3 ενισχύει τη λογική τεκμηρίωσης των προτεινόμενων παρεμβάσεων, καθώς αποδεικνύεται ότι οι στρατηγικές βελτίωσης του φυσικού αερισμού δεν αποτελούν θεωρητικές επιλογές αλλά άμεση απάντηση στα περιβαλλοντικά προβλήματα που καταγράφηκαν κατά την ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης. Η ενίσχυση της διαμεπερούς ροής αέρα, η αναδιάρθρωση συγκεκριμένων ανοιγμάτων και η αξιοποίηση φαινομένων φυσικού

ελκυσμού κρίθηκαν απαραίτητες για τη μείωση των θερμικών φορτίων, τη βελτίωση της ποιότητας αέρα και την ενίσχυση της συνολικής ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος (IEQ). Παράλληλα, η αξιοποίηση παθητικών τεχνικών φυσικού αερισμού συνδέεται με τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου και τον περιορισμό της εξάρτησης από μηχανικά συστήματα ψύξης (Lechner, 2022; Clements-Croome, 2013).

Η εφαρμογή στρατηγικών φυσικού αερισμού στα σχολικά κτίρια παρουσιάζει ιδιαίτερη σημασία όχι μόνο για τη θερμική άνεση αλλά και για τη γνωστική απόδοση και την υγεία των χρηστών. Διεθνείς έρευνες έχουν δείξει ότι η αυξημένη συγκέντρωση CO₂ και η ανεπαρκής ανανέωση αέρα στους χώρους εκπαίδευσης συνδέονται με μείωση της συγκέντρωσης, της μαθησιακής ικανότητας και της συνολικής ευεξίας των μαθητών. Για τον λόγο αυτό, το διάγραμμα φυσικού αερισμού λειτουργεί στην παρούσα εργασία όχι μόνο ως τεχνικό εργαλείο ανάλυσης του κελύφους αλλά και ως μέσο ερμηνείας της σχέσης μεταξύ περιβαλλοντικής ποιότητας και εκπαιδευτικού περιβάλλοντος. Η παρατήρηση αυτή αποτέλεσε καθοριστικό παράγοντα για την επιλογή των βιοκλιματικών παρεμβάσεων που αναπτύσσονται στις επόμενες υποενότητες του Κεφαλαίου 4 (Wargoeki & Wyon, 2007; Daisey et al., 2003).

Η τέταρτη ομάδα ευρημάτων αφορά τις ενεργειακές απαιτήσεις των χρηστών. Από την προηγούμενη ανάλυση προέκυψε ότι οι ανάγκες δροσισμού, θέρμανσης, αερισμού και φωτισμού είναι αλληλένδετες. Επομένως, η ενεργειακή αναβάθμιση δεν μπορεί να βασιστεί σε μία μεμονωμένη λύση, αλλά απαιτεί ολοκληρωμένο πακέτο παρεμβάσεων που να μειώνει πρώτα τα φορτία και στη συνέχεια να βελτιώνει την απόδοση των συστημάτων (Lechner, 2022; Givoni, 1998).

Ενεργειακή απαίτηση	Κύριοι παράγοντες επιρροής	Σχέση με το κτιριακό κέλυφος	Επίδραση στην ενεργειακή συμπεριφορά	Επίδραση στην IEQ και στη θερμική άνεση
Θέρμανση	Θερμικές απώλειες μέσω τοιχοποιίας, κουφωμάτων και δώματος	Ανάγκη ενίσχυσης θερμομόνωσης, περιορισμού θερμογεφυρών και βελτίωσης αεροστεγανότητας	Αυξημένες ενεργειακές ανάγκες κατά τη χειμερινή περίοδο	Μειωμένη θερμική άνεση και ψυχρές εσωτερικές επιφάνειες
Θερινός δροσισμός	Ηλιακά θερμικά κέρδη, θερινή υπερθέρμανση και έλλειψη εξωτερικής σκίασης	Ανάγκη ελέγχου ηλιακής ακτινοβολίας μέσω παθητικών συστημάτων σκιασμού	Αυξημένα ψυκτικά φορτία και θερινές ενεργειακές αιχμές	Θερμική δυσφορία και υψηλές εσωτερικές θερμοκρασίες
Φυσικός αερισμός	Διαμπερής ροή αέρα, ανεξέλεγκτες διεισδύσεις και ανάγκη ανανέωσης αέρα	Βελτιστοποίηση φυσικού αερισμού με παράλληλο έλεγχο αεροστεγανότητας	Περιορισμός μηχανικού δροσισμού και μείωση ενεργειακών φορτίων	Βελτίωση ποιότητας αέρα, μείωση CO ₂ και περιορισμός δυσφορίας
Φυσικός φωτισμός	Προσανατολισμός, μέγεθος ανοιγμάτων, σκιασμός και βάθος χώρων	Βελτιστοποίηση daylight performance και έλεγχος θάμβωσης	Μείωση αναγκών τεχνητού φωτισμού και εξοικονόμηση ενέργειας	Βελτίωση οπτικής άνεσης και συνθηκών συγκέντρωσης
Συμπέρασμα: Η ανάλυση τεκμηριώνει ότι οι ενεργειακές απαιτήσεις των χρηστών δεν λειτουργούν ανεξάρτητα, αλλά αλληλεπιδρούν με τη θερμική συμπεριφορά του κελύφους, τον φυσικό αερισμό, τον φυσικό φωτισμό και τις συνθήκες θερμικής και οπτικής άνεσης. Επομένως, η ολοκληρωμένη βιοκλιματική αναβάθμιση του σχολικού συγκροτήματος πρέπει να αντιμετωπίζει ταυτόχρονα τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και τη βελτίωση της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος (IEQ)				

Πίνακας 4.3: Μεθοδολογικό πλαίσιο αλληλεπίδρασης ενεργειακών απαιτήσεων χρηστών (συσχέτιση ενεργειακών απαιτήσεων, κτιριακού κελύφους, ενεργειακής κατανάλωσης και ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος IEQ)

Το μεθοδολογικό πλαίσιο αλληλεπίδρασης ενεργειακών απαιτήσεων (Πίνακας 4.3) ανέδειξε ότι οι ανάγκες θέρμανσης, θερινού δροσισμού, φυσικού αερισμού και φυσικού φωτισμού δεν αποτελούν ανεξάρτητες λειτουργικές παραμέτρους, αλλά αλληλοσυνδεδεμένα στοιχεία της συνολικής ενεργειακής και περιβαλλοντικής συμπεριφοράς του σχολικού συγκροτήματος. Η ανάλυση των δεδομένων του Κεφαλαίου 3 κατέδειξε ότι η θερμική συμπεριφορά του κελύφους, ο προσανατολισμός, η ποιότητα των ανοιγμάτων, η ηλιακή ακτινοβολία και οι δυνατότητες φυσικού αερισμού επηρεάζουν άμεσα τόσο την κατανάλωση ενέργειας όσο και τις συνθήκες θερμικής και οπτικής άνεσης στους χώρους διδασκαλίας. Για τον λόγο αυτό, η προτεινόμενη στρατηγική βιοκλιματικού ανασχεδιασμού δεν αντιμετωπίζει τις επιμέρους ενεργειακές απαιτήσεις αποσπασματικά, αλλά ως τμήματα ενός ολοκληρωμένου συστήματος περιβαλλοντικής αναβάθμισης, στο οποίο το κτιριακό κέλυφος λειτουργεί ως βασικός ρυθμιστής της ενεργειακής απόδοσης και της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος (IEQ). Η προσέγγιση αυτή ευθυγραμμίζεται με τη σύγχρονη διεθνή βιβλιογραφία για τον βιοκλιματικό σχεδιασμό σχολικών κτιρίων σε μεσογειακά κλίματα, σύμφωνα με την οποία η ταυτόχρονη βελτίωση ενεργειακής συμπεριφοράς και περιβαλλοντικής άνεσης αποτελεί βασική προϋπόθεση βιώσιμης εκπαιδευτικής αρχιτεκτονικής (Lechner, 2022; Szokolay, 2014; Santamouris, 2013; Wargocki & Wyon, 2013).

Εύρημα Κεφαλαίου 3	Ερμηνεία	Παρέμβαση Κεφαλαίου 4	Αναμενόμενο Αποτέλεσμα
Χαμηλή θερμική άνεση	Υπερθέρμανση & θερμικές απώλειες	Θερμομόνωση, σκίαση, φυσικός δροσισμός	Σταθερότερες εσωτερικές συνθήκες
Ανομοιογενής φυσικός φωτισμός	Θάμβωση & σκοτεινές ζώνες	Light shelves, σκίαστρα, ανακλαστικές επιφάνειες	Βελτίωση οπτικής άνεσης
Περιορισμένος φυσικός αερισμός	Ανεπαρκής ανανέωση αέρα	Διαμετρής αερισμός και νυχτερινός αερισμός	Καλύτερη ποιότητα αέρα
Αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις	Υψηλά φορτία θέρμανσης/ψύξης	Βελτίωση κελύφους	Μείωση κατανάλωσης
Θερμικά επιβαρυνόμενος αύλειος χώρος	Σκληρές επιφάνειες & έλλειψη σκιάς	Φύτευση, ψυχρά υλικά, ζώνες με σκίαση	Βελτίωση μικροκλίματος

Πίνακας 4.4: Μεθοδολογική σύνδεση ευρημάτων και παρεμβάσεων

Ο Πίνακας 4.4 ανέδειξε τη σαφή μεθοδολογική σύνδεση των ευρημάτων του Κεφαλαίου 3 με τις προτεινόμενες στρατηγικές παρεμβάσεων και κατέδειξε ότι τα βασικά προβλήματα του σχολικού κτιρίου σχετίζονται κυρίως με την περιορισμένη θερμική προστασία του κελύφους, τις αυξημένες θερινές θερμικές επιβαρύνσεις, την ανεπαρκή σκίαση ορισμένων όψεων, καθώς και τις απώλειες ενέργειας μέσω παλαιών δομικών στοιχείων και κουφωμάτων. Παράλληλα, από την ανάλυση των συνθηκών θερμικής άνεσης, φυσικού φωτισμού και φυσικού αερισμού προέκυψε ότι το κτιριακό κέλυφος αποτελεί τον βασικό παράγοντα που επηρεάζει τόσο την ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου όσο και την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος. Για τον λόγο αυτό, η πρώτη ομάδα βιοκλιματικών παρεμβάσεων εστιάζει στην αναβάθμιση του κελύφους, μέσω στρατηγικών που αποσκοπούν στη μείωση των θερμικών απωλειών τον χειμώνα, στον περιορισμό της θερινής υπερθέρμανσης και στη συνολική βελτίωση των συνθηκών άνεσης των χρηστών. Η προσέγγιση αυτή ακολουθεί τη διεθνή βιβλιογραφία για την ενεργειακή αναβάθμιση σχολικών κτιρίων σε μεσογειακά κλίματα, σύμφωνα με την οποία οι παρεμβάσεις στο κτιριακό κέλυφος αποτελούν το πρώτο και σημαντικότερο στάδιο μιας ολοκληρωμένης βιοκλιματικής στρατηγικής, πριν από την εφαρμογή ενεργητικών συστημάτων και τεχνολογικών λύσεων (Gil Baez et al., 2019; Szokolay, 2014; Santamouris, 2013; Givoni, 1998; Yannas, 1994).

4.1.2. Παρεμβάσεις στο κτιριακό κέλυφος

Η αναβάθμιση του κτιριακού κελύφους αποτελεί τον πυρήνα της συνολικής στρατηγικής ενεργειακής και περιβαλλοντικής αναβάθμισης του σχολικού συγκροτήματος, καθώς το κέλυφος λειτουργεί ως το βασικό όριο ανταλλαγής θερμότητας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος. Από την ανάλυση του Κεφαλαίου 3 προέκυψε ότι το υφιστάμενο σχολικό κτίριο παρουσιάζει αυξημένες θερμικές απώλειες κατά τη χειμερινή περίοδο, αλλά και σημαντική θερμική επιβάρυνση κατά τους θερινούς μήνες, κυρίως λόγω ανεπαρκούς θερμομόνωσης, ύπαρξης παλαιών κουφωμάτων και υψηλής ηλιακής έκθεσης συγκεκριμένων όψεων του κτιρίου. Οι συνθήκες αυτές οδηγούν σε αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση και θερινό δροσισμό, ενώ επηρεάζουν

αρνητικά τη θερμική άνεση των χρηστών και τη συνολική ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος (Lechner, 2022; Santamouris & Kolokotsa, 2013; Givoni, 1998).

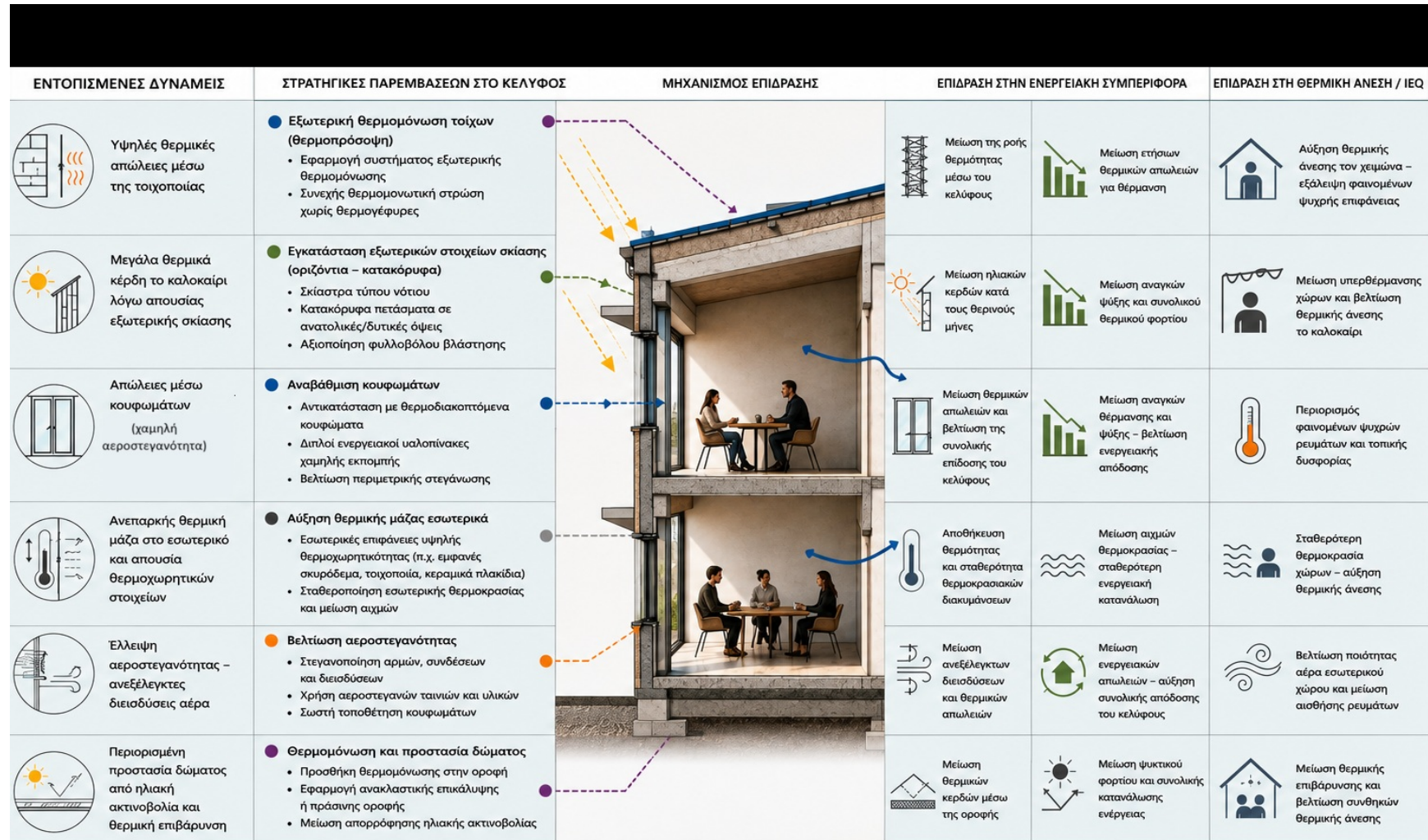
Η επιλογή των προτεινόμενων παρεμβάσεων βασίστηκε σε μια ολοκληρωμένη μεθοδολογική διαδικασία που συνδύασε την ανάλυση των αρχιτεκτονικών σχεδίων, τη μελέτη των μικροκλιματικών συνθηκών της Λαμίας, τα αποτελέσματα της αξιολόγησης IEQ και τα ευρήματα σχετικά με τις ενεργειακές απαιτήσεις των χρηστών. Η συγκεκριμένη προσέγγιση κρίθηκε απαραίτητη, καθώς η ενεργειακή αναβάθμιση σχολικών κτιρίων δεν αφορά αποκλειστικά τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, αλλά και τη δημιουργία σταθερών και υγιεινών συνθηκών μάθησης. Η διεθνής βιβλιογραφία υπογραμμίζει ότι οι παρεμβάσεις στο κτιριακό κέλυφος επηρεάζουν άμεσα τη θερμική άνεση, την ποιότητα αέρα, τη συγκέντρωση των μαθητών και τη συνολική εκπαιδευτική διαδικασία (Szokolay, 2014; Mendell et al., 2005; de Dear, 2002).

Η εφαρμογή εξωτερικής θερμομόνωσης προτείνεται ως μία από τις βασικότερες παρεμβάσεις του ανασχεδιασμού, καθώς επιτρέπει τη σημαντική μείωση των θερμικών απωλειών και την ταυτόχρονη προστασία της θερμικής μάζας του φέροντος οργανισμού. Η εξωτερική θερμομόνωση συμβάλλει στη σταθεροποίηση της εσωτερικής θερμοκρασίας, περιορίζει τις θερμικές διακυμάνσεις και ενισχύει τη θερμική αδράνεια του κτιρίου. Παράλληλα, μειώνει τον κίνδυνο εμφάνισης θερμογεφυρών και φαινομένων συμπύκνωσης υδρατμών, τα οποία συχνά παρατηρούνται σε παλαιά σχολικά κτίρια χωρίς σύγχρονες ενεργειακές προδιαγραφές (Asdrubali, 2015; Ozel, 2014; Kolaitis, 2013).

Ιδιαίτερη σημασία δόθηκε επίσης στην αναβάθμιση των κουφωμάτων και των διαφανών επιφανειών του κελύφους. Από την προηγούμενη ανάλυση προέκυψε ότι τα υφιστάμενα μεταλλικά πλαίσια και οι μονοί υαλοπίνακες παρουσιάζουν αυξημένο συντελεστή θερμοπερατότητας, γεγονός που οδηγεί σε σημαντικές θερμικές απώλειες τον χειμώνα και αυξημένη εισροή θερμικών κερδών κατά τη θερινή περίοδο. Για τον λόγο αυτό προτείνεται η αντικατάσταση των υφιστάμενων κουφωμάτων με θερμοδιακοπτόμενα συστήματα υψηλής ενεργειακής απόδοσης και χρήση διπλών ενεργειακών υαλοπινάκων χαμηλής εκπεμψιμότητας. Η παρέμβαση αυτή αναμένεται να

βελτιώσει σημαντικά τόσο τη θερμική άνεση όσο και την αεροστεγανότητα του κελύφους (Wang et al., 2018; Santamouris & Kolokotsa, 2013).

Η ανάγκη ελέγχου της ηλιακής ακτινοβολίας αποτέλεσε επίσης βασικό άξονα της στρατηγικής αναβάθμισης του κελύφους. Το διάγραμμα ηλιασμού και η ανάλυση θερμικών αδυναμιών που προηγήθηκαν ανέδειξαν αυξημένη ηλιακή επιβάρυνση στις νότιες και δυτικές όψεις του σχολικού συγκροτήματος, ιδιαίτερα κατά τους θερινούς μήνες. Για τον λόγο αυτό προτείνεται η εφαρμογή παθητικών συστημάτων σκιασμού, όπως οριζόντια σκίαστρα, κινητές περσίδες και φυτεμένες επιφάνειες. Η εφαρμογή αυτών των τεχνικών μπορεί να περιορίσει σημαντικά τα θερινά θερμικά κέρδη χωρίς να μειώσει την πρόσβαση σε φυσικό φωτισμό κατά τη χειμερινή περίοδο (Olgyay, 2015; Dekay et al., 2014; Palmero-Marrero, 2010).



Διάγραμμα 4.8: Διάγραμμα παρεμβάσεων στο κτιριακό κέλυφος (ιδία δημιουργία με CorelDRAW και Photoshop)

Το Διάγραμμα 4.8 παρουσιάζει συνθετικά τη σχέση μεταξύ των αδυναμιών που εντοπίστηκαν στο υφιστάμενο κτιριακό κέλυφος και των προτεινόμενων παρεμβάσεων ενεργειακής και περιβαλλοντικής αναβάθμισης. Η εξωτερική θερμομόνωση, η αναβάθμιση των κουφωμάτων, ο έλεγχος της ηλιακής ακτινοβολίας, η θερμομόνωση του δώματος, η βελτίωση της αεροστεγανότητας και η αξιοποίηση της εσωτερικής θερμικής μάζας λειτουργούν συμπληρωματικά και όχι μεμονωμένα. Με τον τρόπο αυτό, το κέλυφος αντιμετωπίζεται ως ενεργό σύστημα ρύθμισης των θερμικών ανταλλαγών, με στόχο τη μείωση των χειμερινών απωλειών, τον περιορισμό των θερινών θερμικών κερδών, τη σταθεροποίηση της εσωτερικής θερμοκρασίας και τη βελτίωση της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος. Η διάταξη του σχήματος συνδέεται με τα ευρήματα του Κεφαλαίου 3 και τεκμηριώνει τη λογική της υποενότητας 4.1.2, σύμφωνα με την οποία οι παρεμβάσεις στο κέλυφος αποτελούν την πρώτη και βασική ομάδα μέτρων πριν από την εφαρμογή ενεργητικών συστημάτων (Lechner, 2022; DeKay, 2014; Santamouris & Kolokotsa, 2013).

Εντοπισμένη αδυναμία	Προτεινόμενη παρέμβαση	Αναμενόμενη επίδραση	Σύνδεση με έρευνα
Θερμικές απώλειες τοιχοποιίας	Εξωτερική θερμομόνωση	Μείωση θερμικών απωλειών και σταθερότερη εσωτερική θερμοκρασία	Θερμική άνεση και ενεργειακές απαιτήσεις
Απώλειες μέσω κουφωμάτων	Θερμοδιακοπτόμενα πλαίσια και ενεργειακοί υαλοπίνακες	Περιορισμός απωλειών και βελτίωση αεροστεγανότητας	Ευρήματα κελύφους και χειμερινής άνεσης
Θερινά θερμικά κέρδη	Εξωτερικά σκίαστρα και ηλιακός έλεγχος	Μείωση υπερθέρμανσης χωρίς απώλεια φυσικού φωτισμού	Σύνδεση με διάγραμμα ηλιασμού
Ανεπαρκής προστασία δώματος	Θερμομόνωση και ανακλαστική τελική επιφάνεια	Μείωση κατακόρυφων θερμικών ροών και θερινής επιβάρυνσης	Σύνδεση με θερμικές αδυναμίες όψεων/τομών
Ανεξέλεγκτες διεισδύσεις αέρα	Βελτίωση αεροστεγανότητας με ελεγχόμενο αερισμό	Περιορισμός απωλειών χωρίς υποβάθμιση IAQ	Σύνδεση με φυσικό αερισμό και IEQ

Πίνακας 4.5: Μεθοδολογική σύνδεση αδυναμιών και προτεινόμενων παρεμβάσεων

Ο Πίνακας 4.5 αποτυπώνει τη συστηματική διαδικασία μέσω της οποίας τα ευρήματα της ανάλυσης του Κεφαλαίου 3 μεταφράζονται σε στοχευμένες στρατηγικές βιοκλιματικής αναβάθμισης. Η ανάλυση ανέδειξε ότι οι κυριότερες ενεργειακές και περιβαλλοντικές αδυναμίες του σχολικού συγκροτήματος σχετίζονται με το κτιριακό κέλυφος, την ανεπαρκή θερμική προστασία, τα αυξημένα θερινά θερμικά κέρδη και τις ανεξέλεγκτες διεισδύσεις αέρα. Για τον λόγο αυτό, οι προτεινόμενες παρεμβάσεις οργανώθηκαν με βάση τη λογική της ολοκληρωμένης περιβαλλοντικής αναβάθμισης, όπου κάθε τεχνική λύση συνδέεται άμεσα με συγκεκριμένα ερευνητικά δεδομένα, μετρήσεις και συμπεράσματα της προηγούμενης ανάλυσης. Η προσέγγιση αυτή ενισχύει τη μεθοδολογική συνέχεια της εργασίας και τεκμηριώνει ότι ο βιοκλιματικός ανασχεδιασμός δεν βασίζεται σε γενικές θεωρητικές κατευθύνσεις, αλλά στις πραγματικές λειτουργικές και περιβαλλοντικές ανάγκες του υφιστάμενου σχολικού κτιρίου (Lechner, 2022; Szokolay, 2014; Santamouris & Kolokotsa, 2013; Yannas, 1994).

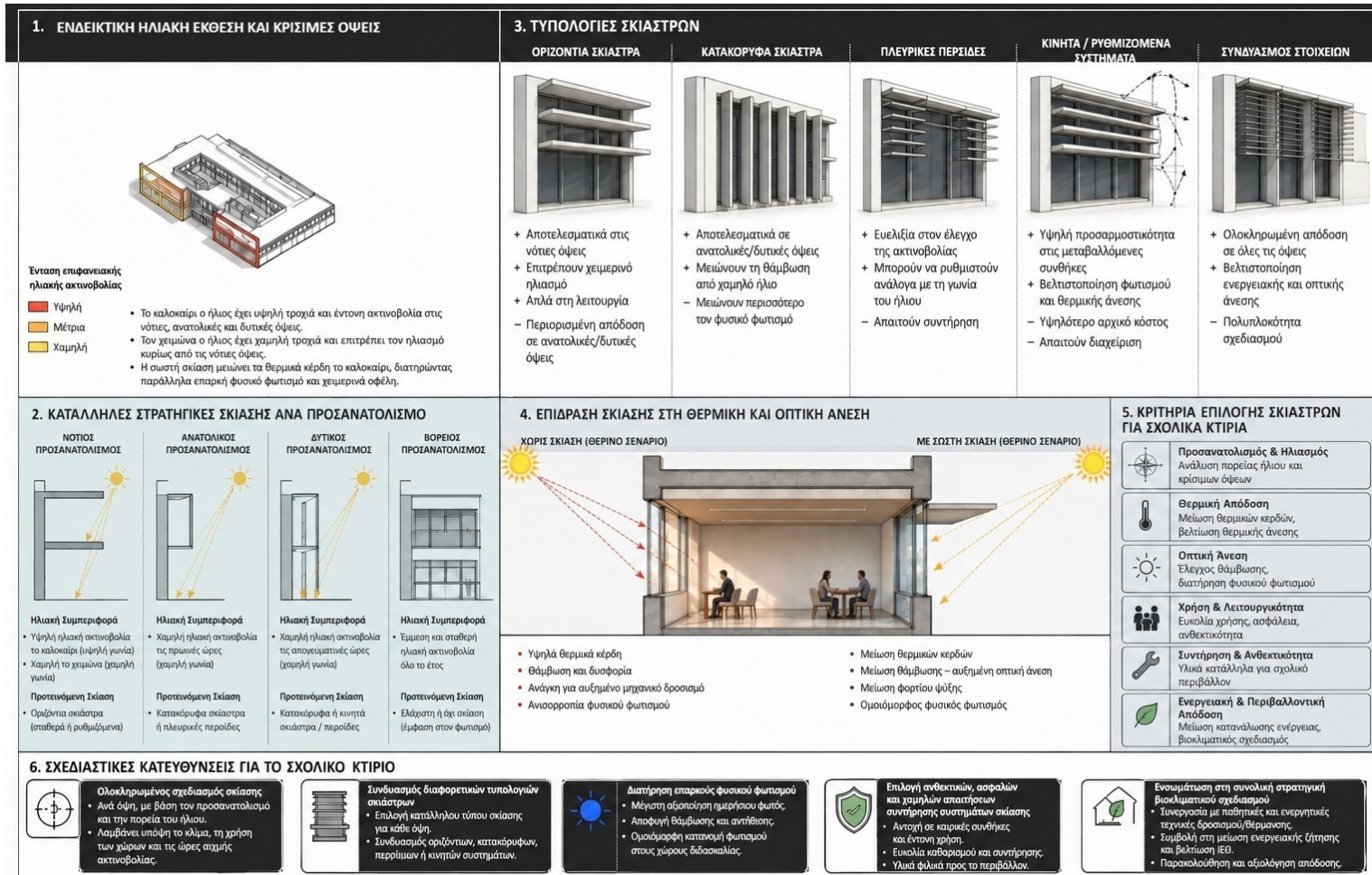
4.1.3. Συστήματα και έλεγχος ηλιακής ακτινοβολίας

Η σκίαση αποτελεί μία από τις πιο κρίσιμες παρεμβάσεις για το εξεταζόμενο σχολικό κτίριο, καθώς στο Κεφάλαιο 3 διαπιστώθηκε ότι η υπερθέρμανση και η θάμβωση συνδέονται άμεσα με την ανεξέλεγκτη είσοδο ηλιακής ακτινοβολίας. Η σκίαση δεν πρέπει να θεωρείται απλή προσθήκη στην όψη, αλλά βασικό εργαλείο ενεργειακού και οπτικού ελέγχου. Με σωστό σχεδιασμό, μπορεί να μειώσει τα θερινά θερμικά κέρδη, να βελτιώσει την οπτική άνεση και ταυτόχρονα να επιτρέψει την αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού.

Η επιλογή του κατάλληλου τύπου σκίασης πρέπει να γίνεται ανάλογα με τον προσανατολισμό της όψης. Στις νότιες όψεις, τα οριζόντια σκίαστρα είναι αποτελεσματικά, επειδή μπορούν να εμποδίσουν την υψηλή θερινή ηλιακή ακτινοβολία και να επιτρέψουν την είσοδο της χαμηλής χειμερινής ακτινοβολίας. Αντίθετα, στις ανατολικές και δυτικές όψεις, όπου ο ήλιος βρίσκεται χαμηλότερα στον ορίζοντα, απαιτούνται κατακόρυφα ή κινητά σκίαστρα, πλευρικές περσίδες ή συνδυασμός στοιχείων.

Για το σχολικό κτίριο, η σκίαση πρέπει να σχεδιαστεί με βάση τις ανάγκες των αιθουσών και όχι μόνο με αισθητικά κριτήρια. Οι αίθουσες διδασκαλίας απαιτούν σταθερές συνθήκες φωτισμού, επομένως τα σκίαστρα πρέπει να μειώνουν τη θάμβωση χωρίς να σκοτεινιάζουν υπερβολικά τον χώρο. Η ισορροπία μεταξύ σκίασης και φυσικού φωτισμού είναι κρίσιμη: υπερβολική σκίαση μπορεί να αυξήσει την ανάγκη για τεχνητό φωτισμό, ενώ ανεπαρκής σκίαση οδηγεί σε υπερθέρμανση και οπτική δυσφορία (Lechner, 2022; Olgyay, 2015; Dekay et al., 2014; Boyce, 2014).

Ιδιαίτερη σημασία έχει η δυνατότητα προσαρμοστικότητας των σκιάστρων. Τα σταθερά σκίαστρα έχουν το πλεονέκτημα της απλής λειτουργίας και της χαμηλής συντήρησης, αλλά δεν ανταποκρίνονται πάντα στις μεταβαλλόμενες συνθήκες του έτους. Τα κινητά ή ρυθμιζόμενα συστήματα μπορούν να προσφέρουν μεγαλύτερη ευελιξία, επιτρέποντας στους χρήστες ή στη διαχείριση του κτιρίου να προσαρμόζουν τη σκίαση ανάλογα με την εποχή, την ώρα και τις ανάγκες του χώρου. Σε σχολικά κτίρια, όμως, η επιλογή πρέπει να λαμβάνει υπόψη την ανθεκτικότητα, την ασφάλεια και την ευκολία χρήσης (Lechner, 2022; Tzempelikos et al., 2007).

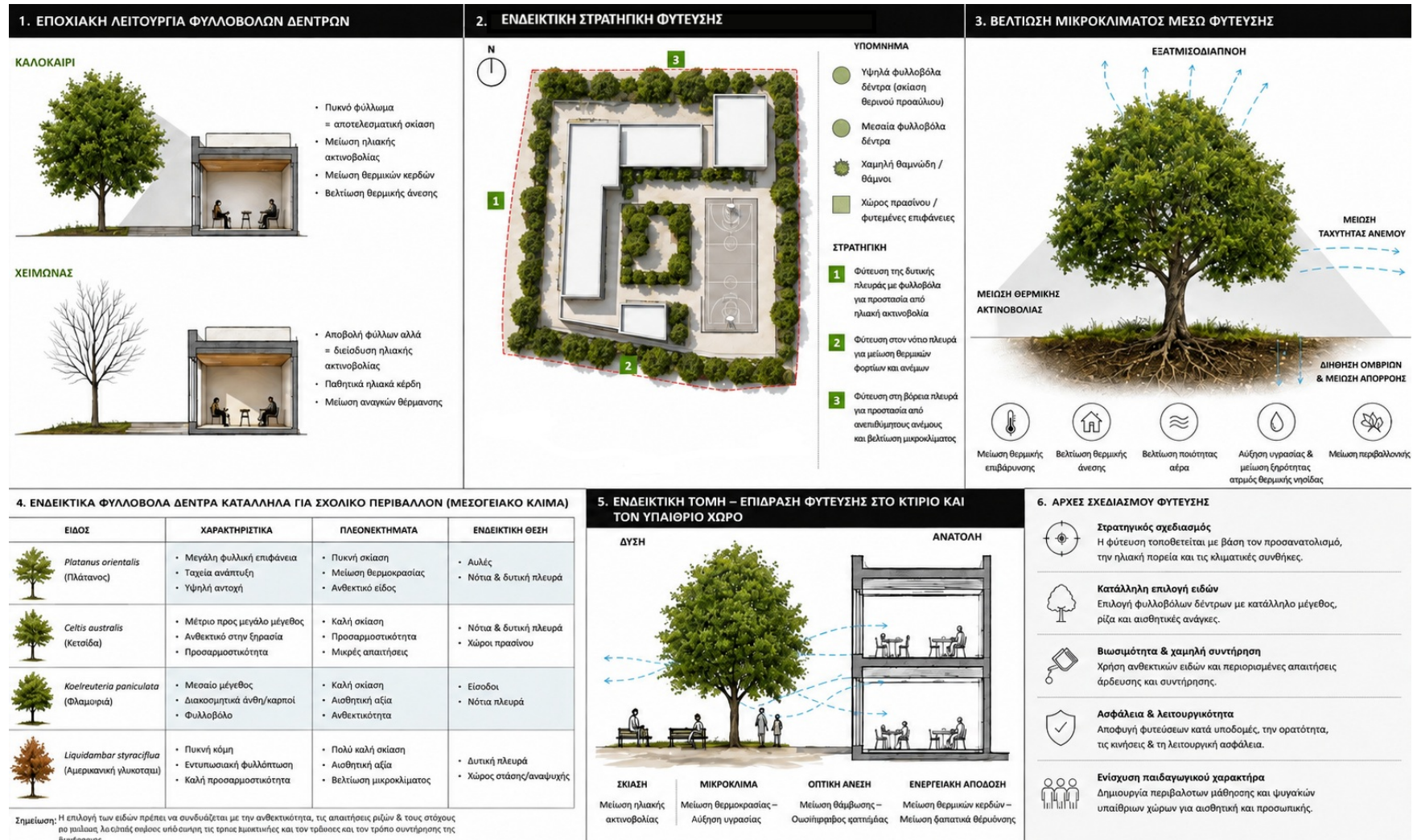


Σημείωση: Η απεικόνιση του κτιρίου είναι ενδεικτική και χρησιμοποιείται σχηματικά για την κατανόηση της ηλιακής έκθεσης και των κρίσιμων όψεων.

Διάγραμμα 4.9: Συστήματα σκίασης – τυπολογίες & στρατηγικές εφαρμογής (ιδία δημιουργία με CorelDRAW και Photoshop)

Το Διάγραμμα 4.9 ανέδειξε ότι η αποτελεσματικότητα των παρεμβάσεων εξαρτάται άμεσα από τον προσανατολισμό των όψεων, τη γεωμετρία του κτιρίου και τις ιδιαίτερες περιβαλλοντικές συνθήκες του σχολικού συγκροτήματος. Η ανάλυση του ηλιασμού και των θερμικών αδυναμιών που πραγματοποιήθηκε στο Κεφάλαιο 3 έδειξε ότι οι νότιες και δυτικές όψεις παρουσιάζουν αυξημένη έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία κατά τη θερινή περίοδο, γεγονός που οδηγεί σε αυξημένα θερμικά κέρδη, υπερθέρμανση και επιβάρυνση των συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης. Για τον λόγο αυτό, προτάθηκαν διαφοροποιημένες στρατηγικές σκίασης ανά προσανατολισμό, με χρήση οριζόντιων, κατακόρυφων και προσαρμοζόμενων συστημάτων, ώστε να επιτυγχάνεται ισορροπία μεταξύ ηλιακής προστασίας, φυσικού φωτισμού και ενεργειακής απόδοσης. Παράλληλα, το διάγραμμα τεκμηριώνει ότι η σκίαση δεν λειτουργεί ως μεμονωμένη αισθητική παρέμβαση, αλλά ως βασικό εργαλείο βιοκλιματικού σχεδιασμού που συμβάλλει στη βελτίωση του εσωτερικού περιβάλλοντος, στη μείωση των ψυκτικών απαιτήσεων και στην αναβάθμιση της συνολικής περιβαλλοντικής συμπεριφοράς του σχολικού κτιρίου (Lechner, 2022; Olygay, 2015; Dekay et al., 2014; Tzempelikos et al., 2007).

Η φύτευση μπορεί επίσης να λειτουργήσει ως φυσικό σύστημα σκίασης, ιδίως στον περιβάλλοντα χώρο του σχολείου. Τα φυλλοβόλα δέντρα προσφέρουν σκίαση το καλοκαίρι και επιτρέπουν τη διείσδυση ηλιακής ακτινοβολίας τον χειμώνα, ενώ συμβάλλουν στη βελτίωση του μικροκλίματος μέσω εξατμισοδιαπνοής. Η στρατηγική φύτευσης κοντά σε δυτικές και νότιες εκτεθειμένες επιφάνειες μπορεί να μειώσει την επιβάρυνση από την ηλιακή ακτινοβολία και να βελτιώσει τις συνθήκες στο προαύλιο του σχολείου καθώς και στους εσωτερικούς χώρους (Emmanuel, 2005; Oke, 2002).



Διάγραμμα 4.10: Φύτευση ως φυσικό σύστημα σκίασης & βιοκλιματικής βελτίωσης (ιδία δημιουργία με CorelDRAW και Photoshop)

Στο Διάγραμμα 4.10 φαίνεται ότι η στρατηγική ένταξη φυλλοβόλων δέντρων στον περιβάλλοντα χώρο του σχολικού συγκροτήματος μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά τόσο στη μείωση της ηλιακής επιβάρυνσης όσο και στη βελτίωση του μικροκλίματος. Η ανάλυση των περιβαλλοντικών συνθηκών του Κεφαλαίου 3 έδειξε ότι οι υπαίθριοι χώροι και οι εκτεθειμένες νότιες και δυτικές όψεις δέχονται αυξημένη ηλιακή ακτινοβολία κατά τη θερινή περίοδο, γεγονός που επιβαρύνει τη θερμική άνεση στους εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους. Για τον λόγο αυτό, προτάθηκε η χρήση φυλλοβόλων δέντρων στρατηγικά τοποθετημένων στις ζώνες υψηλής έκθεσης, ώστε να επιτυγχάνεται εποχιακή προσαρμογή της σκίασης: πυκνή σκίαση το καλοκαίρι και επιτρεπόμενη διείσδυση ηλιακής ακτινοβολίας κατά τον χειμώνα. Παράλληλα, η εξατμισοδιαπνοή της φύτευσης συμβάλλει στη μείωση της θερμοκρασίας αέρα, στον περιορισμό του φαινομένου της τοπικής θερμικής νησίδας και στη βελτίωση της ποιότητας του μικροκλίματος στους αύλειους χώρους. Η προσέγγιση αυτή εντάσσεται στη συνολική στρατηγική βιοκλιματικού ανασχεδιασμού του σχολείου, όπου η φύτευση δεν αντιμετωπίζεται ως διακοσμητικό στοιχείο, αλλά ως ενεργό περιβαλλοντικό εργαλείο βελτίωσης της θερμικής, οπτικής και περιβαλλοντικής άνεσης (Santamouris, 2013; Tzempelikos et al., 2007; Oke, 2002; Emmanuel, 2005; Hough, 1995).

Προσανατολισμός	Πρόβλημα	Κατάλληλη λύση	Στόχος
Νότιος	Θερινή υπερθέρμανση	Οριζόντια σκίαστρα/πρόβολοι	Αποκλεισμός υψηλού θερινού ήλιου
Ανατολικός	Πρωινή ακτινοβολία	Κατακόρυφες περσίδες/κινητά σκίαστρα	Έλεγχος χαμηλού ήλιου
Δυτικός	Απογευματινή υπερθέρμανση	Κατακόρυφα σκίαστρα/φύτευση	Μείωση θερμικής επιβάρυνσης
Προαύλιος χώρος	Θερμική νησίδα	Δέντρα, πέργκολες, δημιουργία πράσινων ζωνών με σκίαση	Βελτίωση μικροκλίματος

Πίνακας 4.6: Επιλογή σκίασης ανά προσανατολισμό

Ο παραπάνω Πίνακας (4.6) συνοψίζει τη μεθοδολογική συσχέτιση μεταξύ προσανατολισμού, περιβαλλοντικών προβλημάτων και προτεινόμενων στρατηγικών σκίασης για το σχολικό συγκρότημα. Η ανάλυση επιβεβαιώνει ότι η επιλογή των

συστημάτων σκίασης δεν μπορεί να είναι ενιαία για όλες τις όψεις του κτιρίου, αλλά πρέπει να προσαρμόζεται στις διαφορετικές συνθήκες ηλιακής έκθεσης και θερμικής επιβάρυνσης. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στις νότιες και δυτικές επιφάνειες, όπου εντοπίστηκαν αυξημένα θερινά θερμικά κέρδη, καθώς και στους υπαίθριους χώρους όπου η έλλειψη σκίασης επιβαρύνει το μικροκλίμα και την ποιότητα χρήσης του προαύλιου χώρου. Η προσέγγιση αυτή ενισχύει τη βιοκλιματική λειτουργία του σχολείου και συμβάλλει στη βελτίωση τόσο της ενεργειακής απόδοσης όσο και των συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης ενώ η δημιουργία «πράσινων ζωνών» επηρεάζει θετικά και την ψυχολογία των μαθητών (Lechner, 2022; Olgyay, 2015; Dekay et al., 2014).

4.1.4. Βελτιστοποίηση φυσικού φωτισμού και οπτικής άνεσης

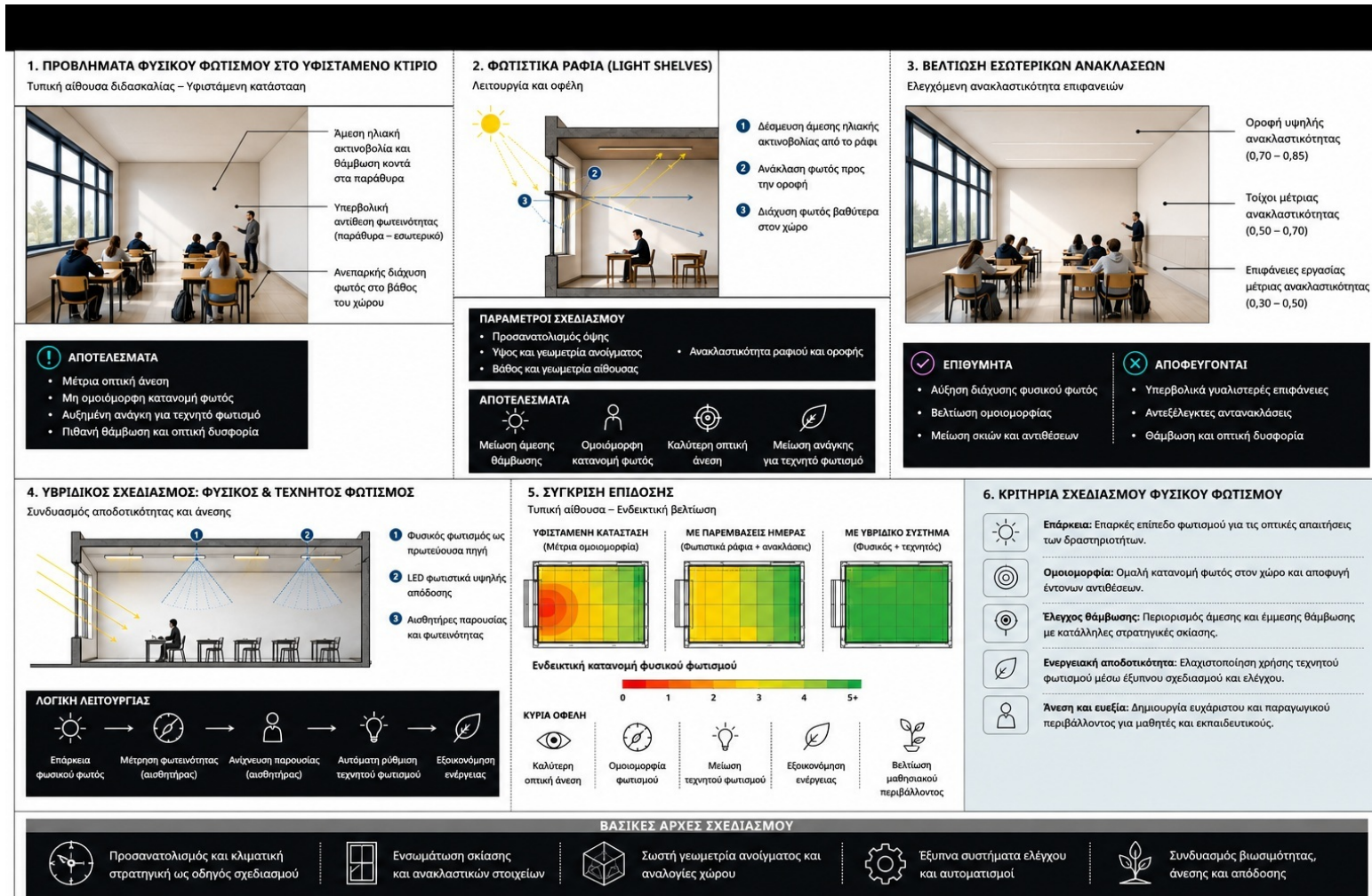
Η βελτιστοποίηση του φυσικού φωτισμού αποτελεί βασικό στόχο της αναβάθμισης, διότι στο Κεφάλαιο 3 διαπιστώθηκε ότι το κτίριο παρουσιάζει μέτρια οπτική άνεση, όχι λόγω πλήρους έλλειψης φωτός, αλλά λόγω κακής κατανομής και θάμβωσης. Στόχος των παρεμβάσεων δεν είναι απλώς η αύξηση της ποσότητας φωτός, αλλά η βελτίωση της ποιότητάς του. Αυτό σημαίνει ομοιομορφία, έλεγχο άμεσης ακτινοβολίας, περιορισμό αντιθέσεων και μείωση της ανάγκης για τεχνητό φωτισμό (Reinhart, 2020; Boyce, 2014).

Μία βασική παρέμβαση είναι η χρήση φωτιστικών ραφιών (light shelves) σε κατάλληλα ανοίγματα. Τα στοιχεία αυτά ανακλούν το φως προς την οροφή και το διαχέουν βαθύτερα στον χώρο, μειώνοντας ταυτόχρονα την άμεση θάμβωση κοντά στα παράθυρα. Η αποτελεσματικότητά τους εξαρτάται από τον προσανατολισμό, το ύψος του ανοίγματος, την ανακλαστικότητα των επιφανειών και τη γεωμετρία της αίθουσας. Σε σχολικές αίθουσες μπορούν να συμβάλουν στη δημιουργία πιο ομοιόμορφων συνθηκών φωτισμού (Reinhart, 2020; Baker et al., 2014).

Η βελτίωση των εσωτερικών ανακλάσεων αποτελεί απλή αλλά σημαντική παρέμβαση. Η χρήση ανοιχτόχρωμων επιφανειών σε οροφές, τοίχους και επιλεγμένα σημεία μπορεί να αυξήσει τη διάχυση του φυσικού φωτός, χωρίς να απαιτείται αύξηση των ανοιγμάτων. Η παρέμβαση αυτή πρέπει να γίνει με προσοχή ώστε να αποφεύγονται υπερβολικά

ανακλαστικές επιφάνειες που μπορεί να προκαλέσουν θάμβωση. Επομένως, ζητούμενο είναι η ελεγχόμενη ανακλαστικότητα και όχι η ανεξέλεγκτη αύξηση της φωτεινότητας (Boyce, 2014; Tregenza et al., 2011).

Η αναβάθμιση του φυσικού φωτισμού πρέπει να συνδυαστεί με αποδοτικό τεχνητό φωτισμό. Η εγκατάσταση φωτιστικών LED υψηλής απόδοσης, σε συνδυασμό με αισθητήρες παρουσίας και αισθητήρες φωτεινότητας, μπορεί να μειώσει σημαντικά την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Η λογική δεν είναι να αντικατασταθεί ο φυσικός φωτισμός από τεχνητό, αλλά να δημιουργηθεί ένα υβριδικό σύστημα που προσαρμόζεται στις πραγματικές ανάγκες του χώρου και αποφεύγει τη σπατάλη ενέργειας (Lechner, 2022; Boyce, 2014).



Διάγραμμα 4.11: Στρατηγικές βελτιστοποίησης φυσικού φωτισμού (ιδία δημιουργία με CorelDRAW και Photoshop)

Το Διάγραμμα 4.11 ανέδειξε ότι η αναβάθμιση των συνθηκών οπτικής άνεσης στο σχολικό συγκρότημα δεν εξαρτάται αποκλειστικά από την ποσότητα του εισερχόμενου φυσικού φωτός, αλλά κυρίως από την ποιότητα, τη διάχυση και την ομοιομορφία κατανομής του στον εσωτερικό χώρο. Η ανάλυση του Κεφαλαίου 3 κατέδειξε ότι οι αίθουσες διδασκαλίας παρουσιάζουν φαινόμενα θάμβωσης κοντά στα ανοίγματα και ανεπαρκή φωτισμό στα βαθύτερα τμήματα των χώρων, γεγονός που επηρεάζει αρνητικά την οπτική άνεση και αυξάνει την ανάγκη χρήσης τεχνητού φωτισμού. Για τον λόγο αυτό, προτάθηκαν παρεμβάσεις που βασίζονται στη λογική του ολοκληρωμένου daylighting design, όπως η χρήση φωτιστικών ραφιών (light shelves), η βελτίωση της ανακλαστικότητας των εσωτερικών επιφανειών και η ενσωμάτωση υβριδικών συστημάτων φυσικού και τεχνητού φωτισμού με αισθητήρες ελέγχου. Οι στρατηγικές αυτές συμβάλλουν στη βαθύτερη διάχυση του φυσικού φωτός, στη μείωση των έντονων αντιθέσεων και στον περιορισμό της οπτικής δυσφορίας, ενώ παράλληλα βελτιώνουν την ενεργειακή απόδοση μέσω της μείωσης της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό. Συνεπώς, ο φυσικός φωτισμός αντιμετωπίζεται όχι μόνο ως παράγοντας ενεργειακής εξοικονόμησης, αλλά και ως κρίσιμο στοιχείο της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος (IEQ) και της συνολικής απόδοσης των μαθητών (Lechner, 2022; Reinhart, 2020; Baker et al., 2014; Boyce, 2014; Tregenza et al., 2011).

Παρέμβαση	Πρόβλημα που αντιμετωπίζει	Αναμενόμενο όφελος
Light shelves	Χαμηλή διείσδυση φωτός	Καλύτερη κατανομή
Εξωτερική σκίαση	Θάμβωση	Οπτική άνεση
Ανοιχτόχρωμες επιφάνειες	Χαμηλή διάχυση	Ομοιομορφία φωτισμού
LED φωτισμός	Υψηλή ηλεκτρική κατανάλωση	Εξοικονόμηση ενέργειας
Αισθητήρες φωτεινότητας	Άσκοπη χρήση φωτισμού	Αυτόματη προσαρμογή

Πίνακας 4.7: Παρεμβάσεις φυσικού και τεχνητού φωτισμού

Ο Πίνακας 4.7 συνοψίζει τις βασικές στρατηγικές που προτείνονται για τη βελτίωση της οπτικής άνεσης και της ενεργειακής απόδοσης του σχολικού κτιρίου. Η ανάλυση έδειξε ότι τα προβλήματα φυσικού φωτισμού δεν σχετίζονται μόνο με την ποσότητα του

διαθέσιμου φωτός, αλλά κυρίως με την ανομοιόμορφη κατανομή, τη θάμβωση και την αυξημένη εξάρτηση από τεχνητό φωτισμό. Για τον λόγο αυτό, οι παρεμβάσεις οργανώθηκαν με βάση τη λογική της ολοκληρωμένης διαχείρισης φωτισμού, όπου ο φυσικός και ο τεχνητός φωτισμός λειτουργούν συμπληρωματικά και όχι ανταγωνιστικά. Η χρήση φωτιστικών ραφιών, εξωτερικών στοιχείων σκίασης και ανοιχτόχρωμων επιφανειών συμβάλλει στη βελτίωση της διάχυσης και της ομοιομορφίας του φυσικού φωτός, ενώ τα συστήματα LED και οι αισθητήρες φωτεινότητας ενισχύουν την ενεργειακή αποδοτικότητα μέσω της προσαρμοσμένης λειτουργίας του τεχνητού φωτισμού. Η προσέγγιση αυτή εντάσσεται στη συνολική στρατηγική βιοκλιματικής αναβάθμισης του σχολείου και συμβάλλει στη δημιουργία ενός ποιοτικότερου και ενεργειακά αποδοτικότερου μαθησιακού περιβάλλοντος (Lechner, 2022; Reinhart, 2020; Baker et al., 2014; Boyce, 2014).

4.1.5. Φυσικός αερισμός, ποιότητα αέρα και παθητικός δροσισμός

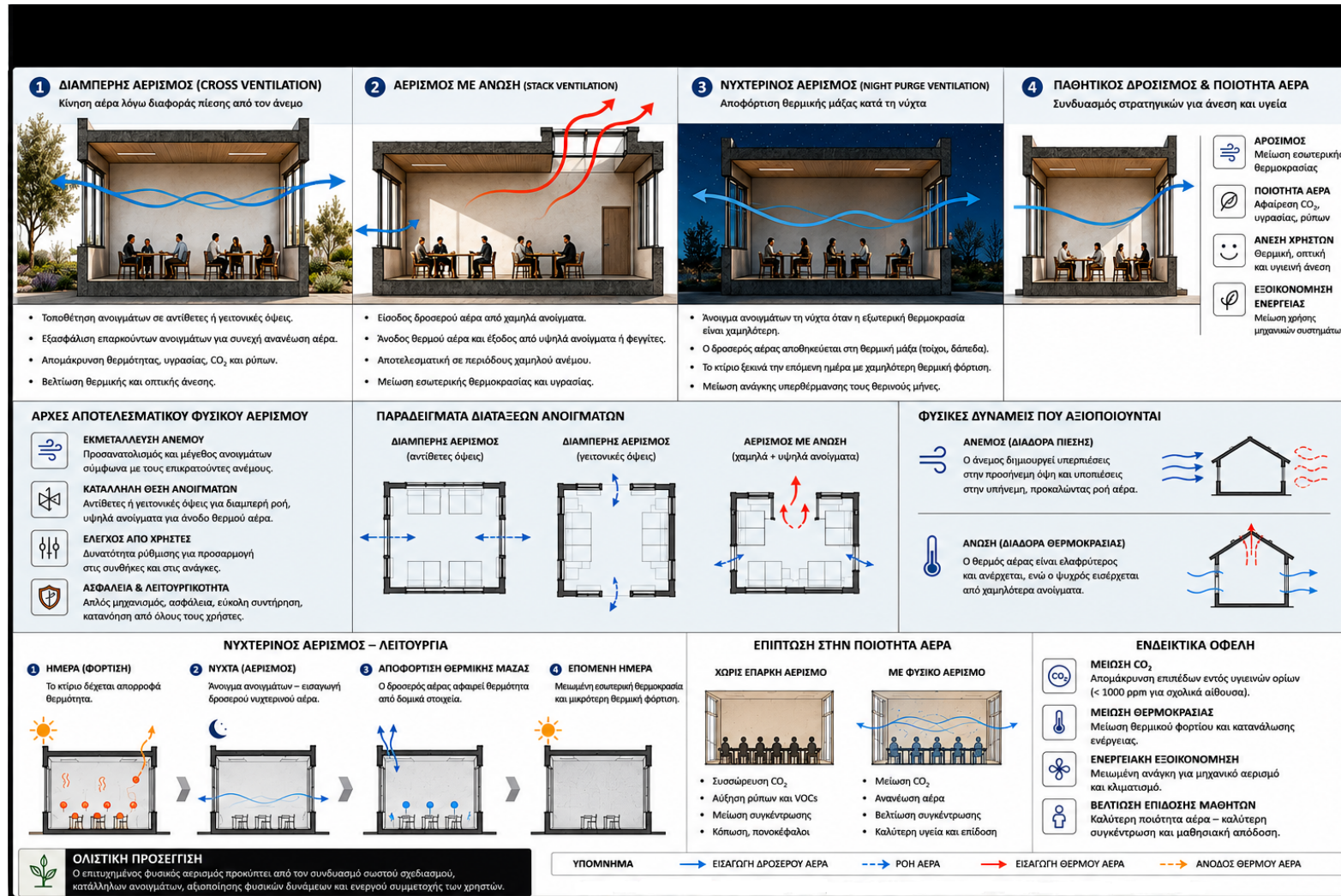
Η βελτίωση του φυσικού αερισμού αποτελεί βασική παρέμβαση, επειδή στο Κεφάλαιο 3 διαπιστώθηκε ότι η ποιότητα αέρα και η δυνατότητα φυσικού δροσισμού είναι ανεπαρκείς. Σε σχολικές αίθουσες, ο φυσικός αερισμός δεν είναι απλώς ζήτημα άνεσης, αλλά και υγείας. Η υψηλή πυκνότητα μαθητών οδηγεί σε αυξημένη παραγωγή CO₂ και άλλων ρύπων, επομένως η ανανέωση του αέρα πρέπει να είναι συστηματική και αποτελεσματική (Awbi, 2003; Daisey et al., 2003).

Η σημαντικότερη αρχή σχεδιασμού είναι η δημιουργία διαμπερούς αερισμού. Για να επιτευχθεί αυτό, απαιτείται τοποθέτηση ανοιγμάτων σε αντίθετες ή γειτονικές όψεις με τρόπο που να επιτρέπει τη διαφορά πίεσης και τη ροή αέρα. Αν το κτίριο δεν επιτρέπει πλήρη διαμπερή αερισμό σε όλες τις αίθουσες, μπορούν να εξεταστούν λύσεις όπως εσωτερικά ανοίγματα, φεγγίτες, υπερυψωμένα ανοίγματα ή αεραγωγοί που ενισχύουν την κυκλοφορία του αέρα (Givoni, 1998; Awbi, 2003).

Ο νυχτερινός αερισμός αποτελεί ιδιαίτερα χρήσιμη στρατηγική για κτίρια με θερμική μάζα. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, τα δομικά στοιχεία απορροφούν θερμότητα, ενώ τη νύχτα μπορούν να αποφορτιστούν μέσω αερισμού, εφόσον οι εξωτερικές θερμοκρασίες

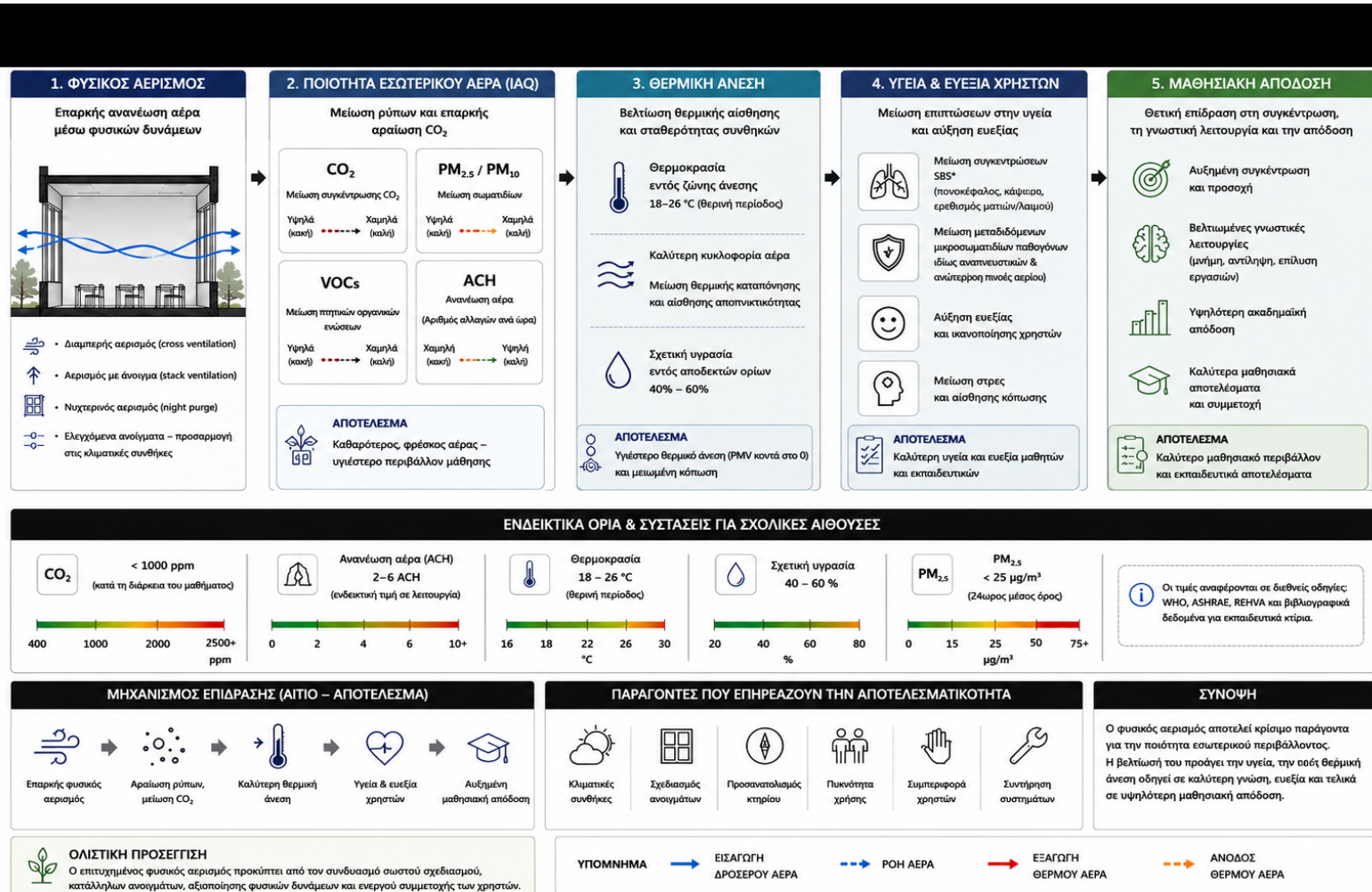
είναι χαμηλότερες. Με αυτόν τον τρόπο, το κτίριο ξεκινά την επόμενη ημέρα με χαμηλότερη θερμική φόρτιση. Η στρατηγική αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική για σχολικά κτίρια σε μεσογειακό κλίμα, όπου η θερινή υπερθέρμανση είναι συχνό πρόβλημα (Kolokotroni et al., 1999; Givoni, 1998).

Για να είναι αποτελεσματικός ο φυσικός αερισμός, πρέπει να συνδυαστεί με στρατηγική χρήσης. Οι χρήστες πρέπει να έχουν δυνατότητα ελέγχου των ανοιγμάτων, αλλά το σύστημα πρέπει να είναι απλό, ασφαλές και κατανοητό. Σε σχολικό περιβάλλον, η πολύπλοκη λειτουργία συστημάτων συχνά οδηγεί σε μη χρήση ή λανθασμένη χρήση. Επομένως, ο σχεδιασμός πρέπει να επιδιώκει λύσεις χαμηλής πολυπλοκότητας, με σαφή λειτουργικότητα και δυνατότητα συντήρησης (Wargocki & Wyon, 2013; Awbi, 2003).



Διάγραμμα 4.12: Στρατηγικές φυσικού αερισμού & παθητικού δροσισμού (ιδία δημιουργία με CorelDRAW και Photoshop)

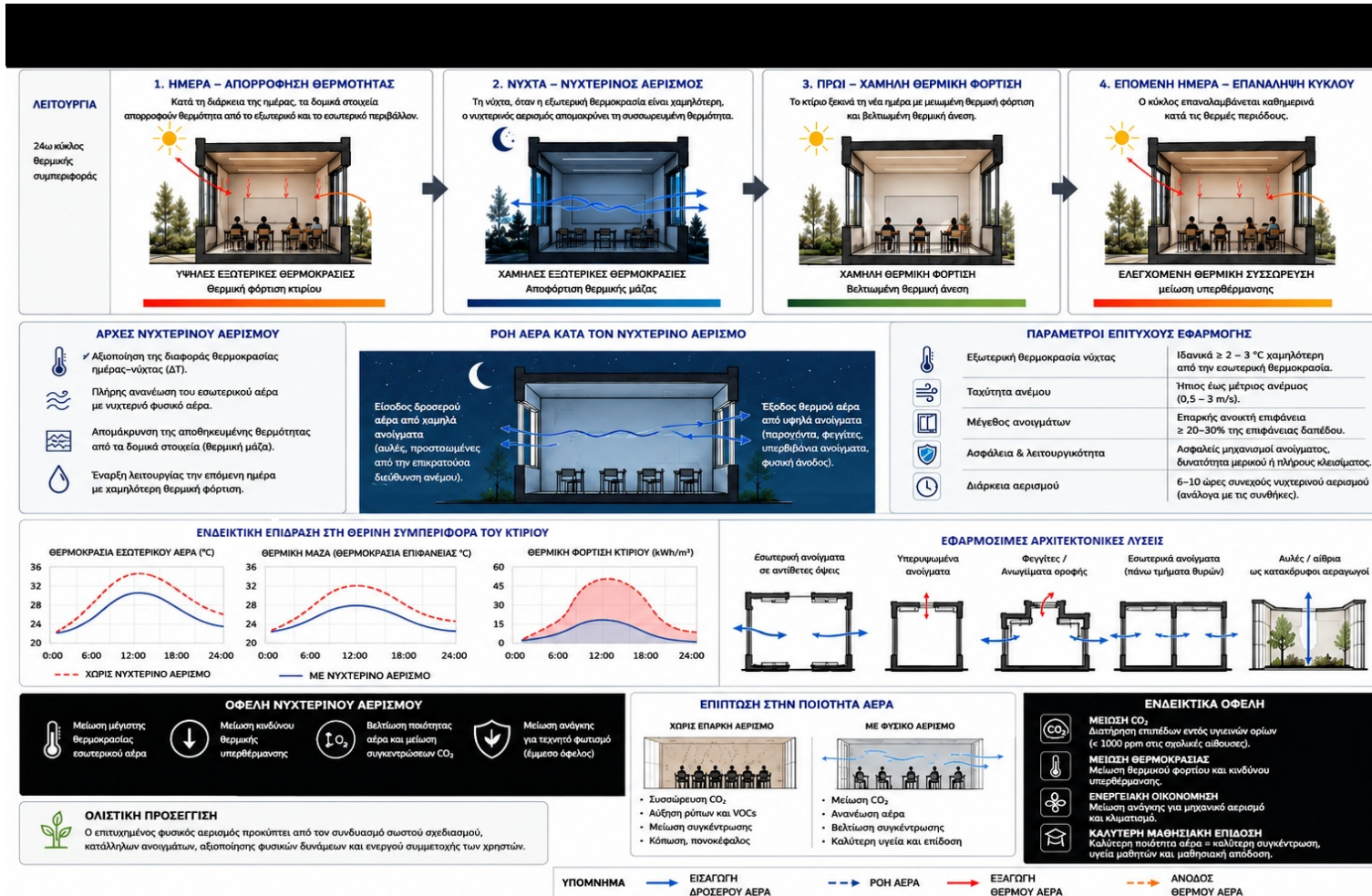
Στο Διάγραμμα 4.12. φαίνεται ότι η βελτίωση της ποιότητας εσωτερικού αέρα και της θερμικής άνεσης στο σχολικό συγκρότημα μπορεί να επιτευχθεί μέσω παθητικών στρατηγικών που αξιοποιούν φυσικές δυνάμεις, όπως ο άνεμος, η διαφορά θερμοκρασίας και η θερμική μάζα του κτιρίου. Η ανάλυση του Κεφαλαίου 3 κατέδειξε ότι οι αίθουσες παρουσιάζουν ανεπαρκή ανανέωση αέρα και αυξημένο κίνδυνο θερινής υπερθέρμανσης, ιδιαίτερα σε περιόδους υψηλής πληρότητας. Για τον λόγο αυτό, προτάθηκαν στρατηγικές διαμπερούς αερισμού, αερισμού με άνωση (stack ventilation) και νυχτερινού αερισμού, με στόχο την ενίσχυση της κυκλοφορίας αέρα, την απομάκρυνση θερμότητας και τη μείωση των συγκεντρώσεων CO₂ και εσωτερικών ρύπων. Παράλληλα, το διάγραμμα τεκμηριώνει ότι ο φυσικός αερισμός δεν λειτουργεί μόνο ως μέσο παθητικού δροσισμού, αλλά και ως βασικός παράγοντας βελτίωσης της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος (IEQ), της συγκέντρωσης και της ευεξίας των μαθητών. Η συνδυαστική εφαρμογή των στρατηγικών αυτών συμβάλλει στη μείωση της εξάρτησης από μηχανικά συστήματα ψύξης και αερισμού, ενισχύοντας τη συνολική ενεργειακή και περιβαλλοντική απόδοση του σχολικού κτιρίου (Wargocki & Wyon, 2013; Awbi, 2003; Daisey et al., 2003; Kolokotroni et al., 1999; Givoni, 1998).



*SBS: Sick Building Syndrome

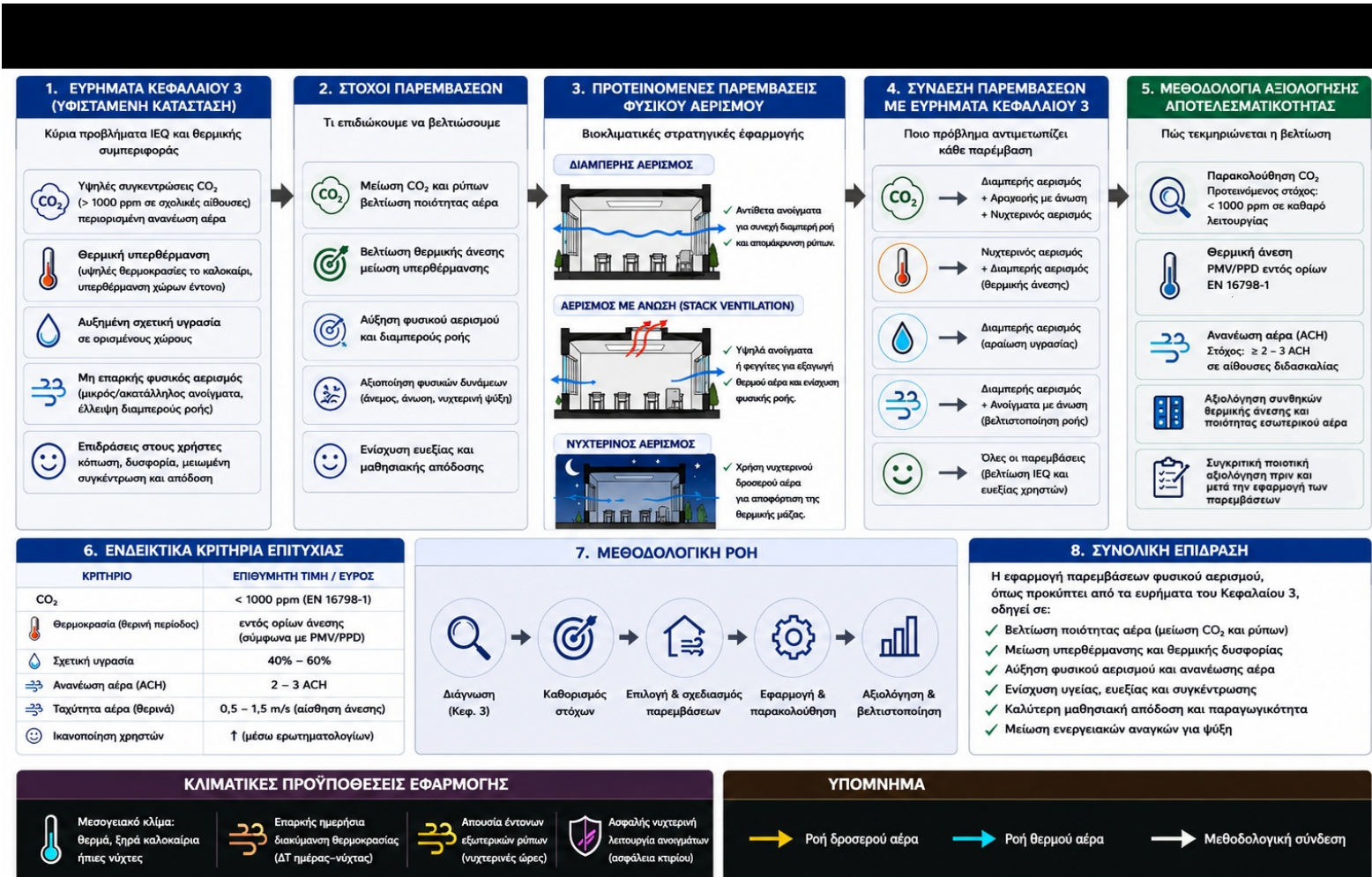
Διάγραμμα 4.13: Συσχέτιση φυσικού αερισμού - ποιότητας αέρα – θερμικής άνεσης – μαθησιακής απόδοσης (ιδία δημιουργία με CorelDRAW και Photoshop)

Το Διάγραμμα 4.13 ανέδειξε ότι οι στρατηγικές φυσικού αερισμού επηρεάζουν πολυπαραγοντικά την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος (IEQ) και, κατ' επέκταση, τη λειτουργικότητα των εκπαιδευτικών χώρων. Η ανάλυση του Κεφαλαίου 3 κατέδειξε ότι η ανεπαρκής ανανέωση αέρα οδηγεί σε αυξημένες συγκεντρώσεις CO₂, θερμική δυσφορία και υποβάθμιση της ποιότητας αέρα, φαινόμενα που συνδέονται άμεσα με μειωμένη συγκέντρωση, κόπωση και χαμηλότερη μαθησιακή απόδοση. Για τον λόγο αυτό, το διάγραμμα αποτυπώνει τη διαδοχική σχέση μεταξύ αποτελεσματικού φυσικού αερισμού, αραίωσης εσωτερικών ρύπων, βελτίωσης θερμικής άνεσης και ενίσχυσης της υγείας και ευεξίας των χρηστών. Παράλληλα, αναδεικνύεται ότι η επίτευξη αποδεκτών συνθηκών θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας και ποιότητας αέρα δεν αποτελεί μόνο ενεργειακό ή τεχνικό στόχο, αλλά βασική προϋπόθεση για τη δημιουργία ενός υγιούς και αποδοτικού μαθησιακού περιβάλλοντος. Συνεπώς, ο φυσικός αερισμός αντιμετωπίζεται ως κρίσιμο εργαλείο βιοκλιματικού σχεδιασμού που συμβάλλει ταυτόχρονα στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, στη βελτίωση του IEQ και στην ενίσχυση της εκπαιδευτικής διαδικασίας (Wargocki & Wyon, 2013; Awbi, 2003; Daisey et al., 2003; Givoni, 1998).



Διάγραμμα 4.14: Νυκτερινός αερισμός και αποφόρτιση θερμικής μάζας (ιδία δημιουργία με CorelDRAW και Photoshop)

Το Διάγραμμα 4.14 ανέδειξε ότι η αξιοποίηση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ ημέρας και νύχτας μπορεί να λειτουργήσει ως αποτελεσματική στρατηγική παθητικού δροσισμού για το σχολικό κτίριο. Η ανάλυση του Κεφαλαίου 3 έδειξε ότι κατά τη θερινή περίοδο παρατηρούνται αυξημένες εσωτερικές θερμοκρασίες και σημαντική θερμική επιβάρυνση των δομικών στοιχείων, ιδιαίτερα σε χώρους με περιορισμένο φυσικό αερισμό. Για τον λόγο αυτό, προτάθηκε η εφαρμογή νυχτερινού αερισμού μέσω ελεγχόμενου ανοίγματος χαμηλών και υψηλών ανοιγμάτων, ώστε ο ψυχρότερος νυχτερινός αέρας να απομακρύνει τη θερμότητα που έχει αποθηκευτεί στη θερμική μάζα του κτιρίου. Το διάγραμμα αποτυπώνει τη διαδοχική λειτουργία του μηχανισμού: απορρόφηση θερμότητας κατά τη διάρκεια της ημέρας, αποφόρτιση μέσω νυχτερινού αερισμού και επανεκκίνηση της επόμενης ημέρας με χαμηλότερη θερμική φόρτιση. Παράλληλα, αναδεικνύεται ότι η αποτελεσματικότητα της στρατηγικής εξαρτάται από τον σωστό σχεδιασμό των ανοιγμάτων, τη θερμική μάζα των δομικών στοιχείων, τις εξωτερικές κλιματικές συνθήκες και τη δυνατότητα ασφαλούς λειτουργίας των ανοιγμάτων κατά τις νυχτερινές ώρες. Συνεπώς, ο νυχτερινός αερισμός αποτελεί μία ιδιαίτερα σημαντική βιοκλιματική στρατηγική για σχολικά κτίρια μεσογειακού κλίματος, καθώς συμβάλλει στη μείωση της υπερθέρμανσης, στη βελτίωση της θερμικής άνεσης και στον περιορισμό των αναγκών μηχανικού δροσισμού (Santamouris, 2016; Ascione et al., 2015; Kolokotroni et al., 1999; Givoni, 1998).



Διάγραμμα 4.15: Μεθοδολογική σύνδεση παρεμβάσεων φυσικού αερισμού με τα ευρήματα του Κεφ. 3 (ιδία δημιουργία με CorelDRAW και Photoshop)

Το Διάγραμμα 4.15 ανέδειξε τη συστηματική διαδικασία μέσω της οποίας τα προβλήματα που εντοπίστηκαν στην ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης μεταφράζονται σε στοχευμένες βιοκλιματικές παρεμβάσεις. Η διερεύνηση της ποιότητας εσωτερικού αέρα, της θερμικής δυσφορίας, της ανεπαρκούς ανανέωσης αέρα και της περιορισμένης δυνατότητας παθητικού δροσισμού οδήγησε στην ανάπτυξη στρατηγικών φυσικού αερισμού προσαρμοσμένων στις ανάγκες του σχολικού συγκροτήματος και στις κλιματικές συνθήκες της Λαμίας. Το διάγραμμα αποτυπώνει ότι οι παρεμβάσεις δεν επιλέχθηκαν αποσπασματικά, αλλά οργανώθηκαν βάσει σαφούς μεθοδολογικής αλληλουχίας: διάγνωση προβλημάτων, καθορισμός στόχων, επιλογή στρατηγικών φυσικού αερισμού, αξιολόγηση αποτελεσματικότητας και τελική βελτιστοποίηση. Παράλληλα, αναδεικνύεται η άμεση σύνδεση μεταξύ κάθε παρέμβασης και του αντίστοιχου προβλήματος που καλείται να αντιμετωπίσει, όπως η μείωση των συγκεντρώσεων CO₂, ο περιορισμός της υπερθέρμανσης και η βελτίωση της θερμικής και περιβαλλοντικής άνεσης. Συνεπώς, το διάγραμμα τεκμηριώνει τη λογική ενσωμάτωσης του φυσικού αερισμού στη συνολική στρατηγική βιοκλιματικού ανασχεδιασμού, όπου η βελτίωση του IEQ, της ενεργειακής συμπεριφοράς και της μαθησιακής εμπειρίας αντιμετωπίζονται ως αλληλένδετοι στόχοι (Santamouris, 2016; Awbi, 2003; Kolokotroni et al., 1999; Givoni, 1998).

4.1.6. Παρεμβάσεις στον περιβάλλοντα χώρο και βελτίωση μικροκλίματος

Ο περιβάλλοντας χώρος ενός σχολικού κτιρίου επηρεάζει άμεσα τόσο τις υπαίθριες δραστηριότητες όσο και τη θερμική συμπεριφορά του ίδιου του κτιρίου. Στο Κεφάλαιο 3 αναφέρθηκε ότι οι σκληρές επιφάνειες και η περιορισμένη φύτευση μπορούν να εντείνουν τη θερμική επιβάρυνση. Για τον λόγο αυτό, η βιοκλιματική αναβάθμιση δεν πρέπει να περιοριστεί στο κέλυφος, αλλά να επεκταθεί στο προαύλειο χώρο και στις εξωτερικές επιφάνειες.

Η ύπαρξη πρασίνου αποτελεί βασική στρατηγική βελτίωσης του μικροκλίματος. Τα δέντρα εκτός από την σκίαση που προσφέρουν, μειώνουν τη θερμοκρασία των επιφανειών και συμβάλλουν στην εξατμισοδιαπνοή. Ιδιαίτερα σε σχολικές αυλές, η φύτευση έχει και παιδαγωγική αξία, καθώς ενισχύει την επαφή των μαθητών με το φυσικό περιβάλλον και μπορεί να λειτουργήσει ως στοιχείο περιβαλλοντικής εκπαίδευσης. Η επιλογή της

βλάστησης πρέπει να βασίζεται σε ανθεκτικά, κατάλληλα για τοπικό κλίμα είδη, με χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης ώστε να εξασφαλιστεί η μακροζωία της (Santamouris, 2013; Emmanuel, 2005; Oke, 2002).

Η βελτίωση του μικροκλίματος μέσω φύτευσης δεν επηρεάζει μόνο τις υπαίθριες συνθήκες, αλλά και τη θερμική λειτουργία του ίδιου του κτιρίου. Η στρατηγική τοποθέτηση δέντρων σε νότιες και δυτικές όψεις μπορεί να περιορίσει την άμεση ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στις εξωτερικές επιφάνειες και στα ανοίγματα, μειώνοντας έτσι τα θερινά θερμικά κέρδη και τις απαιτήσεις ψύξης. Παράλληλα, η ύπαρξη φυτεμένων ζωνών γύρω από το κτίριο συμβάλλει στη μείωση της ανακλώμενης ακτινοβολίας και στη βελτίωση των τοπικών συνθηκών άνεσης. Για σχολικά κτίρια σε μεσογειακά κλίματα, η ενσωμάτωση πρασίνου αποτελεί ιδιαίτερα σημαντική στρατηγική, καθώς οι υψηλές θερινές θερμοκρασίες και η αυξημένη έκθεση σε ηλιακή ακτινοβολία μπορούν να δημιουργήσουν συνθήκες υπερθέρμανσης τόσο στους εξωτερικούς όσο και στους εσωτερικούς χώρους (Santamouris, 2014; Browler et al., 2010; Akbari et al., 2001).

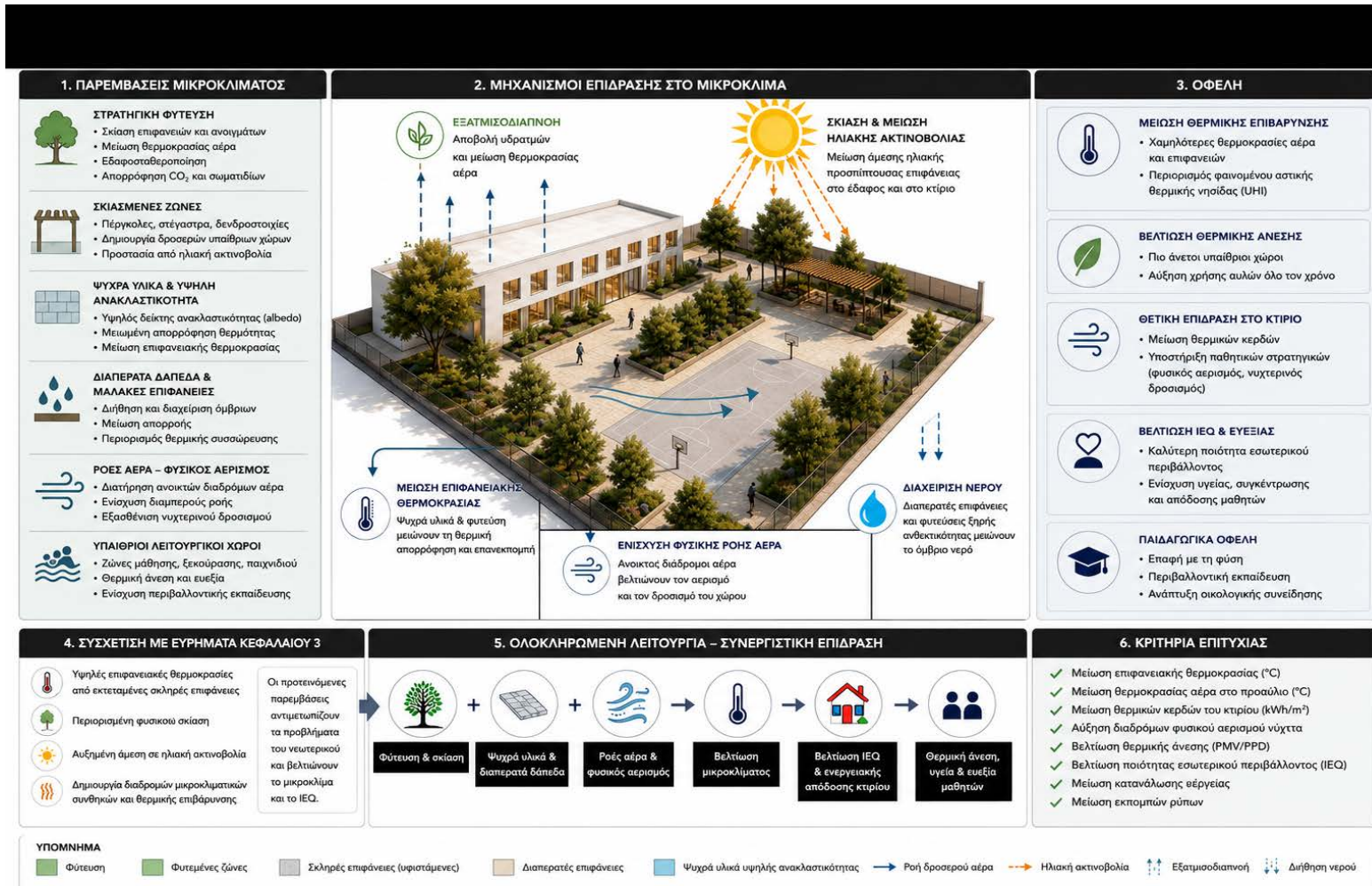
Η αντικατάσταση ή επεξεργασία σκληρών επιφανειών με μαλακά υλικά, διαπερατά δάπεδα ή φυτεμένες «πράσινες» ζώνες μπορεί να μειώσει τη θερμοκρασία του περιβάλλοντα χώρου. Τα ψυχρά υλικά έχουν υψηλότερη ανακλαστικότητα και μειωμένη απορρόφηση θερμότητας, ενώ οι διαπερατές επιφάνειες συμβάλλουν στη διαχείριση νερού και στη μείωση της θερμικής συσσώρευσης. Σε συνδυασμό με τη σκίαση, μπορούν να δημιουργήσουν πιο άνετες συνθήκες στο προαύλιο ενός σχολείου και γύρω από το κτίριο. Παράλληλα, οι παρεμβάσεις αυτές μειώνουν τη θερμική ακτινοβολία που επανεκπέμπεται από τις θερμές επιφάνειες προς τους χρήστες, γεγονός που είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε αυλές σχολείων όπου οι μαθητές παραμένουν για μεγάλα χρονικά διαστήματα κατά τη διάρκεια διαλειμμάτων και υπαίθριων δραστηριοτήτων. Η μείωση της επιφανειακής θερμοκρασίας συνδέεται άμεσα με τη βελτίωση της αντιλαμβανόμενης θερμικής άνεσης και με τον περιορισμό του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας σε τοπική κλίμακα (Santamouris, 2013; Synnefa et al., 2007; Oke, 2002).

Η βιοκλιματική διαμόρφωση του περιβάλλοντος χώρου πρέπει να λαμβάνει υπόψη και την κίνηση του αέρα. Η ανεξέλεγκτη τοποθέτηση πυκνής βλάστησης ή κατασκευών μπορεί να εμποδίσει τον φυσικό αερισμό και να μειώσει τη δυνατότητα απομάκρυνσης θερμότητας από το κτίριο και τους υπαίθριους χώρους. Αντίθετα, η ορθολογική

χωροθέτηση της βλάστησης και η διατήρηση ανοιχτών διαδρομών αέρα μπορούν να ενισχύσουν τον φυσικό δροσισμό και να βελτιώσουν τη λειτουργία των παθητικών στρατηγικών που αναλύθηκαν στην προηγούμενη υποενότητα. Συνεπώς, η φύτευση και οι διαμορφώσεις του περιβάλλοντος χώρου δεν πρέπει να αντιμετωπίζονται μόνο ως αισθητικές επιλογές, αλλά ως στοιχεία που επηρεάζουν ενεργά το μικροκλίμα και τη συνολική περιβαλλοντική απόδοση του σχολικού συγκροτήματος (Dekay et al., 2014; Emmanuel, 2005; Givoni, 1998).

Η διαμόρφωση σκιασμένων υπαίθριων χώρων μπορεί να συμβάλει στην καλύτερη λειτουργία του σχολείου συνολικά. Οι πέργκολες, οι δενδροστοιχίες και οι ημιυπαίθριοι χώροι μπορούν να λειτουργήσουν ως ζώνες εκτόνωσης, μάθησης ή αναμονής, προστατευμένες από την έντονη ηλιακή ακτινοβολία. Με τον τρόπο αυτό, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός δεν περιορίζεται στο εσωτερικό του κτιρίου, αλλά επεκτείνεται στη συνολική σχολική εμπειρία των μαθητών. Η δημιουργία θερμικά άνετων υπαίθριων χώρων μπορεί να αυξήσει τη χρήση της αυλής κατά τη διάρκεια μεγαλύτερου μέρους του έτους και να ενισχύσει δραστηριότητες κοινωνικοποίησης, υπαίθριας μάθησης και περιβαλλοντικής εκπαίδευσης. Παράλληλα, οι υπαίθριοι σκιασμένοι χώροι λειτουργούν ως μεταβατικές ζώνες μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος, μειώνοντας τις απότομες θερμικές μεταβολές και βελτιώνοντας συνολικά την περιβαλλοντική εμπειρία του σχολείου (Dekay et al., 2014; Gehl, 2011; Emmanuel, 2005).

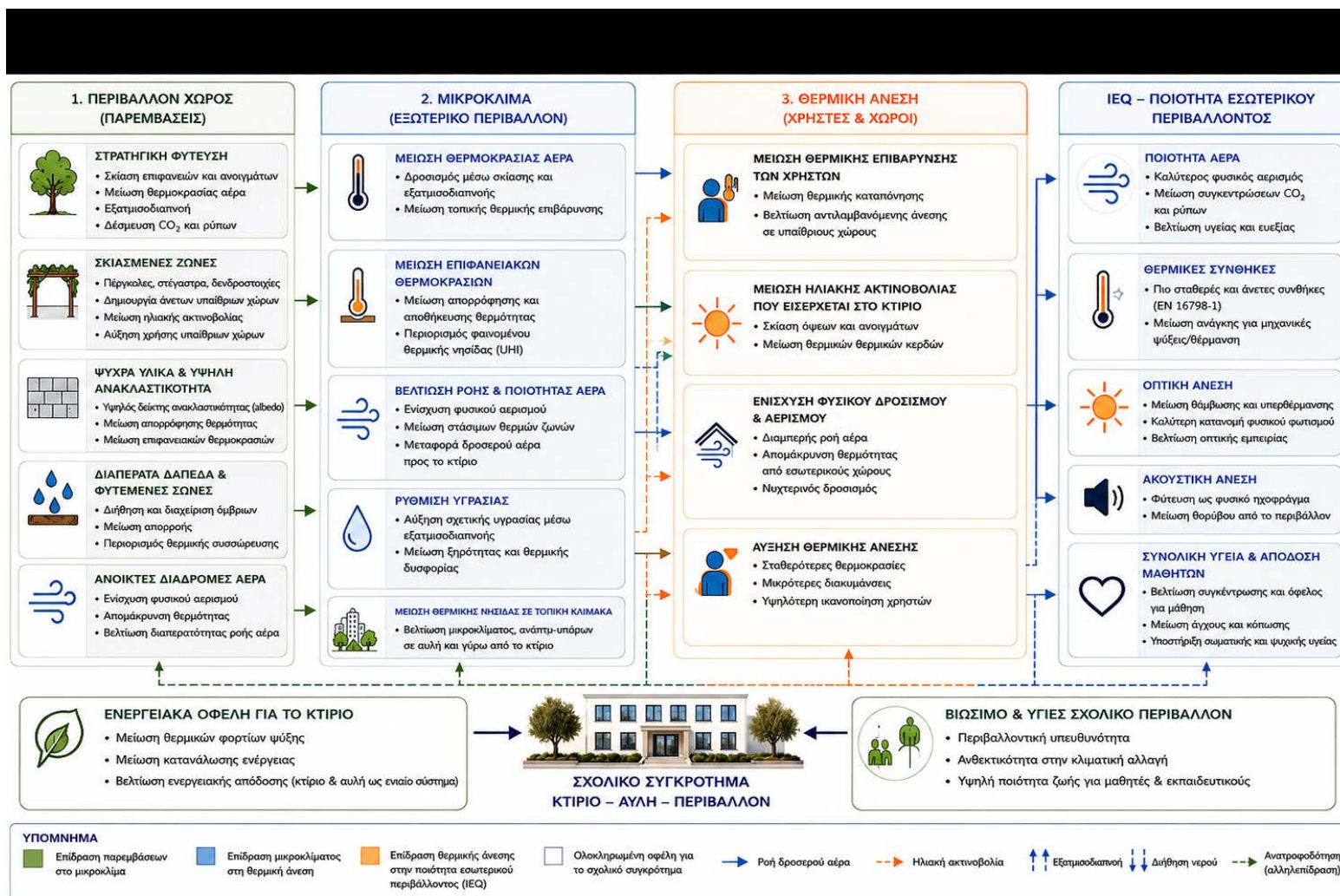
Η βελτίωση του μικροκλίματος στον περιβάλλοντα χώρο συνδέεται άμεσα και με τη συνολική ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος (IEQ) του σχολικού κτιρίου. Η μείωση των εξωτερικών θερμοκρασιών και της ακτινοβολιακής επιβάρυνσης επηρεάζει τις θερμοκρασίες των δομικών στοιχείων, περιορίζει τη μεταφορά θερμότητας προς το εσωτερικό και υποστηρίζει τη λειτουργία των παθητικών στρατηγικών φυσικού αερισμού και νυχτερινού δροσισμού που αναπτύχθηκαν στις προηγούμενες υποενότητες. Συνεπώς, οι παρεμβάσεις στον περιβάλλοντα χώρο δεν αποτελούν ανεξάρτητες «τοπιακές» επεμβάσεις, αλλά ενσωματωμένο τμήμα της συνολικής στρατηγικής βιοκλιματικής αναβάθμισης του σχολείου. Η σύνδεση αυτή επιβεβαιώνει ότι η ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου και η ποιότητα των εξωτερικών χώρων λειτουργούν ως αλληλένδετα στοιχεία ενός ενιαίου περιβαλλοντικού συστήματος (Santamouris, 2016; Browler et al., 2010; Oke, 2002).



Διάγραμμα 4.16: Στρατηγικές βελτίωσης μικροκλίματος στον περιβάλλοντα χώρο σχολικού κτιρίου (ιδία δημιουργία με CorelDRAW και Photoshop)

Το Διάγραμμα 4.16 δείχνει ότι η βιοκλιματική αναβάθμιση δεν περιορίζεται αποκλειστικά στο κέλυφος και στους εσωτερικούς χώρους, αλλά επεκτείνεται στο σύνολο του υπαίθριου περιβάλλοντος που αλληλοεπιδρά με το κτίριο και τους χρήστες του. Η ανάλυση του Κεφαλαίου 3 κατέδειξε ότι οι εκτεταμένες σκληρές επιφάνειες, η περιορισμένη φύτευση και η αυξημένη έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία δημιουργούν συνθήκες τοπικής θερμικής επιβάρυνσης, οι οποίες επηρεάζουν τόσο τη θερμική άνεση των μαθητών στους υπαίθριους χώρους όσο και τη συνολική ενεργειακή συμπεριφορά του σχολικού συγκροτήματος. Για τον λόγο αυτό, προτάθηκε ένα σύνολο συνδυαστικών παρεμβάσεων που περιλαμβάνει στρατηγική φύτευση, δημιουργία σκιασμένων ζωνών, χρήση ψυχρών και διαπερατών υλικών και διατήρηση ανοικτών διαδρομών αέρα για την ενίσχυση του φυσικού δροσισμού.

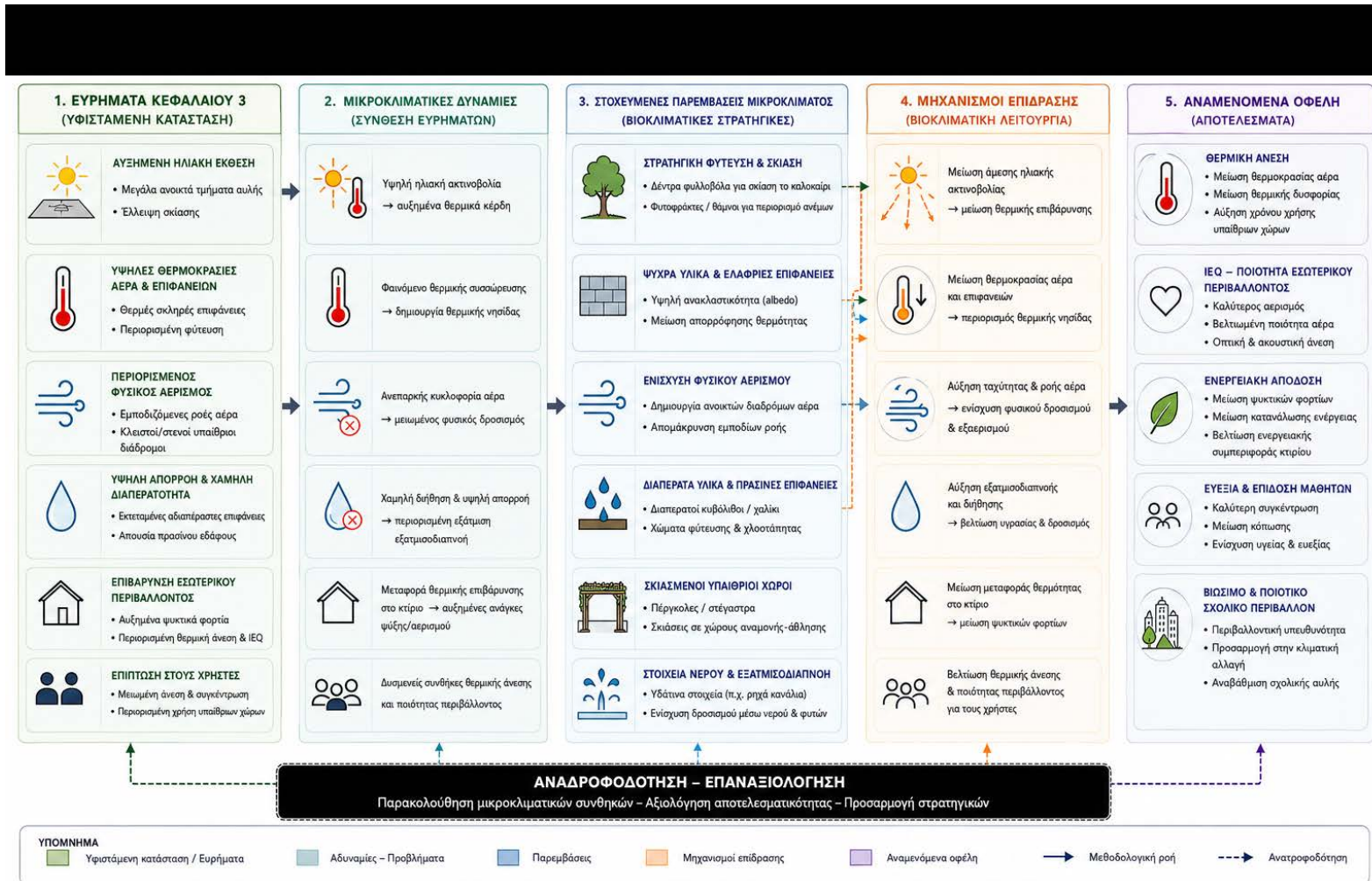
Το διάγραμμα αποτυπώνει ότι οι παρεμβάσεις αυτές λειτουργούν παράλληλα και όχι αποσπασματικά. Η φύτευση και η εξατμισοδιαπνοή συμβάλλουν στη μείωση της θερμοκρασίας αέρα και επιφανειών, τα ψυχρά υλικά περιορίζουν την απορρόφηση θερμότητας και τη δημιουργία φαινομένων υπερθέρμανσης, ενώ οι ανοικτές ροές αέρα ενισχύουν τον φυσικό αερισμό των υπαίθριων και εσωτερικών χώρων. Παράλληλα, αναδεικνύεται η σύνδεση μεταξύ μικροκλίματος και ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος (IEQ), καθώς η μείωση της εξωτερικής θερμικής επιβάρυνσης επηρεάζει άμεσα τη λειτουργία των παθητικών στρατηγικών φυσικού αερισμού και δροσισμού που αναπτύχθηκαν στις προηγούμενες υποενότητες. Συνεπώς, ο περιβάλλοντας χώρος αντιμετωπίζεται ως ενεργό τμήμα του βιοκλιματικού σχεδιασμού και όχι ως ανεξάρτητο στοιχείο τοπικής διαμόρφωσης, συμβάλλοντας συνολικά στη δημιουργία ενός πιο υγιούς, ενεργειακά αποδοτικού και περιβαλλοντικά ποιοτικού σχολικού περιβάλλοντος (Dekay et al., 2014; Santamouris, 2013; Emmanuel, 2005; Oke, 2002; Akbari et al., 2001).



Διάγραμμα 4.17: Συσχέτιση περιβάλλοντος χώρου – μικροκλίματος – θερμικής άνεσης – IEQ (ιδία δημιουργία με CorelDRAW και Photoshop)

Το Διάγραμμα 4.17 ανέδειξε ότι οι παρεμβάσεις στον υπαίθριο χώρο επηρεάζουν άμεσα όχι μόνο τις εξωτερικές συνθήκες άνεσης, αλλά και τη συνολική περιβαλλοντική και ενεργειακή συμπεριφορά του σχολικού συγκροτήματος. Η ανάλυση του Κεφαλαίου 3 κατέδειξε ότι η αυξημένη ηλιακή επιβάρυνση, οι θερμές σκληρές επιφάνειες και η περιορισμένη φύτευση συμβάλλουν στη δημιουργία δυσμενών μικροκλιματικών συνθηκών, οι οποίες επηρεάζουν τόσο τη θερμική άνεση των μαθητών στους υπαίθριους χώρους όσο και τις εσωτερικές συνθήκες του κτιρίου. Για τον λόγο αυτό, το διάγραμμα αποτυπώνει τη διαδοχική και αλληλένδετη σχέση μεταξύ παρεμβάσεων στον περιβάλλοντα χώρο, βελτίωσης του μικροκλίματος, ενίσχυσης της θερμικής άνεσης και τελικής αναβάθμισης του IEQ.

Η μείωση της θερμοκρασίας στον περιβάλλοντα χώρο συμβάλλει στη βελτίωση και των εσωτερικών θερμικών συνθηκών, στη μείωση των ψυκτικών φορτίων και στη δημιουργία σταθερότερων συνθηκών άνεσης για τους χρήστες. Επιπλέον, η αναβάθμιση του μικροκλίματος συνδέεται άμεσα με την ποιότητα αέρα, την οπτική και ακουστική άνεση, καθώς και με την υγεία, τη συγκέντρωση και την ευεξία των μαθητών. Συνεπώς, το διάγραμμα τεκμηριώνει ότι ο περιβάλλοντας χώρος, το μικροκλίμα και η ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος αποτελούν αλληλένδετα στοιχεία ενός ενιαίου βιοκλιματικού συστήματος, στο οποίο η ενεργειακή απόδοση και η ποιότητα του σχολικού περιβάλλοντος αντιμετωπίζονται ως συμπληρωματικοί και όχι ανεξάρτητοι στόχοι (Dekay et al., 2014; Santamouris, 2013; Emmanuel, 2005; Oke, 2002; Akbari et al., 2001).



Διάγραμμα 4.18: Μεθοδολογική σύνδεση παρεμβάσεων μικροκλίματος με τα ευρήματα του Κεφ. 3 (ιδία δημιουργία με CorelDRAW και Photoshop)

Το Διάγραμμα 4.18 επιβεβαιώνει ότι η βιοκλιματική αναβάθμιση του σχολικού συγκροτήματος βασίζεται σε μία οργανωμένη και τεκμηριωμένη διαδικασία λήψης αποφάσεων και όχι σε αποσπασματικές σχεδιαστικές επιλογές. Η διερεύνηση των περιβαλλοντικών και των χαρακτηριστικών του μικροκλίματος της υφιστάμενης κατάστασης, οδήγησε στον εντοπισμό συγκεκριμένων αδυναμιών που σχετίζονται με τη θερμική επιβάρυνση, την περιορισμένη σκίαση, την ανεπαρκή κυκλοφορία αέρα και την αυξημένη απορρόφηση θερμότητας από τις σκληρές επιφάνειες. Μέσα από τη συστηματική συσχέτιση των προβλημάτων αυτών με στοχευμένες βιοκλιματικές στρατηγικές, το διάγραμμα αναδεικνύει τον τρόπο με τον οποίο οι παρεμβάσεις στον περιβάλλοντα χώρο λειτουργούν ως μηχανισμοί βελτίωσης τόσο των εξωτερικών όσο και των εσωτερικών συνθηκών του σχολείου. Παράλληλα, το διάγραμμα υπογραμμίζει ότι η αποτελεσματικότητα των παρεμβάσεων δεν εξαρτάται από μία μεμονωμένη λύση, αλλά από το συνδυασμό των διαφορετικών στρατηγικών, όπως η φύτευση, η χρήση ψυχρών υλικών, η διατήρηση διαδρομών φυσικού αερισμού και η δημιουργία σκιασμένων υπαίθριων ζωνών. Η αλληλεπίδραση των στοιχείων αυτών οδηγεί στη βελτίωση του μικροκλίματος, στη μείωση της θερμικής καταπόνησης και στη δημιουργία συνθηκών που υποστηρίζουν τη θερμική άνεση, την ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος (IEQ) και τη συνολική ευεξία των χρηστών. Συνεπώς, ο περιβάλλοντας χώρος αντιμετωπίζεται ως ενεργό περιβαλλοντικό σύστημα, το οποίο συμμετέχει ουσιαστικά στη συνολική ενεργειακή και βιοκλιματική λειτουργία του σχολικού κτιρίου και ενισχύει τη μετάβαση προς ένα πιο βιώσιμο και υγιές εκπαιδευτικό περιβάλλον (Santamouris, 2016; Dekay et al., 2014; Emmanuel, 2005; Oke, 2002; Akbari et al., 2001).

4.1.7. Αναβάθμιση ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων και ενεργειακών συστημάτων

Αφού έχει προηγηθεί η μείωση των ενεργειακών αναγκών μέσω παθητικών παρεμβάσεων, ακολουθεί η αναβάθμιση των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων. Η λογική αυτή είναι απαραίτητη, διότι τα μηχανολογικά συστήματα πρέπει να καλύπτουν μειωμένα πλέον φορτία και όχι να αντισταθμίζουν ένα προβληματικό κέλυφος. Έτσι, επιτυγχάνεται καλύτερη απόδοση, μικρότερη εγκατεστημένη ισχύς και χαμηλότερο λειτουργικό κόστος.

Η αντικατάσταση συμβατικών φωτιστικών με LED υψηλής απόδοσης αποτελεί σχετικά απλή παρέμβαση με σημαντικό ενεργειακό όφελος. Σε σχολικά κτίρια, όπου ο φωτισμός

λειτουργεί πολλές ώρες κατά τη διάρκεια της ημέρας, η εξοικονόμηση μπορεί να είναι σημαντική, ιδίως όταν ο τεχνητός φωτισμός συνδυάζεται με αισθητήρες παρουσίας και φυσικού φωτισμού. Με αυτόν τον τρόπο, το σύστημα φωτισμού λειτουργεί συμπληρωματικά προς τον φυσικό φωτισμό και όχι ανεξάρτητα από αυτόν. Η αναβάθμιση των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης πρέπει να εξεταστεί με βάση τα νέα μειωμένα φορτία μετά τις παθητικές παρεμβάσεις. Εάν εγκατασταθούν αποδοτικότερα συστήματα χωρίς προηγούμενη μείωση των θερμικών απωλειών, υπάρχει κίνδυνος χαμηλής λειτουργικής απόδοσης. Αντίθετα, μετά τη θερμομόνωση, τη σκίαση και τη βελτίωση αερισμού, οι απαιτήσεις μειώνονται και τα συστήματα μπορούν να σχεδιαστούν πιο ορθολογικά. Η τοποθέτηση φωτοβολταϊκών συστημάτων μπορεί να συμβάλλει επίσης, στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Η οροφή ενός σχολικού κτιρίου αποτελεί συχνά κατάλληλη επιφάνεια για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών, υπό την προϋπόθεση ότι υπάρχει επαρκής ηλιακή πρόσπτωση και στατική καταλληλότητα. Ωστόσο, τα φωτοβολταϊκά συστήματα δεν πρέπει να παρουσιάζονται ως η κύρια λύση, αλλά ως συμπληρωματικό μέτρο μετά τη μείωση των ενεργειακών αναγκών (Lechner, 2022; Duffie, 2020; Santamouris, 2016; Boyce, 2014).

Παρέμβαση	Πρόβλημα που αντιμετωπίζει	Αναμενόμενο όφελος	Σύνδεση με προηγούμενες παρεμβάσεις
Αντικατάσταση φωτιστικών LED υψηλής απόδοσης	Υψηλή ηλεκτρική κατανάλωση & φορτία από συμβατικό φωτισμό	Μείωση κατανάλωσης ενέργειας & βελτίωση απόδοσης φωτισμού	Σύνδεση με την υποενότητα φυσικού φωτισμού & ελέγχου τεχνητού φωτισμού
Αισθητήρες φωτός	Άσκοπη λειτουργία φωτισμού	Εξοικονόμηση ενέργειας	Συμπληρωματική λειτουργία στον φυσικό φωτισμό
Αναβάθμιση συστημάτων θέρμανσης/ψύξης	Χαμηλή ενεργειακή απόδοση υφιστάμενων συστημάτων	Μείωση ενεργειακής κατανάλωσης / λειτουργικού κόστους	Σύνδεση με θερμομόνωση κελύφους
Μηχανικός αερισμός με ανάκτηση θερμότητας	Απώλειες ενέργειας μέσω αερισμού	Βελτίωση ποιότητα αέρα με περιορισμό θερμικών απωλειών	Σύνδεση με φυσικό αερισμό IEQ
Φωτοβολταϊκά συστήματα	Εξάρτηση από ηλεκτρική ενέργεια δικτύου	Παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας & μείωση κόστους	Συμπληρωματικό μέτρο με τη μείωση ενεργειακών απαιτήσεων

Πίνακας 4.8: Προτεινόμενες παρεμβάσεις αναβάθμισης ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων & ενεργειακών συστημάτων

Ο Πίνακας 4.8 συνοψίζει τις βασικές παρεμβάσεις αναβάθμισης των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων και αναδεικνύει τη σύνδεσή τους με τις προηγούμενες βιοκλιματικές στρατηγικές που εφαρμόστηκαν στο κτίριο. Η λογική της προτεινόμενης προσέγγισης βασίζεται στην ιεράρχηση των επεμβάσεων: αρχικά μειώνονται οι ενεργειακές απαιτήσεις μέσω παθητικών μέτρων και στη συνέχεια επιλέγονται αποδοτικότερα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα προσαρμοσμένα στα νέα μειωμένα φορτία. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται όχι μόνο περιορισμός της ενεργειακής κατανάλωσης και του λειτουργικού κόστους, αλλά και βελτίωση της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος (IEQ), της θερμικής άνεσης και της συνολικής περιβαλλοντικής απόδοσης του σχολικού συγκροτήματος. Παράλληλα, η ενσωμάτωση αυτοματισμών και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ενισχύει τη μετάβαση προς ένα πιο βιώσιμο και ενεργειακά αποδοτικό μοντέλο λειτουργίας του σχολείου (Lechner, 2022; Santamouris, 2016).

4.1.8. Συγκριτική ανάλυση σεναρίων βιοκλιματικής αναβάθμισης

Η διαδικασία βιοκλιματικής αναβάθμισης του εξεταζόμενου σχολικού κτιρίου δεν περιορίζεται στην εφαρμογή μεμονωμένων τεχνικών λύσεων, αλλά βασίζεται στη συγκριτική αξιολόγηση διαφορετικών σεναρίων παρέμβασης με στόχο τη βέλτιστη περιβαλλοντική και ενεργειακή απόδοση. Η ανάγκη για ανάπτυξη εναλλακτικών σεναρίων προκύπτει από το γεγονός ότι κάθε παρέμβαση επηρεάζει διαφορετικά τη θερμική συμπεριφορά, την ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος (IEQ), τις ενεργειακές απαιτήσεις και τη συνολική λειτουργία του σχολικού συγκροτήματος. Για τον λόγο αυτό, η παρούσα ενότητα επιχειρεί τη συστηματική σύγκριση διαφορετικών επιπέδων βιοκλιματικής αναβάθμισης, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις παθητικές όσο και τις ενεργητικές στρατηγικές που αναπτύχθηκαν στις προηγούμενες υποενότητες (Lechner, 2022; Santamouris, 2015; Givoni, 1998).

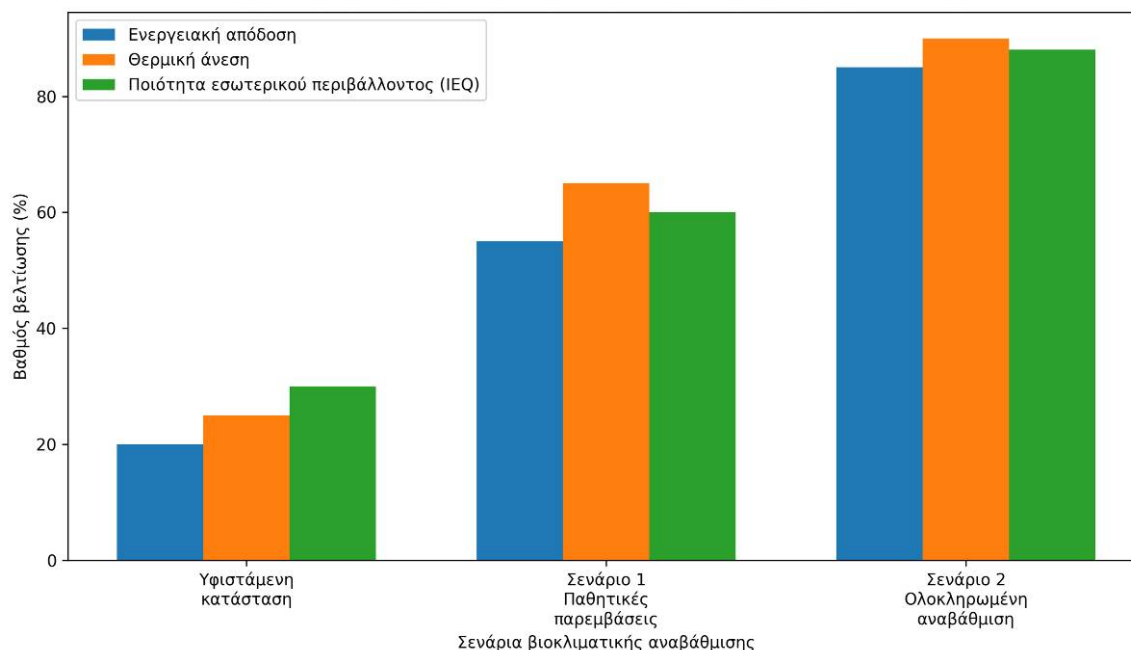
Η συγκριτική ανάλυση βασίζεται στη λογική της σταδιακής μετάβασης από την υφιστάμενη κατάσταση προς ένα ολοκληρωμένο σενάριο βιοκλιματικής αναβάθμισης. Αρχικά εξετάζεται η υφιστάμενη κατάσταση του σχολικού κτιρίου, όπως αυτή αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 3, όπου καταγράφηκαν προβλήματα θερμικής άνεσης, αυξημένες θερμικές απώλειες, περιορισμένη ποιότητα αέρα, ανεπαρκής σκίαση και αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις. Στη συνέχεια, αξιολογείται ένα πρώτο επίπεδο παρεμβάσεων που περιλαμβάνει βασικές παθητικές στρατηγικές, όπως θερμομόνωση κελύφους, αναβάθμιση κουφωμάτων και εφαρμογή συστημάτων σκίασης. Τέλος, εξετάζεται ένα ολοκληρωμένο σενάριο που συνδυάζει παθητικές παρεμβάσεις, αναβάθμιση ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων, αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και βελτίωση του μικροκλίματος του περιβάλλοντος χώρου (ASHRAE, 2021; Olgyay, 2015; Santamouris, 2016).

Η ανάλυση των σεναρίων επιτρέπει την κατανόηση της συμβολής κάθε ομάδας παρεμβάσεων στη συνολική ενεργειακή και περιβαλλοντική αναβάθμιση του σχολείου. Οι παθητικές στρατηγικές συμβάλλουν κυρίως στη μείωση των θερμικών φορτίων και στη βελτίωση των συνθηκών θερμικής άνεσης, ενώ οι ενεργητικές παρεμβάσεις και τα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα ενισχύουν την αποδοτικότητα λειτουργίας του κτιρίου και περιορίζουν την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας. Παράλληλα, οι παρεμβάσεις στον περιβάλλοντα χώρο επηρεάζουν το μικροκλίμα και υποστηρίζουν τη λειτουργία των στρατηγικών φυσικού δροσισμού και φυσικού αερισμού που αναπτύχθηκαν στις

προηγούμενες ενότητες. Με τον τρόπο αυτό, η συγκριτική προσέγγιση αναδεικνύει ότι η βέλτιστη απόδοση δεν προκύπτει από μία μεμονωμένη παρέμβαση, αλλά από τον συνδυασμό αυτών (Akbari et al., 2001; Dekay et al., 2014; Santamouris, 2013).

Ιδιαίτερη σημασία έχει το γεγονός ότι η συγκριτική αξιολόγηση δεν περιορίζεται μόνο σε ενεργειακούς δείκτες, αλλά περιλαμβάνει και παραμέτρους ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος, όπως η θερμική άνεση, η ποιότητα αέρα, ο φυσικός φωτισμός και η συνολική περιβαλλοντική εμπειρία των χρηστών. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, στα σχολικά κτίρια, η βελτίωση των συνθηκών αυτών σχετίζεται άμεσα με την υγεία, την ευεξία και τη μαθησιακή απόδοση των μαθητών, γεγονός που καθιστά απαραίτητη μία ολιστική προσέγγιση αξιολόγησης. Για τον λόγο αυτό, το τελικό σενάριο βιοκλιματικής αναβάθμισης αντιμετωπίζεται όχι μόνο ως ενεργειακή στρατηγική, αλλά ως συνολική περιβαλλοντική αναβάθμιση του εκπαιδευτικού χώρου (Barrett et al., 2015; Wargocki & Wyon, 2013; Daisey et al., 2003).

Συνεπώς, η συγκριτική ανάλυση των σεναρίων λειτουργεί ως εργαλείο τεκμηρίωσης της συνολικής στρατηγικής βιοκλιματικού ανασχεδιασμού του σχολείου, επιτρέποντας την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών, ενεργειακών και λειτουργικών επιπτώσεων κάθε παρέμβασης. Μέσα από τη διαδικασία αυτή αναδεικνύεται ότι η αποτελεσματική ενεργειακή αναβάθμιση δεν εξαρτάται αποκλειστικά από την τεχνολογία, αλλά από τη συνδυαστική εφαρμογή παθητικών και ενεργητικών στρατηγικών που ανταποκρίνονται στις πραγματικές ανάγκες του κτιρίου, των χρηστών και του τοπικού κλίματος. Η προσέγγιση αυτή ενισχύει τον ερευνητικό χαρακτήρα της εργασίας και υποστηρίζει τη μετάβαση προς ένα σχολικό περιβάλλον υψηλότερης περιβαλλοντικής ποιότητας και ενεργειακής αποδοτικότητας (Lechner, 2022; Santamouris, 2016)



Διάγραμμα 4.19: Συγκριτική αξιολόγηση σεναρίων βιοκλιματικής αναβάθμισης σχολικού κτιρίου

Η αποτύπωση των αποτελεσμάτων στο Διάγραμμα 4.19 βασίζεται σε συγκριτική ποιοτική αξιολόγηση των εξεταζόμενων σεναρίων, με βάση τα ευρήματα της ανάλυσης του Κεφαλαίου 3, τις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού και τη σχετική επιστημονική βιβλιογραφία. Τα ποσοστά αποδίδουν ενδεικτικά τον αναμενόμενο βαθμό βελτίωσης ως προς την ενεργειακή απόδοση, τη θερμική άνεση και την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος (IEQ) και χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για τη συγκριτική αξιολόγηση των εναλλακτικών σεναρίων βιοκλιματικής αναβάθμισης.

Το Διάγραμμα 4.19 αποτυπώνει τη σταδιακή βελτίωση της ενεργειακής και περιβαλλοντικής συμπεριφοράς του σχολικού κτιρίου μέσα από την εφαρμογή διαφορετικών επιπέδων παρεμβάσεων. Ενδεικτικά, η υφιστάμενη κατάσταση παρουσιάζει χαμηλή επίδοση ως προς την ενεργειακή απόδοση (20%), τη θερμική άνεση (25%) και την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος (30%). Με την εφαρμογή βασικών παθητικών στρατηγικών οι αντίστοιχοι δείκτες αυξάνονται σε 55%, 65% και 60%, ενώ στο ολοκληρωμένο σενάριο βιοκλιματικής αναβάθμισης διαμορφώνονται σε 85%, 90% και 88%, αντίστοιχα. Η υφιστάμενη κατάσταση χαρακτηρίζεται από αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις, περιορισμένη θερμική άνεση και μέτρια ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος, όπως προέκυψε από την ανάλυση του Κεφαλαίου 3. Η εφαρμογή βασικών παθητικών στρατηγικών, όπως η θερμομόνωση, η σκίαση, ο φυσικός αερισμός και η βελτίωση του

φυσικού φωτισμού, οδηγεί σε σημαντική μείωση των θερμικών φορτίων και σε αισθητή αναβάθμιση των συνθηκών άνεσης.

Ωστόσο, η μέγιστη βελτίωση προκύπτει στο ολοκληρωμένο σενάριο βιοκλιματικής αναβάθμισης, όπου οι παθητικές στρατηγικές συνδυάζονται με αποδοτικά ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα, αυτοματισμούς, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και παρεμβάσεις μικροκλίματος. Με τον τρόπο αυτό, το διάγραμμα αναδεικνύει ότι η αποτελεσματική ενεργειακή αναβάθμιση δεν εξαρτάται από μία μόνο τεχνική λύση, αλλά από τη συνεργιστική λειτουργία πολλαπλών βιοκλιματικών και ενεργειακών στρατηγικών που ανταποκρίνονται στις πραγματικές ανάγκες του σχολικού περιβάλλοντος.

Η συγκριτική παρουσίαση των σεναρίων επιτρέπει επίσης την κατανόηση της σχέσης μεταξύ ενεργειακής απόδοσης, θερμικής άνεσης και ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος (IEQ). Η σταδιακή βελτίωση των δεικτών επιβεβαιώνει ότι η αναβάθμιση του σχολικού κτιρίου πρέπει να αντιμετωπίζεται ως ολιστική διαδικασία, στην οποία η ενεργειακή αποδοτικότητα συνδέεται άμεσα με την υγεία, την ευεξία και τη μαθησιακή εμπειρία των χρηστών. Συνεπώς, το διάγραμμα λειτουργεί ως συνοπτική αποτύπωση της συνολικής στρατηγικής βιοκλιματικού ανασχεδιασμού που αναπτύχθηκε στο Κεφάλαιο 4 (Lechner, 2022; Barrett et al., 2015; Santamouris, 2016).

4.1.9. Συνολική στρατηγική αναβάθμισης και σύνδεση με το Κεφάλαιο 5

Η διαδικασία βιοκλιματικής αναβάθμισης του εξεταζόμενου σχολικού κτιρίου βασίστηκε σε μία ολοκληρωμένη και πολυπαραμετρική στρατηγική, η οποία αναπτύχθηκε σταδιακά μέσα από την ανάλυση των περιβαλλοντικών, λειτουργικών και ενεργειακών αδυναμιών που εντοπίστηκαν στο Κεφάλαιο 3. Οι παρεμβάσεις που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες υποενότητες δεν αντιμετωπίζονται ως αποσπασματικές τεχνικές λύσεις, αλλά ως αλληλοσυνδεόμενα στοιχεία ενός ενιαίου συστήματος βιοκλιματικού ανασχεδιασμού. Η λογική αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική για τα σχολικά κτίρια, όπου η ενεργειακή απόδοση συνδέεται άμεσα με την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος, τη λειτουργικότητα των χώρων και τη συνολική εμπειρία των χρηστών (Lechner, 2022; Santamouris, 2016).

Η συνολική στρατηγική αναβάθμισης οργανώθηκε με βάση τη λογική της ιεράρχησης των παρεμβάσεων. Αρχικά δόθηκε προτεραιότητα στις παθητικές στρατηγικές που σχετίζονται

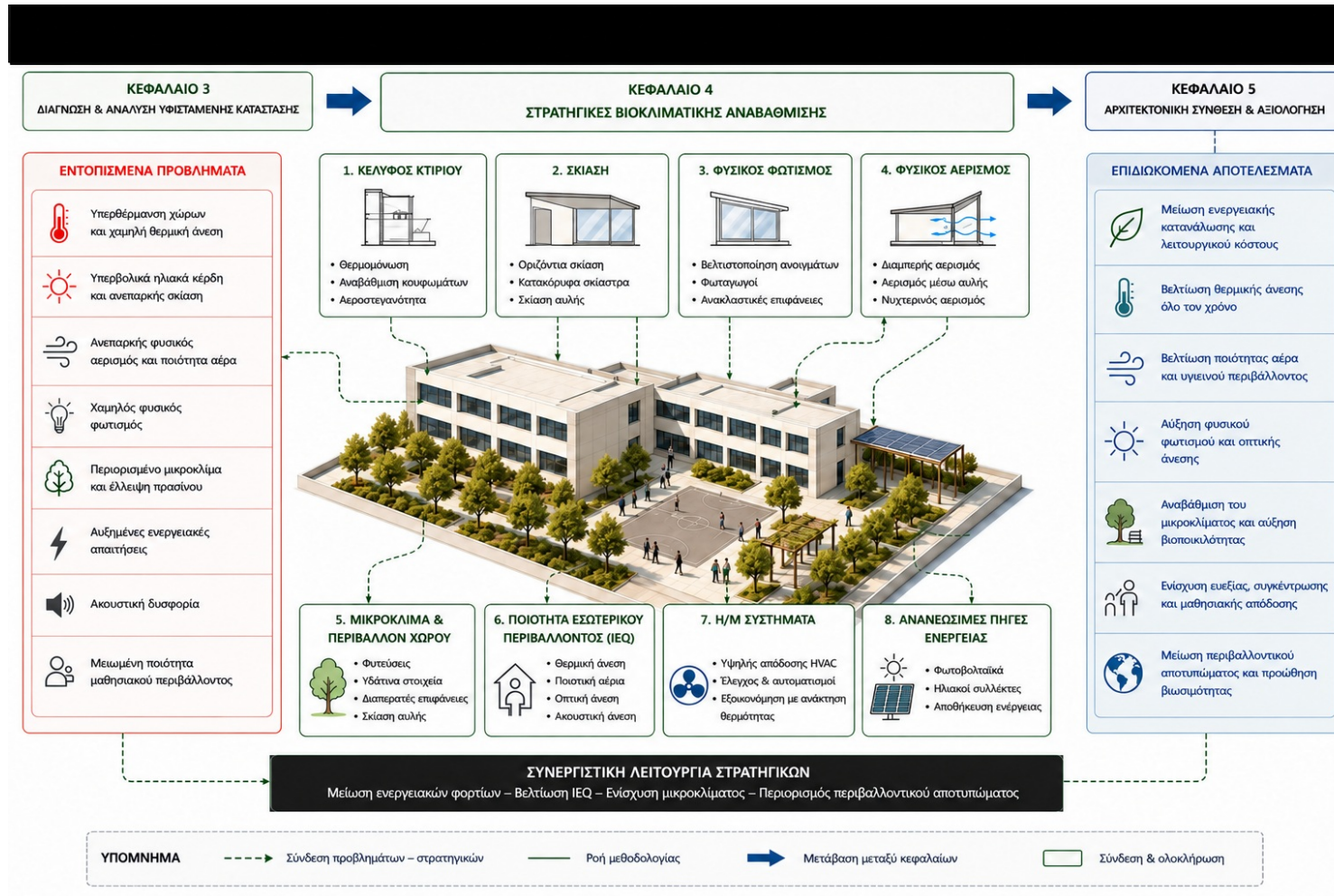
με το κτιριακό κέλυφος, τη θερμομόνωση, τη σκίαση, τον φυσικό φωτισμό και τον φυσικό αερισμό, με στόχο τη μείωση των θερμικών φορτίων και τη βελτίωση των συνθηκών άνεσης. Στη συνέχεια εξετάστηκαν οι παρεμβάσεις στον περιβάλλοντα χώρο και στο μικροκλίμα του σχολείου, οι οποίες λειτουργούν υποστηρικτικά προς τις στρατηγικές παθητικού δροσισμού και φυσικού αερισμού. Τέλος, μετά τη μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων, αναπτύχθηκαν οι παρεμβάσεις αναβάθμισης των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων και των ενεργειακών συστημάτων, ώστε τα νέα συστήματα να ανταποκρίνονται στα μειωμένα πλέον φορτία του κτιρίου (ASHRAE, 2021; Olgyay, 2015; Givoni, 1998).

Η στρατηγική αυτή αναδεικνύει ότι η αποτελεσματικότητα της βιοκλιματικής αναβάθμισης δεν εξαρτάται από μία μεμονωμένη παρέμβαση, αλλά από τη συνδυαστική λειτουργία διαφορετικών συστημάτων και περιβαλλοντικών μηχανισμών. Η σκίαση μειώνει τα θερινά θερμικά κέρδη και περιορίζει τις ανάγκες ψύξης, η θερμομόνωση βελτιώνει τη θερμική σταθερότητα του κελύφους, ο φυσικός φωτισμός μειώνει τις απαιτήσεις τεχνητού φωτισμού, ενώ οι στρατηγικές φυσικού αερισμού και μικροκλίματος υποστηρίζουν τον παθητικό δροσισμό και την ποιότητα αέρα. Παράλληλα, τα αναβαθμισμένα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα λειτουργούν συμπληρωματικά προς τις παθητικές στρατηγικές και όχι ανταγωνιστικά προς αυτές. Μέσα από αυτή τη συνεργιστική προσέγγιση, το σχολικό κτίριο αντιμετωπίζεται ως ένα δυναμικό περιβαλλοντικό σύστημα, στο οποίο οι επιμέρους παρεμβάσεις αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και επηρεάζουν συνολικά την ενεργειακή και περιβαλλοντική συμπεριφορά του (Santamouris, 2016; Dekay et al., 2014; Akbari et al., 2001).

Ιδιαίτερη σημασία έχει το γεγονός ότι η προτεινόμενη στρατηγική δεν περιορίζεται αποκλειστικά στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, αλλά στοχεύει συνολικά στη βελτίωση της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος (IEQ) και της καθημερινής εμπειρίας των χρηστών. Οι συνθήκες θερμικής άνεσης, ο φυσικός φωτισμός, η ποιότητα αέρα και η ακουστική άνεση επηρεάζουν άμεσα τη συγκέντρωση, την ευεξία και τη μαθησιακή απόδοση των μαθητών. Για τον λόγο αυτό, η βιοκλιματική αναβάθμιση αντιμετωπίζεται ως διαδικασία περιβαλλοντικής και λειτουργικής αναβάθμισης του σχολικού χώρου και όχι μόνο ως ενεργειακή παρέμβαση. Η προσέγγιση αυτή ενισχύει τον ανθρωποκεντρικό

χαρακτήρα της έρευνας και συνδέει τη βιωσιμότητα με την ποιότητα της εκπαιδευτικής εμπειρίας (Barrett et al., 2015; Wargocki & Wyon, 2013; Daisey et al., 2003).

Συνεπώς, η συνολική στρατηγική βιοκλιματικής αναβάθμισης που αναπτύχθηκε στο παρόν κεφάλαιο αποτελεί τη θεωρητική και μεθοδολογική βάση για τη διαμόρφωση της τελικής αρχιτεκτονικής πρότασης ανασχεδιασμού που παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 5. Η μετάβαση από την ανάλυση των περιβαλλοντικών προβλημάτων προς τη σύνθεση ολοκληρωμένων στρατηγικών παρεμβάσεων επιτρέπει τη διαμόρφωση ενός σχολικού κτιρίου με βελτιωμένη ενεργειακή συμπεριφορά, υψηλότερη ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος και αυξημένη περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Με βάση τη λογική αυτή, το επόμενο κεφάλαιο επικεντρώνεται στη χωρική, αρχιτεκτονική και λειτουργική ενσωμάτωση των στρατηγικών που αναπτύχθηκαν, ώστε να παρουσιαστεί μία ολοκληρωμένη πρόταση βιοκλιματικού ανασχεδιασμού για το εξεταζόμενο σχολικό συγκρότημα (Lechner, 2022; Santamouris, 2016).



Διάγραμμα 4.20: Συνοπτικό ολοκληρωμένο μοντέλο βιοκλιματικών στρατηγικών αναβάθμισης και μετάβαση στην αρχιτεκτονική σύνθεση (ιδία δημιουργία με Blender, CorelDRAW και Photoshop)

Το παραπάνω Διάγραμμα 4.20 παρουσιάζει συνοπτικά το ολοκληρωμένο πλαίσιο των βιοκλιματικών στρατηγικών αναβάθμισης που διαμορφώθηκαν μέσα από τη συνδυαστική αξιοποίηση των ευρημάτων της ανάλυσης του υφιστάμενου σχολικού κτιρίου και των αρχών του βιοκλιματικού σχεδιασμού που αναπτύχθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια. Η διάρθρωση του διαγράμματος αποτυπώνει τη λογική αλληλουχία της ερευνητικής διαδικασίας, ξεκινώντας από τη διάγνωση των βασικών περιβαλλοντικών, λειτουργικών και ενεργειακών προβλημάτων του εξεταζόμενου σχολικού συγκροτήματος (Κεφάλαιο 3) και καταλήγοντας στη διαμόρφωση ενός συνόλου αλληλοσυμπληρούμενων στρατηγικών παρεμβάσεων (Κεφάλαιο 4). Οι στρατηγικές αυτές οργανώνονται σε επιμέρους θεματικές ενότητες που αφορούν την αναβάθμιση του κελύφους, τη σκίαση, τον φυσικό φωτισμό, τον φυσικό αερισμό, τη βελτίωση του μικροκλίματος και των υπαίθριων χώρων, την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος (IEQ), τα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα και την αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η συνδυαστική εφαρμογή τους επιδιώκει τη μείωση των ενεργειακών φορτίων, τη βελτίωση της θερμικής και οπτικής άνεσης, την αναβάθμιση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα, τη δημιουργία ευνοϊκότερων μικροκλιματικών συνθηκών και τη συνολική ενίσχυση της περιβαλλοντικής και λειτουργικής απόδοσης του σχολικού συγκροτήματος. Το διάγραμμα δεν αποτυπώνει την τελική αρχιτεκτονική λύση, αλλά συνοψίζει το στρατηγικό πλαίσιο σχεδιασμού που προέκυψε από την ερευνητική διαδικασία και αποτελεί τη βάση πάνω στην οποία θα αναπτυχθεί η αρχιτεκτονική πρόταση (Olgyay, 2015; Szokolay, 2014).

Οι στρατηγικές που παρουσιάστηκαν στο παρόν κεφάλαιο συνθέτουν το θεωρητικό και τεχνικό υπόβαθρο της προτεινόμενης παρέμβασης, χωρίς να αποτελούν αυτοτελείς σχεδιαστικές λύσεις. Στο επόμενο κεφάλαιο οι επιμέρους αυτές κατευθύνσεις ενσωματώνονται σε μία ενιαία αρχιτεκτονική σύνθεση, προσαρμοσμένη στα ιδιαίτερα μορφολογικά, λειτουργικά και περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά του εξεταζόμενου σχολικού κτιρίου. Η μετάβαση από το επίπεδο των βιοκλιματικών στρατηγικών στην ολοκληρωμένη αρχιτεκτονική πρόταση σηματοδοτεί τη σύνθεση των αποτελεσμάτων της έρευνας σε ένα συνεκτικό μοντέλο ανασχεδιασμού, του οποίου η ενεργειακή, περιβαλλοντική και λειτουργική αποτελεσματικότητα αξιολογείται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 5 (Kibert, 2022; Attia, 2018).

5. Αρχιτεκτονική πρόταση βιοκλιματικού ανασχεδιασμού και αξιολόγηση

5.1. Συνθετική σχεδιαστική προσέγγιση

Η αρχιτεκτονική πρόταση βιοκλιματικού ανασχεδιασμού του εξεταζόμενου σχολικού κτιρίου βασίστηκε σε μία συνθετική περιβαλλοντική προσέγγιση, στην οποία οι επιμέρους στρατηγικές παρεμβάσεις αντιμετωπίζονται ως αλληλεξαρτώμενα στοιχεία ενός ενιαίου συστήματος σχεδιασμού. Η λογική αυτή προέκυψε από τα συμπεράσματα του Κεφαλαίου 3, όπου διαπιστώθηκε ότι τα προβλήματα θερμικής δυσφορίας, υπερθέρμανσης, ανεπαρκούς φυσικού αερισμού και περιορισμένης ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος δεν οφείλονται σε μία μεμονωμένη αιτία, αλλά στη συνολική περιβαλλοντική και λειτουργική συμπεριφορά του κτιρίου. Συνεπώς, η αρχιτεκτονική σύνθεση δεν περιορίστηκε στην εφαρμογή αποσπασματικών τεχνικών λύσεων, αλλά οργανώθηκε ως ολοκληρωμένη στρατηγική περιβαλλοντικού επανασχεδιασμού που συνδυάζει το κτιριακό κέλυφος, το μικροκλίμα, τις ενεργειακές ροές και την εμπειρία των χρηστών.

Η συνθετική σχεδιαστική προσέγγιση οργανώθηκε με βάση τη λογική “passive-first”, σύμφωνα με την οποία προηγείται η μείωση των ενεργειακών αναγκών μέσω παθητικών στρατηγικών και ακολουθεί η ενσωμάτωση αποδοτικών ενεργητικών συστημάτων. Η επιλογή αυτή θεωρείται ιδιαίτερα σημαντική σε σχολικά κτίρια μεσογειακού κλίματος, όπου η υπερθέρμανση, τα υψηλά ψυκτικά φορτία και η ανάγκη για επαρκή αερισμό αποτελούν κυρίαρχες περιβαλλοντικές προκλήσεις. Για τον λόγο αυτό, η αρχιτεκτονική σύνθεση έδωσε προτεραιότητα στον έλεγχο της ηλιακής ακτινοβολίας, στη βελτίωση της θερμικής προστασίας του κελύφους, στη βελτιστοποίηση του φυσικού φωτισμού και στη δημιουργία αποτελεσματικών διαδρομών φυσικού αερισμού. Με τον τρόπο αυτό, το κτίριο λειτουργεί περισσότερο ως περιβαλλοντικός ρυθμιστής και λιγότερο ως σύστημα που εξαρτάται αποκλειστικά από μηχανολογικές εγκαταστάσεις υψηλής ενεργειακής κατανάλωσης (Lechner, 2022; Olgyay, 2015; Santamouris, 2016; Dekay et al., 2014; Givoni, 1998)

Στο πλαίσιο της συνθετικής πρότασης, ιδιαίτερη σημασία δόθηκε στη σχέση μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος. Ο περιβάλλοντας χώρος αντιμετωπίστηκε ως ενεργό τμήμα της περιβαλλοντικής λειτουργίας του σχολείου και όχι ως ανεξάρτητο στοιχείο της σύνθεσης. Η ενσωμάτωση φυτεύσεων και «πράσινων ζωνών», υπαίθριων

ζωνών με σκίαση, διαπερατών επιφανειών και στρατηγικών μικροκλιματικής βελτίωσης στοχεύει όχι μόνο στη μείωση της θερμικής επιβάρυνσης του κτιρίου, αλλά και στη δημιουργία ενός περισσότερο ποιοτικού και βιώσιμου εκπαιδευτικού περιβάλλοντος. Η προσέγγιση αυτή συνδέεται με τη σύγχρονη βιβλιογραφία που αντιμετωπίζει τη σχολική αυλή και τους υπαίθριους χώρους ως κρίσιμες περιβαλλοντικές και κοινωνικές υποδομές του σχολείου (Santamouris, 2013; Emmanuel, 2005 Akbari et al., 2001).

Η αρχιτεκτονική σύνθεση της πρότασης συνδέθηκε επίσης με τις αρχές της Ποιότητας Εσωτερικού Περιβάλλοντος (Indoor Environmental Quality – IEQ), οι οποίες περιλαμβάνουν τη θερμική άνεση, την ποιότητα αέρα, τον φυσικό φωτισμό και την ακουστική άνεση. Στη σύγχρονη έρευνα, οι παράμετροι αυτές δεν αντιμετωπίζονται αποκλειστικά ως τεχνικά χαρακτηριστικά του κτιρίου, αλλά ως κρίσιμοι παράγοντες που επηρεάζουν τη συγκέντρωση, την υγεία και τη μαθησιακή απόδοση των μαθητών. Για τον λόγο αυτό, η παρούσα πρόταση επιδιώκει τη δημιουργία σχολικών χώρων που δεν είναι μόνο ενεργειακά αποδοτικοί, αλλά και περιβαλλοντικά υποστηρικτικοί για τους χρήστες τους. Η λογική αυτή ενισχύει τον ανθρωποκεντρικό χαρακτήρα της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής και συνδέει τη βιωσιμότητα με την ποιότητα της εκπαιδευτικής εμπειρίας (Barrett et al., 2015; Wargocki & Wyon, 2013; Daisey et al., 2003).

Εν κατακλείδι, η συνθετική σχεδιαστική προσέγγιση που αναπτύχθηκε στην παρούσα εργασία δεν αντιμετωπίζει τον βιοκλιματικό ανασχεδιασμό ως μία στατική διαδικασία ενεργειακής αναβάθμισης, αλλά ως μία δυναμική διαδικασία περιβαλλοντικής ανασύνθεσης του σχολικού χώρου. Η πρόταση οργανώνεται γύρω από την αλληλεπίδραση μεταξύ κλίματος, κελύφους, χρήστη και ενεργειακών συστημάτων, επιδιώκοντας τη δημιουργία ενός σχολικού κτιρίου με βελτιωμένη ενεργειακή συμπεριφορά, υψηλότερη ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος και αυξημένη προσαρμοστικότητα στις σύγχρονες απαιτήσεις βιωσιμότητας. Με βάση αυτή τη λογική, οι επόμενες υποενότητες εστιάζουν στην αρχιτεκτονική ενσωμάτωση των επιμέρους στρατηγικών και στην αξιολόγηση της συνολικής πρότασης βιοκλιματικού ανασχεδιασμού (Lechner, 2022; Szokolay, 2014; Santamouris et al., 1996).

5.2. Αρχιτεκτονική σύνθεση & Βιοκλιματική οργάνωση

Η αρχιτεκτονική πρόταση που παρουσιάζεται στην παρούσα ενότητα αποτελεί το αποτέλεσμα μιας ολοκληρωμένης ερευνητικής και συνθετικής διαδικασίας, κατά την οποία τα δεδομένα που προέκυψαν από την ανάλυση του υφιστάμενου σχολικού συγκροτήματος, οι αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού και οι στρατηγικές ενεργειακής αναβάθμισης συνδυάστηκαν σε ένα ενιαίο σχεδιαστικό πλαίσιο. Η σύνθεση δεν αντιμετωπίζεται ως μια αυτόνομη μορφολογική παρέμβαση, αλλά ως η φυσική συνέχεια της αξιολόγησης που πραγματοποιήθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, όπου αναδείχθηκαν οι αδυναμίες του κελύφους, τα προβλήματα θερμικής και οπτικής άνεσης, οι ελλείψεις φυσικού αερισμού και η αυξημένη ενεργειακή κατανάλωση του υφιστάμενου σχολικού κτιρίου. Ως εκ τούτου, κάθε αρχιτεκτονική επιλογή τεκμηριώνεται ως απόκριση σε συγκεκριμένες περιβαλλοντικές και λειτουργικές απαιτήσεις και όχι ως ανεξάρτητη αισθητική απόφαση (Kibert, 2022; Yeang, 2008).

Η διαδικασία της αρχιτεκτονικής σύνθεσης βασίστηκε στη λογική της ολοκληρωμένης περιβαλλοντικής σχεδίασης (Integrated Environmental Design), σύμφωνα με την οποία η μορφή, ο προσανατολισμός, η λειτουργική οργάνωση και η κατασκευαστική δομή αποτελούν αλληλένδετα στοιχεία ενός ενιαίου συστήματος. Αντί η ενεργειακή απόδοση να επιδιώκεται αποκλειστικά μέσω μηχανολογικών συστημάτων, η αρχιτεκτονική μορφή αξιοποιείται ως βασικό εργαλείο ελέγχου του μικροκλίματος, της ηλιακής ακτινοβολίας, του φυσικού φωτισμού και του φυσικού αερισμού. Η προσέγγιση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική στα σχολικά κτίρια, όπου η ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος επηρεάζει άμεσα την υγεία, τη συγκέντρωση και τη μαθησιακή απόδοση των χρηστών (Olgyay, 2015; Kwok et al., 2007).

Η συνθετική διαδικασία ακολούθησε μία διαδοχική αλυσίδα αποφάσεων, στην οποία κάθε στάδιο βασίστηκε στα αποτελέσματα του προηγούμενου. Αρχικά αξιολογήθηκαν οι κλιματικές συνθήκες της περιοχής μελέτης, ο προσανατολισμός του οικοπέδου και η ηλιακή διαδρομή. Στη συνέχεια εξετάστηκαν οι υφιστάμενες περιβαλλοντικές επιδόσεις του κτιρίου, όπως η θερμική συμπεριφορά του κελύφους, η ποιότητα του φυσικού φωτισμού και οι δυνατότητες φυσικού αερισμού. Τα συμπεράσματα αυτής της ανάλυσης αποτέλεσαν τη βάση για την επιλογή των κατάλληλων παθητικών στρατηγικών, οι οποίες ενσωματώθηκαν στην τελική αρχιτεκτονική πρόταση. Με τον τρόπο αυτό, η σχεδιαστική

λύση προέκυψε ως τεκμηριωμένη απάντηση στα πραγματικά προβλήματα που εντοπίστηκαν κατά την ερευνητική διαδικασία (Attia, 2018; Szokolay, 2014).

Κεντρικός στόχος της αρχιτεκτονικής σύνθεσης ήταν η δημιουργία ενός σχολικού περιβάλλοντος που να ανταποκρίνεται ταυτόχρονα στις απαιτήσεις ενεργειακής αποδοτικότητας, περιβαλλοντικής βιωσιμότητας και εκπαιδευτικής λειτουργικότητας. Η πρόταση δεν περιορίζεται στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, αλλά επιδιώκει τη συνολική αναβάθμιση της ποιότητας του δομημένου περιβάλλοντος, βελτιώνοντας τις συνθήκες θερμικής άνεσης, φυσικού φωτισμού, ποιότητας αέρα και οπτικής επαφής με το φυσικό περιβάλλον. Η πολυπαραμετρική αυτή προσέγγιση ανταποκρίνεται στις σύγχρονες αρχές της βιώσιμης αρχιτεκτονικής, σύμφωνα με τις οποίες η περιβαλλοντική επίδοση ενός κτιρίου αξιολογείται μέσα από τον συνδυασμό ενεργειακών, κοινωνικών και λειτουργικών δεικτών.

Η βιοκλιματική οργάνωση του σχολικού συγκροτήματος στηρίχθηκε στη συστηματική αξιοποίηση των φυσικών περιβαλλοντικών πόρων της περιοχής, με στόχο την ελαχιστοποίηση των θερμικών φορτίων κατά τους θερινούς μήνες και τη βελτιστοποίηση των ηλιακών κερδών κατά τη χειμερινή περίοδο. Παράλληλα, δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στη δημιουργία ενός ευέλικτου εκπαιδευτικού περιβάλλοντος, στο οποίο οι εσωτερικοί και εξωτερικοί χώροι λειτουργούν συμπληρωματικά, ενισχύοντας την περιβαλλοντική εμπειρία των μαθητών και τη σύνδεση της εκπαιδευτικής διαδικασίας με το φυσικό περιβάλλον. Η αρχιτεκτονική σύνθεση επομένως δεν αντιμετωπίζει το κτίριο ως ένα απομονωμένο αντικείμενο αλλά ως τμήμα ενός ευρύτερου οικοσυστήματος, στο οποίο το μικροκλίμα, η φύτευση, οι υπαίθριοι χώροι και οι κατασκευές συνεργάζονται για τη δημιουργία ενός βιώσιμου και ανθεκτικού σχολικού περιβάλλοντος (Kellert, 2018; Beatley, 2016)

Η τελική αρχιτεκτονική πρόταση που παρουσιάζεται στις επόμενες υποενότητες αποτελεί επομένως την υλοποίηση ενός ερευνητικά τεκμηριωμένου σχεδιαστικού μοντέλου, στο οποίο κάθε παρέμβαση συνδέεται άμεσα με συγκεκριμένους δείκτες περιβαλλοντικής απόδοσης. Η αξιολόγηση των επεμβάσεων δεν βασίζεται αποκλειστικά στη μορφολογική ή λειτουργική τους συμβολή, αλλά στη δυνατότητά τους να βελτιώσουν μετρήσιμα την ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου, να αναβαθμίσουν την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος και να συμβάλουν στη δημιουργία ενός ανθεκτικού, βιώσιμου και

παιδαγωγικά κατάλληλου σχολικού συγκροτήματος. Στο πλαίσιο αυτό, οι επόμενες υποενότητες παρουσιάζουν αναλυτικά τις επιμέρους σχεδιαστικές επιλογές και τεκμηριώνουν τη συμβολή τους στην επίτευξη των συνολικών στόχων της πρότασης (Attia, 2018).



Διάγραμμα 5.1: Ολοκληρωμένο μοντέλο αρχιτεκτονικής σύνθεσης και βιοκλιματικού ανασχεδιασμού του εξεταζόμενου σχολικού κτιρίου (ιδία δημιουργία με Blender, CorelDRAW και Photoshop)

Το εν λόγω Διάγραμμα 5.1 παρουσιάζει το ολοκληρωμένο μοντέλο αρχιτεκτονικής σύνθεσης και βιοκλιματικού ανασχεδιασμού του εξεταζόμενου σχολικού κτιρίου, αποτυπώνοντας τη συνολική διαδικασία μέσω της οποίας τα αποτελέσματα της ερευνητικής ανάλυσης μετασχηματίζονται σε μία ενιαία αρχιτεκτονική πρόταση. Το διάγραμμα λειτουργεί ως συνθετικό πλαίσιο της μελέτης, καθώς συγκεντρώνει και οργανώνει τις βασικές αρχές, τα κριτήρια και τις σχεδιαστικές αποφάσεις που προέκυψαν από τα προηγούμενα κεφάλαια, αναδεικνύοντας τη μεταξύ τους αλληλεξάρτηση.

Η διαδικασία εκκινεί από την αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης του σχολικού συγκροτήματος, όπου αναγνωρίζονται τα περιβαλλοντικά, ενεργειακά και λειτουργικά χαρακτηριστικά του κτιρίου και προσδιορίζονται οι βασικές ανάγκες αναβάθμισης. Στη συνέχεια, τα ευρήματα αυτά συνδυάζονται με τις βιοκλιματικές στρατηγικές που αναπτύχθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, ώστε να διαμορφωθεί ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο σχεδιασμού το οποίο ενσωματώνει τις αρχές του παθητικού ηλιακού σχεδιασμού, της ενεργειακής αποδοτικότητας, της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας και της αναβάθμισης της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος.

Η αρχιτεκτονική σύνθεση δεν αντιμετωπίζεται ως μια απλή εφαρμογή επιμέρους τεχνικών παρεμβάσεων, αλλά ως μία ολοκληρωμένη διαδικασία λήψης αποφάσεων, κατά την οποία το κέλυφος του κτιρίου, ο προσανατολισμός, η διαχείριση της ηλιακής ακτινοβολίας, ο φυσικός φωτισμός, ο φυσικός αερισμός, η διαμόρφωση των υπαίθριων χώρων, η επιλογή υλικών και η ενσωμάτωση συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας λειτουργούν συμπληρωματικά. Η συνέργεια των παραπάνω παραμέτρων οδηγεί στη δημιουργία ενός σχολικού περιβάλλοντος με βελτιωμένη ενεργειακή συμπεριφορά, αυξημένη περιβαλλοντική ανθεκτικότητα και υψηλότερο επίπεδο θερμικής, οπτικής και λειτουργικής άνεσης για τους χρήστες.

Παράλληλα, το διάγραμμα αναδεικνύει ότι ο βιοκλιματικός ανασχεδιασμός δεν αποτελεί μια γραμμική διαδικασία αλλά ένα δυναμικό σύστημα συνεχούς αξιολόγησης και ανατροφοδότησης. Η περιβαλλοντική και ενεργειακή αξιολόγηση της προτεινόμενης λύσης τροφοδοτεί εκ νέου τη συνθετική διαδικασία, επιτρέποντας τη βελτιστοποίηση των επιμέρους σχεδιαστικών επιλογών έως την επίτευξη μιας ισορροπημένης αρχιτεκτονικής πρότασης που ανταποκρίνεται τόσο στις απαιτήσεις βιωσιμότητας όσο και στις λειτουργικές ανάγκες της εκπαιδευτικής κοινότητας.

Το ολοκληρωμένο αυτό μοντέλο αποτελεί το επιστέγασμα της ερευνητικής μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε στην παρούσα εργασία και λειτουργεί ως το εννοιολογικό και σχεδιαστικό υπόβαθρο για την αναλυτική παρουσίαση των επιμέρους αρχιτεκτονικών παρεμβάσεων που ακολουθεί στις επόμενες υποενότητες (Kibert, 2022; Attia, 2018; Olgyay, 2015; Szokolay, 2014).

5.2.1 Χωροταξική οργάνωση και λειτουργική αναδιάρθρωση

Η χωροταξική οργάνωση της προτεινόμενης επέμβασης στο εξεταζόμενο σχολικό συγκρότημα βασίζεται στην αρχή ότι ο βιοκλιματικός ανασχεδιασμός ενός υφιστάμενου εκπαιδευτικού κτιρίου δεν απαιτεί κατ' ανάγκη ριζική ανατροπή της αρχικής του κάτοψης, αλλά στοχευμένη αναδιάρθρωση των σχέσεων μεταξύ κτιριακού όγκου, αυλής, μεταβατικών ζωνών και κινήσεων των χρηστών. Στην περίπτωση του 12ου Δημοτικού Σχολείου Λαμίας, η πρόταση διατηρεί τον βασικό κτιριακό πυρήνα και το υφιστάμενο περίγραμμα του συγκροτήματος, καθώς η διατήρηση του υπάρχοντος φέροντος οργανισμού μειώνει την ανάγκη εκτεταμένων επεμβάσεων, περιορίζει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της ανακατασκευής και ενισχύει τη ρεαλιστικότητα της πρότασης. Η συνθετική λογική επομένως δεν στηρίζεται στην παραγωγή ενός νέου κτιρίου, αλλά στη μετατροπή του υπάρχοντος σχολείου σε ένα πιο αποδοτικό, λειτουργικό και περιβαλλοντικά ευαίσθητο εκπαιδευτικό περιβάλλον (Kibert, 2022; Douglas, 2006).

Η λειτουργική αναδιάρθρωση οργανώνεται με αφετηρία τα ευρήματα της ανάλυσης του Κεφαλαίου 3 και τις στρατηγικές του Κεφαλαίου 4, χωρίς όμως να τα επαναλαμβάνει. Στο παρόν στάδιο, τα προηγούμενα δεδομένα μετατρέπονται σε αρχιτεκτονικές αποφάσεις: οι χώροι κυκλοφορίας αντιμετωπίζονται ως ενεργά περιβαλλοντικά φίλτρα, οι υπαίθριες επιφάνειες ως προεκτάσεις της εκπαιδευτικής διαδικασίας και οι ζώνες μετάβασης μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού χώρου ως κρίσιμοι μηχανισμοί θερμικής, οπτικής και λειτουργικής άνεσης. Με τον τρόπο αυτό, η χωροταξική οργάνωση αποκτά ερευνητικό χαρακτήρα, καθώς δεν περιγράφει απλώς τη διάταξη των χώρων, αλλά τεκμηριώνει τη σχέση μεταξύ χωρικής δομής, περιβαλλοντικής απόδοσης και σχολικής εμπειρίας (Barrett et al., 2015; Dudek, 2006).

Κεντρική επιλογή της πρότασης είναι η ενίσχυση της σχέσης του σχολικού κτιρίου με την αυλή και τον περιβάλλοντα χώρο. Στην υφιστάμενη κατάσταση, όπως προέκυψε από την

αποτύπωση και τη φωτογραφική τεκμηρίωση, ο υπαίθριος χώρος λειτουργεί κυρίως ως χώρος διαλείμματος και κυκλοφορίας. Στην προτεινόμενη σύνθεση, η αυλή αναβαθμίζεται σε οργανικό τμήμα του σχολικού περιβάλλοντος, με διαφοροποιημένες ζώνες χρήσης, περιοχές σκίασης, χώρους στάσης, δυνατότητες υπαίθριας μάθησης και πράσινες επιφάνειες που λειτουργούν ταυτόχρονα ως παιδαγωγικά και βιοκλιματικά εργαλεία. Η αναδιάρθρωση αυτή επιτρέπει στο σχολείο να λειτουργεί όχι μόνο ως κλειστό κτιριακό σύστημα, αλλά ως ενιαίο εκπαιδευτικό τοπίο (Kellert, 2018; Dymment et al., 2008).

Η πρόταση δίνει ιδιαίτερη βαρύτητα στη δημιουργία μεταβατικών ζωνών ανάμεσα στις αίθουσες, στους κοινόχρηστους χώρους και στην αυλή. Οι ζώνες αυτές μπορούν να οργανωθούν ως σκιασμένες διαδρομές, ημιυπαίθριοι χώροι στάσης ή προστατευμένες περιοχές εισόδου, οι οποίες μειώνουν την απότομη μετάβαση από το εσωτερικό στο εξωτερικό περιβάλλον και συμβάλλουν στη βελτίωση της θερμικής εμπειρίας των χρηστών. Στο κλίμα της Λαμίας, όπου η θερινή υπερθέρμανση αποτελεί κρίσιμο ζήτημα, οι μεταβατικές αυτές περιοχές λειτουργούν ως ενδιάμεσοι βιοκλιματικοί χώροι, περιορίζοντας την άμεση ηλιακή επιβάρυνση και προσφέροντας συνθήκες σκιασμένης παραμονής κατά τα διαλείμματα και τις εκπαιδευτικές δραστηριότητες (Olgyay, 2015; Szokolay, 2014).

Σε επίπεδο κυκλοφοριών, η λειτουργική αναδιάρθρωση στοχεύει στη σαφέστερη ιεράρχηση των κινήσεων μαθητών, εκπαιδευτικών και επισκεπτών. Η κύρια είσοδος του σχολικού συγκροτήματος διατηρείται ως βασικό σημείο αναφοράς, αλλά η πρόταση ενισχύει τη λειτουργική της αναγνωρισιμότητα μέσω της διαμόρφωσης ενός πιο σαφούς και προστατευμένου χώρου υποδοχής. Παράλληλα, οι διαδρομές προς την αυλή, τις αίθουσες και τους κοινόχρηστους χώρους οργανώνονται έτσι ώστε να μειώνονται οι άσκοπες διασταυρώσεις, να ενισχύεται η ασφάλεια των παιδιών και να δημιουργείται μια περισσότερο ευανάγνωστη χωρική εμπειρία. Η σαφήνεια των κινήσεων αποτελεί κρίσιμο στοιχείο σε εκπαιδευτικά κτίρια, καθώς συνδέεται τόσο με τη λειτουργικότητα όσο και με την αίσθηση ασφάλειας και προσανατολισμού των μαθητών (Tanner, 2009; Dudek, 2006).

Η χωροταξική πρόταση αντιμετωπίζει τον περιβάλλοντα χώρο ως πεδίο περιβαλλοντικής εξισορρόπησης. Οι περιοχές φύτευσης δεν τοποθετούνται αποσπασματικά, αλλά εντάσσονται σε ένα ενιαίο δίκτυο σκίασης, δροσισμού και οπτικής αναβάθμισης. Ιδιαίτερη σημασία αποδίδεται στην αξιοποίηση των υφιστάμενων εδαφικών

χαρακτηριστικών και των περιμετρικών ζωνών του οικοπέδου, ώστε η φύτευση να λειτουργεί ως φυσικό φίλτρο ηλιακής ακτινοβολίας, σκόνης, θορύβου και θερμικής επιβάρυνσης. Η επιλογή αυτή συνδέει τη χωροταξική αναδιάρθρωση με τη βελτίωση του μικροκλίματος, χωρίς να απαιτείται επέμβαση στον βασικό κτιριακό φορέα (Klemp et al., 2015; Givoni, 1998).

Η λειτουργική αναδιάρθρωση συνδέεται επίσης με τη δυνατότητα δημιουργίας υπαίθριων εκπαιδευτικών ζωνών. Οι χώροι αυτοί δεν νοούνται ως ανεξάρτητες προσθήκες, αλλά ως προεκτάσεις των εσωτερικών χώρων μάθησης, επιτρέποντας την πραγματοποίηση δραστηριοτήτων περιβαλλοντικής εκπαίδευσης, παρατήρησης, συνεργασίας και βιωματικής μάθησης. Η ένταξη τέτοιων ζωνών είναι ιδιαίτερα συμβατή με τον χαρακτήρα της παρούσας διπλωματικής, καθώς η βιοκλιματική αναβάθμιση δεν περιορίζεται στην ενεργειακή εξοικονόμηση, αλλά συνδέεται με την παιδαγωγική αναβάθμιση του σχολικού χώρου. Με αυτόν τον τρόπο, η αρχιτεκτονική πρόταση ενισχύει τη σχέση των μαθητών με το φυσικό περιβάλλον και μετατρέπει το ίδιο το κτίριο σε εργαλείο περιβαλλοντικής μάθησης (Woolner et al., 2007; Malone et al., 2003).

Η πρόταση διατηρεί τη βασική λειτουργική ταυτότητα του υφιστάμενου σχολείου, αλλά την επαναπροσδιορίζει μέσα από μια πιο συνεκτική σχέση μεταξύ χρήσεων, κινήσεων και περιβαλλοντικών συνθηκών. Η διατήρηση των κύριων εκπαιδευτικών χώρων στη θέση τους περιορίζει τις ανάγκες δομικής παρέμβασης, ενώ η αναβάθμιση των ενδιάμεσων και υπαίθριων χώρων επιτρέπει τη βελτίωση της καθημερινής λειτουργίας του σχολείου με ήπιες αλλά ουσιαστικές παρεμβάσεις. Η προσέγγιση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική για υφιστάμενες σχολικές υποδομές, όπου οι παρεμβάσεις πρέπει να είναι τεχνικά εφικτές, οικονομικά ρεαλιστικές και λειτουργικά εφαρμόσιμες χωρίς να διακόπτουν ριζικά τη χρήση του κτιρίου (Langston et al., 2008; Douglas, 2006).

Η χωροταξική αναδιάρθρωση λειτουργεί ως βάση για τις επόμενες βιοκλιματικές παρεμβάσεις που θα παρουσιαστούν στις επόμενες υποενότητες. Η οργάνωση των κινήσεων, των υπαίθριων χώρων και των μεταβατικών ζωνών προηγείται της ανάλυσης του κελύφους, της ηλιακής προστασίας, του φυσικού φωτισμού και του φυσικού αερισμού, διότι καθορίζει το χωρικό πλαίσιο μέσα στο οποίο οι επιμέρους τεχνικές λύσεις αποκτούν αρχιτεκτονική συνοχή. Με άλλα λόγια, η 5.2.1 δεν παρουσιάζει ακόμη τα επιμέρους συστήματα της πρότασης, αλλά διαμορφώνει το οργανωτικό υπόβαθρο πάνω

στο οποίο αυτά θα ενσωματωθούν. Έτσι αποφεύγεται η επανάληψη του Κεφαλαίου 4, όπου οι στρατηγικές εξετάστηκαν ως κατηγορίες παρέμβασης, και προκύπτει μια καθαρή μετάβαση προς την τελική αρχιτεκτονική σύνθεση (Lechner, 2022; Kwok et al., 2007).

Συνολικά, η χωροταξική και λειτουργική αναδιάρθρωση της πρότασης μπορεί να περιγραφθεί ως μια στρατηγική ήπιας αλλά ουσιαστικής μεταμόρφωσης του σχολικού συγκροτήματος. Το υφιστάμενο κτίριο δεν αντιμετωπίζεται ως πρόβλημα που πρέπει να αντικατασταθεί, αλλά ως βάση πάνω στην οποία μπορεί να αναπτυχθεί ένα νέο περιβαλλοντικό και παιδαγωγικό μοντέλο λειτουργίας. Η διατήρηση της βασικής δομής, η αναβάθμιση των υπαίθριων χώρων, η ενίσχυση των μεταβατικών ζωνών, η σαφέστερη οργάνωση των κινήσεων και η σύνδεση του σχολείου με το μικροκλίμα της περιοχής συγκροτούν την πρώτη βαθμίδα της αρχιτεκτονικής πρότασης. Στο διάγραμμα που ακολουθεί αποτυπώνεται σχηματικά η χωροταξική λογική αυτής της αναδιάρθρωσης, ώστε να καταστεί σαφές πώς οι γενικές βιοκλιματικές στρατηγικές μετατρέπονται σε συγκεκριμένη αρχιτεκτονική οργάνωση για το εξεταζόμενο σχολικό κτίριο (Attia, 2018; Pelsmakers, 2015).



Διάγραμμα 5.2.: Χωροταξική οργάνωση και λειτουργική αναδιάρθρωση της προτεινόμενης βιοκλιματικής επέμβασης (ιδία δημιουργία με Blender, CorelDRAW και Photoshop)

Η χωροταξική οργάνωση της προτεινόμενης επέμβασης (Διάγραμμα 5.2) προέκυψε από τη συνθετική αξιολόγηση των δεδομένων που παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια και ειδικότερα από τη συσχέτιση των κλιματικών χαρακτηριστικών της περιοχής, των λειτουργικών απαιτήσεων της σχολικής μονάδας και των προβλημάτων που καταγράφηκαν κατά την ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης. Η προτεινόμενη διάταξη δεν επιδιώκει την ανακατασκευή του σχολικού συγκροτήματος, αλλά τη βελτιστοποίηση της λειτουργικής του απόδοσης μέσω της αναδιοργάνωσης των χώρων, της ενίσχυσης της σχέσης κτιρίου–υπαίθριου περιβάλλοντος και της ενσωμάτωσης αρχών βιοκλιματικού σχεδιασμού στο υφιστάμενο κέλυφος (Olgyay, 2015; Yeang, 2008).

Η πρόταση διατηρεί το βασικό κτιριολογικό αποτύπωμα του σχολείου, αξιοποιώντας τα υφιστάμενα δομικά χαρακτηριστικά και περιορίζοντας τις απαιτήσεις νέων κατασκευών. Η επιλογή αυτή ευθυγραμμίζεται με τις αρχές της βιώσιμης αρχιτεκτονικής και της κυκλικής οικονομίας, καθώς μειώνει την κατανάλωση νέων υλικών και περιορίζει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα που συνδέεται με εκτεταμένες κατασκευαστικές επεμβάσεις. Παράλληλα, η διατήρηση της βασικής γεωμετρίας του κτιρίου επιτρέπει την αξιοποίηση της υπάρχουσας θερμικής μάζας και τη βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς μέσω στοχευμένων βιοκλιματικών παρεμβάσεων (Kibert, 2022; Cabeza, 2014).

Στο επίπεδο του ισογείου, η κύρια είσοδος διατηρείται επί της οδού Αμπλιανίτη, γεγονός που εξασφαλίζει σαφή και ελεγχόμενη πρόσβαση στη σχολική μονάδα. Η ιεράρχηση των κινήσεων οργανώνεται με τρόπο που διαχωρίζει τις κύριες εκπαιδευτικές διαδρομές από τις δευτερεύουσες κινήσεις προς τους υπαίθριους χώρους και τις αθλητικές εγκαταστάσεις. Με τον τρόπο αυτό ενισχύεται η λειτουργικότητα, η ασφάλεια των μαθητών και η αναγνωσιμότητα των μετακινήσεων εντός του συγκροτήματος, στοιχεία που αποτελούν βασικές παραμέτρους του σύγχρονου σχολικού σχεδιασμού (Dudek, 2015).

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην αναβάθμιση του περιβάλλοντος χώρου μέσω της δημιουργίας υπαίθριων ζωνών μάθησης, περιοχών στάσης και κοινωνικής αλληλεπίδρασης, καθώς και μέσω της ενίσχυσης της φύτευσης περιμετρικά του οικοπέδου. Οι παρεμβάσεις αυτές συμβάλλουν στη βελτίωση του μικροκλίματος, στη μείωση των επιφανειακών θερμοκρασιών κατά τη θερινή περίοδο και στη δημιουργία συνθηκών θερμικής άνεσης στους υπαίθριους χώρους. Παράλληλα, οι υπαίθριες

εκπαιδευτικές ζώνες επεκτείνουν το μαθησιακό περιβάλλον πέρα από τα όρια των αιθουσών διδασκαλίας, ενισχύοντας τη βιωματική και συνεργατική μάθηση (Beatley, 2011; Kellert, 2008).

Η τοποθέτηση χώρων συγκέντρωσης, εκδηλώσεων και υπαίθριων δραστηριοτήτων στο νότιο τμήμα του οικοπέδου ενισχύει τη λειτουργική σύνδεση μεταξύ του κτιρίου και της αυλής, δημιουργώντας έναν ενιαίο εκπαιδευτικό πυρήνα. Παράλληλα, η αξιοποίηση διαπερατών επιφανειών και η αύξηση του φυτικού κεφαλαίου συμβάλλουν στη διαχείριση των ομβρίων υδάτων, στη μείωση της ανακλώμενης θερμότητας και στη συνολική περιβαλλοντική αναβάθμιση του σχολικού συγκροτήματος (Santamouris, 2014).

Στον Α' όροφο, η λειτουργική αναδιάρθρωση βασίζεται στη συγκέντρωση των εκπαιδευτικών και διοικητικών λειτουργιών σε σαφώς οριοθετημένες ζώνες. Οι αίθουσες των μεγαλύτερων τάξεων χωροθετούνται σε περιοχές με ευνοϊκότερες συνθήκες φυσικού φωτισμού και αερισμού, ενώ παράλληλα δημιουργούνται χώροι υποστήριξης, όπως γραφεία εκπαιδευτικών, χώρος εποπτείας μαθητών και ιατρείο. Η διάταξη αυτή βελτιώνει τη λειτουργική αποτελεσματικότητα της σχολικής μονάδας και ενισχύει το επίπεδο παρεχόμενης φροντίδας και ασφάλειας προς τους μαθητές (Barrett et al., 2015; Earthman, 2004).

Συνολικά, η προτεινόμενη χωροταξική οργάνωση μετατρέπει τα συμπεράσματα της ανάλυσης του υφιστάμενου κτιρίου και τις βιοκλιματικές στρατηγικές ενεργειακής αναβάθμισης σε μία ολοκληρωμένη αρχιτεκτονική πρόταση. Η σύνθεση δεν περιορίζεται στη βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κελύφους, αλλά επεκτείνεται στη δημιουργία ενός ποιοτικότερου εκπαιδευτικού περιβάλλοντος που υποστηρίζει την άνεση, την ασφάλεια, την κοινωνική αλληλεπίδραση και τη μαθησιακή διαδικασία. Με τον τρόπο αυτό ολοκληρώνεται η μετάβαση από τη διαγνωστική και τεχνική ανάλυση των Κεφαλαίων 3 και 4 στη διαμόρφωση της τελικής αρχιτεκτονικής πρότασης που παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 5 (Cole, 2012; Heerwagen, 2000).

5.2.2. Βιοκλιματική αναβάθμιση του κτιριακού κελύφους

Η βιοκλιματική αναβάθμιση του κτιριακού κελύφους αποτελεί έναν από τους βασικότερους άξονες της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής σύνθεσης, καθώς το κέλυφος καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τη θερμική, οπτική και ενεργειακή συμπεριφορά ενός κτιρίου.

Στην περίπτωση του 12ου Δημοτικού Σχολείου Λαμίας, η ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης ανέδειξε σημαντικές δυνατότητες βελτίωσης όσον αφορά τη θερμική προστασία, τον έλεγχο της ηλιακής ακτινοβολίας και την αξιοποίηση των φυσικών περιβαλλοντικών πόρων. Για τον λόγο αυτό, η αρχιτεκτονική πρόταση ενσωματώνει ένα σύνολο παθητικών βιοκλιματικών παρεμβάσεων που αποσκοπούν στη μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων και στη βελτίωση της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος, διατηρώντας παράλληλα τον υφιστάμενο χαρακτήρα και τη μορφολογία του σχολικού συγκροτήματος (Olgyay, 2015; Givoni, 1998).

Η προτεινόμενη αναβάθμιση βασίζεται στην αρχή ότι το κτίριο πρέπει να προσαρμόζεται στις κλιματικές συνθήκες του τόπου και όχι να εξαρτάται αποκλειστικά από ενεργοβόρα μηχανικά συστήματα. Το κλίμα της Λαμίας χαρακτηρίζεται από υψηλά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας και αυξημένες θερμοκρασίες κατά τη θερινή περίοδο, γεγονός που εντείνει τον κίνδυνο υπερθέρμανσης των εσωτερικών χώρων. Ως εκ τούτου, η πρόταση δίνει έμφαση στη μείωση των θερμικών φορτίων μέσω βελτιωμένης θερμομόνωσης, αποτελεσματικού ελέγχου της ηλιακής ακτινοβολίας και ενίσχυσης των φυσικών μηχανισμών αερισμού και δροσισμού. Με τον τρόπο αυτό, το κέλυφος μετατρέπεται από παθητικό περίβλημα σε ενεργό περιβαλλοντικό σύστημα που συμβάλλει στη συνολική ενεργειακή απόδοση του σχολείου (Lechner, 2022; Santamouris et al., 2016).

Κεντρικό στοιχείο της πρότασης αποτελεί η αναβάθμιση της θερμικής προστασίας των εξωτερικών δομικών στοιχείων. Η βελτίωση της θερμομονωτικής επάρκειας των τοιχοποιιών και των οριζόντιων στοιχείων του κελύφους περιορίζει τις θερμικές απώλειες κατά τη χειμερινή περίοδο και μειώνει τα ανεπιθύμητα θερμικά κέρδη κατά τη θερινή περίοδο. Παράλληλα, η αντιμετώπιση των θερμογεφυρών και η βελτίωση της αεροστεγανότητας συμβάλλουν στη σταθεροποίηση των εσωτερικών θερμοκρασιών και στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης για θέρμανση και ψύξη. Η συγκεκριμένη προσέγγιση είναι ιδιαίτερα σημαντική σε σχολικά κτίρια, όπου η θερμική άνεση συνδέεται άμεσα με την υγεία, τη συγκέντρωση και τη μαθησιακή απόδοση των μαθητών (Cabeza, 2013).

Παράλληλα, ιδιαίτερη βαρύτητα δίνεται στον σχεδιασμό των ανοιγμάτων και των συστημάτων σκίασης. Η διατήρηση επαρκούς φυσικού φωτισμού αποτελεί βασική προϋπόθεση για τη δημιουργία ποιοτικών εκπαιδευτικών χώρων, ωστόσο η ανεξέλεγκτη

είσοδος ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να οδηγήσει σε υπερθέρμανση και οπτική δυσφορία. Για τον λόγο αυτό, η πρόταση αξιοποιεί κατάλληλα συστήματα σκίασης και βελτιωμένες διατάξεις ανοιγμάτων, ώστε να επιτυγχάνεται ισορροπία μεταξύ φυσικού φωτισμού, θερμικής άνεσης και ενεργειακής απόδοσης. Η προσέγγιση αυτή συμβάλλει στη μείωση της ανάγκης για τεχνητό φωτισμό και μηχανική ψύξη, ενισχύοντας παράλληλα την οπτική ποιότητα των εσωτερικών χώρων (Baker et al., 2014; Edwards, 2014).

Η αξιοποίηση του φυσικού αερισμού αποτελεί επίσης βασική συνιστώσα της προτεινόμενης βιοκλιματικής στρατηγικής. Η χωροθέτηση των ανοιγμάτων και η οργάνωση των εσωτερικών χώρων επιτρέπουν την ανάπτυξη διαμπερών ροών αέρα, οι οποίες συμβάλλουν στην απομάκρυνση της συσσωρευμένης θερμότητας και στη βελτίωση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα. Η ενίσχυση του φυσικού αερισμού αποκτά ιδιαίτερη σημασία σε σχολικά κτίρια, όπου η συγκέντρωση μεγάλου αριθμού χρηστών μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα και υποβάθμιση των συνθηκών άνεσης. Μέσω της συγκεκριμένης στρατηγικής επιδιώκεται η δημιουργία ενός υγιέστερου και περισσότερο προσαρμοσμένου στο τοπικό κλίμα εκπαιδευτικού περιβάλλοντος (Wargocki & Wyon, 2017; Allard, 2002).

Συνολικά, η βιοκλιματική αναβάθμιση του κελύφους δεν αντιμετωπίζεται ως μια αποσπασματική τεχνική παρέμβαση αλλά ως αναπόσπαστο στοιχείο της αρχιτεκτονικής σύνθεσης. Η συνδυασμένη εφαρμογή θερμομονωτικών, μορφολογικών και παθητικών περιβαλλοντικών στρατηγικών συμβάλλει στη δημιουργία ενός σχολικού κτιρίου με μειωμένες ενεργειακές απαιτήσεις, βελτιωμένες συνθήκες άνεσης και αυξημένη περιβαλλοντική απόδοση. Με τον τρόπο αυτό, η προτεινόμενη παρέμβαση μεταφράζει τις θεωρητικές αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού και της βιώσιμης αρχιτεκτονικής σε μία ολοκληρωμένη και εφαρμόσιμη αρχιτεκτονική πρόταση για το 12ο Δημοτικό Σχολείο Λαμίας (Cole, 2012; Yeang, 2008).

5.2.3. Αναβάθμιση θερμικής προστασίας εξωτερικών τοιχοποιιών

Η αναβάθμιση της θερμικής προστασίας των εξωτερικών τοιχοποιιών εντάσσεται στον συνολικό ανασχεδιασμό του σχολικού συγκροτήματος και αποτελεί βασικό στοιχείο της

προτεινόμενης αρχιτεκτονικής σύνθεσης. Η επιλογή αυτή δεν προκύπτει μόνο από την ανάγκη ενεργειακής βελτίωσης του κελύφους, αλλά κυρίως από την επιδίωξη δημιουργίας σταθερών συνθηκών θερμικής άνεσης στους χώρους εκπαίδευσης καθ' όλη τη διάρκεια του σχολικού έτους. Η ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 3 ανέδειξε ότι οι εξωτερικές επιφάνειες του κτιρίου εκτίθενται σε σημαντικά θερμικά φορτία κατά τη θερινή περίοδο, ενώ παράλληλα εμφανίζονται αυξημένες θερμικές απώλειες κατά τους χειμερινούς μήνες. Ως εκ τούτου, η προτεινόμενη παρέμβαση στοχεύει στη βελτίωση της θερμικής συμπεριφοράς του κελύφους μέσω μιας ολοκληρωμένης στρατηγικής αναβάθμισης των αδιαφανών δομικών στοιχείων (Lechner, 2022).

Στο πλαίσιο της αρχιτεκτονικής πρότασης επιλέγεται η εφαρμογή συστήματος εξωτερικής θερμομόνωσης, καθώς η συγκεκριμένη προσέγγιση επιτρέπει τη διατήρηση της θερμικής μάζας των υφιστάμενων τοιχοποιιών εντός του θερμαινόμενου κελύφους. Η επιλογή αυτή παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για εκπαιδευτικά κτίρια, όπου οι καθημερινές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας επηρεάζουν άμεσα τις συνθήκες μάθησης και συγκέντρωσης. Μέσω της αύξησης της θερμικής αδράνειας του κελύφους επιτυγχάνεται σταδιακή απόκριση του κτιρίου στις εξωτερικές θερμοκρασιακές μεταβολές, γεγονός που συμβάλλει στον περιορισμό των φαινομένων υπερθέρμανσης κατά τη διάρκεια των θερμών περιόδων και στη διατήρηση πιο σταθερών εσωτερικών συνθηκών (Cabeza, 2015; Asan, 2006).

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται επίσης στην αντιμετώπιση των θερμογεφυρών που αναπτύσσονται στις ενώσεις των δομικών στοιχείων, στα περιμετρικά τμήματα των ανοιγμάτων και στις συνδέσεις μεταξύ τοιχοποιιών και οριζόντιων φερόντων στοιχείων. Οι περιοχές αυτές αποτελούν συνήθως σημεία αυξημένων θερμικών απωλειών και τοπικών μεταβολών της εσωτερικής επιφανειακής θερμοκρασίας, οι οποίες ενδέχεται να επηρεάσουν τόσο την ενεργειακή συμπεριφορά όσο και την αίσθηση θερμικής άνεσης των χρηστών. Η εξάλειψη ή ο περιορισμός των θερμογεφυρών συμβάλλει στη δημιουργία ενός περισσότερο ομοιογενούς θερμικού περιβάλλοντος και στη βελτίωση της συνολικής λειτουργίας του κελύφους (Theodosiou & Papadopoulos, 2008).

Πέραν της ενεργειακής διάστασης, η αναβάθμιση των εξωτερικών τοιχοποιιών συνδέεται άμεσα με τη βελτίωση της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος. Η σταθεροποίηση

των εσωτερικών επιφανειακών θερμοκρασιών μειώνει την πιθανότητα εμφάνισης θερμικής δυσφορίας σε θέσεις κοντά στο κέλυφος, ενώ παράλληλα περιορίζει την ανάγκη χρήσης μηχανικών συστημάτων για τη διατήρηση αποδεκτών συνθηκών άνεσης. Η προσέγγιση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική για σχολικά κτίρια, όπου η θερμική άνεση έχει συσχετισθεί με βελτιωμένη συγκέντρωση, αυξημένη μαθησιακή απόδοση και καλύτερη συνολική εμπειρία χρήσης του εκπαιδευτικού χώρου (Barrett et al., 2015; Mendell et al., 2005).

Συνολικά, η αναβάθμιση των εξωτερικών τοιχοποιιών αντιμετωπίζεται ως μία στοχευμένη αρχιτεκτονική παρέμβαση που ενισχύει τη λειτουργική και περιβαλλοντική απόδοση του σχολικού συγκροτήματος. Σε συνδυασμό με τις παρεμβάσεις που εφαρμόζονται στα ανοίγματα, στα συστήματα σκίασης και στον φυσικό αερισμό, διαμορφώνεται ένα συνεκτικό βιοκλιματικό κέλυφος το οποίο υποστηρίζει τους στόχους της ενεργειακής αναβάθμισης και της βελτίωσης της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος. Η προσέγγιση αυτή αποτελεί τη βάση πάνω στην οποία αναπτύσσονται οι επόμενες συνθετικές επιλογές του σχεδιασμού (Yeang, 2008; Cole, 2012).

5.2.4. Βιοκλιματικός σχεδιασμός ανοιγμάτων και συστημάτων σκίασης

Ο σχεδιασμός των ανοιγμάτων αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τη συνολική περιβαλλοντική απόδοση του σχολικού κτιρίου, καθώς επηρεάζει ταυτόχρονα τον φυσικό φωτισμό, τον φυσικό αερισμό, τα ηλιακά κέρδη και τις συνθήκες οπτικής άνεσης. Στο πλαίσιο της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής σύνθεσης, τα ανοίγματα δεν αντιμετωπίζονται ως απλά μορφολογικά στοιχεία του κελύφους αλλά ως ενεργά περιβαλλοντικά εργαλεία που συμβάλλουν στη βελτίωση της λειτουργίας των εκπαιδευτικών χώρων. Η στρατηγική αυτή αποκτά ιδιαίτερη σημασία στην περίπτωση του εξεταζόμενου σχολικού συγκροτήματος, όπου η ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος συνδέεται άμεσα με τις συνθήκες μάθησης και την καθημερινή εμπειρία των χρηστών (Lechner, 2022; Baker et al., 2014).

Η πρόταση διατηρεί τη βασική λογική των υφιστάμενων όψεων, επιδιώκοντας όμως τη βελτίωση της περιβαλλοντικής τους λειτουργίας. Αντί της εκτεταμένης μεταβολής της μορφής του κτιρίου, προκρίνεται η αναβάθμιση των ανοιγμάτων μέσω βελτιωμένων

υαλοπινάκων και κατάλληλων διατάξεων ηλιακού ελέγχου. Με τον τρόπο αυτό διατηρείται η αρχιτεκτονική ταυτότητα του σχολείου, ενώ παράλληλα μειώνονται οι ανεπιθύμητες θερμικές επιβαρύνσεις που προκαλούνται από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία κατά τους θερμούς μήνες του έτους. Η επιλογή αυτή εντάσσεται στη γενικότερη λογική της ήπιας αναβάθμισης του υφιστάμενου κτιρίου, η οποία διατρέχει το σύνολο της προτεινόμενης παρέμβασης (Kwok et al., 2007; Douglas, 2006).

Ιδιαίτερη σημασία αποδίδεται στον έλεγχο της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη θερινή περίοδο. Η κλιματική ανάλυση της περιοχής έδειξε ότι η υπερθέρμανση αποτελεί ένα από τα βασικά προβλήματα που επηρεάζουν τη λειτουργία του σχολείου, γεγονός που καθιστά αναγκαία την εφαρμογή αποτελεσματικών συστημάτων σκίασης. Στην προτεινόμενη σύνθεση, η σκίαση δεν λειτουργεί αποκλειστικά ως μέσο μείωσης των θερμικών φορτίων, αλλά και ως στοιχείο βελτίωσης της οπτικής άνεσης, περιορίζοντας τα φαινόμενα θάμβωσης στις αίθουσες διδασκαλίας. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται ένα περισσότερο ισορροπημένο εσωτερικό περιβάλλον, το οποίο υποστηρίζει τη συγκέντρωση και τη μαθησιακή διαδικασία (Boyce, 2014; Edwards & Torcellini, 2002).

Παράλληλα, η στρατηγική σκίασης συνδυάζεται με τη διατήρηση υψηλών επιπέδων φυσικού φωτισμού στους χώρους διδασκαλίας. Η αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού αποτελεί σημαντικό παράγοντα τόσο για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας όσο και για τη βελτίωση της ψυχολογικής και γνωστικής λειτουργίας των μαθητών. Για τον λόγο αυτό, η πρόταση επιδιώκει την επίτευξη ισορροπίας μεταξύ προστασίας από την υπερβολική ηλιακή ακτινοβολία και διατήρησης επαρκούς φωτεινότητας στο εσωτερικό των αιθουσών. Η συγκεκριμένη προσέγγιση ενισχύει την ποιότητα του εκπαιδευτικού περιβάλλοντος χωρίς να αυξάνει την εξάρτηση από τεχνητά συστήματα φωτισμού (Barrett et al., 2015; Hescong, 2002).

Ο σχεδιασμός των ανοιγμάτων συμβάλλει επίσης στη λειτουργία των στρατηγικών φυσικού αερισμού που αναπτύσσονται στις επόμενες ενότητες. Η κατάλληλη διάταξη και αξιοποίηση των υφιστάμενων ανοιγμάτων επιτρέπει την ανάπτυξη ελεγχόμενων ροών αέρα και τη σύνδεση των εσωτερικών χώρων με τις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες της περιοχής. Ως εκ τούτου, τα ανοίγματα αποτελούν κρίσιμο σημείο διασύνδεσης μεταξύ θερμικής προστασίας, φυσικού φωτισμού και αερισμού, λειτουργώντας ως βασικό

στοιχείο της συνολικής βιοκλιματικής στρατηγικής του σχολικού συγκροτήματος (Etheridge, 2012; Allard, 2002).

Συνολικά, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός των ανοιγμάτων και των συστημάτων σκίασης επιδιώκει τη δημιουργία ενός κελύφους που ανταποκρίνεται αποτελεσματικά στις περιβαλλοντικές συνθήκες της περιοχής και στις απαιτήσεις των εκπαιδευτικών χώρων. Μέσω της ελεγχόμενης εισόδου φυσικού φωτός, της μείωσης των ανεπιθύμητων ηλιακών κερδών και της υποστήριξης του φυσικού αερισμού, η προτεινόμενη παρέμβαση συμβάλλει στη διαμόρφωση ενός πιο άνετου, υγιούς και ενεργειακά αποδοτικού σχολικού περιβάλλοντος. Η στρατηγική αυτή αποτελεί τον συνδετικό κρίκο μεταξύ της αναβάθμισης του κελύφους και των παθητικών τεχνικών δροσισμού που παρουσιάζονται στην επόμενη υποενότητα (Szokolay, 2014; Yeang, 2008).

5.2.5. Ενίσχυση φυσικού αερισμού και παθητικού δροσισμού

Η στρατηγική φυσικού αερισμού της προτεινόμενης παρέμβασης εντάσσεται στη συνολική περιβαλλοντική λογική του ανασχεδιασμού και επιδιώκει τη βελτίωση των συνθηκών άνεσης μέσω της αξιοποίησης των τοπικών κλιματικών χαρακτηριστικών. Σε αντίθεση με μια προσέγγιση που βασίζεται αποκλειστικά σε μηχανικά συστήματα ψύξης, η αρχιτεκτονική πρόταση αξιοποιεί τη μορφολογία του υφιστάμενου κτιρίου και τη διάταξη των λειτουργικών χώρων προκειμένου να ενισχύσει τις φυσικές διαδικασίες ανανέωσης του αέρα και απομάκρυνσης της συσσωρευμένης θερμότητας. Με τον τρόπο αυτό, ο φυσικός αερισμός αντιμετωπίζεται ως αναπόσπαστο στοιχείο της αρχιτεκτονικής σύνθεσης και όχι ως μια ανεξάρτητη τεχνική λύση (Etheridge, 2012; Allard, 2002).

Η χωροταξική οργάνωση που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα υποστηρίζει τη δημιουργία συνεχών διαδρομών αέρα μεταξύ των εκπαιδευτικών χώρων και του εξωτερικού περιβάλλοντος. Η διατήρηση των κύριων ανοιγμάτων και η λειτουργική σύνδεση των αιθουσών με τους υπαίθριους χώρους επιτρέπουν την αποτελεσματικότερη αξιοποίηση των επικρατούντων ανέμων της περιοχής, διευκολύνοντας τη φυσική ανανέωση του εσωτερικού αέρα. Παράλληλα, η αποφυγή χωρικών εμποδίων κατά μήκος των βασικών αξόνων κυκλοφορίας συμβάλλει στη βελτίωση της κατανομής του αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου και στη δημιουργία συνθηκών μεγαλύτερης περιβαλλοντικής ομοιογένειας (Awbi, 2003; Givoni, 1998).

Σημαντικό ρόλο στη λειτουργία της στρατηγικής παθητικού δροσισμού διαδραματίζει και η αναβάθμιση του περιβάλλοντος χώρου. Η ενίσχυση της φύτευσης, η αύξηση των σκιαζόμενων επιφανειών και η δημιουργία περιοχών χαμηλότερης θερμικής επιβάρυνσης γύρω από το κτίριο συμβάλλουν στη βελτίωση του τοπικού μικροκλίματος και στη μείωση των θερμοκρασιών του αέρα που εισέρχεται στους εσωτερικούς χώρους. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει στο σχολικό συγκρότημα να αξιοποιεί όχι μόνο τα χαρακτηριστικά του κελύφους αλλά και τις περιβαλλοντικές δυνατότητες του περιβάλλοντος χώρου, δημιουργώντας ένα περισσότερο ολοκληρωμένο σύστημα βιοκλιματικής λειτουργίας (Santamouris, 2014; Brown, 1995).

Παράλληλα, η αξιοποίηση της θερμικής αδράνειας του υφιστάμενου κελύφους λειτουργεί συμπληρωματικά προς τις στρατηγικές φυσικού αερισμού. Η σταδιακή απορρόφηση και εκτόνωση της θερμότητας από τα δομικά στοιχεία συμβάλλει στη μείωση των ημερήσιων θερμοκρασιακών διακυμάνσεων και περιορίζει τα φαινόμενα υπερθέρμανσης κατά τις περιόδους αυξημένων εξωτερικών θερμοκρασιών. Η συνδυασμένη λειτουργία θερμικής μάζας, φυσικού αερισμού και σκίασης δημιουργεί ένα περισσότερο σταθερό εσωτερικό περιβάλλον, το οποίο ανταποκρίνεται καλύτερα στις απαιτήσεις των εκπαιδευτικών χώρων (Cabeza, 2015; Asan, 2006).

Η βελτίωση του φυσικού αερισμού συνδέεται επίσης με την αναβάθμιση της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος. Σχολικά κτίρια με επαρκή ανανέωση αέρα εμφανίζουν χαμηλότερες συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα και βελτιωμένες συνθήκες εσωτερικής άνεσης, στοιχεία που έχουν συσχετισθεί με αυξημένη συγκέντρωση και καλύτερη μαθησιακή απόδοση. Υπό το πρίσμα αυτό, ο φυσικός αερισμός δεν αντιμετωπίζεται αποκλειστικά ως μέσο θερμικού ελέγχου αλλά ως παράγοντας που συμβάλλει στη συνολική ποιότητα του εκπαιδευτικού περιβάλλοντος και στη βελτίωση της καθημερινής εμπειρίας των χρηστών του σχολείου (Wargocki & Wyon, 2017; Mendell et al., 2005).

Συνολικά, η ενίσχυση του φυσικού αερισμού και του παθητικού δροσισμού ενσωματώνεται στην προτεινόμενη αρχιτεκτονική σύνθεση ως μηχανισμός περιβαλλοντικής προσαρμογής του σχολικού συγκροτήματος στις τοπικές κλιματικές συνθήκες. Μέσω της συνδυασμένης αξιοποίησης της χωρικής οργάνωσης, του κελύφους και του περιβάλλοντος χώρου επιδιώκεται η δημιουργία ενός περισσότερο ανθεκτικού και

ενεργειακά αποδοτικού εκπαιδευτικού περιβάλλοντος, το οποίο ανταποκρίνεται τόσο στις απαιτήσεις βιωσιμότητας όσο και στις ανάγκες των χρηστών. Η προσέγγιση αυτή συμπληρώνεται από τις παρεμβάσεις που αφορούν τα δώματα και τη διαχείριση της ηλιακής ακτινοβολίας, οι οποίες παρουσιάζονται στην επόμενη υποενότητα (Cole, 2012; Yeang, 2008).

5.2.6. Αναβάθμιση δωματίων και διαχείριση ηλιακής ακτινοβολίας

Η διαχείριση της ηλιακής ακτινοβολίας αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για τη θερμική συμπεριφορά των σχολικών κτιρίων, ιδιαίτερα σε περιοχές με έντονη ηλιακή έκθεση κατά τη θερινή περίοδο, όπως η Κεντρική Ελλάδα. Στο πλαίσιο της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής σύνθεσης, το δώμα αντιμετωπίζεται ως ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία του κελύφους, καθώς δέχεται σημαντικά φορτία ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας και επηρεάζει άμεσα το θερμικό ισοζύγιο των εσωτερικών χώρων. Η αναβάθμιση του δώματος εντάσσεται σε μια συνολική στρατηγική περιβαλλοντικού σχεδιασμού που αποσκοπεί στη μείωση της θερμικής επιβάρυνσης του κτιρίου και στη βελτίωση των συνθηκών άνεσης των χρηστών (Santamouris, 2016; Givoni, 1998).

Η προτεινόμενη παρέμβαση βασίζεται στην ενίσχυση της θερμικής προστασίας του δώματος και στη μείωση της απορρόφησης ηλιακής ενέργειας από τις οριζόντιες επιφάνειες του κελύφους. Η συγκεκριμένη προσέγγιση συμβάλλει στον περιορισμό της μεταφοράς θερμότητας προς τους εσωτερικούς χώρους και στη σταθεροποίηση των εσωτερικών θερμοκρασιών κατά τους θερινούς μήνες. Για σχολικά κτίρια με αυξημένη χρήση κατά τη διάρκεια της ημέρας, η αποτελεσματική διαχείριση των θερμικών φορτίων του δώματος αποκτά ιδιαίτερη σημασία, καθώς επηρεάζει άμεσα τις συνθήκες λειτουργίας των αιθουσών διδασκαλίας και τη συνολική ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου (Lechner, 2022; Olivieri et al., 2013).

Η στρατηγική διαχείρισης της ηλιακής ακτινοβολίας δεν περιορίζεται αποκλειστικά στο κτιριακό κέλυφος αλλά επεκτείνεται και στη διαμόρφωση του περιβάλλοντος χώρου. Η ενίσχυση της δενδροφύτευσης και η δημιουργία «πράσινων» ζωνών σκίασης γύρω από το σχολικό συγκρότημα συμβάλλουν στη μείωση της προσπίπτουσας και ανακλώμενης ακτινοβολίας στις εξωτερικές επιφάνειες του κτιρίου. Παράλληλα, μέσω των μηχανισμών

εξατμισοδιαπνοής, η βλάστηση βελτιώνει το τοπικό μικροκλίμα και μειώνει τη θερμική επιβάρυνση των υπαίθριων χώρων. Η συγκεκριμένη προσέγγιση ενισχύει τη συνολική αποτελεσματικότητα των παθητικών τεχνικών δροσίσιμου και συνδέει τη λειτουργία του κτιρίου με τις περιβαλλοντικές δυνατότητες του οικοπέδου (Bowler et al., 2010; Brown et al., 1995).

Η συνδυασμένη λειτουργία δώματος, συστημάτων σκίασης και βλάστησης επιτρέπει τη δημιουργία πολλαπλών επιπέδων προστασίας έναντι της ηλιακής ακτινοβολίας. Αντί η αντιμετώπιση της υπερθέρμανσης να βασίζεται σε ένα μόνο μέτρο, η προτεινόμενη σύνθεση αξιοποιεί μια ολοκληρωμένη στρατηγική που δρα τόσο στο επίπεδο του κελύφους όσο και στο επίπεδο του μικροκλίματος. Η λογική αυτή ανταποκρίνεται στις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού, σύμφωνα με τις οποίες η ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου εξαρτάται από την αλληλεπίδραση μεταξύ δομικών στοιχείων, περιβάλλοντος χώρου και τοπικών κλιματικών συνθηκών (Olgyay, 2015; Yeang, 2008).

Πέραν της ενεργειακής διάστασης, η αποτελεσματική διαχείριση της ηλιακής ακτινοβολίας συμβάλλει ουσιαστικά στη βελτίωση των συνθηκών θερμικής άνεσης και στη συνολική ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος. Η μείωση των ακραίων θερμοκρασιακών διακυμάνσεων και ο περιορισμός των φαινομένων υπερθέρμανσης δημιουργούν ένα περισσότερο σταθερό και ευχάριστο περιβάλλον μάθησης, υποστηρίζοντας τη συγκέντρωση και τη λειτουργικότητα των εκπαιδευτικών χώρων. Στο πλαίσιο της παρούσας πρότασης, η αναβάθμιση του δώματος δεν αντιμετωπίζεται ως μεμονωμένη τεχνική παρέμβαση αλλά ως μέρος μιας ευρύτερης στρατηγικής που στοχεύει στη δημιουργία ενός περιβαλλοντικά αποδοτικού και παιδαγωγικά υποστηρικτικού σχολικού κτιρίου (Barrett et al., 2015; Heerwagen, 2000).

Συνολικά, η αναβάθμιση των δωματίων και η διαχείριση της ηλιακής ακτινοβολίας λειτουργούν ως κρίσιμος συνδετικός κρίκος μεταξύ της θερμικής προστασίας του κελύφους, του φυσικού αερισμού και της διαμόρφωσης του περιβάλλοντος χώρου. Μέσω της συνδυασμένης εφαρμογής τεχνικών παθητικού σχεδιασμού επιδιώκεται η δημιουργία ενός περισσότερο ανθεκτικού, ενεργειακά αποδοτικού και περιβαλλοντικά προσαρμοσμένου σχολικού συγκροτήματος. Η προσέγγιση αυτή ολοκληρώνει τις παρεμβάσεις που αφορούν το κέλυφος και δημιουργεί τη βάση για την αξιολόγηση της

συμβολής τους στην ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος, η οποία παρουσιάζεται στην επόμενη υποενότητα (Kibert, 2022; Cole, 2012).

5.2.7. Συμβολή του κελύφους στη βελτίωση της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος (Indoor Environmental Quality – IEQ)

Η αναβάθμιση του κτιριακού κελύφους, όπως αναπτύχθηκε στις προηγούμενες υποενότητες, δεν αποτελεί αυτοσκοπό της προτεινόμενης παρέμβασης αλλά το βασικό μέσο για τη διαμόρφωση ενός ποιοτικότερου εσωτερικού περιβάλλοντος μάθησης. Η αρχιτεκτονική πρόταση για το 12ο Δημοτικό Σχολείο Λαμίας αντιμετωπίζει το κέλυφος ως ένα ολοκληρωμένο περιβαλλοντικό σύστημα, το οποίο ρυθμίζει την αλληλεπίδραση μεταξύ του εξωτερικού κλίματος και των εσωτερικών χώρων, επηρεάζοντας άμεσα τη θερμική άνεση, τον φυσικό φωτισμό, την ποιότητα του αέρα και, κατ' επέκταση, την καθημερινή εμπειρία μαθητών και εκπαιδευτικών. Με τον τρόπο αυτό, οι επιμέρους βιοκλιματικές παρεμβάσεις συντίθενται σε μία ενιαία στρατηγική που στοχεύει στη βελτίωση της συνολικής ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος (Indoor Environmental Quality – IEQ) (Bluyssen, 2013).

Η βελτίωση της θερμικής άνεσης αποτελεί μία από τις σημαντικότερες αναμενόμενες επιδράσεις της προτεινόμενης σύνθεσης. Η συνδυασμένη εφαρμογή εξωτερικής θερμομόνωσης, ελέγχου της ηλιακής ακτινοβολίας, φυσικού αερισμού και θερμικής προστασίας του δώματος συμβάλλει στη διατήρηση σταθερότερων εσωτερικών θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια του σχολικού έτους. Η συγκεκριμένη προσέγγιση περιορίζει τα φαινόμενα τοπικής υπερθέρμανσης και θερμικής δυσφορίας που είχαν αναγνωριστεί κατά την ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης, δημιουργώντας συνθήκες περισσότερο συμβατές με τις απαιτήσεις ενός σύγχρονου εκπαιδευτικού περιβάλλοντος (de Dear, 1998; Fanger, 1970).

Παράλληλα, η προτεινόμενη διάταξη των ανοιγμάτων και των συστημάτων σκίασης ενισχύει την ποιότητα του φυσικού φωτισμού, επιτρέποντας την ομοιόμορφη κατανομή του φωτός στους χώρους διδασκαλίας και περιορίζοντας τα φαινόμενα θάμβωσης. Η βελτίωση των οπτικών συνθηκών δεν σχετίζεται μόνο με τη μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για τεχνητό φωτισμό, αλλά και με τη δημιουργία ενός περισσότερο

ευχάριστου και λειτουργικού μαθησιακού περιβάλλοντος. Η βιβλιογραφία υποδεικνύει ότι η πρόσβαση σε επαρκή φυσικό φωτισμό μπορεί να επηρεάσει θετικά τη συγκέντρωση, τη διάθεση και τη γνωστική απόδοση των μαθητών, γεγονός που ενισχύει τη σημασία της συγκεκριμένης σχεδιαστικής επιλογής (Barrett et al., 2015; Baker et al., 2014).

Η ποιότητα του εσωτερικού αέρα αποτελεί επίσης βασική παράμετρο της προτεινόμενης παρέμβασης. Η ενίσχυση του φυσικού αερισμού και η λειτουργική οργάνωση των χώρων διευκολύνουν τη συνεχή ανανέωση του αέρα και συμβάλλουν στον περιορισμό της συσσώρευσης διοξειδίου του άνθρακα και άλλων εσωτερικών ρύπων κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του σχολείου. Η στρατηγική αυτή αποκτά ιδιαίτερη σημασία σε εκπαιδευτικά κτίρια, όπου η πυκνότητα χρήσης είναι αυξημένη και η ποιότητα του αέρα έχει αποδειχθεί ότι επηρεάζει τόσο την υγεία όσο και τη γνωστική απόδοση των μαθητών. Στην παρούσα πρόταση, η βελτίωση της ποιότητας του αέρα δεν αντιμετωπίζεται ως ανεξάρτητη τεχνική απαίτηση αλλά ως φυσική συνέπεια της ολοκληρωμένης βιοκλιματικής σύνθεσης (Wargocki & Wyon, 2017; Allen et al., 2016).

Η συμβολή του κελύφους στην ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος δεν περιορίζεται στις επιμέρους παραμέτρους άνεσης αλλά εκτείνεται στη συνολική εμπειρία χρήσης του σχολικού κτιρίου. Η βελτίωση των θερμικών, οπτικών και περιβαλλοντικών συνθηκών ενισχύει την αίσθηση ευεξίας, μειώνει τις περιβαλλοντικές καταπονήσεις και δημιουργεί ένα εκπαιδευτικό περιβάλλον περισσότερο προσαρμοσμένο στις ανάγκες μαθητών και εκπαιδευτικών. Η προσέγγιση αυτή ευθυγραμμίζεται με τη σύγχρονη αντίληψη της βιώσιμης σχολικής αρχιτεκτονικής, σύμφωνα με την οποία η ενεργειακή απόδοση αποκτά πραγματική αξία όταν συνοδεύεται από ουσιαστική αναβάθμιση της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος και της καθημερινής εμπειρίας των χρηστών (Bluyssen, 2010; Heerwagen, 2000).

Συνολικά, η προτεινόμενη αναβάθμιση του κελύφους λειτουργεί ως ο μηχανισμός μέσω του οποίου οι αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού μετατρέπονται σε μετρήσιμη βελτίωση της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος. Η ερευνητική σύνθεση που αναπτύχθηκε στην παρούσα εργασία δείχνει ότι η επίτευξη υψηλού επιπέδου IEQ δεν εξαρτάται από μία μεμονωμένη τεχνική παρέμβαση, αλλά από τη συνδυασμένη λειτουργία της θερμικής προστασίας, του φυσικού φωτισμού, του φυσικού αερισμού, της διαχείρισης της ηλιακής ακτινοβολίας και της διαμόρφωσης του περιβάλλοντος χώρου. Η

διαπίστωση αυτή αποτελεί το επιστέγασμα της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής σύνθεσης και δημιουργεί τη βάση για την αξιολόγηση της συνολικής αποτελεσματικότητας της πρότασης στο επόμενο υποκεφάλαιο (Cole, 2012; Kellert et al., 2008).

5.3. Αξιολόγηση της βιοκλιματικής πρότασης

Η αξιολόγηση της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής παρέμβασης αποτελεί το τελικό στάδιο της ερευνητικής διαδικασίας που αναπτύχθηκε στην παρούσα εργασία και συνδέει τα ευρήματα της ανάλυσης του υφιστάμενου σχολικού συγκροτήματος με την αποτελεσματικότητα της προτεινόμενης βιοκλιματικής σύνθεσης. Σε αντίθεση με μία απλή περιγραφή των σχεδιαστικών επιλογών, η αξιολόγηση βασίζεται στη συστηματική διερεύνηση του βαθμού στον οποίο οι προτεινόμενες παρεμβάσεις ανταποκρίνονται στα προβλήματα που εντοπίστηκαν κατά την αποτύπωση και ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης. Με τον τρόπο αυτό, η αρχιτεκτονική πρόταση εξετάζεται ως ολοκληρωμένη περιβαλλοντική στρατηγική, της οποίας η λειτουργικότητα και η βιωσιμότητα μπορούν να εκτιμηθούν μέσω συγκεκριμένων ποιοτικών και τεχνικών κριτηρίων (Cole, 2012; Preiser et al., 2006).

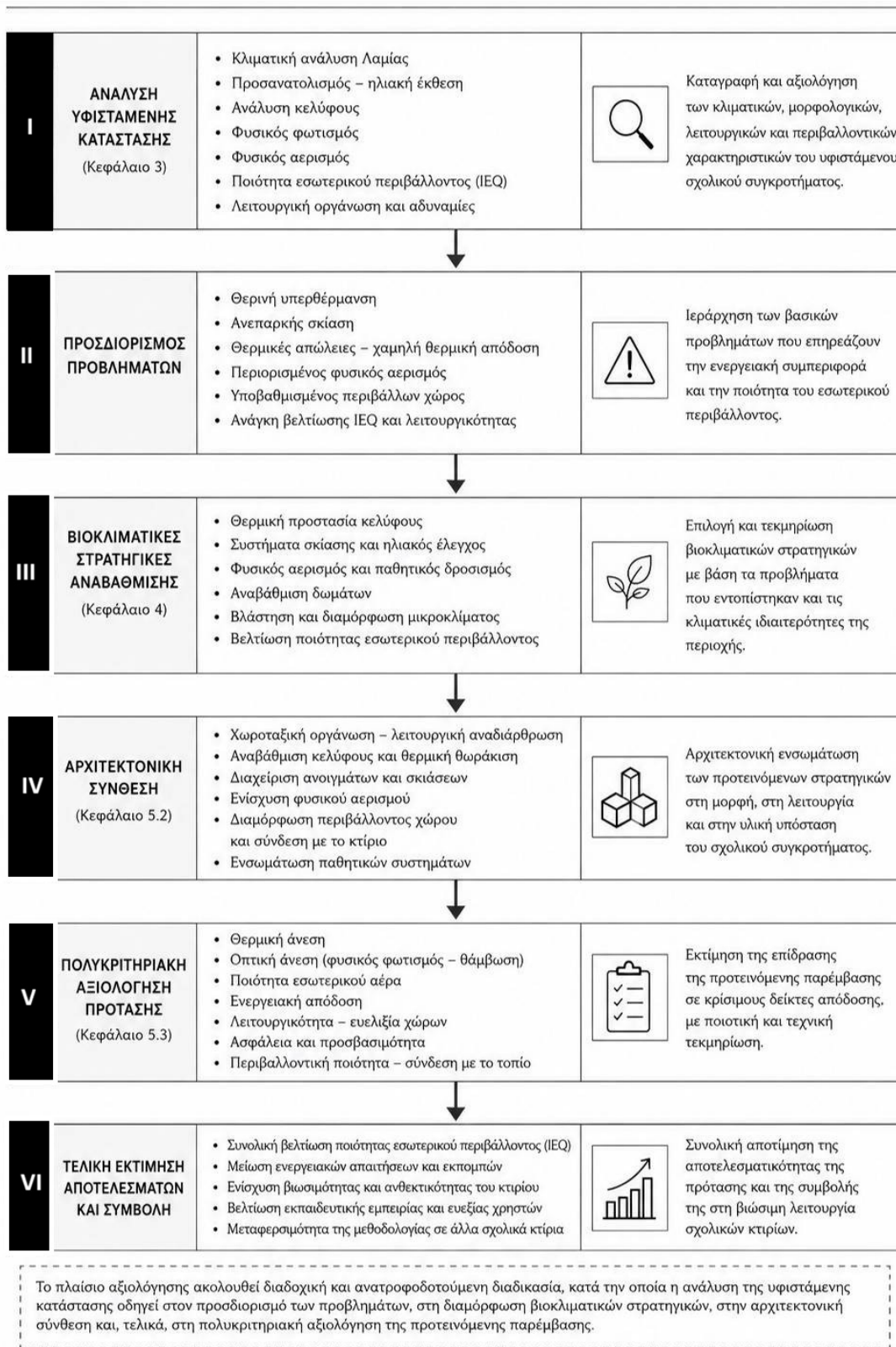
Η μεθοδολογία αξιολόγησης που ακολουθείται στην παρούσα έρευνα αναπτύχθηκε με βάση τη λογική της ολοκληρωμένης αποτίμησης της περιβαλλοντικής και λειτουργικής απόδοσης του σχολικού κτιρίου. Αφετηρία της αποτελεί η διάγνωση των υφιστάμενων προβλημάτων που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 3, ενώ στη συνέχεια εξετάζεται ο βαθμός στον οποίο οι βιοκλιματικές παρεμβάσεις που αναπτύχθηκαν στο Κεφάλαιο 4 και ενσωματώθηκαν στην αρχιτεκτονική σύνθεση του Κεφαλαίου 5 συμβάλλουν στη βελτίωση της συνολικής λειτουργίας του σχολικού συγκροτήματος. Η διαδικασία αυτή δεν αποσκοπεί μόνο στην εκτίμηση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου αλλά και στη διερεύνηση της επίδρασης των παρεμβάσεων στην ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος και στη λειτουργικότητα των εκπαιδευτικών χώρων (Bluyssen, 2010; Leaman et al., 2001).

Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, η αξιολόγηση δεν βασίζεται σε μία μεμονωμένη παράμετρο αλλά σε ένα πολυκριτηριακό πλαίσιο, στο οποίο συνεκτιμώνται η θερμική άνεση, ο φυσικός φωτισμός, η ποιότητα του εσωτερικού αέρα, η ενεργειακή

συμπεριφορά, η λειτουργική οργάνωση των χώρων και η σχέση του κτιρίου με τον περιβάλλοντα χώρο. Η επιλογή των συγκεκριμένων κριτηρίων προκύπτει από τη διεθνή βιβλιογραφία για την αξιολόγηση βιώσιμων σχολικών κτιρίων και ανταποκρίνεται στις ανάγκες που αναδείχθηκαν κατά την ανάλυση του εξεταζόμενου σχολικού συγκροτήματος. Με αυτόν τον τρόπο, η προτεινόμενη αρχιτεκτονική λύση αξιολογείται όχι μόνο ως προς τη δυνατότητα περιορισμού της ενεργειακής κατανάλωσης, αλλά και ως προς την ικανότητά της να δημιουργεί ένα υγιές, ασφαλές και λειτουργικό περιβάλλον μάθησης (Zomorodian et al., 2016; Barret et al., 2015).

Η αξιολόγηση της προτεινόμενης παρέμβασης βασίζεται επομένως σε μία συνθετική διαδικασία, κατά την οποία κάθε σχεδιαστική επιλογή εξετάζεται ως τμήμα ενός ενιαίου βιοκλιματικού συστήματος. Η εξωτερική θερμομόνωση, η αναδιοργάνωση των ανοιγμάτων, η διαχείριση της ηλιακής ακτινοβολίας, η αξιοποίηση του φυσικού αερισμού και η αναβάθμιση του περιβάλλοντος χώρου δεν αξιολογούνται ανεξάρτητα μεταξύ τους, αλλά ως αλληλοσυμπληρούμενες παρεμβάσεις που λειτουργούν συνδυαστικά για την επίτευξη των στόχων της πρότασης. Η συγκεκριμένη προσέγγιση αντανακλά τη βασική αρχή της βιώσιμης αρχιτεκτονικής, σύμφωνα με την οποία η συνολική απόδοση ενός κτιρίου προκύπτει από τη συνέργεια των επιμέρους στοιχείων του και όχι από την εφαρμογή μεμονωμένων τεχνικών λύσεων (Kibert, 2022; Yeang, 2008).

Με βάση την παραπάνω μεθοδολογική προσέγγιση, το ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζει το πλαίσιο αξιολόγησης που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας και αποτυπώνει τη διαδοχική σύνδεση μεταξύ της ανάλυσης της υφιστάμενης κατάστασης, της επιλογής των βιοκλιματικών στρατηγικών, της αρχιτεκτονικής σύνθεσης και της τελικής αποτίμησης της αποτελεσματικότητας της προτεινόμενης παρέμβασης. Το διάγραμμα αυτό αποτελεί τη συνθετική απεικόνιση της ερευνητικής μεθοδολογίας της εργασίας και λειτουργεί ως γέφυρα μεταξύ της αρχιτεκτονικής πρότασης και της αναλυτικής αξιολόγησης που ακολουθεί στις επόμενες υποενότητες (Bluyssen, 2010; Preiser et al., 2006).



Διάγραμμα 5.3: Μεθοδολογικό πλαίσιο αξιολόγησης της προτεινόμενης βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής παρέμβασης (ιδία δημιουργία με CorelDRAW και Photoshop)

Το Διάγραμμα 5.3 αποτυπώνει τη μεθοδολογική διαδικασία που ακολουθήθηκε για την αξιολόγηση της προτεινόμενης βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής παρέμβασης στο 12ο Δημοτικό Σχολείο Λαμίας και συνοψίζει τη λογική εξέλιξη της παρούσας έρευνας. Η προσέγγιση βασίζεται σε μία διαδοχική και αλληλένδετη διαδικασία, κατά την οποία η ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης οδηγεί στον εντοπισμό των κυριότερων προβλημάτων, στη διαμόρφωση των κατάλληλων βιοκλιματικών στρατηγικών, στην αρχιτεκτονική ενσωμάτωσή τους και, τέλος, στην πολυκριτηριακή αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της προτεινόμενης λύσης. Με τον τρόπο αυτό, η αρχιτεκτονική πρόταση δεν αντιμετωπίζεται ως μία μεμονωμένη σχεδιαστική παρέμβαση, αλλά ως αποτέλεσμα μίας τεκμηριωμένης ερευνητικής διαδικασίας, στην οποία κάθε στάδιο προκύπτει από τα συμπεράσματα του προηγούμενου (Cole, 2012; Preiser et al., 2006).

Το πρώτο στάδιο του διαγράμματος αφορά την αναλυτική διερεύνηση της υφιστάμενης κατάστασης του σχολικού συγκροτήματος, όπως παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 3. Η αξιολόγηση των κλιματικών χαρακτηριστικών της περιοχής, της γεωμετρίας του κτιρίου, της ενεργειακής συμπεριφοράς του κελύφους, της ποιότητας του φυσικού φωτισμού, του φυσικού αερισμού και των συνθηκών του εσωτερικού περιβάλλοντος αποτέλεσε τη βάση για την επιστημονική τεκμηρίωση των κυριότερων λειτουργικών και περιβαλλοντικών αδυναμιών του κτιρίου. Η ανάλυση αυτή επέτρεψε την αντικειμενική διάγνωση των παραγόντων που επηρεάζουν τόσο την ενεργειακή απόδοση όσο και την ποιότητα των εκπαιδευτικών χώρων (Zomorodian et al., 2016; Bluyssen, 2000).

Στη συνέχεια, τα προβλήματα που εντοπίστηκαν ιεραρχήθηκαν σύμφωνα με τη σημασία τους για τη συνολική λειτουργία του σχολικού κτιρίου. Η θερινή υπερθέρμανση, οι θερμικές απώλειες κατά τη χειμερινή περίοδο, η ανεπαρκής προστασία από την ηλιακή ακτινοβολία, η περιορισμένη αξιοποίηση του φυσικού αερισμού και η ανάγκη αναβάθμισης του περιβάλλοντος χώρου αποτέλεσαν τα βασικά κριτήρια πάνω στα οποία αναπτύχθηκαν οι βιοκλιματικές στρατηγικές του Κεφαλαίου 4. Η διαδικασία αυτή εξασφαλίζει ότι κάθε σχεδιαστική επιλογή ανταποκρίνεται σε συγκεκριμένο πρόβλημα και δεν αποτελεί αποσπασματική τεχνική λύση (Olgyay, 2015; Yeang, 2008).

Η τρίτη και τέταρτη ενότητα του διαγράμματος συνδέουν τις βιοκλιματικές στρατηγικές με την αρχιτεκτονική σύνθεση της προτεινόμενης παρέμβασης. Η θερμική προστασία του κελύφους, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός των ανοιγμάτων, η αξιοποίηση του φυσικού

αερισμού, η αναβάθμιση των δωματών και η ενίσχυση της βλάστησης δεν εξετάζονται ως ανεξάρτητα μέτρα, αλλά ως στοιχεία ενός ολοκληρωμένου αρχιτεκτονικού συστήματος. Η ενσωμάτωσή τους στη χωροταξική και λειτουργική αναδιάρθρωση του σχολείου επιδιώκει τη βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς, της λειτουργικότητας και της συνολικής περιβαλλοντικής ποιότητας του εκπαιδευτικού συγκροτήματος (Kibert, 2022; Givoni, 1998).

Το τελευταίο στάδιο του διαγράμματος αφορά την πολυκριτηριακή αξιολόγηση της προτεινόμενης παρέμβασης. Η αξιολόγηση πραγματοποιείται μέσω δεικτών που σχετίζονται με τη θερμική και οπτική άνεση, την ποιότητα του εσωτερικού αέρα, τη λειτουργικότητα των χώρων, την ενεργειακή συμπεριφορά και τη συνολική ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος του σχολικού συγκροτήματος. Η συνδυαστική αποτίμηση των παραμέτρων αυτών οδηγεί στην τελική εκτίμηση της αποτελεσματικότητας της πρότασης, αναδεικνύοντας τον βαθμό στον οποίο οι βιοκλιματικές παρεμβάσεις συμβάλλουν στη δημιουργία ενός υγιούς, ενεργειακά αποδοτικού και παιδαγωγικά κατάλληλου περιβάλλοντος μάθησης. Παράλληλα, το προτεινόμενο πλαίσιο αξιολόγησης μπορεί να αποτελέσει πρότυπο εφαρμογής και σε άλλα υφιστάμενα σχολικά κτίρια με αντίστοιχα μορφολογικά και κλιματικά χαρακτηριστικά, ενισχύοντας τη δυνατότητα μεταφοράς της μεθοδολογίας και σε ευρύτερες παρεμβάσεις αναβάθμισης του σχολικού κτιριακού αποθέματος (Barrett et al., 2015; Leaman et al., 2001).

5.3.1. Συγκριτική αξιολόγηση της υφιστάμενης και της προτεινόμενης κατάστασης

Η αξιολόγηση της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής παρέμβασης ολοκληρώνεται μέσω της συγκριτικής αποτίμησης της υφιστάμενης και της προτεινόμενης κατάστασης του 12ου Δημοτικού Σχολείου Λαμίας. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει τη συστηματική διερεύνηση του βαθμού στον οποίο οι σχεδιαστικές επιλογές που αναπτύχθηκαν στα προηγούμενα υποκεφάλαια ανταποκρίνονται στις αδυναμίες που καταγράφηκαν κατά την ανάλυση του υφιστάμενου σχολικού συγκροτήματος. Ως εκ τούτου, η αξιολόγηση δεν περιορίζεται στην επιμέρους εξέταση των βιοκλιματικών παρεμβάσεων, αλλά επικεντρώνεται στη συνολική τους συμβολή ως ενιαίου αρχιτεκτονικού και περιβαλλοντικού συστήματος (Bluyssen, 2010; Preiser et al., 2006).

Η συγκριτική αξιολόγηση οργανώνεται βάσει ποιοτικών κριτηρίων που προκύπτουν από τη μεθοδολογία της παρούσας έρευνας και συνδέονται με τους βασικούς στόχους του βιοκλιματικού ανασχεδιασμού. Ειδικότερα, εξετάζονται παράμετροι που σχετίζονται με τη θερμική άνεση, την αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού, την ποιότητα του εσωτερικού αέρα (Indoor Air Quality – IAQ), την ενεργειακή συμπεριφορά του κελύφους, τη λειτουργικότητα των χώρων και τη συνολική ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος (Indoor Environmental Quality – IEQ). Η επιλογή των συγκεκριμένων παραμέτρων βασίζεται τόσο στα ευρήματα της ανάλυσης του εξεταζόμενου σχολικού κτιρίου όσο και στη διεθνή βιβλιογραφία για την αξιολόγηση βιώσιμων εκπαιδευτικών κτιρίων, επιτρέποντας την ολοκληρωμένη αποτίμηση της αποτελεσματικότητας της προτεινόμενης λύσης (Kibert, 2022; Barrett et al., 2015).

Παράμετρος αξιολόγησης	Υφιστάμενη κατάσταση	Προτεινόμενη κατάσταση	Αναμενόμενη επίδραση
Θερμική άνεση	Ανομοιογενείς θερμοκρασίες	Σταθερότερο θερμικό περιβάλλον	Μείωση θερμικής δυσφορίας
Φυσικός φωτισμός	Μη ομοιόμορφη κατανομή	Βελτιωμένη αξιοποίηση φυσικού φωτός	Περιορισμός θάμβωσης
Ποιότητα εσωτερικού αέρα	Περιορισμένος φυσικός αερισμός	Διαμεπής φυσικός αερισμός	Βελτίωση IAQ
Ενεργειακή συμπεριφορά	Αυξημένες θερμικές απώλειες και ηλιακά κέρδη	Περιορισμός θερμικών φορτίων	Βελτίωση ενεργειακής απόδοσης
Περιβάλλοντας χώρος	Περιορισμένη βλάστηση	Ενίσχυση μικροκλίματος και σκίασης	Αναβάθμιση υπαίθριου περιβάλλοντος
Λειτουργικότητα	Ανεπαρκής χωρική οργάνωση	Βελτιωμένη λειτουργική διάταξη	Αποτελεσματικότερη χρήση των χώρων

Πίνακας 5.1: Συγκριτική ποιοτική αξιολόγηση της υφιστάμενης και της προτεινόμενης κατάστασης του 12^{ου} Δημοτικού σχολείου Λαμίας

Η συγκριτική αξιολόγηση που παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.1 καταδεικνύει ότι η προτεινόμενη αρχιτεκτονική παρέμβαση ανταποκρίνεται με συστηματικό τρόπο στις αδυναμίες που εντοπίστηκαν κατά την ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης του σχολικού συγκροτήματος. Η βελτίωση των επιμέρους παραμέτρων δεν προκύπτει από την εφαρμογή μεμονωμένων τεχνικών λύσεων, αλλά από τη συνδυασμένη λειτουργία των

βιοκλιματικών στρατηγικών που ενσωματώθηκαν στην αρχιτεκτονική σύνθεση. Η συνολική αποτίμηση αναδεικνύει ότι η προτεινόμενη λύση εκτιμάται πως μπορεί να συμβάλει στη δημιουργία ενός ενεργειακά αποδοτικότερου, λειτουργικότερου και περιβαλλοντικά ποιοτικότερου σχολικού περιβάλλοντος, διατηρώντας παράλληλα τον εκπαιδευτικό χαρακτήρα και τις λειτουργικές απαιτήσεις του υφιστάμενου κτιρίου. Η συγκριτική αυτή προσέγγιση αποτελεί τη βάση για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων που ακολουθεί στις επόμενες υποενότητες, όπου αξιολογείται αναλυτικότερα η συμβολή της προτεινόμενης παρέμβασης στη συνολική αναβάθμιση του σχολικού συγκροτήματος (Kibert, 2022; Preiser et al., 2006).

5.3.2. Συζήτηση των αποτελεσμάτων

Η συγκριτική αξιολόγηση της υφιστάμενης και της προτεινόμενης κατάστασης καταδεικνύει ότι η αποτελεσματικότητα της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής παρέμβασης δεν οφείλεται στην εφαρμογή μεμονωμένων τεχνικών λύσεων, αλλά στη συνδυασμένη λειτουργία ενός ολοκληρωμένου πλαισίου βιοκλιματικού σχεδιασμού. Η συστηματική ενσωμάτωση παθητικών στρατηγικών, η λειτουργική αναδιάρθρωση των χώρων και η αναβάθμιση του κτιριακού κελύφους διαμορφώνουν μία συνολική αρχιτεκτονική προσέγγιση, η οποία ανταποκρίνεται στα προβλήματα που καταγράφηκαν κατά την ανάλυση του υφιστάμενου σχολικού συγκροτήματος. Ως αποτέλεσμα, η προτεινόμενη λύση δεν αξιολογείται αποκλειστικά ως ενεργειακή αναβάθμιση, αλλά ως παρέμβαση που επιδιώκει τη συνολική βελτίωση της λειτουργικής και περιβαλλοντικής ποιότητας του εκπαιδευτικού χώρου (Kibert, 2022; Cole, 2012).

Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων υποδηλώνει ότι η μεγαλύτερη προστιθέμενη αξία της προτεινόμενης παρέμβασης προκύπτει από τη συνεργιστική αλληλεπίδραση των επιμέρους σχεδιαστικών επιλογών. Η αναβάθμιση του κελύφους, η αναδιοργάνωση των λειτουργικών ενοτήτων και η βελτίωση της σχέσης μεταξύ κτιρίου και περιβάλλοντος χώρου λειτουργούν συμπληρωματικά, δημιουργώντας ένα συνεκτικό σύστημα που αναμένεται να συμβάλει στη βελτίωση των συνθηκών θερμικής άνεσης, της ποιότητας του εσωτερικού αέρα, της αξιοποίησης του φυσικού φωτισμού και της συνολικής ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος. Η προσέγγιση αυτή βρίσκεται σε συμφωνία με τη

σύγχρονη διεθνή βιβλιογραφία, σύμφωνα με την οποία η υψηλή περιβαλλοντική απόδοση των σχολικών κτιρίων επιτυγχάνεται μέσω της ολοκληρωμένης σύνθεσης πολλαπλών βιοκλιματικών στρατηγικών και όχι μέσω αποσπασματικών τεχνικών παρεμβάσεων (Barrett et al., 2015; Bluysen, 2010).

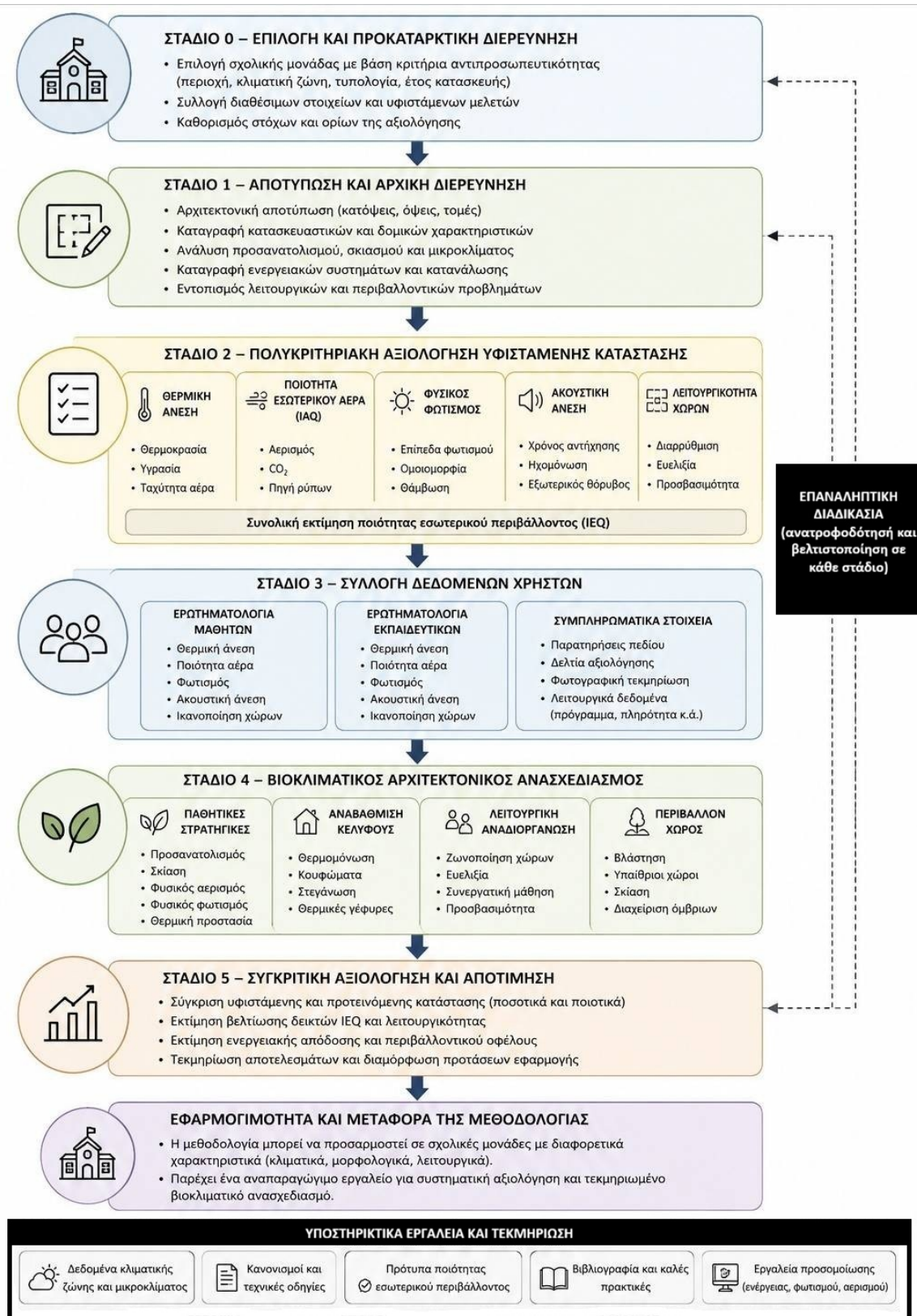
Η παρούσα μελέτη αναδεικνύει επίσης ότι η αξιολόγηση ενός σχολικού κτιρίου δεν μπορεί να βασίζεται αποκλειστικά σε ενεργειακούς δείκτες, αλλά οφείλει να περιλαμβάνει λειτουργικές, περιβαλλοντικές και παιδαγωγικές παραμέτρους που επηρεάζουν την καθημερινή εμπειρία των χρηστών. Η επιλογή μίας πολυκριτηριακής διαδικασίας αξιολόγησης επέτρεψε τη συνθετική αποτίμηση της προτεινόμενης λύσης, αναδεικνύοντας τον τρόπο με τον οποίο η αρχιτεκτονική σύνθεση μπορεί να υποστηρίξει ταυτόχρονα την ενεργειακή αποδοτικότητα, την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος και την εύρυθμη λειτουργία της σχολικής κοινότητας. Υπό αυτό το πρίσμα, η έρευνα δεν περιορίζεται στην παρουσίαση μιας πρότασης ανασχεδιασμού, αλλά διαμορφώνει ένα πλαίσιο αξιολόγησης που μπορεί να αποτελέσει σημείο αναφοράς για μελλοντικές εφαρμογές σε αντίστοιχα υφιστάμενα σχολικά κτίρια (Preiser et al., 2006; Leaman et al., 2001).

5.3.3. Πιθανές θεωρητικές ή/και πρακτικές εφαρμογές των αποτελεσμάτων της εργασίας

Η μελέτη περίπτωσης του 12ου Δημοτικού Σχολείου Λαμίας ανέδειξε ότι η αποτελεσματικότητα μίας βιοκλιματικής παρέμβασης δεν εξαρτάται αποκλειστικά από τις επιμέρους τεχνικές λύσεις που εφαρμόζονται, αλλά κυρίως από τη συστηματική διαδικασία με την οποία αναγνωρίζονται τα προβλήματα, αξιολογούνται οι υφιστάμενες συνθήκες και επιλέγονται οι κατάλληλες σχεδιαστικές στρατηγικές. Υπό το πρίσμα αυτό, η ερευνητική συμβολή της παρούσας εργασίας δεν περιορίζεται στη διαμόρφωση μιας αρχιτεκτονικής πρότασης για ένα συγκεκριμένο σχολικό συγκρότημα, αλλά επεκτείνεται στη διατύπωση ενός ολοκληρωμένου μεθοδολογικού πλαισίου, το οποίο μπορεί να προσαρμοστεί και να εφαρμοστεί σε άλλες υφιστάμενες σχολικές μονάδες με αντίστοιχα μορφολογικά, λειτουργικά και κλιματικά χαρακτηριστικά (Kibert, 2022; Preiser et al., 2006).

Η δυνατότητα μεταφοράς της προτεινόμενης μεθοδολογίας βασίζεται στη δομημένη και επαναλήψιμη οργάνωση των επιμέρους σταδίων αξιολόγησης και σχεδιασμού. Αντί να προτείνεται μία προκαθορισμένη αρχιτεκτονική λύση, προτείνεται μία διαδικασία λήψης αποφάσεων, η οποία προσαρμόζεται στις ιδιαιτερότητες κάθε σχολικού συγκροτήματος. Η διαδικασία αυτή συνδυάζει την αρχιτεκτονική αποτύπωση του υφιστάμενου κτιρίου, την πολυκριτηριακή αξιολόγηση της περιβαλλοντικής και λειτουργικής του απόδοσης, τη συλλογή δεδομένων από τους χρήστες του σχολείου και τη σύνθεση βιοκλιματικών παρεμβάσεων που ανταποκρίνονται στις πραγματικές ανάγκες του εξεταζόμενου χώρου. Με τον τρόπο αυτό διασφαλίζεται ότι ο σχεδιασμός βασίζεται σε τεκμηριωμένα δεδομένα και όχι σε γενικευμένες ή εμπειρικές παραδοχές (Bluyssen, 2010; Leaman et al., 2001).

Η προτεινόμενη μεθοδολογία οργανώνεται σε διαδοχικά στάδια που περιλαμβάνουν την επιλογή της σχολικής μονάδας, την αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης, την πολυκριτηριακή αξιολόγηση των συνθηκών λειτουργίας και ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος, τη συλλογή στοιχείων μέσω ερωτηματολογίων και επιτόπιας παρατήρησης, τον βιοκλιματικό ανασχεδιασμό και, τέλος, τη συγκριτική αξιολόγηση της προτεινόμενης λύσης. Η συγκεκριμένη αλληλουχία επιτρέπει την αναπαραγωγή της ερευνητικής διαδικασίας σε διαφορετικά σχολικά κτίρια, διατηρώντας κοινά κριτήρια αξιολόγησης και διευκολύνοντας τη συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων μεταξύ διαφορετικών μελετών περίπτωσης. Η λογική αυτή συνάδει με τις σύγχρονες προσεγγίσεις της αξιολόγησης της απόδοσης των κτιρίων, σύμφωνα με τις οποίες η τεκμηριωμένη διαδικασία λήψης αποφάσεων αποτελεί βασική προϋπόθεση για τον βιώσιμο αρχιτεκτονικό σχεδιασμό (Cole, 2012; Preiser et al., 2006).



Διάγραμμα 5.4: Προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο αξιολόγησης και βιοκλιματικού ανασχεδιασμού υφιστάμενων σχολικών μονάδων (ιδία δημιουργία με CorelDRAW και Photoshop)

Το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο (Διάγραμμα 5.4) αποτυπώνει τη λογική με την οποία οργανώθηκε η παρούσα έρευνα και αναδεικνύει τη μετάβαση από τη μελέτη μιας μεμονωμένης περίπτωσης στη διαμόρφωση μίας αναπαραγωγίμης διαδικασίας αξιολόγησης και λήψης σχεδιαστικών αποφάσεων. Η δομή του δεν εκφράζει μία προκαθορισμένη ακολουθία τεχνικών παρεμβάσεων, αλλά μία ολοκληρωμένη ερευνητική προσέγγιση, στην οποία κάθε στάδιο στηρίζεται στα ευρήματα του προηγούμενου και τεκμηριώνει το επόμενο. Με τον τρόπο αυτό, η αρχιτεκτονική πρόταση δεν αντιμετωπίζεται ως αποτέλεσμα σχεδιαστικής επιλογής, αλλά ως προϊόν συστηματικής ανάλυσης των πραγματικών χαρακτηριστικών και αναγκών του εξεταζόμενου σχολικού συγκροτήματος (Preiser et al., 2006).

Η επιστημονική αξία του πλαισίου έγκειται στην ενσωμάτωση διαφορετικών επιπέδων αξιολόγησης σε μία ενιαία διαδικασία. Η αρχιτεκτονική αποτύπωση, η διερεύνηση των περιβαλλοντικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών του κτιρίου, η επιτόπια παρατήρηση και η συλλογή ποιοτικών δεδομένων από τους εκπαιδευτικούς συνδυάζονται με την αξιολόγηση της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος και την εφαρμογή των αρχών του βιοκλιματικού σχεδιασμού. Η σύνθεση αυτών των δεδομένων επιτρέπει την τεκμηριωμένη επιλογή των παρεμβάσεων και περιορίζει τον κίνδυνο υιοθέτησης γενικευμένων σχεδιαστικών λύσεων που δεν ανταποκρίνονται στις ιδιαιτερότητες κάθε σχολικής μονάδας (Barrett et al., 2015; Bluysen, 2010).

Παράλληλα, το διάγραμμα αναδεικνύει ότι η διαδικασία αξιολόγησης δεν ολοκληρώνεται με την εκπόνηση της αρχιτεκτονικής πρότασης, αλλά περιλαμβάνει και τη συγκριτική αποτίμηση της προτεινόμενης λύσης σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση. Η επιλογή αυτή ενισχύει τη διαφάνεια της ερευνητικής διαδικασίας, καθώς επιτρέπει τη συστηματική τεκμηρίωση των αναμενόμενων βελτιώσεων και τη σύνδεσή τους με συγκεκριμένα κριτήρια αξιολόγησης. Κατ' επέκταση, η μεθοδολογία δεν λειτουργεί μόνο ως εργαλείο σχεδιασμού, αλλά και ως πλαίσιο αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας των προτεινόμενων παρεμβάσεων (Preiser et al., 2006; Leaman et al., 2001).

Τέλος, η δυνατότητα εφαρμογής του προτεινόμενου πλαισίου σε άλλες υφιστάμενες σχολικές μονάδες αποτελεί το βασικό στοιχείο που προσδίδει γενικευσιμότητα στην παρούσα μελέτη. Παρότι οι επιμέρους σχεδιαστικές επιλογές διαφοροποιούνται ανάλογα με τα κλιματικά, μορφολογικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά κάθε σχολικού

συγκροτήματος, η μεθοδολογική ακολουθία παραμένει σταθερή, επιτρέποντας τη συγκρίσιμη αξιολόγηση διαφορετικών περιπτώσεων. Υπό αυτή την έννοια, η εργασία δεν περιορίζεται στην παρουσίαση ενός ειδικού παραδείγματος βιοκλιματικού ανασχεδιασμού, αλλά προτείνει μία δομημένη διαδικασία που μπορεί να υποστηρίξει τη μελλοντική αξιολόγηση και αναβάθμιση σχολικών υποδομών με ενιαία επιστημονικά κριτήρια (Kibert, 2022; Cole, 2012).

5.3.4. Περιορισμοί της παρούσας μελέτης και δυνατότητες μελλοντικής εφαρμογής της προτεινόμενης μεθοδολογίας

Η παρούσα έρευνα αναπτύχθηκε με βάση τη μελέτη περίπτωσης του 12ου Δημοτικού Σχολείου Λαμίας, γεγονός που καθορίζει το πλαίσιο ερμηνείας των αποτελεσμάτων και τη δυνατότητα γενίκευσής τους. Η επιλογή της μεθόδου της μελέτης περίπτωσης κρίθηκε κατάλληλη, καθώς επέτρεψε τη σε βάθος διερεύνηση των αρχιτεκτονικών, περιβαλλοντικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών ενός υφιστάμενου σχολικού συγκροτήματος και τη σύνδεσή τους με συγκεκριμένες προτάσεις βιοκλιματικού ανασχεδιασμού. Ωστόσο, όπως συμβαίνει σε αντίστοιχες ερευνητικές προσεγγίσεις, τα συμπεράσματα αφορούν πρωτίστως το εξεταζόμενο κτίριο και θα πρέπει να προσαρμόζονται στις ιδιαιτερότητες κάθε νέας εφαρμογής (Yin, 2018; Flyvbjerg, 2004).

Η ερευνητική διαδικασία στηρίχθηκε στη συνδυαστική αξιοποίηση της αρχιτεκτονικής αποτύπωσης, της επιτόπιας παρατήρησης, της αξιολόγησης των περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών του σχολικού κτιρίου, της διεθνούς επιστημονικής βιβλιογραφίας και της συλλογής ποιοτικών δεδομένων από τους εκπαιδευτικούς. Η επιλογή αυτή ανταποκρίνεται στις αρχές της ποιοτικής έρευνας σε υφιστάμενα εκπαιδευτικά κτίρια και επιτρέπει την ερμηνεία της λειτουργικής εμπειρίας των χρηστών μέσα από τη σκοπιά των επαγγελματιών που χρησιμοποιούν καθημερινά τους χώρους. Παράλληλα, η μη συλλογή δεδομένων από μαθητές, λόγω των απαιτήσεων δεοντολογίας που διέπουν τη συμμετοχή ανηλίκων σε ερευνητικές διαδικασίες, αποτελεί συνειδητή μεθοδολογική επιλογή και όχι περιορισμό που επηρεάζει την εγκυρότητα της παρούσας έρευνας (Cohen et al., 2018; Creswell et al., 2018).

Η προτεινόμενη μεθοδολογία δεν αποσκοπεί στην αναπαραγωγή συγκεκριμένων σχεδιαστικών λύσεων, αλλά στην παροχή ενός δομημένου πλαισίου αξιολόγησης και λήψης αποφάσεων, το οποίο μπορεί να προσαρμοστεί στις ιδιαίτερες συνθήκες κάθε σχολικής μονάδας. Η δυνατότητα εφαρμογής της σε διαφορετικά κλιματικά, μορφολογικά και λειτουργικά περιβάλλοντα προϋποθέτει την εκ νέου αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης, την αξιολόγηση των τοπικών δεδομένων και την επιλογή κατάλληλων βιοκλιματικών στρατηγικών, χωρίς να προϋποθέτει την αυτούσια μεταφορά των παρεμβάσεων που αναπτύχθηκαν στην παρούσα μελέτη. Κατ' αυτόν τον τρόπο, η μεθοδολογία λειτουργεί ως εργαλείο υποστήριξης του σχεδιασμού και όχι ως πρότυπο εφαρμογής συγκεκριμένων τεχνικών λύσεων (Kibert, 2022; Cole, 2012).

Μελλοντικές εφαρμογές της προτεινόμενης μεθοδολογίας θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν τη συγκριτική αξιολόγηση περισσότερων σχολικών μονάδων διαφορετικής τυπολογίας και γεωγραφικής θέσης, καθώς και τη διερεύνηση της επίδρασης των προτεινόμενων παρεμβάσεων μετά την υλοποίησή τους μέσω διαδικασιών αξιολόγησης κατά τη χρήση του κτιρίου (Post-Occupancy Evaluation – POE). Επιπλέον, η περαιτέρω εμπλουτισμένη εφαρμογή της μεθοδολογίας θα μπορούσε να ενσωματώσει, κατόπιν των προβλεπόμενων εγκρίσεων δεοντολογίας και συναίνεσης, πρόσθετες ερευνητικές τεχνικές για τη διερεύνηση της εμπειρίας των χρηστών. Η προοπτική αυτή δεν μεταβάλλει τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας, αλλά αναδεικνύει τις δυνατότητες εξέλιξης της μεθοδολογίας σε ένα ευρύτερο πλαίσιο έρευνας και αξιολόγησης των σχολικών υποδομών (Zhang et al., 2010; Preiser et al., 2006).

5.4. Συμπεράσματα Κεφαλαίου

Το παρόν κεφάλαιο παρουσίασε την ολοκληρωμένη αρχιτεκτονική πρόταση βιοκλιματικού ανασχεδιασμού του 12ου Δημοτικού Σχολείου Λαμίας και αξιολόγησε συστηματικά την αποτελεσματικότητά της μέσα από μία πολυκριτηριακή διαδικασία ανάλυσης. Η αξιολόγηση της προτεινόμενης παρέμβασης δεν περιορίστηκε στην εκτίμηση της ενεργειακής αναβάθμισης του κτιρίου, αλλά επεκτάθηκε στη διερεύνηση της λειτουργικής οργάνωσης, της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος και της συνολικής βελτίωσης των συνθηκών χρήσης του σχολικού συγκροτήματος. Με τον τρόπο αυτό, η αρχιτεκτονική πρόταση τεκμηριώθηκε ως αποτέλεσμα μίας οργανωμένης ερευνητικής

διαδικασίας και όχι ως μεμονωμένη σχεδιαστική επιλογή (Bluyssen, 2010; Preiser et al., 2006).

Η συγκριτική αξιολόγηση της υφιστάμενης και της προτεινόμενης κατάστασης ανέδειξε ότι η αποτελεσματικότητα του βιοκλιματικού ανασχεδιασμού προκύπτει από τη συνδυασμένη εφαρμογή αρχιτεκτονικών, λειτουργικών και περιβαλλοντικών στρατηγικών, οι οποίες αντιμετωπίζονται ως αλληλοσυμπληρούμενα στοιχεία ενός ενιαίου συστήματος. Παράλληλα, η ανάπτυξη ενός μεθοδολογικού πλαισίου αξιολόγησης και λήψης σχεδιαστικών αποφάσεων κατέδειξε ότι η γνώση που παράγεται από τη συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης μπορεί να αξιοποιηθεί ως βάση για την προσαρμογή αντίστοιχων διαδικασιών σε άλλα υφιστάμενα σχολικά κτίρια, λαμβάνοντας πάντοτε υπόψη τις ιδιαίτερες συνθήκες κάθε περίπτωσης (Kibert, 2022; Cole, 2012).

Συνολικά, το Κεφάλαιο 5 αναδεικνύει ότι ο βιοκλιματικός ανασχεδιασμός υφιστάμενων σχολικών κτιρίων μπορεί να υποστηριχθεί από μία δομημένη και επιστημονικά τεκμηριωμένη μεθοδολογία, η οποία συνδυάζει την αρχιτεκτονική αποτύπωση, την περιβαλλοντική και λειτουργική αξιολόγηση, τη συλλογή ποιοτικών δεδομένων από τους εκπαιδευτικούς και τη συγκριτική αποτίμηση των προτεινόμενων παρεμβάσεων. Η προσέγγιση αυτή ενισχύει την αξιοπιστία της ερευνητικής διαδικασίας και αναδεικνύει ότι ο σχεδιασμός βιώσιμων σχολικών υποδομών μπορεί να βασίζεται σε τεκμηριωμένες αποφάσεις, οι οποίες συνδέουν τις ανάγκες των χρηστών με τις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού και της σύγχρονης βιώσιμης αρχιτεκτονικής (Creswell et al., 2018; Yin, 2018).

6. Συζήτηση

6.1. Απάντηση στα Ερευνητικά Ερωτήματα

1. Ποια είναι τα κυριότερα περιβαλλοντικά, λειτουργικά και βιοκλιματικά χαρακτηριστικά του υφιστάμενου σχολικού κτιρίου και ποιες αδυναμίες επηρεάζουν την ποιότητα του εκπαιδευτικού περιβάλλοντος;

Η ανάλυση επικεντρώνεται στη μορφολογία, τον προσανατολισμό, τα χαρακτηριστικά του κτιριακού κελύφους, τη λειτουργική οργάνωση των χώρων, καθώς και στις συνθήκες φυσικού φωτισμού, φυσικού αερισμού, θερμικής άνεσης και ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος. Η διερεύνηση αυτή επιτρέπει τον εντοπισμό των παραγόντων που περιορίζουν την περιβαλλοντική και λειτουργική απόδοση του κτιρίου και αποτελεί το επιστημονικό υπόβαθρο για τη διαμόρφωση των επόμενων σταδίων της έρευνας.

2. Ποιες βιοκλιματικές στρατηγικές μπορούν να τεκμηριώσουν τον ανασχεδιασμό του εξεταζόμενου σχολικού κτιρίου, λαμβάνοντας υπόψη τα ιδιαίτερα περιβαλλοντικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά του;

Η τεκμηρίωσή του βασίζεται στη σύνθεση της διεθνούς και ελληνικής βιβλιογραφίας, σε συνδυασμό με τα ευρήματα της ανάλυσης της υφιστάμενης κατάστασης, ώστε οι προτεινόμενες παρεμβάσεις να ανταποκρίνονται στις πραγματικές περιβαλλοντικές, λειτουργικές και χωρικές ανάγκες της μελέτης περίπτωσης.

3. Με ποιον τρόπο μπορεί η διάγνωση της υφιστάμενης κατάστασης να μετασχηματιστεί σε μία ολοκληρωμένη αρχιτεκτονική πρόταση βιοκλιματικού ανασχεδιασμού;

Εξετάζεται ο τρόπος με τον οποίο τα ευρήματα της έρευνας μετατρέπονται σε τεκμηριωμένες σχεδιαστικές επιλογές που περιλαμβάνουν τη λειτουργική αναδιοργάνωση των χώρων, τη βιοκλιματική αναβάθμιση του κελύφους, τη βελτίωση των συνθηκών φυσικού φωτισμού και φυσικού αερισμού, καθώς και την αναδιαμόρφωση του

περιβάλλοντος χώρου, σύμφωνα με τις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού και της βιώσιμης αρχιτεκτονικής.

4. Σε ποιον βαθμό η προτεινόμενη αρχιτεκτονική παρέμβαση αναμένεται να συμβάλει στη βελτίωση της περιβαλλοντικής, λειτουργικής και ενεργειακής απόδοσης του σχολικού κτιρίου;

Η αξιολόγηση βασίζεται στη συστηματική σύγκριση των δύο σεναρίων ως προς τη θερμική άνεση, τον φυσικό φωτισμό, την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος, τη λειτουργική οργάνωση και τη συνολική περιβαλλοντική απόδοση, χωρίς να προϋποθέτει την υλοποίηση ή την πειραματική επαλήθευση των προτεινόμενων παρεμβάσεων.

5. Μπορεί η μεθοδολογική προσέγγιση που αναπτύχθηκε στην παρούσα εργασία να αποτελέσει ένα μεθοδολογικό πλαίσιο αναφοράς για τον βιοκλιματικό ανασχεδιασμό άλλων υφιστάμενων σχολικών μονάδων;

Η εργασία επιδιώκει να αναπτύξει ένα συνεκτικό πλαίσιο αξιολόγησης και λήψης σχεδιαστικών αποφάσεων, το οποίο, με τις απαραίτητες προσαρμογές στις ιδιαιτερότητες κάθε περίπτωσης, μπορεί να υποστηρίξει τον βιοκλιματικό ανασχεδιασμό και άλλων υφιστάμενων σχολικών κτιρίων, συμβάλλοντας στη συστηματική ενσωμάτωση των αρχών της βιώσιμης αρχιτεκτονικής στον σχεδιασμό και την αναβάθμιση των εκπαιδευτικών υποδομών.

6.2. Αναπάντητα Ερωτήματα & Αδυναμίες Εργασίας

Η παρούσα έρευνα βασίστηκε σε μελέτη περίπτωσης και στη χρήση ερωτηματολογίων για τη διερεύνηση των απόψεων των εκπαιδευτικών σχετικά με τις συνθήκες του σχολικού περιβάλλοντος. Ως εκ τούτου, οι καταγεγραμμένες αντιλήψεις ενδέχεται να επηρεάζονται από τον υποκειμενικό τρόπο αξιολόγησης των συμμετεχόντων, χωρίς όμως να αναιρείται η αξία τους ως εργαλείου διερεύνησης της εμπειρίας των χρηστών. Παράλληλα, η εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας σε μεγαλύτερο αριθμό σχολικών μονάδων με διαφορετικά χαρακτηριστικά θα μπορούσε να ενισχύσει περαιτέρω την τεκμηρίωση και να διερευνήσει την προσαρμοστικότητά της σε ευρύτερο πλαίσιο.

6.3. Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα

Η παρούσα εργασία μπορεί να αποτελέσει αφετηρία για περαιτέρω έρευνα στον τομέα του βιοκλιματικού ανασχεδιασμού σχολικών κτιρίων. Μελλοντικές μελέτες θα μπορούσαν να εφαρμόσουν την προτεινόμενη μεθοδολογία σε μεγαλύτερο αριθμό σχολικών μονάδων με διαφορετικά μορφολογικά και κλιματικά χαρακτηριστικά, ώστε να διερευνηθεί η δυνατότητα ευρύτερης εφαρμογής της. Παράλληλα, ενδιαφέρον παρουσιάζει ο συνδυασμός της με ερωτηματολόγια που θα απευθύνονται σε περισσότερες ομάδες χρηστών, καθώς και η αξιοποίηση ενεργειακών προσομοιώσεων ή αξιολογήσεων μετά την υλοποίηση παρεμβάσεων, με σκοπό την περαιτέρω τεκμηρίωση της αποτελεσματικότητας των προτεινόμενων λύσεων.

6.4. Θεωρητικές Εφαρμογές και Πρακτικές Εφαρμογές Αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας μπορούν να αξιοποιηθούν τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο, συμβάλλοντας στην περαιτέρω ανάπτυξη του πεδίου του βιοκλιματικού σχεδιασμού και της βιώσιμης αναβάθμισης των σχολικών υποδομών. Σε θεωρητικό επίπεδο, η προτεινόμενη μεθοδολογική προσέγγιση αναδεικνύει έναν συστηματικό τρόπο σύνδεσης της ανάλυσης της υφιστάμενης κατάστασης με τη διαμόρφωση τεκμηριωμένων αρχιτεκτονικών παρεμβάσεων, ενσωματώνοντας περιβαλλοντικά, λειτουργικά και βιοκλιματικά κριτήρια σε ένα ενιαίο πλαίσιο αξιολόγησης και σχεδιασμού. Με τον τρόπο αυτό, η εργασία μπορεί να αποτελέσει χρήσιμη βάση για αντίστοιχες ερευνητικές προσπάθειες που αφορούν τον ανασχεδιασμό υφιστάμενων σχολικών κτιρίων.

Σε πρακτικό επίπεδο, η προτεινόμενη μεθοδολογία μπορεί να αξιοποιηθεί από αρχιτέκτονες, μηχανικούς, οργανισμούς τοπικής αυτοδιοίκησης και φορείς που εμπλέκονται στον σχεδιασμό, τη συντήρηση και την αναβάθμιση σχολικών μονάδων. Η συστηματική διαδικασία αξιολόγησης των χαρακτηριστικών του κτιρίου και η τεκμηριωμένη επιλογή βιοκλιματικών παρεμβάσεων μπορούν να υποστηρίξουν τη λήψη σχεδιαστικών αποφάσεων που ανταποκρίνονται στις ιδιαίτερες ανάγκες κάθε σχολικής μονάδας. Παράλληλα, η μεθοδολογία δύναται να λειτουργήσει ως πλαίσιο αναφοράς για

τη διερεύνηση εναλλακτικών σεναρίων αναβάθμισης και την προσαρμογή των βιοκλιματικών αρχών σε διαφορετικά κτιριολογικά και κλιματικά δεδομένα, συμβάλλοντας στη δημιουργία ποιοτικότερων, λειτουργικότερων και περισσότερο βιώσιμων εκπαιδευτικών χώρων.

Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία ανέδειξε τη σημασία του βιοκλιματικού σχεδιασμού ως ολοκληρωμένης προσέγγισης για την αναβάθμιση υφιστάμενων σχολικών κτιρίων, συνδυάζοντας τη θεωρητική τεκμηρίωση με την εφαρμογή της σε πραγματική μελέτη περίπτωσης. Η συστηματική ανάλυση του εξεταζόμενου σχολικού συγκροτήματος επέτρεψε την αναγνώριση των βασικών περιβαλλοντικών και λειτουργικών προκλήσεων, οι οποίες αποτέλεσαν τη βάση για τη διαμόρφωση μιας τεκμηριωμένης αρχιτεκτονικής πρότασης βιοκλιματικού ανασχεδιασμού.

Η ερευνητική διαδικασία κατέδειξε ότι η αποτελεσματική αναβάθμιση των σχολικών υποδομών δεν εξαρτάται από την εφαρμογή μεμονωμένων τεχνικών λύσεων, αλλά από τη συνδυαστική αξιοποίηση βιοκλιματικών αρχών, λειτουργικών παρεμβάσεων και σχεδιαστικών επιλογών που ανταποκρίνονται στις ιδιαίτερες ανάγκες κάθε κτιρίου. Παράλληλα, αναδείχθηκε η αξία μιας συστηματικής μεθοδολογίας αξιολόγησης, η οποία υποστηρίζει τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων σε όλα τα στάδια του σχεδιασμού.

Πέρα από την αρχιτεκτονική πρόταση που αναπτύχθηκε για το 12ο Δημοτικό Σχολείο Λαμίας, η εργασία υπογραμμίζει τη σημασία της μεθοδολογικής προσέγγισης που ακολουθήθηκε, καθώς αυτή μπορεί να αποτελέσει χρήσιμο πλαίσιο για την αξιολόγηση και τον βιοκλιματικό ανασχεδιασμό και άλλων υφιστάμενων σχολικών μονάδων, με τις απαραίτητες προσαρμογές στις ιδιαίτερες συνθήκες κάθε περίπτωσης.

Συνολικά, η εργασία επιβεβαιώνει ότι ο βιοκλιματικός ανασχεδιασμός μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στη βελτίωση της ποιότητας των εκπαιδευτικών χώρων, όταν στηρίζεται σε τεκμηριωμένη ανάλυση, ολοκληρωμένο αρχιτεκτονικό σχεδιασμό και σαφή μεθοδολογική διαδικασία. Με τον τρόπο αυτό, η έρευνα φιλοδοξεί να συμβάλει τόσο στην εξέλιξη της σχετικής επιστημονικής γνώσης όσο και στην υποστήριξη μελλοντικών παρεμβάσεων για τη βιώσιμη αναβάθμιση των σχολικών υποδομών.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

Ανδρεαδάκη - Χρονάκη, Ε. (2017). *Βιοκλιματικός σχεδιασμός*. University Studio Press.

Κ.ΕΝ.Α.Κ. & Βιοκλιματικός σχεδιασμός, *Ζαφειράκης Ιωάννης*. (2010). Ανακτήθηκε 17 Ιουλίου 2026 από <https://www.gzafeirakis.gr/project/project-bioclimate-design/>

Ν. 4759/2020 (ΦΕΚ 245/Α` 9.12.2020). *ΕΛΙΝΥΑΕ*. (2020). Ανακτήθηκε 12 Ιουλίου 2026 από <https://www.elinyae.gr/ethniki-nomothesia/n-47592020-fek-245a-9122020>

Οδηγία (ΕΕ) 2024/1275 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, *ΕΡ COUNCIL* (2024). Ανακτήθηκε 14 Ιουλίου 2026 από <http://data.europa.eu/eli/dir/2024/1275/oj/ell>

Οργανισμός σχολικών κτιρίων "Ο. Σ. Κ. Α. Ε. " ΟΜΕΔ (2008). Ανακτήθηκε 14 Ιουλίου 2026 από <https://www.omed.gr/el/content/%CE%BF%CF%81%CE%B3%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%BF%CF%83-%CF%83%CF%87%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CF%89%CE%BD-%CE%BA%CF%84%CE%B9%CF%81%CE%B9%CF%89%CE%BD-%CE%BF%CF%83%CE%BA-%CE%B1%CE%B5-2008>

Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-6/2022 (2022). Ανακτήθηκε 21 Ιουλίου 2026 από web.tee.gr

Χριστοδουλάκης, Π.-Τ., & Christodoulakis, P.-T. (2022). *Βιοκλιματικός σχεδιασμός του σχολικού περιβάλλοντος μέσα από τις απόψεις μαθητών: Προσεγγίσεις στο πλαίσιο των επιστημών αγωγής* [Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Σχολή Ανθρωπιστικών Επιστημών, Τμήμα Επιστημών της Προσχολικής Αγωγής και του Εκπαιδευτικού Σχεδιασμού]. <https://doi.org/10.12681/eadd/50940>

Akbari, H., Pomerantz, M., & Taha, H. (2001). Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy*, 70(3), 295–310. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00089-X](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00089-X)

Allard, F., Santamouris, M., Alvarez, S., & Europäische Gemeinschaften (2002). *Natural ventilation in buildings: A design handbook* (Reprint). James & James.

- Allen, J. G., MacNaughton, P., Satish, U., Santanam, S., Vallarino, J., & Spengler, J. D. (2016). Associations of cognitive function scores with carbon dioxide, ventilation, and volatile organic compound exposures in office workers: A controlled exposure study of green and conventional office environments. *Environmental Health Perspectives*, 124(6), 805–812. <https://doi.org/10.1289/ehp.1510037>
- Asan, H. (2006). Numerical computation of time lags and decrement factors for different building materials. *Building and Environment*, 41(5), 615–620. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.02.020>
- Ascione, F., Bianco, N., De Masi, R. F., De' Rossi, F., & Vanoli, G. P. (2014). Energy refurbishment of existing buildings through the use of phase change materials: Energy savings and indoor comfort in the cooling season. *Applied Energy*, 113, 990–1007. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.08.045>
- Asdrubali, F., Baldinelli, G., & Bianchi, F. (2012). A quantitative methodology to evaluate thermal bridges in buildings. *Applied Energy*, 97, 365–373. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.12.054>
- Asdrubali, F., Baldinelli, G., Bianchi, F., & Sambuco, S. (2015). A comparison between environmental sustainability rating systems LEED and ITACA for residential buildings. *Building and Environment*, 86, 98–108. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.01.001>
- ASHRAE. (2021). Ανακτήθηκε 10 Ιουνίου 2026 από <https://link.gale.com/apps/doc/A689992162/AONE?u=anon~f5f60740&sid=googleScholar&xid=97278520>
- Asimakopoulos, D. N., Santamouris, M., & ebrary, Inc (2001). *Energy and climate in the urban built environment*. James & James.
- Attia, S. (2018). *Regenerative and positive impact architecture*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-66718-8>
- Awbi, H. B. (2003). *Ventilation of buildings* (2nd edition). E. & F.N. Spon.

Baker, N., & Steemers, K. (2000). *Energy and environment in architecture: A technical design guide* (1. publ). E & FN Spon.

Baker, N., & Steemers, K. (2014). *Daylight design of buildings: A handbook for architects and engineers*. Taylor and Francis.

Balali, A., Yunusa-Kaltungo, A., & Edwards, R. (2022). A systematic literature review of passive energy consumption optimisation strategies in buildings and their selection criteria. *Volume 6: Energy*, V006T08A061. <https://doi.org/10.1115/IMECE2022-93887>

Balali, A., Yunusa-Kaltungo, A., & Edwards, R. (2023). A systematic review of passive energy consumption optimisation strategy selection for buildings through multiple criteria decision-making techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 171, 113013. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.113013>

Baloch, R., Nichole Maesano, C., Christoffersen, J., Mandin, C., Csobod, E., De Oliveira Fernandes, E., Annesi-Maesano, I., & on behalf of the SINPHONIE Consortium. (2020). Daylight and school performance in european schoolchildren. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(1), 258. <https://doi.org/10.3390/ijerph18010258>

Barrett, P., Davies, F., Zhang, Y., & Barrett, L. (2015). The impact of classroom design on pupils' learning: Final results of a holistic, multi-level analysis. *Building and Environment*, 89, 118–133. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.013>

Barrett, P., Zhang, Y., Moffat, J., & Kobbacy, K. (2013). A holistic, multi-level analysis identifying the impact of classroom design on pupils' learning. *Building and Environment*, 59, 678–689. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.09.016>

Beatley, T. (2011). *Biophilic cities: Integrating nature into urban design and planning*. Island Press.

Beatley, T. (2016). *Handbook of biophilic city planning and design*. Island Press/Center for Resource Economics. <https://doi.org/10.5822/978-1-61091-621-9>

- Bluyssen, P. M. (2010). Towards new methods and ways to create healthy and comfortable buildings. *Building and Environment*, 45(4), 808–818. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.08.020>
- Bluyssen, P. M. (2013). *The healthy indoor environment*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315887296>
- Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., & Pullin, A. S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, 97(3), 147–155. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006>
- Boyce, P. R. (2014). *Human factors in lighting* (3rd edition). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203426340>
- Brown, R. D., & Gillespie, T. J. (1995). *Microclimatic landscape design: Creating thermal comfort and energy efficiency*. Wiley.
- Cabeza, L. F., Barreneche, C., Miró, L., Morera, J. M., Bartolí, E., & Inés Fernández, A. (2013). Low carbon and low embodied energy materials in buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 536–542. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.017>
- Cabeza, L. F., & De Gracia, A. (2015). Thermal energy storage (Tes) systems for cooling in residential buildings. Στο *Advances in Thermal Energy Storage Systems* (σελ. 549–572). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9781782420965.4.549>
- Clements-Croome, D. (2013). *Intelligent Buildings*, 2nd edition. Thomas Telford Ltd. <https://doi.org/10.1680/ib.57340>
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2018). *Research methods in education* (eighth edition). Routledge.
- Cole, R. J. (1999). Building environmental assessment methods: Clarifying intentions. *Building Research & Information*, 27(4–5), 230–246. <https://doi.org/10.1080/096132199369354>

- Cole, R. J. (2012). Transitioning from green to regenerative design. *Building Research & Information*, 40(1), 39–53. <https://doi.org/10.1080/09613218.2011.610608>
- Costanzo, V., Evola, G., & Marletta, L. (2017). A review of daylighting strategies in schools: State of the art and expected future trends. *Buildings*, 7(2), 41. <https://doi.org/10.3390/buildings7020041>
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (Fifth edition). SAGE.
- Crichton, D. (with Nicol, F., & Roaf, S.) (2009). *Adapting buildings and cities for climate change* (2nd ed). Taylor & Francis Group.
- Daisey, J. M., Angell, W. J., & Apte, M. G. (2003). Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: An analysis of existing information. *Indoor Air*, 13(1), 53–64. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0668.2003.00153.x>
- de Dear, R., & Brager, G. (1998). *Developing an adaptive model of thermal comfort and preference*. UC Berkeley. <https://escholarship.org/uc/item/4qq2p9c6>
- de Dear, R. J., & Brager, G. S. (2002). Thermal comfort in naturally ventilated buildings: Revisions to ASHRAE Standard 55. *Energy and Buildings*, 34(6), 549–561. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00005-1](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00005-1)
- DeKay, M., Brown, G. Z., & DeKay, M. (2014). *Sun, wind & light: Architectural design strategies* (3rd edition). Wiley.
- Díaz-López, C., Serrano-Jiménez, A., Verichev, K., & Barrios-Padura, Á. (2022). Passive cooling strategies to optimise sustainability and environmental ergonomics in Mediterranean schools based on a critical review. *Building and Environment*, 221, 109297. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109297>
- Ding, G. K. C. (2008). Sustainable construction—The role of environmental assessment tools. *Journal of Environmental Management*, 86(3), 451–464. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.12.025>

- Dixit, M. K., Fernández-Solís, J. L., Lavy, S., & Culp, C. H. (2010). Identification of parameters for embodied energy measurement: A literature review. *Energy and Buildings*, 42(8), 1238–1247. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.02.016>
- Douglas, J. (2006). *Building adaptation* (2nd edition). Butterworth-Heinemann.
- Dudek, M. (2006). *Architecture of schools: The new learning environments* (1. publ., reprinted). Architectural Press.
- Dudek, M. (2015). *Schools and kindergartens: A design manual* (Second and revised edition). Birkhäuser.
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (with Blair, N.). (2020). *Solar engineering of thermal processes, photovoltaics and wind* (Fifth edition). Wiley.
- Dyment, J. E., & Bell, A. C. (2007). Grounds for movement: Green school grounds as sites for promoting physical activity. *Health Education Research*, 23(6), 952–962. <https://doi.org/10.1093/her/cym059>
- Earthman, G. (2004). *Prioritization of 31 criteria for school building adequacy*. Ανακτήθηκε 19 Μαΐου από American Civil Liberties Union Foundation of Maryland.
- Edwards, B. (2014). *Rough guide to sustainability: A design primer* (4th edition). RIBA Publishing.
- Edwards, L., & Torcellini, P. (2002). *Literature review of the effects of natural light on building occupants* (NREL/TP-550-30769, 15000841; σελ. NREL/TP-550-30769, 15000841). <https://doi.org/10.2172/15000841>
- Elaouzy, Y., & El Fadar, A. (2023). Sustainability of building-integrated bioclimatic design strategies depending on energy affordability. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 179, 113295. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113295>
- Emmanuel, M. R. (2005). *An urban approach to climate sensitive design: Strategies for the tropics*. Spon Press.

- Etheridge, D. W. (2012). *Natural ventilation of buildings: Theory, measurement and design* (Online-Ausg). Wiley.
- Fanger, P. O. (1970). *Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering*. Danish Technical Pr.
- Feria, M., & Amado, M. (2019). Architectural design: Sustainability in the decision-making process. *Buildings*, 9(5), 135. <https://doi.org/10.3390/buildings9050135>
- Flyvbjerg, B. (2004). Five misunderstandings about case-study research. *Sociologisk tidsskrift*, 12(2), 117–142. <https://doi.org/10.18261/ISSN1504-2928-2004-02-02>
- Gehl, J. (2011). *Life between buildings: Using public space*. Island Press.
- Gil-Baez, M., Padura, Á. B., & Huelva, M. M. (2019). Passive actions in the building envelope to enhance sustainability of schools in a Mediterranean climate. *Energy*, 167, 144–158. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.10.094>
- Givoni, B. (1992). Comfort, climate analysis and building design guidelines. *Energy and Buildings*, 18(1), 11–23. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(92\)90047-K](https://doi.org/10.1016/0378-7788(92)90047-K)
- Givoni, B. (1998). *Climate considerations in building and urban design*. Van Nostrand Reinhold.
- Gonçalves, A., Castro Ribeiro, A., Maia, F., Nunes, L., & Feliciano, M. (2019). Influence of green spaces on outdoors thermal comfort—Structured experiment in a mediterranean climate. *Climate*, 7(2), 20. <https://doi.org/10.3390/cli7020020>
- Guy, S., & Farmer, G. (2001). Reinterpreting sustainable architecture: The place of technology. *Journal of Architectural Education*, 54(3), 140–148. <https://doi.org/10.1162/10464880152632451>
- Heerwagen, J. (2000). Green buildings, organizational success and occupant productivity. *Building Research & Information*, 28(5–6), 353–367. <https://doi.org/10.1080/096132100418500>

- Heschong, L., Wright, R. L., & Okura, S. (2002). Daylighting impacts on human performance in school. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 31(2), 101–114. <https://doi.org/10.1080/00994480.2002.10748396>
- Hough, M. (1995). *Cities and natural process* (2. edition). Routledge.
- Howell, R. H., Amende, K. L., Keen, J., Catlin, L. E., Tosh, M., & Sneed, A. M. (2021). *Principles of heating, ventilating, and air conditioning: A textbook with design data based on the 2021 ASHRAE handbook--Fundamentals* (Ninth edition.). ASHRAE.
- ISO - ISO 14000 family—Environmental management. (2026). Ανακτήθηκε 16 Ιουλίου 2026 από <https://www.iso.org/standards/popular/iso-14000-family>
- Jakubiec, J., & Reinhart, C. (2012). The ‘adaptive zone’ – A concept for assessing discomfort glare throughout daylit spaces. *Lighting Research & Technology*, 44(2), 149–170. <https://doi.org/10.1177/1477153511420097>
- Kellert, S. R. (2018). *Nature by design: The practice of biophilic design*. Yale University Press.
- Kellert, S. R., Heerwagen, J. H., & Mador, M. L. (2008). *Biophilic design: The theory, science, and practice of bringing buildings to life*. Wiley.
- Kibert, C. J. (2022). *Sustainable construction: Green building design and delivery* (Fifth edition). Wiley.
- Klemm, W., Heusinkveld, B. G., Lenzholzer, S., & Van Hove, B. (2015). Street greenery and its physical and psychological impact on thermal comfort. *Landscape and Urban Planning*, 138, 87–98. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.02.009>
- Koenigsberger, O. H. (1974). *Manual of tropical housing and building*. Longman.
- Kokatnur, T., Ferreira, S., Akkoç, B. K., Markarian, E., Nojedehe, P., Qiblawi, S., Sewraj, K., Gunay, B., O’Brien, W., Papineau, M., Schweiker, M., Harputlugil, G. U., & Azar, E. (2025). A review of passive design strategies and their effect on thermal resilience in low-

income households. *Energy and Buildings*, 348,

116508. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.116508>

Kolaitis, D. I., Malliotakis, E., Kontogeorgos, D. A., Mandilaras, I., Katsourinis, D. I., & Founti, M. A. (2013). Comparative assessment of internal and external thermal insulation systems for energy efficient retrofitting of residential buildings. *Energy and Buildings*, 64, 123–131. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.04.004>

Kolokotroni, M., & Aronis, A. (1999). Cooling-energy reduction in air-conditioned offices by using night ventilation. *Applied Energy*, 63(4), 241–253. [https://doi.org/10.1016/S0306-2619\(99\)00031-8](https://doi.org/10.1016/S0306-2619(99)00031-8)

Kolokotsa, D., & Santamouris, M. (2016). *Urban climate mitigation techniques*. Routledge.

Korance, F. (2021). Sustainability of the build environment and its impact on user performance. Case study Polis University. *VITRUVIO - International Journal of Architectural Technology and Sustainability*, 6(1), 56. <https://doi.org/10.4995/vitruvio-ijats.2021.15009>

Kwok, A. G., & Grondzik, W. T. (2007). The green studio handbook: Environmental strategies for schematic design. *Enquiry The ARCC Journal for Architectural Research*, 4(2). <https://doi.org/10.17831/enq:arcc.v4i2.47>

Langston, C., Wong, F. K. W., Hui, E. C. M., & Shen, L.-Y. (2008). Strategic assessment of building adaptive reuse opportunities in Hong Kong. *Building and Environment*, 43(10), 1709–1718. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.10.017>

Leaman, A., & Bordass, B. (2001). Assessing building performance in use 4: The Probe occupant surveys and their implications. *Building Research & Information*, 29(2), 129–143. <https://doi.org/10.1080/09613210010008045>

Lechner, N., & Andrasik, P. (2022). *Heating, cooling, lighting: Sustainable design strategies towards net zero architecture* (Fifth edition). Wiley.

- Li, J., Liang, C., & Zhou, W. (2024). A review of building physical shapes on heating and cooling energy consumption. *Energies*, 17(22), 5766. <https://doi.org/10.3390/en17225766>
- Malone, K., & Tranter, P. (2003). “Children’s environmental learning and the use, design and management of schoolgrounds. *Children, Youth and Environments*, 13(2), 87–137. <https://doi.org/10.1353/cye.2003.0040>
- Mba, E. J., Okeke, F. O., Igwe, A. E., Ozigbo, C. A., Oforji, P. I., & Ozigbo, I. W. (2024). Evolving trends and challenges in sustainable architectural design; a practice perspective. *Heliyon*, 10(20), e39400. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39400>
- Mendell, M. J., & Heath, G. A. (2005). Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature. *Indoor Air*, 15(1), 27–52. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00320.x>
- Meresi, Aik. (2016). Evaluating daylight performance of light shelves combined with external blinds in south-facing classrooms in Athens, Greece. *Energy and Buildings*, 116, 190–205. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.01.009>
- Neufert, E., & Neufert, P. (2012). *Architects’ data* (4th edition). Wiley-Blackwell.
- Nicol, J. F., & Humphreys, M. A. (2002). Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy and Buildings*, 34(6), 563–572. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00006-3](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00006-3)
- OECD. (2011). *Designing for education: Compendium of exemplary educational facilities 2011*. OECD. <https://doi.org/10.1787/9789264112308-en>
- Oke, T. R. (2002). *Boundary layer climates*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203407219>
- Olgyay, V. (2015). *Design with climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism*. Princeton University Press. <https://doi.org/10.1515/9781400873685>
- Olivieri, F., Di Perna, C., D’Orazio, M., Olivieri, L., & Neila, J. (2013). Experimental measurements and numerical model for the summer performance assessment of extensive

green roofs in a Mediterranean coastal climate. *Energy and Buildings*, 63, 1–

14. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.03.054>

Ozel, M. (2014). Effect of insulation location on dynamic heat-transfer characteristics of building external walls and optimization of insulation thickness. *Energy and Buildings*, 72, 288–295. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.015>

Palmero-Marrero, A. I., & Oliveira, A. C. (2010). Effect of louver shading devices on building energy requirements. *Applied Energy*, 87(6), 2040–2049. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.11.020>

Passive house. (2026). Ανακτήθηκε 22 Ιουνίου 2026 από Wikipedia. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Passive_house&oldid=1360747468

Pelsmakers, S. (2015). *The environmental design pocketbook* (Second edition). RIBA Publishing.

Pomponi, F., & Moncaster, A. (2016). Embodied carbon mitigation and reduction in the built environment – What does the evidence say? *Journal of Environmental Management*, 181, 687–700. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.08.036>

Preiser, W., & Vischer, J. (2006). *Assessing building performance*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780080455228>

Publishing, O. (Επιμ.). (2011). *Designing for education: Compendium of exemplary educational facilities 2011* (1. Aufl). OECD.

Ragheb, A., El-Shimy, H., & Ragheb, G. (2016). Green architecture: A concept of sustainability. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 216, 778–787. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.12.075>

Reinhart, C., & Reinhart, C. (2020). *Fundamentals designing with the sun* (Second edition). Building Technology Press.

Sadrizadeh, S., Yao, R., Yuan, F., Awbi, H., Bahnfleth, W., Bi, Y., Cao, G., Croitoru, C., De Dear, R., Haghighat, F., Kumar, P., Malayeri, M., Nasiri, F., Ruud, M., Sadeghian, P.,

- Wargocki, P., Xiong, J., Yu, W., & Li, B. (2022). Indoor air quality and health in schools: A critical review for developing the roadmap for the future school environment. *Journal of Building Engineering*, 57, 104908. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104908>
- Santamouris, M. (2013). *Energy and climate in the urban built environment*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315073774>
- Santamouris, M. (2014). Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy*, 103, 682–703. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.07.003>
- Santamouris, M. (2015). Analyzing the heat island magnitude and characteristics in one hundred Asian and Australian cities and regions. *Science of The Total Environment*, 512–513, 582–598. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.060>
- Santamouris, M., Ding, L., Fiorito, F., Oldfield, P., Osmond, P., Paolini, R., Prasad, D., & Synnefa, A. (2016). Passive and active cooling for the outdoor built environment – Analysis and assessment of the cooling potential of mitigation technologies using performance data from 220 large scale projects. *Solar Energy*, 154, 14–33. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.12.006>
- Santamouris, M., & Kolokotsa, D. (2013). Passive cooling dissipation techniques for buildings and other structures: The state of the art. *Energy and Buildings*, 57, 74–94. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.11.002>
- Santamouris, M., Mihalakakou, G., Argiriou, A., & Asimakopoulos, D. (1996). On the efficiency of night ventilation techniques for thermostatically controlled buildings. *Solar Energy*, 56(6), 479–483. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(95\)00119-C](https://doi.org/10.1016/0038-092X(95)00119-C)
- Sartori, I., Napolitano, A., & Voss, K. (2012). Net zero energy buildings: A consistent definition framework. *Energy and Buildings*, 48, 220–232. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.01.032>
- Satish, U., Mendell, M. J., Shekhar, K., Hotchi, T., Sullivan, D., Streufert, S., & Fisk, W. J. (2012). Is CO₂ an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO₂

concentrations on human decision-making performance. *Environmental Health Perspectives*, 120(12), 1671–1677. <https://doi.org/10.1289/ehp.1104789>

Spentzou, E., Cook, M. J., & Emmitt, S. (2022). Low-energy cooling and ventilation refurbishments for buildings in a Mediterranean climate. *Architectural Engineering and Design Management*, 18(4), 473–494. <https://doi.org/10.1080/17452007.2021.1926898>

Sustainable architecture. (2026). Ανακτήθηκε 01 Ιουλίου 2026 από Wikipedia. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Sustainable_architecture&oldid=1352924503

Synnefa, A., Santamouris, M., & Akbari, H. (2007). Estimating the effect of using cool coatings on energy loads and thermal comfort in residential buildings in various climatic conditions. *Energy and Buildings*, 39(11), 1167–1174. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.01.004>

Szokolay, S. V. (2014). *Introduction to architectural science: The basis of sustainable design* (3rd edition). Taylor & Francis Group.

Tanner, C. K. (2009). Effects of school design on student outcomes. *Journal of Educational Administration*, 47(3), 381–399. <https://doi.org/10.1108/09578230910955809>

Theodosiou, T. G., & Papadopoulos, A. M. (2008). The impact of thermal bridges on the energy demand of buildings with double brick wall constructions. *Energy and Buildings*, 40(11), 2083–2089. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.06.006>

Tregenza, P. (with Wilson, M.) (2011). *Daylighting: Architecture and lighting design*. Routledge.

Tzempelikos, A., & Athienitis, A. K. (2007). The impact of shading design and control on building cooling and lighting demand. *Solar Energy*, 81(3), 369–382. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2006.06.015>

UCD Energy Institute, University College Dublin, Dublin, Ireland, Mathew, D., School of Architecture Planning and Environmental Policy, University College Dublin, Dublin, Ireland, O’Hegarty, R., UCD Energy Institute, University College Dublin, Dublin, Ireland,

School of Architecture Planning and Environmental Policy, University College Dublin, Dublin, Ireland, Kinnane, O., UCD Energy Institute, University College Dublin, Dublin, Ireland, & School of Architecture Planning and Environmental Policy, University College Dublin, Dublin, Ireland. (2024). Historic windows with passive heat loss reduction strategies and their effect on indoor thermal comfort. *Comfort at The Extremes 2023: The Book Of Proceedings*. Comfort at The Extremes

2023. <https://doi.org/10.62744/CATE.45273.1146-514-522>

Wang, X., Sun, X., & Yu, C. W. F. (2018). Building envelope with variable thermal performance: Opportunities and challenges. *Indoor and Built Environment*, 27(6), 729–733. <https://doi.org/10.1177/1420326X18773928>

Wargocki, P., & Wyon, D. P. (2007). The effects of moderately raised classroom temperatures and classroom ventilation rate on the performance of schoolwork by children (RP-1257). *HVAC&R Research*, 13(2), 193–

220. <https://doi.org/10.1080/10789669.2007.10390951>

Wargocki, P., & Wyon, D. P. (2013). Providing better thermal and air quality conditions in school classrooms would be cost-effective. *Building and Environment*, 59, 581–589. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.10.007>

Wargocki, P., & Wyon, D. P. (2017). Ten questions concerning thermal and indoor air quality effects on the performance of office work and schoolwork. *Building and Environment*, 112, 359–366. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.020>

Woolner, P., Hall, E., Higgins, S., McCaughey, C., & Wall, K. (2007). A sound foundation? What we know about the impact of environments on learning and the implications for Building Schools for the Future. *Oxford Review of Education*, 33(1), 47–70. <https://doi.org/10.1080/03054980601094693>

Yannas, S. (1994). *Solar energy and housing design. 2: Examples*. Architectural Association.

Yeang, K. (2008). *Ecodesign: A manual for ecological design* (1. publ. in paperback). Wiley.

Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (Sixth edition). SAGE.

Zero-energy building. (2026). Ανακτήθηκε 17 Ιουνίου 2026 από Wikipedia. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Zero-energy_building&oldid=1352406248

Zhang, Y., & Barrett, P. (2010). Findings from a post-occupancy evaluation in the UK primary schools sector. *Facilities*, 28(13/14), 641–656. <https://doi.org/10.1108/02632771011083685>

Zomorodian, Z. S., Tahsildoost, M., & Hafezi, M. (2016). Thermal comfort in educational buildings: A review article. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 895–906. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.033>

Zuo, J., & Zhao, Z.-Y. (2014). Green building research—current status and future agenda: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 271–281. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.10.021>

Παραρτήματα

Παράρτημα Α: Ερωτηματολόγιο αξιολόγησης σχολικού περιβάλλοντος από εκπαιδευτικούς

Σκοπός: Το παρόν ερευνητικό εργαλείο αναπτύχθηκε για την υποστήριξη της προτεινόμενης μεθοδολογίας αξιολόγησης και βιοκλιματικού ανασχεδιασμού υφιστάμενων σχολικών μονάδων. Απευθύνεται αποκλειστικά σε εκπαιδευτικούς και αποσκοπεί στη συστηματική συλλογή ποιοτικών δεδομένων σχετικά με τη λειτουργικότητα, τη θερμική άνεση, τον φυσικό φωτισμό, τον φυσικό αερισμό, την ακουστική, την ασφάλεια και τη συνολική ποιότητα του σχολικού περιβάλλοντος.

Οδηγίες συμπλήρωσης:

- Το ερωτηματολόγιο συμπληρώνεται ανώνυμα.
- Οι απαντήσεις χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για ερευνητικούς σκοπούς.
- Χρησιμοποιείται πενταβάθμια κλίμακα:

1=Καθόλου | 2=Λίγο | 3=Μέτρια | 4=Αρκετά | 5=Πάρα πολύ.

Δημογραφικά Κείμενα:

Φύλο	☐ Άνδρας ☐ Γυναίκα ☐ Δεν επιθυμώ να απαντήσω
Ηλικία	☐ 25–34 ☐ 35–44 ☐ 45–54 ☐ 55+
Χρόνια υπηρεσίας	☐ 0–5 ☐ 6–10 ☐ 11–20 ☐ 20+
Χρόνια στο σχολείο	☐ 0–2 ☐ 3–5 ☐ 6–10 ☐ 10+
Ειδικότητα	_____

Θερμική Άνεση:

Ερώτηση	1	2	3	4	5	Σχόλια
1. Η θερμοκρασία των αιθουσών είναι ικανοποιητική κατά τον χειμώνα.	☐	☐	☐	☐	☐	
2. Παρατηρείται υπερθέρμανση κατά τους θερινούς μήνες.	☐	☐	☐	☐	☐	
3. Η θερμική άνεση επηρεάζει την εκπαιδευτική διαδικασία.	☐	☐	☐	☐	☐	
4. Η θερμική προστασία του κελύφους είναι επαρκής.	☐	☐	☐	☐	☐	
5. Οι χώροι διατηρούν σταθερές θερμικές συνθήκες.	☐	☐	☐	☐	☐	

Φυσικός Φωτισμός:

Ερώτηση	1	2	3	4	5	Σχόλια
6. Ο φυσικός φωτισμός είναι επαρκής.	☐	☐	☐	☐	☐	
7. Παρατηρούνται φαινόμενα θάμβωσης.	☐	☐	☐	☐	☐	
8. Η σκίαση λειτουργεί αποτελεσματικά.	☐	☐	☐	☐	☐	
9. Ο φυσικός φωτισμός διευκολύνει τη διδασκαλία.	☐	☐	☐	☐	☐	
10. Η ανάγκη τεχνητού φωτισμού είναι περιορισμένη.	☐	☐	☐	☐	☐	

Φυσικός Αερισμός και Ποιότητα Αέρα:

Ερώτηση	1	2	3	4	5	Σχόλια
11. Ο φυσικός αερισμός είναι επαρκής.	☐	☐	☐	☐	☐	
12. Η ποιότητα του αέρα είναι ικανοποιητική.	☐	☐	☐	☐	☐	
13. Ο αερισμός πραγματοποιείται εύκολα κατά το μάθημα.	☐	☐	☐	☐	☐	
14. Παρατηρούνται προβλήματα αποπνικτικής ατμόσφαιρας.	☐	☐	☐	☐	☐	
15. Η ποιότητα του αέρα επηρεάζει τη συγκέντρωση.	☐	☐	☐	☐	☐	

Ακουστική Άνεση:

Ερώτηση	1	2	3	4	5	Σχόλια
16. Οι εξωτερικοί θόρυβοι επηρεάζουν το μάθημα.	☐	☐	☐	☐	☐	
17. Η ηχομόνωση είναι ικανοποιητική.	☐	☐	☐	☐	☐	
18. Η κατανόηση της ομιλίας είναι εύκολη.	☐	☐	☐	☐	☐	
19. Η συνολική ακουστική των αιθουσών είναι επαρκής.	☐	☐	☐	☐	☐	
20. Οι θόρυβοι επηρεάζουν τη μαθησιακή διαδικασία.	☐	☐	☐	☐	☐	

Λειτουργικότητα και Ασφάλεια:

Ερώτηση	1	2	3	4	5	Σχόλια
21. Οι αίθουσες καλύπτουν τις ανάγκες διδασκαλίας.	☐	☐	☐	☐	☐	
22. Η κυκλοφορία στους χώρους είναι λειτουργική.	☐	☐	☐	☐	☐	
23. Η προσβασιμότητα είναι ικανοποιητική.	☐	☐	☐	☐	☐	
24. Οι κοινόχρηστοι χώροι εξυπηρετούν αποτελεσματικά.	☐	☐	☐	☐	☐	
25. Το σχολείο παρέχει αίσθημα ασφάλειας.	☐	☐	☐	☐	☐	

Περιβάλλοντας χώρος:

Ερώτηση	1	2	3	4	5	Σχόλια
26. Η βλάστηση είναι επαρκής.	☐	☐	☐	☐	☐	
27. Υπάρχουν επαρκείς σκιασμένοι χώροι.	☐	☐	☐	☐	☐	
28. Η αυλή υποστηρίζει τις εκπαιδευτικές δραστηριότητες.	☐	☐	☐	☐	☐	
29. Ο περιβάλλον χώρος είναι ασφαλής.	☐	☐	☐	☐	☐	
30. Η συνολική ποιότητα του υπαίθριου χώρου είναι υψηλή.	☐	☐	☐	☐	☐	

Ανοικτές Ερωτήσεις:

Ποιο θεωρείται σημαντικότερο πρόβλημα της σχολικής μονάδας;

Ποια παρέμβαση θα έπρεπε να υλοποιηθεί κατά προτεραιότητα;

Ποιες επιπλέον παρατηρήσεις θεωρείται σημαντικές;

Παράρτημα Β: Δελτίο αρχιτεκτονικής και περιβαλλοντικής αυτοψίας σχολικής μονάδας

Σκοπός: Το παρόν δελτίο αυτοψίας αποτελεί ερευνητικό εργαλείο της προτεινόμενης μεθοδολογίας αξιολόγησης και βιοκλιματικού ανασχεδιασμού υφιστάμενων σχολικών μονάδων. Στόχος του είναι η τυποποιημένη καταγραφή των αρχιτεκτονικών, λειτουργικών και περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών του εξεταζόμενου κτιρίου, ώστε τα δεδομένα να είναι συγκρίσιμα και να υποστηρίζουν τη λήψη τεκμηριωμένων σχεδιαστικών αποφάσεων.

Γενικά στοιχεία αυτοψίας:

Σχολική μονάδα	
Διεύθυνση	
Ημερομηνία αυτοψίας	
Αξιολογητής	
Καιρικές συνθήκες	
Ωρα	
Αριθμός ορόφων	
Παρατηρήσεις	

Χωροθέτηση και Περιβάλλοντας Χώρος:

Κριτήριο	Καλή	Μέτρια	Χρήζει παρέμβασης	Παρατηρήσεις
Προσανατολισμός κτιρίου	☐	☐	☐	
Βλάστηση	☐	☐	☐	
Σκίαση υπαίθριων χώρων	☐	☐	☐	
Προσβασιμότητα	☐	☐	☐	
Ασφάλεια αυλής	☐	☐	☐	

Κτιριακό κέλυφος:

Κριτήριο	Καλή	Μέτρια	Χρήζει παρέμβασης	Παρατηρήσεις
Κατάσταση εξωτερικών τοιχοποιιών	☐	☐	☐	
Θερμομόνωση	☐	☐	☐	
Κουφώματα	☐	☐	☐	
Συστήματα σκίασης	☐	☐	☐	
Δώμα / στέγη	☐	☐	☐	

Ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος:

Κριτήριο	Καλή	Μέτρια	Χρήζει παρέμβασης	Παρατηρήσεις
Θερμική άνεση	☐	☐	☐	
Φυσικός φωτισμός	☐	☐	☐	
Φυσικός αερισμός	☐	☐	☐	
Ποιότητα εσωτερικού αέρα (IAQ)	☐	☐	☐	
Ακουστική άνεση	☐	☐	☐	

Λειτουργική Αξιολόγηση:

Κριτήριο	Καλή	Μέτρια	Χρήζει παρέμβασης	Παρατηρήσεις
Αίθουσες διδασκαλίας	☐	☐	☐	
Κοινόχρηστοι χώροι	☐	☐	☐	
Χώροι υγιεινής	☐	☐	☐	
Κυκλοφορία	☐	☐	☐	
Προσβασιμότητα ΑμεΑ	☐	☐	☐	

Βιοκλιματικές Δυνατότητες:

Κριτήριο	Καλή	Μέτρια	Χρήζει παρέμβασης	Παρατηρήσεις
Δυνατότητα φυσικού δροσισμού	☐	☐	☐	
Δυνατότητα πρόσθετης φύτευσης	☐	☐	☐	
Δυνατότητα εξωτερικής σκίασης	☐	☐	☐	
Δυνατότητα ενεργειακής αναβάθμισης	☐	☐	☐	
Καταλληλότητα για ΑΠΕ	☐	☐	☐	

Συνοπτική Αξιολόγηση:

Κύρια προβλήματα που εντοπίστηκαν:

Προτεινόμενες προτεραιότητες βιοκλιματικού ανασχεδιασμού:

Το δελτίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιαδήποτε υφιστάμενη σχολική μονάδα ως τυποποιημένο εργαλείο αυτοψίας. Τα αποτελέσματά του συνδυάζονται με την αξιολόγηση των εκπαιδευτικών (Παράρτημα Α) και υποστηρίζουν την επιλογή και ιεράρχηση των βιοκλιματικών παρεμβάσεων.

Παράρτημα Γ: Οδηγός εφαρμογής της προτεινόμενης μεθοδολογίας αξιολόγησης και βιοκλιματικού ανασχεδιασμού υφιστάμενων σχολικών μονάδων

Σκοπός: Ο παρών οδηγός αποτυπώνει τη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πλαίσιο εφαρμογής για την αξιολόγηση και τον βιοκλιματικό ανασχεδιασμό υφιστάμενων σχολικών μονάδων. Η διαδικασία είναι επαναλήψιμη και προσαρμόζεται στις ιδιαιτερότητες κάθε σχολικού συγκροτήματος.

Προκαταρκτική συλλογή δεδομένων: Συγκέντρωση αρχιτεκτονικών σχεδίων, στοιχείων κατασκευής, ενεργειακών δεδομένων, κλιματικών χαρακτηριστικών και πληροφοριών για τη λειτουργία της σχολικής μονάδας.

Επιτόπια αυτοψία: Χρήση του Δελτίου Αυτοψίας (Παράρτημα Β) για την τυποποιημένη καταγραφή της υφιστάμενης κατάστασης του κελύφους, των χώρων και του περιβάλλοντος χώρου.

Συλλογή ποιοτικών δεδομένων: Συμπλήρωση του ερευνητικού εργαλείου από τους εκπαιδευτικούς (Παράρτημα Α), ώστε να αποτυπωθεί η εμπειρία των καθημερινών χρηστών του κτιρίου.

Σύνθεση δεδομένων: Συσχέτιση των αποτελεσμάτων της αυτοψίας, της βιβλιογραφίας και των ποιοτικών δεδομένων για τον εντοπισμό κρίσιμων προβλημάτων.

Ιεράρχηση προβλημάτων: Κατάταξη των ζητημάτων σύμφωνα με την επίδρασή τους στη θερμική άνεση, τον φυσικό φωτισμό, την ποιότητα του αέρα, την ακουστική, τη λειτουργικότητα και την ενεργειακή συμπεριφορά.

Ανάπτυξη βιοκλιματικών παρεμβάσεων: Διαμόρφωση τεκμηριωμένων προτάσεων για το κέλυφος, τα ανοίγματα, τη σκίαση, τον φυσικό αερισμό, τα δώματα και τον περιβάλλοντα χώρο.

Συγκριτική αξιολόγηση: Σύγκριση υφιστάμενης και προτεινόμενης κατάστασης μέσω ποιοτικών και λειτουργικών δεικτών.

Τεκμηρίωση: Παρουσίαση των αποτελεσμάτων με πίνακες, διαγράμματα και τεκμηριωμένη αιτιολόγηση των σχεδιαστικών αποφάσεων.

Βασικές αρχές εφαρμογής:

Αρχή	Περιγραφή	Εφαρμογή
Τεκμηρίωση	Κάθε παρέμβαση βασίζεται σε δεδομένα.	Αυτοψία, βιβλιογραφία, εκπαιδευτικοί
Προσαρμοστικότητα	Δεν εφαρμόζονται ίδιες λύσεις σε όλα τα σχολεία.	Ανάλυση τοπικών συνθηκών
Ολιστική προσέγγιση	Συνδυασμός περιβαλλοντικών και λειτουργικών κριτηρίων.	ΙΕQ, ενέργεια, λειτουργία
Αξιολόγηση	Σύγκριση πριν και μετά.	Πίνακες και δείκτες

Αναμενόμενα παραδοτέα:

- Αξιολόγηση ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος
- Ιεράρχηση προβλημάτων
- Πρόταση βιοκλιματικού ανασχεδιασμού
- Συγκριτική αξιολόγηση
- Τεκμηριωμένα συμπεράσματα

Παράρτημα Δ: Πρωτόκολλο πολλαπλών κριτηρίων βιοκλιματικής αξιολόγησης υφιστάμενων σχολικών κτιρίων

Σκοπός: Το παρόν εργαλείο αναπτύχθηκε ως συνοδευτικό της προτεινόμενης μεθοδολογίας και χρησιμοποιείται για την ταχεία, τυποποιημένη και συγκρίσιμη αξιολόγηση υφιστάμενων σχολικών μονάδων. Η βαθμολόγηση δεν υποκαθιστά την αναλυτική μελέτη, αλλά υποστηρίζει την ιεράρχηση αναγκών και παρεμβάσεων.

Οδηγίες Χρήσης: Για κάθε κριτήριο αποδίδεται βαθμός από 1 έως 5 :

1. = πολύ ανεπαρκές
2. = ανεπαρκές
3. = ικανοποιητικό
4. = πολύ καλό
5. = άριστο

Κτιριακό κέλυφος:

Κριτήριο	1	2	3	4	5	Σχόλια	Προτεραιότητα
Θερμομόνωση εξωτερικών τοιχοποιιών	☐	☐	☐	☐	☐		Y / M / X
Κατάσταση κουφωμάτων	☐	☐	☐	☐	☐		Y / M / X
Συστήματα εξωτερικής σκίασης	☐	☐	☐	☐	☐		Y / M / X
Απόδοση δώματος/στέγης	☐	☐	☐	☐	☐		Y / M / X

Ποιότητα Εσωτερικού Περιβάλλοντος (IEQ):

Κριτήριο	1	2	3	4	5	Σχόλια	Προτεραιότητα
Θερμική άνεση	☐	☐	☐	☐	☐		Y / M / X
Φυσικός φωτισμός	☐	☐	☐	☐	☐		Y / M / X
Ποιότητα εσωτερικού αέρα (IAQ)	☐	☐	☐	☐	☐		Y / M / X
Ακουστική άνεση	☐	☐	☐	☐	☐		Y / M / X

Λειτουργικότητα:

Κριτήριο	1	2	3	4	5	Σχόλια	Προτεραιότητα
Διάταξη αιθουσών	☐	☐	☐	☐	☐		Y / M / X
Προσβασιμότητα	☐	☐	☐	☐	☐		Y / M / X
Κυκλοφορία χρηστών	☐	☐	☐	☐	☐		Y / M / X
Ασφάλεια	☐	☐	☐	☐	☐		Y / M / X

Περιβάλλοντας Χώρος:

Κριτήριο	1	2	3	4	5	Σχόλια	Προτεραιότητα
Βλάστηση	☐	☐	☐	☐	☐		Y / M / X
Σκιασμένοι υπαίθριοι χώροι	☐	☐	☐	☐	☐		Y / M / X
Ποιότητα αυλής	☐	☐	☐	☐	☐		Y / M / X
Διαχείριση ηλιακής ακτινοβολίας	☐	☐	☐	☐	☐		Y / M / X

Βιοκλιματικές δυνατότητες:

Κριτήριο	1	2	3	4	5	Σχόλια	Προτεραιότητα
Δυνατότητα φυσικού αερισμού	☐	☐	☐	☐	☐		Y / M / X
Δυνατότητα ενεργειακής αναβάθμισης	☐	☐	☐	☐	☐		Y / M / X
Δυνατότητα ενσωμάτωσης ΑΠΕ	☐	☐	☐	☐	☐		Y / M / X
Δυνατότητα περαιτέρω φύτευσης	☐	☐	☐	☐	☐		Y / M / X

Συνολική αξιολόγηση:

Συνολικό άθροισμα βαθμών	
Μέση βαθμολογία	
Κύριες προτεραιότητες παρέμβασης	
Προτεινόμενες βιοκλιματικές στρατηγικές	
Τελικό συμπέρασμα αξιολόγησης	

Ερμηνεία αποτελεσμάτων:

4,5 – 5,00 = πολύ υψηλή περιβαλλοντική και λειτουργική ποιότητα

3,5 – 4,4 = καλή ποιότητα στοχευμένες βελτιώσεις

2,5 – 3,4 = μέτρια ποιότητα απαιτούνται παρεμβάσεις

1,00 – 2,4 = χαμηλή ποιότητα - προτεραιότητα σε ολοκληρωμένο βιοκλιματικό ανασχεδιασμό

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.