



Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών
& Βιώσιμου Σχεδιασμού

Πρόγραμμα Σπουδών:

Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός Πόλεων & Κτιρίων

Διπλωματική Εργασία

Διερεύνηση περιβαλλοντικών αναβαθμίσεων σε υφιστάμενα κτίρια
πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης στον ελλαδικό & ευρωπαϊκό χώρο.

Δυνατότητες παρεμβάσεων

Παρασκευή Παντελιάδου

Επιβλέπων Καθηγητής: Αναστάσιος Τέλλιος

Θεσσαλονίκη, Σεπτέμβριος 2022

© Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, 2022

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή («συγγραφέας/δημιουργός») 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.



Διερεύνηση περιβαλλοντικών αναβαθμίσεων σε υφιστάμενα κτίρια
πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης στον ελλαδικό & ευρωπαϊκό χώρο.

Δυνατότητες παρεμβάσεων

Παρασκευή Παντελιάδου

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Αναστάσιος Τέλλιος

«Δρ. Αρχιτέκτων Μηχανικός,
Καθηγητής, ΑΠΘ»

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:

Σωτήριος Κωτσόπουλος

«Δρ. Αρχιτέκτων Μηχανικός,
Αν. Καθηγητής, ΕΜΠ»

Θεσσαλονίκη, Σεπτέμβριος 2022

Παρασκευή Παντελιάδου
«Διερεύνηση περιβαλλοντικών αναβαθμίσεων σε υφιστάμενα κτίρια
πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης στον ελλαδικό & ευρωπαϊκό χώρο.
Δυνατότητες παρεμβάσεων»

Στον παππού μου,
Διονύσιο Παπαδημητρίου

Περίληψη

Η διπλωματική εργασία διερευνά τις δυνατότητες αναβάθμισης υφιστάμενων σχολικών κτιριακών δομών της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης με βιοκλιματικές συνιστώσες σε Ελλάδα και Ευρώπη κατά την τελευταία δεκαπενταετία (2006-2021). Σκοπός της εργασίας είναι να εστιάσει αφενός στη θεωρητική έρευνα γύρω από τους τρόπους δημιουργίας συνθηκών άνεσης – θερμικής και οπτικής – για τους μαθητές και το εκπαιδευτικό προσωπικό των σχολικών κτιρίων, με προσδοκώμενο αποτέλεσμα την παραγωγή ενός ποιοτικού αρχιτεκτονικού χώρου που θα αξιοποιεί τις δυνατότητες που προσφέρει ο βιοκλιματικός σχεδιασμός και η εκμετάλλευση των ήπιων μορφών ενέργειας. Αφετέρου, η εργασία εντοπίζει, σε επίπεδο πρακτικής, περιπτώσεις που τα πορίσματα της θεωρητικής έρευνας μπορούν να βρουν εφαρμογή στον ελλαδικό χώρο σε υφιστάμενες κτιριακές δομές δημοτικών σχολείων, βελτιώνοντας την ενεργειακή τους συμπεριφορά και κατ' επέκταση επιδρώντας σημαντικά στη μαθησιακή ικανότητα και επίδοση των μαθητών.

Ειδικότερα, η εργασία βασίζεται αρχικά σε βιβλιογραφική έρευνα προκειμένου να αξιοποιήσει τις γνώσεις για τα βασικά εργαλεία του περιβαλλοντικού σχεδιασμού των κτιρίων, της νομοθεσίας και των ενεργειακών και περιβαλλοντικών κανονισμών, των σύγχρονων τεχνολογιών ανακαίνισης και ενεργειακής αναβάθμισης των κτιρίων, αλλά και των λογισμικών περιβαλλοντικής ανάλυσης. Βάσει αυτών, μελετά στη συνέχεια σε σχεδιαστικό επίπεδο τις δυνατότητες παρεμβάσεων στο 15ο Δημοτικό Σχολείο Κατερίνης, εξετάζοντας παραμέτρους όπως το κλίμα της περιοχής, την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στο βαθμό αποθήκευσης της θερμότητας από το υφιστάμενο κτιριακό κέλυφος, τις δυνατότητες μηχανισμών αερισμού και φυσικού δροσισμού του κτιρίου, καθώς και τις ανάγκες εξοικονόμησης ενέργειας.

Λέξεις – Κλειδιά

Περιβαλλοντική αναβάθμιση, σχολικά κτίρια, πρωτοβάθμια εκπαίδευση, βιοκλιματικός σχεδιασμός

Investigation of environmental upgrades in existing primary education buildings in Greece and Europe. Possibilities of interventions

Abstract

The thesis explores the possibilities of upgrading existing elementary schools with bioclimatic parameters in Greece and Europe during the last fifteen years (2006-2021). In the first part, the thesis focuses on the theoretical investigation of the ways of creating thermal and visual comfort conditions for the students and the teaching staff of the school, with the expectation of creating architectural spaces that will make good use of the possibilities offered by bioclimatic design and will follow soft energy paths. The second part of the thesis identifies at a practical level cases where the previous theoretical research can be applied to existing elementary schools in Greece, improving their energy behavior and in the process affecting student's learning ability and performance.

In particular, the thesis is initially based on bibliographic research in order to utilize the knowledge of the basic tools of environmental design of buildings, legislation, energy and environmental regulations, modern technologies of renovation and energy upgrading of buildings, but also of environmental analysis software. Based on these, the thesis then studies the design possibilities of interventions in the 15th Elementary School of Katerini, examining parameters such as the climate of the area, the effect of solar radiation on the existing building shell (depending on its degree of heat storage), the applicability of ventilation and natural cooling mechanisms, as well as energy saving needs.

Keywords

Environmental upgrade, school buildings, primary education, bioclimatic design

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	v
Abstract	vi
Περιεχόμενα	vii
Κατάλογος Εικόνων	ix
Συντομογραφίες & Ακρωνύμια.....	xi
1. Εισαγωγή.....	1
1.1 Αντικείμενο της εργασίας	1
1.2 Μεθοδολογική προσέγγιση	1
A' ΜΕΡΟΣ	2
2. Σχολική Αρχιτεκτονική την περίοδο της Υπερνεωτερικότητας. Σύγχρονα περιβάλλοντα μάθησης.....	2
3. Βιοκλιματικός σχεδιασμός σχολικών κτιρίων της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης.....	3
3.1 Βασικές αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού σχολικών κτιρίων.....	4
3.1.1 Κλιματικά δεδομένα και βιοκλιματική ανάλυση	4
3.1.2 Φυσικός Φωτισμός και ηλιοπροστασία.....	4
3.1.3 Θερμική Άνεση	6
3.1.4 Στρατηγικές Θέρμανσης.....	8
3.1.5 Θερμικό ισοζύγιο	9
3.1.6 Παθητικά Ηλιακά Συστήματα / Παθητικός Δροσισμός.....	9
3.2 Νομοθεσία / Ενεργειακοί και περιβαλλοντικοί κανονισμοί	12
3.2.1 Νομικό Πλαίσιο.....	12
3.2.2 Κοινοτικό Πλαίσιο (Ευρώπη)	12
3.2.3 Εθνικό Πλαίσιο (Ελλάδα)	14
3.4 Λογισμικά Περιβαλλοντικής ανάλυσης.....	15
4. Περιπτώσεις μελέτης στον ελλαδικό χώρο	17
4.1 Δημοτικό Σχολείο στην Κοζάνη	18
4.2 Βιοκλιματικό Δημοτικό Σχολείο στην Αθήνα.....	30
4.3 Βιοκλιματικό Σχολείο στην Κρήτη	33
5. Περιπτώσεις Μελέτης στην Ευρώπη	37
5.1 Paul Chevallier School	37
5.2 The School on the Terraces / Frederiksbjerg School	44
5.3 Marin Country Day School	51
6. Περιβαλλοντική αναβάθμιση υφιστάμενων κτιρίων πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης.....	65

6.1 Δυνατότητες παρέμβασης με τη χρήση σύγχρονων τεχνολογιών και συστημάτων αξιοποίησης της ενέργειας	65
6.1.1 Ηλιακή Ενέργεια	65
6.1.2 Γεωθερμία	66
6.1.3 Διατήρηση του νερού και Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων.....	66
6.1.4 Φωτοβολταϊκά.....	66
6.1.5 Κλιματισμός	67
6.1.6 Θέρμανση	68
6.1.7 Εξαερισμός.....	69
6.1.8 Φωτισμός.....	69
6.2 Παρεμβάσεις σε σχολεία της Ευρώπης.....	71
6.3 Παρεμβάσεις σε σχολεία της Ελλάδας.....	73
B' ΜΕΡΟΣ	76
7. Μελέτη Περίπτωσης / Το 15 ^ο Δημοτικό Σχολείο Κατερίνης	76
7.1 Τοποθεσία / Οικόπεδο.....	76
7.2 Σημασία και Ιστορία του κτιρίου	78
7.4 Δυνατότητες παρεμβάσεων περιβαλλοντικής αναβάθμισης.....	80
7.4.1 Προσανατολισμός / Χωροθέτηση	80
7.4.2 Ποιότητα αέρα.....	81
7.4.3 Φυσικός Φωτισμός	81
7.4.4 Σκιασμός.....	81
7.4.5 Θέρμανση	82
8. Συμπεράσματα	83
8.1 Αναπάντητα ερωτήματα / Αδυναμίες της έρευνας	83
8.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	83
8.2.1 Μείωση άλλων ενεργειακών απαιτήσεων.....	84
8.2.2 Μείωση του κτιριακού αποτυπώματος στο φυσικό περιβάλλον.....	84
8.3 Πιθανές ή/και πρακτικές εφαρμογές πορισμάτων της έρευνας	84
Βιβλιογραφία.....	85

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 α. Άνοιγμα χωρίς σύστημα ηλιοπροστασίας, β. Άνοιγμα με ηλιακό ράφι.....	4
Εικόνα 2 Φυσικός φωτισμός: Σχεδιασμός ανοιγμάτων	6
Εικόνα 3 Θερμική άνεση: περιβαλλοντικοί και ατομικοί παράγοντες	7
Εικόνα 4 Στρατηγικές Θέρμανσης	8
Εικόνα 5 Ηλιασμός και παθητική ηλιακή θέρμανση	10
Εικόνα 6 Παθητικός Δροσισμός	11
Εικόνα 7 Κάτοψη Β' στάθμης σχολικού συγκροτήματος	20
Εικόνα 8 Εξωτερική άποψη του σχολικού συγκροτήματος.....	21
Εικόνα 9 Κάτοψη Γ' στάθμης σχολικού συγκροτήματος	22
Εικόνα 10 Άποψη του εξωτερικού συστήματος ηλιοπροστασίας του σχολείου	23
Εικόνα 11 Άποψη των φεγγιτών οροφής	23
Εικόνα 12 Κάτοψη Δ' στάθμης σχολικού συγκροτήματος.....	24
Εικόνα 13 Άποψη των εσωτερικών χώρων κυκλοφορίας του σχολείου	25
Εικόνα 14 Διαγραμματική τομή φυσικού φωτισμού και αερισμού	25
Εικόνα 15 Εξωτερική άποψη του σχολικού συγκροτήματος.....	26
Εικόνα 16 Κατασκευαστική λεπτομέρεια των περσίδων σκίασης	27
Εικόνα 17 Εξωτερική άποψη του σχολικού συγκροτήματος.....	28
Εικόνα 18 Εξωτερική άποψη του σχολικού συγκροτήματος.....	29
Εικόνα 19 Κατασκευαστική λεπτομέρεια στηθαίου	30
Εικόνα 20 Φωτορεαλιστική απεικόνιση του σχολείου και του αύλειου χώρου	ix
Εικόνα 21 Φωτορεαλιστική απεικόνιση της πρόσοψης του σχολικού συγκροτήματος	32
Εικόνα 22 Φωτορεαλιστική απεικόνιση του σχολικού συγκροτήματος.....	32
Εικόνα 23 Πανοραμική φωτορεαλιστική απεικόνιση του σχολικού συγκροτήματος	34
Εικόνα 24 Φωτορεαλιστική απεικόνιση της νότιας όψης του σχολικού συγκροτήματος ...	ix
Εικόνα 25 Φωτορεαλιστική απεικόνιση των υπαίθριων χώρων του συγκροτήματος	36
Εικόνα 28 Πανοραμική φωτορεαλιστική απεικόνιση του συγκροτήματος	38
Εικόνα 29 Κάτοψη του σχολικού συγκροτήματος (κάτω δεξιά το Δημοτικό σχολείο)	39
Εικόνα 30 Άποψη των μονοπατιών στη στέγη του κτιρίου	40
Εικόνα 31 Άποψη του φυτεμένου δώματος	40
Εικόνα 32 Άποψη της πρόσοψης του νηπιαγωγείου.....	41
Εικόνα 33 Άποψη του διαδρόμου στο ισόγειο.....	34
Εικόνα 34 Άποψη του διαδρόμου στον όροφο	42
Εικόνα 35 Άποψη της σχολικής αίθουσας	42
Εικόνα 36 Εξωτερική άποψη του σχολείου	43
Εικόνα 37 Άποψη των εξωτερικών ανοιγμάτων	43
Εικόνα 38 Άποψη του κλιμακοστασίου	43
Εικόνα 39 Εξωτερική άποψη του σχολείου	43
Εικόνα 40 Εξωτερική άποψη του σχολικού συγκροτήματος.....	45
Εικόνα 41 Κάτοψη του σχολικού χώρου	47

Εικόνα 42 Άποψη του αύλειου χώρου του σχολείου	48
Εικόνα 43 Άποψη του εσωτερικού αιθρίου	34
Εικόνα 44 Άποψη του μεγάλου κλιμακοστασίου	49
Εικόνα 45 Χώροι παιχνιδιού	50
Εικόνα 46 Εσωτερικοί διάδρομοι του σχολείου	50
Εικόνα 47 Άποψη εξωτερικών ανοιγμάτων	51
Εικόνα 48 Άποψη σχολικής αίθουσας	51
Εικόνα 49 Κάτοψη του σχολικού συγκροτήματος.....	52
Εικόνα 50 Κατόψεις και όψη του συγκροτήματος και του αύλειου χώρου.....	53
Εικόνα 51 Άποψη του αύλειου χώρου του σχολείου	54
Εικόνα 52 Το ρέμα πριν από την αποκατάσταση	55
Εικόνα 53 Το ρέμα μετά την αποκατάσταση	55
Εικόνα 54 Άποψη των υπαίθριων χώρων	56
Εικόνα 55 Άποψη των χώρων στάσης του σχολείου	56
Εικόνα 56 Πανοραμική άποψη της περιοχής.....	56
Εικόνα 57 Άποψη του σχολείου και του αύλειου χώρου	58
Εικόνα 58 Άποψη της σχέσης του εσωτερικού με τον εξωτερικό χώρο.....	59
Εικόνα 59 Στρατηγικές Αειφόρου Σχεδιασμού	60
Εικόνα 60 Άποψη του στεγασμένου διαδρόμου έξω από τις αίθουσες	61
Εικόνα 61 Φυσικός φωτισμός αίθουσας	62
Εικόνα 62 Τεχνητός φωτισμός αίθουσας.....	62
Εικόνα 63 Ο χώρος της βιβλιοθήκης	62
Εικόνα 64 Χώροι ανάγνωσης.....	62
Εικόνα 65 Σχέση κτιρίου και περιβάλλοντος χώρου	63
Εικόνα 66 Εξωτερική άποψη του σχολείου	64
Εικόνα 67 Άποψη του σχολικού συγκροτήματος στην οδό Κλεάνθους.....	74
Εικόνα 68 Πανοραμική άποψη του σχολείου	77
Εικόνα 69 Άποψη του αύλειου χώρου από το δρόμο	79
Εικόνα 70 Εξωτερική άποψη του κτιρίου	80
Εικόνα 71 Άποψη της σχολικής αυλής	80
Εικόνα 72 Άποψη του σχολείου από τον 1 ^ο όροφο	81
Εικόνα 73 Άποψη του δώματος	82
Εικόνα 74 Άποψη της αποθήκης στο δώμα	82

Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

ΑΜΚΕ	Αστική Μη Κερδοσκοπική Εταιρεία
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΔΕ	Διπλωματική Εργασία
ΕΒΑ	Εκπαίδευση για Βιώσιμη Ανάπτυξη
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΖΕΠ	Ζώνη Ενεργού Πολεοδομίας
ΖΝΧ	Ζεστό Νερό Χρήσης
ΘΨΚ	Θέρμανη, Ψύξη και Κλιματισμό
ΚΘΚ	Κανονισμός Θερμομόνωσης Κτιρίων
ΚΕΝΑΚ	Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων
MCDS	Marin Country Day School
ΠΕ	Περιβαλλοντική Εκπαίδευση
ΠΚ	Παθητικό Κτίριο
PMV	Predicted Mean Vote
PPD	Percentage of People Dissatisfied
ΠΣ	Παθητικό Σχολείο
ΠΖΝ	Παραγωγή Ζεστού Νερού
Φ/Μ	Φωτοβολταϊκή Μονάδα

Hilights

1. Η περιβαλλοντική αναβάθμιση ενός υφιστάμενου σχολικού κτιρίου μπορεί να βελτιώσει την ενεργειακή του συμπεριφορά έως και 70%.
2. Τα περισσότερα βιοκλιματικά σχολεία επιδέχονται επιπλέον περιβαλλοντική αναβάθμιση σε ποσοστό 10%-15%.
3. Τα σχολικά κτίρια που λειτουργούν με τις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού παρέχουν καλύτερα περιβάλλοντα μάθησης για την εφαρμογή των σύγχρονων εκπαιδευτικών μεθόδων διδασκαλίας.
4. Οι μαθητές που περνούν τη σχολική τους ζωή σε χώρους που έχουν σχεδιαστεί με βιοκλιματικές αρχές ή έχουν αναβαθμιστεί περιβαλλοντικά σύμφωνα με τα νέα ενεργειακά πρότυπα, έχουν καλύτερες μαθησιακές επιδόσεις.

Συνεισφορά εργασίας

Η εργασία πραγματεύεται τις δυνατότητες αναβάθμισης υφιστάμενων σχολικών κτιρίων της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης με βάση τις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού. Στόχος είναι να διερευνήσει τις συνθήκες θερμικής και οπτικής άνεσης που μπορούν να οδηγήσουν στην εξοικονόμηση ενέργειας τόσο στις σχολικές αίθουσες όσο και στον περιβάλλοντα χώρο των σχολείων και παράλληλα να συμβάλλουν στην αποδοτικότητα των χρηστών σε μαθησιακό επίπεδο. Το Α' μέρος της εργασίας καταγράφει τις αξίες και τα εργαλεία του βιοκλιματικού σχεδιασμού επισημαίνοντας τη σημασία τους σε κάθε στάδιο της αρχιτεκτονικής μελέτης και καταγράφοντας τα αποτελέσματα σε επίπεδο ποιότητας του χώρου, αλλά και ενίσχυσης της εκπαιδευτικής διαδικασίας. Το Β' μέρος της εργασίας εξετάζει μεμονωμένα μία περίπτωση μελέτης, το 15^ο Δημοτικό Σχολείο Κατερίνης, προτείνοντας συγκεκριμένες εργασίες περιβαλλοντικής αναβάθμισης του κτιρίου και του αύλειου χώρου, δεδομένου του υφιστάμενου κελύφους και των δυνατοτήτων που αυτό παρέχει. Η εργασία συνολικά επιχειρεί να συνεισφέρει στην κατεύθυνση της ενσωμάτωσης του βιοκλιματικού σχεδιασμού ως παραμέτρου στις διαδικασίες παραγωγής του σύγχρονου αρχιτεκτονικού έργου και ειδικότερα στον τομέα της σχολικής αρχιτεκτονικής, και ταυτόχρονα να δώσει έμφαση στο βιωματικό αποτέλεσμα των παραγόμενων χώρων για τους χρήστες, από την πρώτη ακόμη βαθμίδα της σχολικής τους ζωής.

1. Εισαγωγή

Η διπλωματική εργασία διερευνά τις δυνατότητες αναβάθμισης υφιστάμενων σχολικών κτιριακών δομών της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης με βιοκλιματικές συνιστώσες σε Ελλάδα και Ευρώπη εστιάζοντας στην περίοδο 2006-2021. Η έρευνα εντοπίζει αρχικά τις αξίες και τις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού μέσα από τη μελέτη έξι βιοκλιματικών σχολείων στον ελλαδικό και στον ευρωπαϊκό χώρο και εξετάζει τα πλεονεκτήματα σε χωρικό και βιωματικό επίπεδο. Στη συνέχεια, η έρευνα εστιάζει τη μελέτη στο 15^ο Δημοτικό Σχολείο Κατερίνης, προκειμένου να εξετάσει τις δυνατότητες περιβαλλοντικής αναβάθμισης του κτιρίου μέσα από μία σειρά προτεινόμενων παρεμβάσεων που αποσκοπούν αφενός στη βελτίωση της ενεργειακής του απόδοσης και αφετέρου στην ανάδειξη νέων χωρικών ποιοτήτων για τους χρήστες του χώρου.

1.1 Αντικείμενο της εργασίας

Αντικείμενο της εργασίας είναι η διερεύνηση τρόπων δημιουργίας συνθηκών άνεσης – θερμικής και οπτικής – για όλες τις κατηγορίες χρηστών των σχολικών κτιρίων, προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα για τις χωρικές ποιότητες του βιοκλιματικού σχεδιασμού σε συνδυασμό με τις ήπιες μορφές ενέργειας στα σχολικά κτίρια. Αφετέρου, η εργασία διερευνά, σε πρακτικό επίπεδο, τους τρόπους εφαρμογής των εργαλείων της θεωρητικής έρευνας σε υφιστάμενες σχολικές δομές της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης, με στόχο να προταθούν λύσεις βελτίωσης της ενεργειακής τους συμπεριφοράς που όπως αποδεικνύεται επιδρά σημαντικά και στην ενίσχυση της μαθησιακής ικανότητας των μαθητών.

1.2 Μεθοδολογική προσέγγιση

Σε επίπεδο μεθοδολογικής προσέγγισης, το πρώτο μέρος της εργασίας βασίζεται σε βιβλιογραφικές πηγές προκειμένου να εξετάσει διεξοδικά τα βασικά εργαλεία του περιβαλλοντικού σχεδιασμού των σχολικών κτιρίων, όπως επίσης τη νομοθεσία, τους ενεργειακούς και περιβαλλοντικούς κανονισμούς, τις σύγχρονες τεχνολογίες ανακαίνισης και ενεργειακής αναβάθμισης των κτιρίων, αλλά και τα λογισμικά προγράμματα περιβαλλοντικής ανάλυσης.

Στο δεύτερο μέρος, η εργασία αξιοποιώντας τα θεωρητικά εργαλεία που έχουν αναλυθεί, μελετά σε σχεδιαστικό επίπεδο τις δυνατότητες παρέμβασης στο 15^ο Δημοτικό Σχολείο Κατερίνης, μέσα από τη διερεύνηση βιοκλιματικών συνιστωσών, όπως το κλίμα της περιοχής, την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στο υφιστάμενο κέλυφος, ανάλογα με το βαθμό που αυτό έχει την ικανότητα να αποθηκεύει θερμότητα, τις δυνατότητες εφαρμογής μηχανισμών αερισμού και φυσικού δροσισμού του κτιρίου, καθώς και τις ανάγκες εξοικονόμησης ενέργειας.

Α' ΜΕΡΟΣ

2. Σχολική Αρχιτεκτονική την περίοδο της Υπερνεωτερικότητας. Σύγχρονα περιβάλλοντα μάθησης

Η σχολική αρχιτεκτονική υπόκειται στους νόμους και στις αρχές που διέπουν το ευρύτερο πεδίο της αρχιτεκτονικής, ενώ παράλληλα διατηρεί μια αυτονομία χάρη στους πολύπλοκους μηχανισμούς που τη διαμορφώνουν, στα πλαίσια της εξέλιξης της εκάστοτε κοινωνίας και της εξέλιξης της εκπαιδευτικής διαδικασίας, το διαδικασιών και των μεθόδων που τη διαμορφώνουν. Ο σχολικός χώρος μεταλλάσσεται και νέα παραδείγματα οργάνωσής του ανέρχονται στο προσκήνιο.

Η τάξη, ως χωρική έκφραση ενός συγκεκριμένου μοντέλου εκπαιδευτικής και κοινωνικής συμπεριφοράς, θα επιβληθεί ως το μοναδικό παράδειγμα οργάνωσης του σχολικού χώρου μέχρι και τα μέσα του 20^{ου} αιώνα, παρόλη την αντίδραση που προκαλεί η παραδοσιακή παιδαγωγική από τα τέλη του προηγούμενου αιώνα. Αργότερα, μετά τη δεκαετία του '60, την περίοδο αμφισβήτησης των αξιών της μοντέρνας κουλτούρας, ορισμένες επιστημολογικές προσεγγίσεις της Παιδαγωγικής και των Επιστημών της Συμπεριφοράς θα δημιουργήσουν τη βάση για μετατόπιση των ορίων του σχολικού περιβάλλοντος προς τα κοινωνικά δρώμενα του ευρύτερου περιβάλλοντος (Τσουκαλά, 2000).

Αυτή η λογική του των ευέλικτων ορίων του εκπαιδευτικού χώρου θέτουν νέα παραδείγματα οργάνωσης του σχολικού χώρου τις δεκαετίες του '70 και του '80, δηλαδή την πρώτη φάση της μετανεωτερικότητας και του μεταμοντερνισμού στην αρχιτεκτονική. Αργότερα, στην περίοδο της 'υπερ-νεωτερικότητας' ή της παγκοσμιοποίησης, η

μετατόπιση του ενδιαφέροντος στην επικοινωνία/σχέση που το παιδί αναπτύσσει με το περιβάλλον του σηματοδοτεί τη δεύτερη μεγάλη στιγμή της παιδαγωγικής, όπως αυτή ενισχύεται από τις θεωρίες του Vygotsky και Bakhtin για τη διαλογική λεκτική δραστηριότητα (Τσουκαλά, 2014).

Τις τελευταίες δεκαετίες η προσεγγίσεις αυτές γίνονται αντικείμενο μελέτης από αρκετούς παιδαγωγούς μέσα από το νέο πλαίσιο της περιβαλλοντικής εκπαίδευσης (ΠΕ) και της εκπαίδευσης για βιώσιμη ανάπτυξη (ΕΒΑ).

3. Βιοκλιματικός σχεδιασμός σχολικών κτιρίων της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης

Η παράμετρος του βιοκλιματικού σχεδιασμού τέθηκε ως προαπαιτούμενη από τον Οργανισμό Σχολικών Κτιρίων το 2007 με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας των σχολικών κτιρίων, όπως επίσης και την περιβαλλοντική εκπαίδευση των μαθητών. Τα βιοκλιματικά, πλέον, σχολεία λειτουργούν ως ανοιχτά εργαστήρια περιβαλλοντικής κατάρτισης για τα παιδιά, ενώ ταυτόχρονα ο ενεργειακός τους σχεδιασμός εξασφαλίζει τη μείωση των δαπανών και ευνοϊκότερες συνθήκες λειτουργίας των εσωτερικών και εξωτερικών τους χώρων.

Σε κάθε μελέτη, ο σχεδιασμός βασίζεται πλέον στις αρχές της προστασίας του περιβάλλοντος, στη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, στη σωστή διαχείριση του ηλιασμού, του νερού και των υλικών, και στον μελετημένο προσανατολισμό του κτιρίου. Είναι σημαντικό όλα τα στοιχεία του περιβάλλοντος να συνεργάζονται με τον πιο φιλικό και τον λιγότερο ενεργοβόρο τρόπο. Εξίσου σημαντικό είναι και το κλίμα της περιοχής για να προσαρμόζεται ανάλογα και η θερμοκρασία των σχολικών κτιρίων. Συνεπώς, η ποιότητα ενός βιοκλιματικού σχολείου εξαρτάται από σημαντικούς άξονες βιοκλιματικού σχεδιασμού, προσαρμοσμένους στις λειτουργικές ανάγκες του εκάστοτε κτιρίου, όπως:

- Ο Προσανατολισμός
- Ο Φυσικός φωτισμός και τα ανοίγματα
- Η Θέρμανση και ο δροσισμός
- Η Ποιότητα του αέρα
- Οι Νέες βιοκλιματικές μέθοδοι – Τα Βιοκλιματικά στοιχεία οροφής

3.1 Βασικές αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού σχολικών κτιρίων

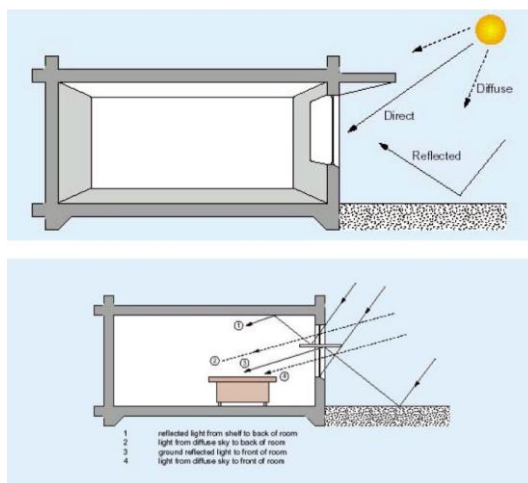
3.1.1 Κλιματικά δεδομένα και βιοκλιματική ανάλυση

Τα κλιματικά δεδομένα είναι απαραίτητα στις εργασίες ανάλυσης του περιβαλλοντικού σχεδιασμού των σχολικών κτιρίων, παρέχοντας πληροφορίες για τις μηνιαίες ή ωριαίες τιμές της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα, της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε επιφάνειες των κτιρίων με διαφορετικό προσανατολισμό και κλίση, την σχετική (ή απόλυτη) υγρασία, τη φωτεινότητα του ουρανού, καθώς και για τις θερμοκρασίες του εδάφους και του νερού χρήσης.

Παρόλο που τα κλιματικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό έχουν στατιστική προέλευση, η δυνατότητα εισαγωγής τους σε λογισμικά θερμικής ανάλυσης, επιτρέπει τον έλεγχο αρκετών προβλέψεων των εργαλείων σχεδιασμού, με συνέπεια την ακρίβεια των προσομοιώσεων για τη συμπεριφορά των σχολικών κτιρίων μετά την υλοποίησή τους (Ευαγγελινός κ.ά., 2001).

3.1.2 Φυσικός Φωτισμός και ηλιοπροστασία

Στους εσωτερικούς χώρους στους οποίους ο φυσικός φωτισμός είναι ευπρόσδεκτος, είναι σημαντική η εξασφάλιση της ηλιακής προσόδου και η ελαχιστοποίηση της σκίασης από γειτονικά κτίρια ή/και στοιχεία του φυσικού περιβάλλοντος. Παράλληλα, η ηλιοπροστασία αποτελεί τη βασικότερη αρχή του περιβαλλοντικού σχεδιασμού κάθε φορά που η ηλιακή ακτινοβολία προκαλεί θερμική δυσφορία ή/και υπερφωτισμό και οπτική θάμβωση σε εσωτερικούς ή υπαίθριους χώρους (Ευαγγελινός κ.ά., 2001).



Εικόνα 1 α. Άνοιγμα χωρίς σύστημα ηλιοπροστασίας, β. Άνοιγμα με ηλιακό ράφι

Το φυσικό φως που διεισδύει στο εσωτερικό ενός κτιρίου εξαρτάται από δύο παράγοντες: από τα εξωτερικά ανοίγματα του κτιρίου και από την απόσταση που αυτά διατηρούν από τα σημεία του χώρου που έχουν ανάγκη από φωτισμό (6-9 μέτρα ανάλογα με το ύψος του κτιρίου). Όταν η απόσταση είναι πολύ μεγάλη, συνήθεις πρακτικές είναι η χρήση φεγγιτών και ο έμμεσος φωτισμός από γειτονικούς χώρους.

Ειδικότερα, στα σχολικά κτίρια, μια κατάλληλη στρατηγική για το φυσικό φως είναι αυτή που παρέχει επαρκή ποσότητα φωτός όπου χρειάζεται, ενώ παράλληλα διασφαλίζει ότι δεν υπάρχει οπτική ενόχληση και καλή οπτική απόδοση. Οι τυπολογίες της σχολικής αρχιτεκτονικής τείνουν να ευνοούν τα μονώροφα κτίρια. Αυτά είναι συχνά κατάλληλα για απλές, αλλά αποτελεσματικές στρατηγικές φυσικού φωτισμού που περιλαμβάνουν αρχές πλευρικού φωτισμού ή οροφής. Όλα τα συστήματα φυσικού φωτισμού συγκεντρώνουν το φως της ημέρας που είναι διαθέσιμο έξω και το διανέμουν με τρόπο που να βελτιώνει την αίσθησή του στο εσωτερικό ενός χώρου. Το φυσικό φως αποτελείται από ένα μη κατευθυντικό στοιχείο διάχυσης και ένα άμεσο στοιχείο που είναι κατευθυντικό και δυναμικό (Dudek, 2007).

Ο σχεδιασμός των ανοιγμάτων πρέπει να περιλαμβάνει τον υπολογισμό του μεγέθους τους και την τοποθέτησή τους, προκειμένου να λαμβάνονται υπ' όψιν τα δυναμικά χαρακτηριστικά του φυσικού φωτός. Το φως του ήλιου, το άμεσο συστατικό του φυσικού φωτός, είναι το πιο δυναμικό. Μπορεί να είναι έντονο και μπορεί να δημιουργήσει σκιές καθώς και ακραίες διαφορές στα επίπεδα φωτισμού μέσα σε μία σχολική αίθουσα. Μπορεί επίσης να προκαλέσει οπτική ενόχληση και θάμβωση στους μαθητές εάν δεν ελέγχεται σωστά (Dudek, 2007).

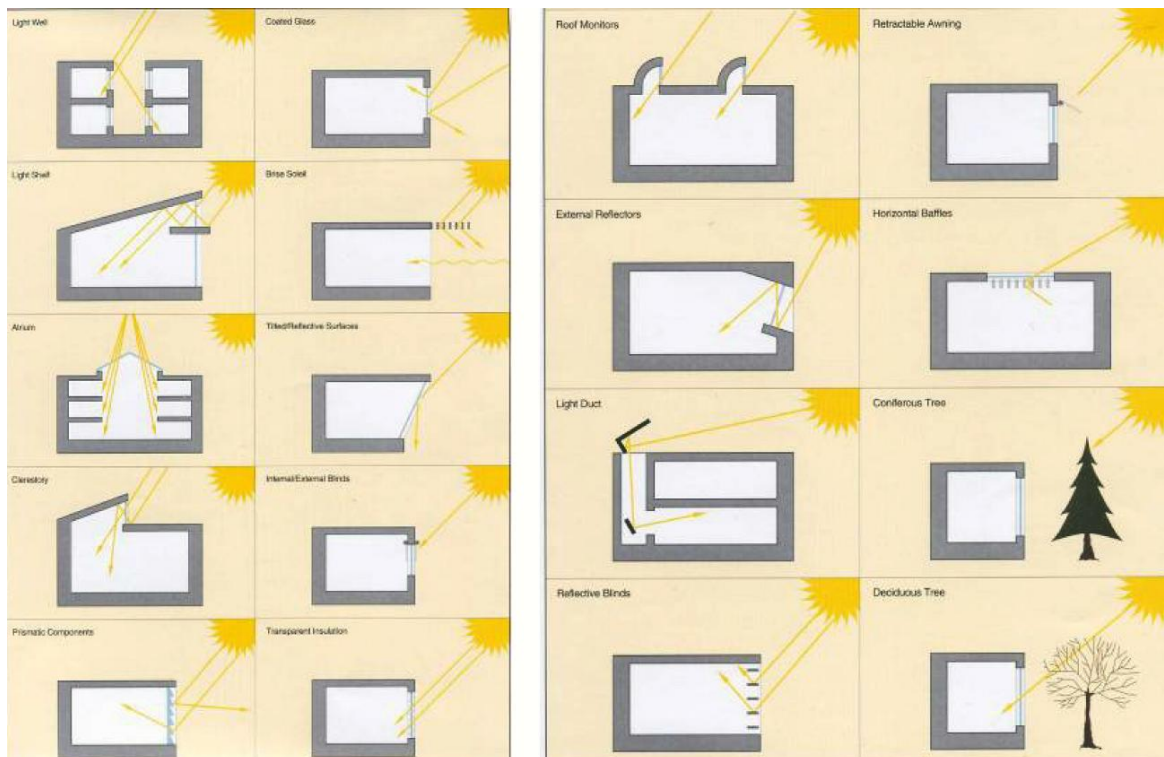
Η ηλιακή ακτινοβολία διακρίνεται σε α.άμεση, β. διάχυτη και γ.ανακλώμενη. Βάσει αυτής της ταξινόμησης, τα συστήματα ημερήσιου φωτισμού είναι δύο γενικών κατηγοριών:

1. Συστήματα φωτισμού οροφής, όπου το φως της ημέρας κατανέμεται στο εσωτερικό του δωματίου από το α.
2. Συστήματα πλευρικού φωτισμού όπου το φως της ημέρας διανέμεται από τις πλευρές του δωματίου.

Μελέτες έχουν δείξει ότι οι ορισμένες αρχές φυσικού φωτισμού με θετικά αποτελέσματα είναι (Dudek, 2007):

- Η επιμήκυνση του κτιρίου κατά τον άξονα ανατολής – δύσης. Στην περίπτωση αυτή τα ανοίγματα τοποθετούνται στη βόρεια πλευρά όπου είναι διαθέσιμο το διάχυτο φυσικό φως

και στη νότια πλευρά όπου είναι σχετικά εύκολο να διατηρείται υπό έλεγχο το φως του ήλιου το χειμώνα και το καλοκαίρι.



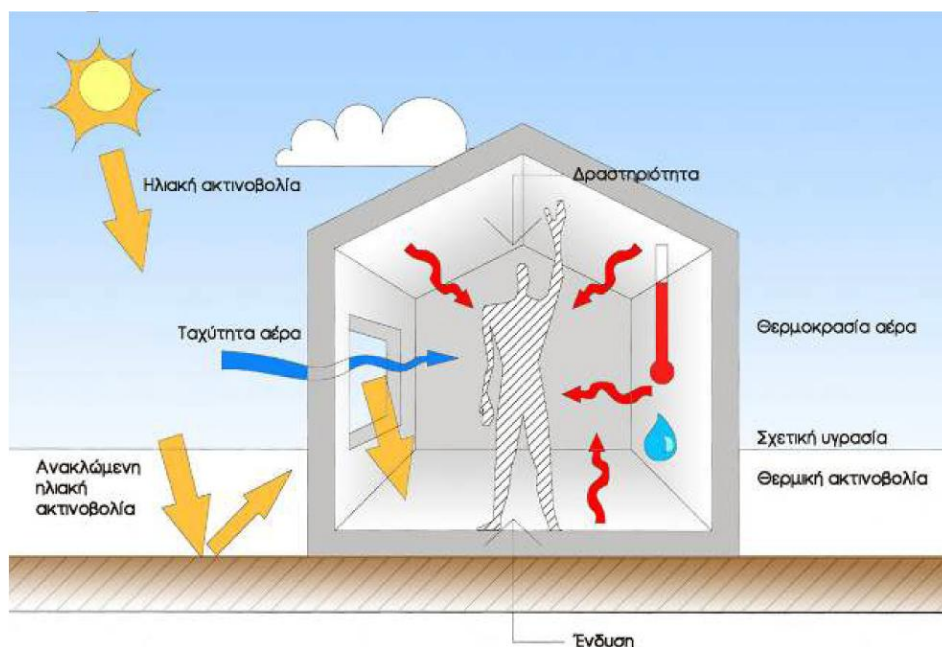
Εικόνα 2 Φυσικός φωτισμός: Σχεδιασμός ανοιγμάτων

- Η τοποθέτηση των ανοιγμάτων ψηλά στις τοιχοποιίες, όπως οι φεγγίτες ή τα ψηλά πλευρικά παράθυρα, που βελτιστοποιούν την κατανομή του φυσικού φωτός και το διαχέουν πιο βαθιά στο χώρο.
- Η εισαγωγή του φυσικού φωτός σε δύο διαφορετικές κατευθύνσεις, προκειμένου να μειώνονται οι πιθανότητες θάμβωσης και να εξομαλύνεται η διάχυση του φωτός.
- Η χρήση έμμεσου φυσικού φωτός για τον έλεγχο του ηλιασμού μέσα στην τάξη. Το άμεσο ηλιακό φως μέσα σε μία σχολική αίθουσα μπορεί να προκαλέσει θάμβωση και δυσφορία.

3.1.3 Θερμική Άνεση

Τα σχολικά κτίρια είναι σημαντικοί καταναλωτές ενέργειας, λόγω των σημαντικών απαιτήσεων για θέρμανση και ψύξη με στόχο την παροχή αποδεκτών συνθηκών θερμικής άνεσης. Οι μαθητές αφιερώνουν αρκετό χρόνο στις σχολικές αίθουσες κι ένα καλό εσωτερικό περιβάλλον μπορεί να συμβάλλει θετικά στη βελτιστοποίηση των συνθηκών

για τις μαθησιακές τους επιδόσεις (Haddad et al., 2012). Η θερμική άνεση ορίζεται ως «η κατάσταση του νου που εκφράζει ικανοποίηση για το θερμικό περιβάλλον και αξιολογείται με υποκειμενικά κριτήρια» (ASHRAE 55, 2010). Σύμφωνα με τον ορισμό αυτό, η άνεση θεωρείται μια ψυχολογική κατάσταση, γι' αυτό και η αντίληψη της θερμικής άνεσης διαφέρει στο κάθε άτομο. Συνεπώς, ένα σημαντικό κριτήριο στον ορισμό της βέλτιστης θερμικής άνεσης για το υψηλότερο ποσοστό μαθητών σ' ένα σχολείο, σε οποιαδήποτε δεδομένη κλιματική συνθήκη, είναι η κατάλληλη συνεκτίμηση υποκειμενικών παραγόντων. Ο τρόπος διερεύνησης των παραμέτρων της θερμικής άνεσης γίνεται με έρευνα πεδίου, επιλέγοντας ένα πλήθος ανθρώπων και καταγράφοντας τις αντιδράσεις τους στις παραμετρικές αλλαγές (περιβάλλοντος και ανθρώπινου μεταβολισμού) (Fanger, 1970). Στη συνέχεια, διαμορφώνεται μία εξίσωση στην οποία οι παράμετροι (θερμοκρασία του αέρα, ακτινοβολούμενη θερμοκρασία των περιβαλλουσών επιφανειών, υγρασία, κίνηση του αέρα, ενδυμασία και δραστηριότητα χρηστών, κ.ά.) τίθενται ως μεταβλητές και μπορούν να λάβουν τιμές για να υπολογιστούν οι άλλες. Η επίλυση αυτής της εξίσωσης οδηγεί σε διαγράμματα που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της θερμικής άνεσης σε διάφορες περιπτώσεις κτιρίων (Ευαγγελινός κ.ά., 2001).

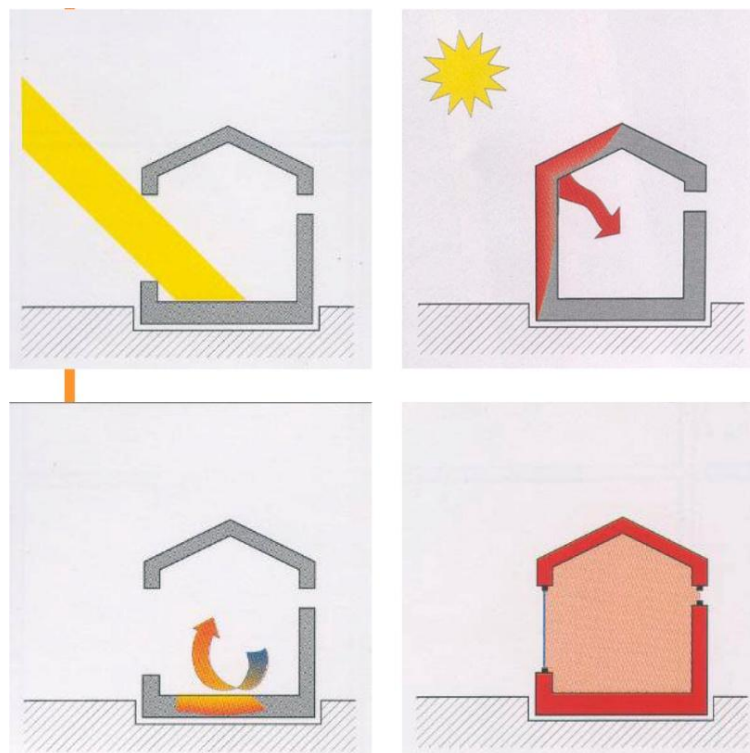


Εικόνα 3 Θερμική άνεση: περιβαλλοντικοί και ατομικοί παράγοντες

3.1.4 Στρατηγικές Θέρμανσης

Τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά ενός κτιρίου σε συνδυασμό με τα κλιματικά δεδομένα μιας περιοχής, παρέχουν στοιχεία για τις πιθανές ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου σε θέρμανση. Κατά τη διάρκεια της σχεδιαστικής διαδικασίας ή της αναβάθμισης ενός σχολικού κτιρίου, τέτοιες προβλέψεις παρέχουν τη δυνατότητα για την περιβαλλοντική του μελέτη προκειμένου να διερευνηθούν οι δυνατότητες βελτιστοποίησης κατασκευής και λειτουργίας τους. Ανάμεσα στις στρατηγικές θέρμανσης των σχολικών κτιρίων κατά το σχεδιασμό τους περιλαμβάνονται:

- Η **Ηλιακή Συλλογή**: επιλέγεται η χρήση διαφανών ή συμπαγών δομικών στοιχείων ανάλογα με τον επιθυμητό βαθμό απορρόφησης της ηλιακής ενέργειας σε κάθε επιφάνεια του σχολικού κτιρίου.
- Η **Αποθήκευση της Θερμότητας**: με τη χρήση υλικών μεγάλης θερμοχωρητικότητας.
- Η **Διανομή της Θερμότητας**: α. Αγωγή (από τα θερμότερα στα ψυχρότερα μέρη), β. Μεταφορά (φυσικός ελκυσμός του θερμού αέρα), γ. Ακτινοβολία (από τις θερμότερες στις ψυχρότερες επιφάνειες).
- Η **Διατήρηση της Θερμότητας**: α. Θερμομόνωση κελύφους, β. Θερμομόνωση ανοιγμάτων και γ. Μείωση διείσδυσης.



Εικόνα 4 Στρατηγικές Θέρμανσης

Τα αποτελέσματα μπορούν να συγκριθούν με προϋπάρχουσες προδιαγραφές ενεργειακής κατανάλωσης και με πρότυπα θερμικής άνεσης ώστε να γίνουν οι απαραίτητες τροποποιήσεις (Ευαγγελινός κ.ά., 2001).

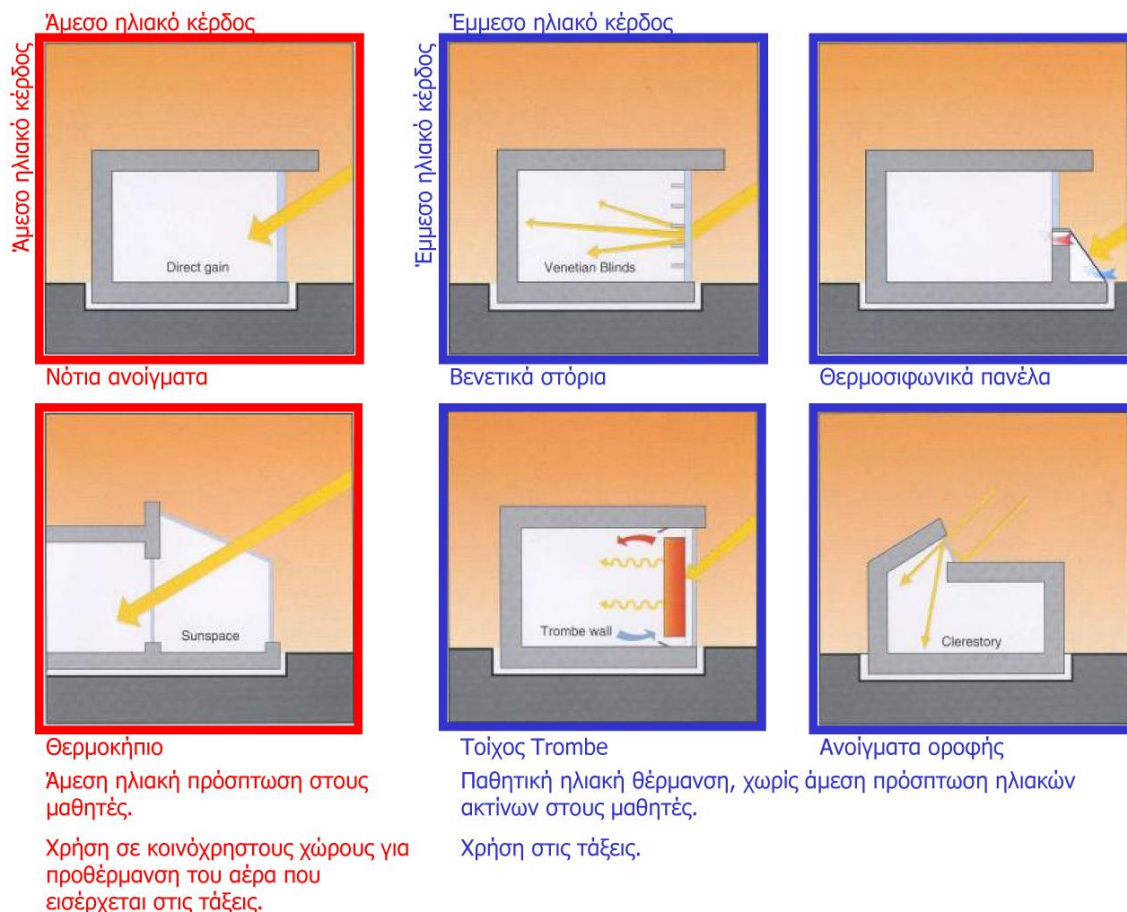
3.1.5 Θερμικό ισοζύγιο

Η ζήτηση θερμότητας είναι μια παράμετρος που καθορίζει το ενεργειακό ισοζύγιο του κτιρίου. Η μείωση και η σύγκλισή του στο μηδέν είναι ένας από τους τρόπους που πληρούν τις απαιτήσεις της στρατηγικής 'Ευρώπη 2020'. Έχει αποδειχθεί ότι με την αύξηση του σταθερού ρυθμού ανταλλαγής αέρα για την καθορισμένη θερμοκρασία αυξάνεται επίσης και η ζήτηση θερμότητας. Η αποτελεσματική ρύθμιση της συχνότητας ανανέωσης του αέρα (συνδυασμός ημερήσιου και νυχτερινού αερισμού) μπορεί να οδηγήσει σε εξοικονόμηση στη ζήτηση θερμότητας. Όταν είναι εφικτός ο αερισμός σε συνδυασμό, έχει διαπιστωθεί ότι μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της ανταλλαγής του αέρα κατά 1,25 φορές όταν απουσιάζουν οι χρήστες από το χώρο, με αποτέλεσμα να μειώνεται η ανάγκη για θέρμανση αυτού, λόγω της αποτελεσματικότερης χρήσης της απορριπτόμενης θερμότητας. Συνεπώς, η αύξηση της έντασης στην ανανέωση του αέρα σ' έναν εσωτερικό χώρο, εξασφαλίζοντας καλύτερη ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος, δε σημαίνει αυτόματα αύξηση της ζήτησης της θερμότητας για τη θέρμανση του σχολικού κτιρίου (Kamensky, 2013).

3.1.6 Παθητικά Ηλιακά Συστήματα / Παθητικός Δροσισμός

Σε ένα παθητικό σχολείο (ΠΣ) η θερμότητα από 25 μαθητές και έναν δάσκαλο (1,5-2 kW) είναι επαρκής για να κρατήσει την τάξη άνετα ζεστή όλο το χρόνο. Έτσι, η μόνωση παθητικών κτιρίων (ΠΚ) είναι λιγότερο δαπανηρή για τα σχολεία από ό,τι για τα ΠΚ κατοικιών. Στα παθητικά σχολεία ακόμα κι αν το σύστημα θέρμανσης αποτύχει για αρκετές ημέρες, οι θερμοκρασίες δωματίου αναμένεται να παραμείνουν άνετες. Τα κουφώματα του ΠΣ εξασφαλίζουν άνεση τον χειμώνα, ακόμα και δίπλα στο παράθυρο, και επειδή δεν υπάρχει καλοριφέρ δίπλα σ' αυτό, αυξάνεται ο χώρος της αίθουσας. Στα 15-20 m³/άτομο, η ποσότητα αέρα που κυκλοφορεί μηχανικά σε ένα ΠΣ διασφαλίζει ότι ο εσωτερικός αέρας αντικαθίσταται πλήρως δύο φορές και ότι πληροί πάντα το πρότυπο ποιότητας αέρα κατά DIN 1946 T2 (συγκέντρωση CO₂ εσωτερικού χώρου μικρότερη από 1500 ppm). Αυτή η μέτρια ποσότητα εξαερισμού εγγυάται ότι οι αίθουσες διδασκαλίας

είναι απαλλαγμένες από θόρυβο και ρεύματα αέρα, εκτός από την πρόληψη του υπερβολικά ξηρού αέρα (συμβαίνει σε ρυθμούς κυκλοφορίας άνω των $25 \text{ m}^3 / \text{άτομο την ώρα}$) (Bretzke, 2004).



Εικόνα 5 Ηλιασμός και παθητική ηλιακή θέρμανση

Το χειμώνα, η απαίτηση για πλήρη αλλαγή του αέρα δύο φορές δεν μπορεί να επιτευχθεί με τον εξαερισμό μέσω παραθύρου, όπως είχε ήδη προσδιοριστεί πριν από δεκαετίες σε κάθε αντιπροσωπευτική μελέτη στην τάξη (αυτές οι μελέτες είχαν αποδώσει μετρήσεις CO_2 από 2500 έως 4000 ppm). Το πρότυπο ASR 5, το οποίο προϋποθέτει μειωμένη συμπεριφορά αερισμού σε θερμοκρασίες κάτω των 0°C , προβλέπει επίσης μειωμένη ανταλλαγή αέρα λόγω μειωμένου αερισμού παραθύρων το χειμώνα. Ταυτόχρονα, το σύστημα ανάκτησης θερμότητας αποτρέπει μεγάλες απώλειες θερμότητας που προκαλούνται από τον αερισμό. Σε αντίθετη περίπτωση, σύμφωνα με το νέο πρότυπο DIN 12831, το οποίο αφορά στα φορτία θέρμανσης, τέτοιες απώλειες πρέπει να αντισταθμίζονται με σημαντική πρόσθετη δαπάνη με τη χρήση θερμαντικών σωμάτων,

αφού στην πράξη είναι απαραίτητη η ανανέωση του αέρα της τάξης τουλάχιστον δύο φορές την ημέρα (ό.π.).

Μία λύση αποτελεί η απενεργοποίηση του συστήματος εξαερισμού και η αποκλειστική χρήση παραθύρων για εξαερισμό, εκτός από τη σύντομη περίοδο θέρμανσης του ΠΣ. Ακόμη και κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης, τα παράθυρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για πρόσθετο αερισμό εάν είναι απαραίτητο, καθώς σε παθητικά σπίτια αυτή η μέθοδος έχει πολύ μικρότερη απώλεια θερμότητας απ' ό,τι στα συμβατικά κτίρια (λόγω των μικρών θερμαντικών στοιχείων των ΠΚ στους εσωτερικούς τοίχους αντί των μεγάλων θερμαντικών στοιχείων κάτω από τα παράθυρα). Έτσι, δεν είναι μόνο τα λειτουργικά έξοδα που μειώνονται σημαντικά όταν χρησιμοποιούνται τεχνικές παθητικής κατασκευής κτιρίων σε σχολεία. Δημιουργούν επίσης καλύτερες συνθήκες μάθησης για τους μαθητές και καλύτερες συνθήκες εργασίας για τους εκπαιδευτικούς (ό.π.).



Εικόνα 6 Παθητικός Δροσισμός

Βάσει των παραπάνω αρχών, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός των σχολικών κτιρίων προβλέπει ως βασικά εργαλεία:

- Την προστασία του κτιρίου από τον βορρά, ώστε να μειώνονται οι θερμικές απώλειες
- Τη χωροθέτηση του κτιρίου με νότιο προσανατολισμό προς όφελος της ηλιακής θερμότητας και τη θερμομόνωση
- Την εφαρμογή παθητικών ηλιακών συστημάτων, όπως ηλιακοί τοίχοι, θερμοκήπια και αίθρια για τη συλλογή θερμότητας
- Την τοποθέτηση σκιάστρων (κινητών και σταθερών) για το δροσισμό των κτιρίων τους θερινούς μήνες
- Την τοποθέτηση ανεμιστήρων και συστημάτων εξάτμισης του νερού για τον καλύτερο αερισμό του κτιρίου (φυσικό ή τεχνητό)
- Τη χρήση κατάλληλων φυτεύσεων για την προστασία του κτιρίου
- Την εφαρμογή φωτοβολταϊκών συστημάτων
- Την εφαρμογή συστημάτων συλλογής του βρόχινου ύδατος

3.2 Νομοθεσία / Ενεργειακοί και περιβαλλοντικοί κανονισμοί

3.2.1 Νομικό Πλαίσιο

Σύγχρονα καίρια ζητήματα όπως η κλιματική αλλαγή, η υποβάθμιση του περιβάλλοντος (φυσικού και ανθρωπογενούς), όπως επίσης και η εξάντληση των φυσικών πόρων, είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με την κατασκευή και τη λειτουργία των κτιρίων σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής τους. Η παράμετρος του βιοκλιματικού σχεδιασμού -που είναι πλέον προαπαιτούμενη στο σχεδιασμό των κτιρίων- προσφέρει αιεριορικές λύσεις, εξασφαλίζοντας την ορθή διαχείριση των φυσικών πόρων, τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την αξιοποίηση τεχνικών και υλικών φιλικών προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο. Σε νομικό επίπεδο, υπάρχει ένα πλαίσιο αρχών, κανόνων και οδηγιών (σε ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο) που αναθεωρούν, περιγράφουν και ελέγχουν τους τρόπους ένταξης και εφαρμογής των βιοκλιματικών αρχών στα κτίρια.

3.2.2 Κοινοτικό Πλαίσιο (Ευρώπη)

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει εκδόσει βίβλους και οδηγίες για τον περιβαλλοντικό σχεδιασμό και με βάση αυτές έχει καθορίσει στόχους και προϋποθέσεις. Ορισμένες από αυτές είναι:

- Η οδηγία **89/106/ΕΟΚ** της 21^{ης} Δεκεμβρίου 1988 για την προσέγγιση των νομοθετικών, κανονιστικών και διοικητικών διατάξεων των κρατών μελών όσον αφορά στα προϊόντα του τομέα των δομικών κατασκευών (Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 1988).
- Η οδηγία **93/76/ΕΟΚ** της 13^{ης} Σεπτεμβρίου 1993 για τον περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα με τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης (SAVE), (Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 1993).
- Η οδηγία **2002/91/ΕΚ** της 16^{ης} Δεκεμβρίου 2002 για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων (Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2002), η οποία αποτελεί και μία από τις πρώτες οδηγίες ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων που υιοθετήθηκε και από την ελληνική νομοθεσία. Η οδηγία, μεταξύ άλλων, προέβλεπε παράλληλα τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, την ορθολογικότερη χρήση της ενέργειας, την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως επίσης και τη χρήση υλικών φιλικών προς το περιβάλλον (Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2002).
- Η οδηγία **2006/32/ΕΚ** της 5^{ης} Απριλίου 2006, για την ενεργειακή απόδοση κατά την τελική χρήση και τις ενεργειακές υπηρεσίες, καταργώντας την οδηγία 93/76/ΕΟΚ του Συμβουλίου. Σκοπός της οδηγίας ήταν να ενισχυθεί η οικονομικώς αποτελεσματική βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, αφενός με την άρση των υφιστάμενων φραγμών της αγοράς στην αποδοτική τελική χρήση της ενέργειας και αφετέρου με τη δημιουργία των συνθηκών για την ανάπτυξη ενεργειακών υπηρεσιών και την παροχή στους καταναλωτές μέτρων βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης (Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2006).
- Η οδηγία **2010/31/ΕΚ** της 19^{ης} Μαΐου 2010 για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων στην Ευρωπαϊκή Ένωση, λαμβάνοντας υπόψη τις διάφορες κλιματικές και τοπικές συνθήκες. Σύμφωνα με την οδηγία, οι χώρες της ΕΕ έπρεπε να θεσπίσουν τις βέλτιστες ελάχιστες απαιτήσεις για την ενεργειακή απόδοση, καλύπτοντας το κτίριο, τα στοιχεία του κτιρίου και την ενέργεια που χρησιμοποιείται για τη θέρμανση και ψύξη των χώρων, την παραγωγή ζεστού νερού για οικιακή χρήση, τον εξαερισμό, την ενσωματωμένη εγκατάσταση φωτισμού και άλλα τεχνικά συστήματα των κτιρίων (Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2010).

- Η οδηγία **2012/27/ΕΕ** της 25^{ης} Οκτωβρίου 2012 για την ενεργειακή απόδοση, θεσπίζοντας κοινό πλαίσιο μέτρων για την προώθηση της ενεργειακής απόδοσης εντός της Ένωσης, προκειμένου να διασφαλίσει την επίτευξη του πρωταρχικού στόχου 2020 της ΕΕ για 20% στην ενεργειακή απόδοση και να προετοιμάσει το έδαφος για περαιτέρω βελτιώσεις της ενεργειακής απόδοσης πέραν της προαναφερόμενης χρονολογίας (Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2010).

3.2.3 Εθνικό Πλαίσιο (Ελλάδα)

Στον ελλαδικό οι πιο γνωστές νομοθετικές διατάξεις που αφορούν στην ενέργεια είναι:

- Ο **Κτιριοδομικός Κανονισμός του 1989** (ΦΕΚ 59/Δ/1989). Συγκεκριμένα, το άρθρο 11 κάνει αναφορά στον φυσικό φωτισμό και αερισμό των κτιρίων, επισημαίνοντας ότι οι σχολικές αίθουσες πρέπει να έχουν άμεσο φυσικό φωτισμό και αερισμό σύμφωνα με τις συγκεκριμένες προϋποθέσεις (ο φωτισμός να προέρχεται από ανοίγματα στην οροφή ή από εξωτερικούς τοίχους του χώρου, το εμβαδό των ανοιγμάτων να μην είναι μικρότερο από το 10% του καθαρού εμβαδού του χώρου, κ.ά.), (ΕΚΤ, 1989).

- Η **Υπουργική απόφαση 21475/4707** (ΦΕΚ 880/Β/1998), σύμφωνα με την οποία πρέπει να περιοριστούν οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα με τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης. Η απόφαση προτείνει στο Άρθρο 7, α. τη χρήση συστημάτων ρύθμισης και προσαρμογής της λειτουργίας του λέβητα σε συνθήκες μερικού φορτίου και σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος, β. τη χρήση θερμοστατικών διακοπών ανά θερμαντικό σώμα, γ. τη χρήση θερμιδομετρητή ανά θερμαντικό σώμα. Το άρθρο προτείνει γενικότερα τη χρήση θερμοστάτη για τον ενεργειακά αποτελεσματικό αυτοματισμό ώστε να ελέγχεται η θερμοκρασία σε κάθε δωμάτιο του χώρου και τη χρήση κατανεμητή ώστε να καταγράφεται η πραγματική ενεργειακή κατανάλωση του χρήστη (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2010).

- Ο **Νόμος 3661** (ΦΕΚ 89/Α/2008), ο οποίος εναρμονίζει την ελληνική νομοθεσία με την Οδηγία 2002/91/ΕΚ ΤΟΥ Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16^{ης} Δεκεμβρίου 2002 'για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων'. Ειδικότερα, με τον κανονισμό καθορίζεται η μέθοδος υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, οι ελάχιστες απαιτήσεις για την ενεργειακή τους απόδοση, το είδος της μελέτης που πρέπει να εκπονηθεί, τα αρμόδια πρόσωπα ανάληψης του έργου, η διαδικασία επιθεώρησης των

κτιρίων κ.ά. Ο Νόμος προβλέπει στο Άρθρο 6 και την έκδοση πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης.

- Η υπουργική απόφαση ΔΕΠΕΑ/οικ.178581 (ΦΕΚ 2367/Β/2017), σύμφωνα με την οποία θεσπίζεται ο 'Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων' (Κ.Εν.Α.Κ.), στόχος του οποίου είναι η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, μειώνοντας την κατανάλωση της συμβατικής ενέργειας και ταυτόχρονα εξασφαλίζοντας συνθήκες θερμικής – οπτικής άνεσης και ποιότητας του εσωτερικού χώρου. Ειδικότερα, στο Β' Κεφάλαιο, ορίζονται οι βασικές παράμετροι για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, οι υπολογιστικές μέθοδοι, οι κλιματικές ζώνες, οι ελάχιστες απαιτήσεις, οι ελάχιστες προδιαγραφές των κτιρίων, τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κτιρίου αναφοράς κ.ά. (ΕΚΤ, 2017).

Προκειμένου να εφαρμόζονται οι σκοποί του Κ.Εν.Α.Κ, εκδίδονται τακτικά οι 'Τεχνικές οδηγίες του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος' (ΤΟΤΕΕ), η πιο πρόσφατη αφορά στον Βιοκλιματικό Σχεδιασμό του κτιρίου στον ελλαδικό χώρο κι αφορά κυρίως στην ενεργειακή του συμπεριφορά ως ένα υποσύνολο του αειφορικού σχεδιασμού (ΤΕΕ, 2022).

3.4 Λογισμικά Περιβαλλοντικής ανάλυσης

3.4.1. Λογισμικά Ανάλυσης Φυσικού Φωτισμού

Στα πιο διαδεδομένα λογισμικά ανάλυσης του φυσικού φωτισμού περιλαμβάνονται (Ευαγγελινός κ.ά., 2001):

- το ADELIN (Advaned Daylighting & Electric Ligthing Integrated New Environment) version 2.0 (1996), χρησιμοποιώντας τα προγράμματα SUPERLITE και RADIANCE, παρέχοντας αντίστοιχα εξελιγμένες τεχνικές ανάλυσης φυσικού φωτισμού βάσει διαφορετικών συνθηκών φωτεινότητας του ουρανού και ένα σύστημα απεικόνισης εσωτερικών συνθηκών φωτισμού.

- το DIAL, version 1.2 LESO EPFL (1999) και το DAYLIGHT, version 4.1 (1991), τα οποία παρέχουν τη δυνατότητα για απλή ανάλυση του φυσικού φωτισμού, βάσει υπολογισμών των συντελεστών φυσικού φωτισμού με μεθόδους σε συνθήκες νεφосκεπούς ουρανού.

- το ECOTECT, version 4.0 (2001), το οποίο επεξεργάζεται τους συντελεστές φυσικού φωτισμού και αναλύει τη φωτεινότητα σε συνθήκες νεφοσκεπούς και ομοιόμορφου ουρανού. Αποτελεί ένα από τα πιο ολοκληρωμένα λογισμικά και βρίσκει μεγάλη εφαρμογή από αρχιτέκτονες.
- το LIGHTSCAPE, version 3.2 (1999), το οποίο παρέχει φωτορεαλιστικές απεικονίσεις σε συνθήκες ουρανού βάσει ρυθμίσεων του χρήστη.

3.4.2. Λογισμικά Ανάλυσης Θερμικής Άνεσης

Από τα πλέον χρήσιμα λογισμικά θερμικής άνεσης είναι (Ευαγγελινός κ.ά., 2001):

- το BIOKLIMATIKA, version 1.5 π-systems (1999), το οποίο είναι δίγλωσσο (ελληνικά – αγγλικά) και κυρίως υπολογίζει τη θερμική άνεση με τους δείκτες της Προβλεπόμενης Μέσης Ψήφου (PMV = Predicted Mean Vote) και το Προβλεπόμενο Ποσοστό Ανικανοποίητων (PPD = Percentage of People Dissatisfied). Ο δείκτης PMV μετράει την αίσθηση της άνεσης από το ζεστό στο κρύο μέσω μιας κλίμακας επτά βαθμίδων, ενώ ο δείκτης PPD αποτελεί το ποσοστό των ανθρώπων που στατιστικά μένει ανικανοποίητο με τις θερμικές συνθήκες ανεξαρτήτως τιμής.
- το COMFORT, version 1.07 (1997), βασισμένο στα πρότυπα ASHRA3 55-92 και ISO 7730, προβλέπει τη θερμική ανταπόκριση ενός ανθρώπου με τη χρήση διαφόρων προτύπων θερμικής άνεσης, μέσα στα οποία και οι δείκτες PMV και PPD.
- το COMFORT PMV Calculator, version 2.1 (1995), το οποίο υπολογίζει τους δείκτες PMV και PPD με βάση το ISO 7730, ενσωματώνοντας υλικό πολυμέσω για τη θερμική άνεση.
- το PMV Tool (1999), ως μέρος της σειράς λογισμικού ECOTECT, υπολογίζει τους δείκτες PMV και PPD βάσει των στοιχείων που εισάγει ο χρήστης στις άλλες μεταβλητές, ή μία εκ νέου καθορισμένη μεταβλητή από τις τιμές των δεικτών αυτών που έχει ορίσει ο χρήστης.

3.4.3. Λογισμικά Ανάλυσης Θέρμανσης και Δροσισμού

Τα πιο απλουστευμένα λογισμικά Θέρμανσης και Δροσισμού των χώρων είναι (Ευαγγελινός κ.ά., 2001):

- το BIOKLIMATIKA, vers 1.5π-systems (1999), που μπορεί να υπολογίσει τις μηνιαίες απαιτήσεις ενός κτιρίου σε θέρμανση και να εκτιμήσει τις δυνατότητες δροσισμού, αυξάνοντας τις αλλαγές του αέρα και κάνοντας χρήση συστημάτων εξάτμισης και δροσισμού από το έδαφος. Το πρόγραμμα αντλεί στοιχεία μέσα από τα κλιματικά δεδομένα που διαθέτει για πόλεις της Ελλάδας.
- Το ENERCAD (2000), που παρέχει τη δυνατότητα προβλέψης των μηνιαίων απαιτήσεων ενέργειας για θέρμανση, με βάση το Ευρωπαϊκό πρότυπο EN 832 (1998) και το Ελβετικό SIA 380/1 (1993). Το λογισμικό χρησιμοποιεί μονάδα προσομοίωσης σκιασμού με οριζόντιες ή κατακόρυφες περσίδες, υπολογίζει ενεργητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης, εκτιμά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά πάνελ και έχει βιβλιοθήκη υλικών.
- Το ENERGY INDEX (1994-2000), σε συνεργασία με υπολογιστικά φύλλα Excel, μπορεί να εκτιμήσει τις ετήσιες ανάγκες θέρμανσης για κτίρια με χρήση κατοικίας. Το λογισμικό αυτό πρόγραμμα είναι κυρίως προσαρμοσμένο στις καιρικές συνθήκες που επικρατούν στο Ηνωμένο Βασίλειο.
- Το LT FOR EUROPE, που προβλέπει ετησίως τις ανάγκες θέρμανσης, κλιματισμού και φωτισμού για περισσότερους από έναν τύπους κτιρίων και σε διάφορες κλιματικές περιοχές της Ευρώπης.

4. Περιπτώσεις μελέτης στον ελλαδικό χώρο

Στον ελλαδικό χώρο τα τελευταία χρόνια, οι βιοκλιματικές αρχές έχουν γίνει προτεραιότητα στο σχεδιασμό των σχολικών κτιρίων, καθώς η συμπερίληψη περιβαλλοντικών ζητημάτων όπως η ακουστική, ο φωτισμός, η θερμική άνεση κ.ά. στις αίθουσες διδασκαλίας, λειτουργεί δυναμικά με τις παιδαγωγικές πρακτικές και τις παιδαγωγικές μεθόδους διδασκαλίας, αλληλεπιδρώντας με τη συμπεριφορά των χρηστών μέσα στο χώρο (Daniels et. al., 2019).

Από τα παραδείγματα βιοκλιματικών σχολείων στην Ελλάδα, η παρούσα εργασία κάνει αναφορά στα υποκεφάλαια που ακολουθούν σε τρία έργα (ένα υλοποιημένο, ένα υπό ανέγερση και ένα μη υλοποιημένο που συμμετείχε σε αρχιτεκτονικό διαγωνισμό), προκειμένου να αξιολογηθούν τα οφέλη του βιοκλιματικού σχεδιασμού ενός εκπαιδευτικού κτιρίου τόσο στο επίπεδο της εξοικονόμησης ενέργειας, όσο και στο

χωρικό / μαθησιακό επίπεδο μέσα από διαφορετικά πλαίσια σχεδιασμού (προγραμματική σύμβαση έργου, χρηματοδοτούμενο έργο, αρχιτεκτονικός διαγωνισμός).

4.1 Δημοτικό Σχολείο στην Κοζάνη

- Εισαγωγή / Ένταξη στον αστικό χώρο

Το 'Πρότυπο βιοκλιματικό σχολικό συγκρότημα του 19^{ου} Δημοτικού και 22^{ου} Νηπιαγωγείου' στην Κοζάνη αποτελεί ένα υλοποιημένο έργο στα πλαίσια μιας προγραμματικής σύμβασης μεταξύ των θεσμοθετημένων Αρχών¹ της πόλης σε οικόπεδο που διέθεσε δωρεάν η Δημοτική Επιχείρηση Ενεργού Πολεοδομίας, αναλαμβάνοντας, παράλληλα και τη χρηματοδότηση των απαιτούμενων μελετών².

Το σχολικό συγκρότημα συνολικής κάλυψης 4.199,70 m², χωροθετείται σε οικόπεδο με βραχώδες έδαφος, επικλινές προς την ανατολή, με σημαντική υψομετρική διαφορά μεταξύ του ανατολικού και του δυτικού μετώπου. Το συγκρότημα διατάσσεται κατά μήκος του άξονα ανατολής - δύσης, προκειμένου ο προσανατολισμός των περισσότερων αιθουσών διδασκαλίας να είναι προς νότο και οι σχολικές αυλές να έχουν τις βέλτιστες ηλιακές συνθήκες. Συγκεκριμένα, η περιοχή των αιθουσών διδασκαλίας έχει μελετηθεί σε κάναβο διαστάσεων 7,20 m × 7,20 m. Ο φέρων οργανισμός είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα κι αποτελείται από στύλους Φ60, τοιχία 1,50 m × 0,40 m. και πλάκες με περιμετρικές ενισχυμένες ζώνες 35 cm. Η αποφυγή δοκών επιτρέπει την ελεύθερη διαμόρφωση των όψεων, τη δυνατότητα ενοποίησης των εσωτερικών χώρων με ενιαία οροφή και την ελεύθερη διέλευση των εγκαταστάσεων.

Αξιοποιώντας αυτό το στατικό σύστημα, το συγκρότημα χωρίζεται με αρμούς διαστολής σε τρία τμήματα. Ο χωρισμός επιτρέπει την ύπαρξη υπόγειων χώρων σε περιορισμένη έκταση σε σχέση με το περίγραμμα του συγκροτήματος στην κύρια στάθμη. Αυτός ο χειρισμός μειώνει αισθητά τις εκσκαφές και τη δαπάνη του έργου, δεδομένου του βραχώδους του εδάφους.

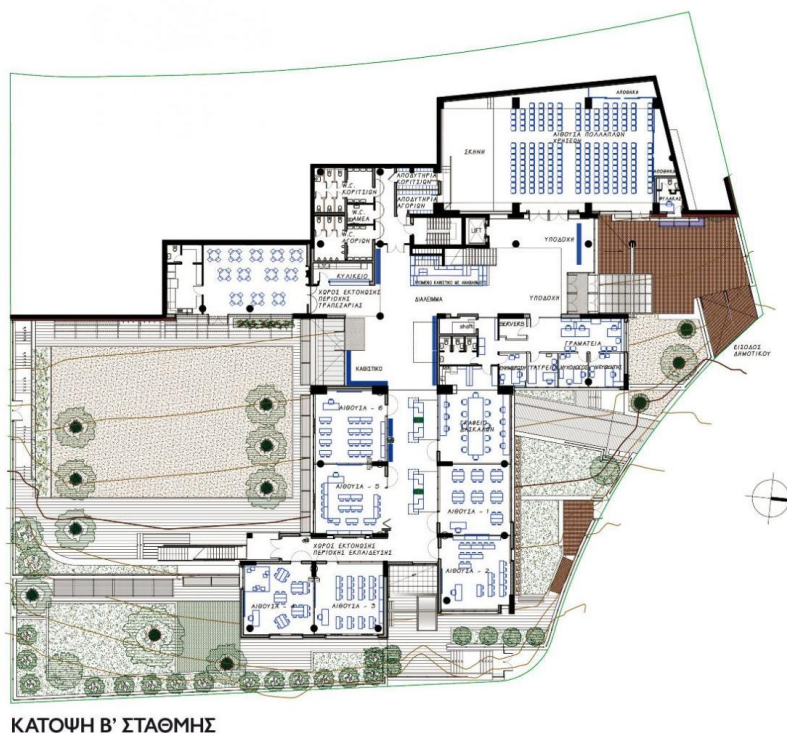
¹ Η σύμβαση υλοποιήθηκε μεταξύ της πρώην Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Κοζάνης, του Δήμου Κοζάνης, της Δημοτικής Επιχείρησης Ενεργού Πολεοδομίας Κοζάνης και της πρώην Δημοτικής Επιχείρησης Μελετών Κοζάνης (νυν ΑΝ.ΔΗ.ΚΟ.) και χρηματοδοτήθηκε από το ΕΣΠΑ Μακεδονίας – Θράκης 2007-2013 (Alumil, 2021).

² Η πρώην Δημοτική Επιχείρηση Κοζάνης (νυν ΑΝ.ΔΗ.ΚΟ.) ανέλαβε την εκπόνηση των κτιριακών μελετών και το Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας την εκπόνηση των ενεργειακών μελετών.

Για την αντιμετώπιση της μεγάλης κλίσης και τη διαμόρφωση επίπεδων επιφανειών για τα προαύλια δημιουργούνται στο οικόπεδο τέσσερα επίπεδα - πλατώματα προκειμένου να επιτυγχάνεται η ισόγεια σύνδεση με τον περιβάλλοντα χώρο σε όλες τις βασικές λειτουργικές δομές:

- Το νηπιαγωγείο στη 1^η στάθμη.
- Την κεντρική είσοδο του δημοτικού σχολείου στη 2^η στάθμη, όπου και η αίθουσα πολλαπλών χρήσεων, τα έξι τμήματα των τριών πρώτων τάξεων του δημοτικού, τους χώρους διοίκησης και δασκάλων, την τραπεζαρία, το κυλικείο και τους κύριους υγρούς χώρους, καθώς και την κάτω αυλή του δημοτικού.
- Τα έξι τμήματα των τριών τελευταίων τάξεων του δημοτικού στην 3^η στάθμη, όπου και δύο από τα εργαστήρια, η άνω αυλή του δημοτικού, το γήπεδο μπάσκετ και το υπόστεγο του χώρου για τη γυμναστική.
- Τη βιβλιοθήκη με το χώρο πληροφορικής και το εργαστήριο φυσικών επιστημών, ως χώροι με αμεσότερη σχέση με την κοινότητα στη 4^η στάθμη, με σχετική αυτονομία και πρόσβαση από τη δευτερεύουσα είσοδο.

Παρά την ύπαρξη των τεσσάρων αυτών επιπέδων, το σχολικό συγκρότημα είναι διώροφο και μόνον τοπικά τριώροφο.



ΚΑΤΩΦΗ Β' ΣΤΑΘΜΗΣ

Εικόνα 7 Κάτοψη Β' στάθμης σχολικού συγκροτήματος

- Αρχιτεκτονικός / Βιοκλιματικός Σχεδιασμός

Βασικές προϋποθέσεις κατά το σχεδιασμό ήταν αφενός η δημιουργία ενός σχολείου ανοιχτού στην κοινωνία, με δυνατότητα εφαρμογής νέων σύγχρονων ψηφιακών μεθόδων διδασκαλίας, που θα αξιοποιούν τις υποδομές και τις υπηρεσίες του ευρυζωνικού δικτύου οπτικών ινών που λειτουργεί στη ζώνη ενεργού πολεοδομίας Κοζάνης και αφετέρου η αξιοποίηση των αρχών του βιοκλιματικού σχεδιασμού, κάνοντας χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου και την απεξάρτησή του από συμβατικά καύσιμα (Κτίριο, 2022).

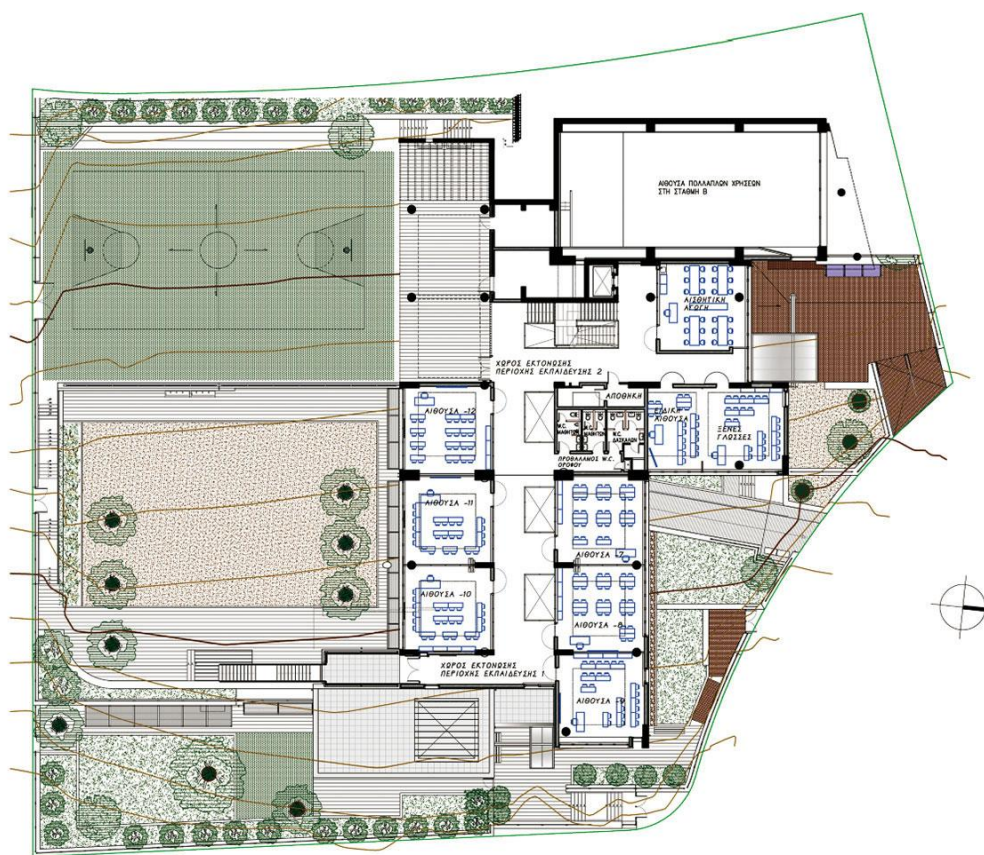


Εικόνα 8 Εξωτερική άποψη του σχολικού συγκροτήματος

Λαμβάνοντας υπ' όψιν τις παραμέτρους αυτές, αλλά και τα ιδιαίτερα μορφολογικά και κλιματικά στοιχεία της περιοχής, ο αρχιτεκτονικός και βιοκλιματικός σχεδιασμός του κτιρίου συγκεντρώνει μια σειρά από χαρακτηριστικά που επιτυγχάνουν τη μείωση των λειτουργικών δαπανών, αλλά και τον ενεργειακών του απαιτήσεων, παρά το υψηλό κόστος κατασκευής. Συγκεκριμένα, το κτίριο προβλέπει χώρους εντός του σχολικού συγκροτήματος για χρήση από τους κατοίκους της ΖΕΠ σε ώρες εκτός λειτουργίας του σχολείου, όπως η βιβλιοθήκη και αίθουσες εκδηλώσεων. Προβλέπονται επίσης αρκετοί εσωτερικοί χώροι διαλειμμάτων, δεδομένων των δυσμενών καιρικών συνθηκών της περιοχής, οι οποίοι, παράλληλα, έχουν τη δυνατότητα να ενοποιούνται με τις αίθουσες διδασκαλίας και να λειτουργούν ως αίθουσες πολλαπλών χρήσεων παραλαμβάνοντας ποικίλες χρήσεις.

Παράλληλα, στα πλαίσια του βιοκλιματικού σχεδιασμού μελετήθηκαν και βελτιστοποιήθηκαν οι παρακάτω παράμετροι:

- **Προσανατολισμός.** Το κτίριο διατάσσεται κατά μήκος του άξονα Ανατολή – Δύση και είναι κυρίως στραμμένο προς τα νότια προαύλια του. Αυτή η τοποθέτηση του κτιριακού όγκου προστατεύει τις σχολικές αυλές από τους βόρειους ανέμους και επιτρέπει τον καλύτερο εφελκυσμό του εσωτερικού αέρα, που εκτονώνεται από τις καμινάδες φυσικού αερισμού του διώροφου εσωτερικού κοινόχρηστου χώρου του σχολείου. Το εξωτερικό κέλυφος διαφοροποιείται ανάλογα με τον προσανατολισμό, μειώνοντας σε αριθμό και σε μέγεθος τα ανοίγματα προς το βορρά. Ο συνολικός σχεδιασμός βελτιστοποιεί το χειμερινό ηλιασμό.



ΚΑΤΟΨΗ Γ' ΣΤΑΘΜΗΣ

Εικόνα 9 Κάτοψη Γ' στάθμης σχολικού συγκροτήματος

- **Ηλιασμός και Ηλιοπροστασία.** Με δεδομένη την πρωινή ζώνη λειτουργίας του σχολικού συγκροτήματος, αξιοποιείται στο έπακρο ο μεσημβρινός προσανατολισμός. Από

τις 14 σχολικές τάξεις και των δύο βαθμίδων, οι 10 έχουν άμεσα ηλιακά κέρδη από το νότο (από νότια προσανατολισμένη ζώνη υαλοστασίων ή εναλλακτικά από νότια προσανατολισμένη ζώνη φεγγιτών), 3 από την ανατολή και μόνο μία, η κεντρική ισόγεια προς βορρά, μπορεί να εκμεταλλευεται μέσω των μεγάλων φεγγιτών της προς το διάδρομο την αντανάκλαση του έμμεσου θερμού ηλιακού φωτός, όπως αυτό κατεβαίνει στο διώροφο εσωτερικό χώρο που προαναφέρθηκε. Η τραπεζαρία του δημοτικού σχολείου έχει ανατολικό προσανατολισμό με μία επιμήκη πέργκολα να σκιάζει την ανατολική όψη, ενώ παράλληλα απολαμβάνει την ελεύθερη θέα προς την ηλιόλουστη νότια προσανατολισμένη αυλή.

Τα εργαστήρια πληροφορικής και αισθητικής αγωγής, των οποίων η λειτουργία μάλλον εμποδίζεται παρά υποστηρίζεται από τα άμεσα ηλιακά κέρδη βρίσκονται σε κατάλληλες θέσεις στην κάτοψη, με δυτικό και βόρειο προσανατολισμό αντίστοιχα. Αντίθετα, το εργαστήριο φυσικών επιστημών, όμοια με τις αίθουσες διδασκαλίας, έχει άμεσο ηλιασμό από το νότο. Τέλος, η αίθουσα ξένων γλωσσών έχει ανατολικό προσανατολισμό και θα έχει άμεσα ηλιακά κέρδη μόνον τις πρώτες διδακτικές ώρες.



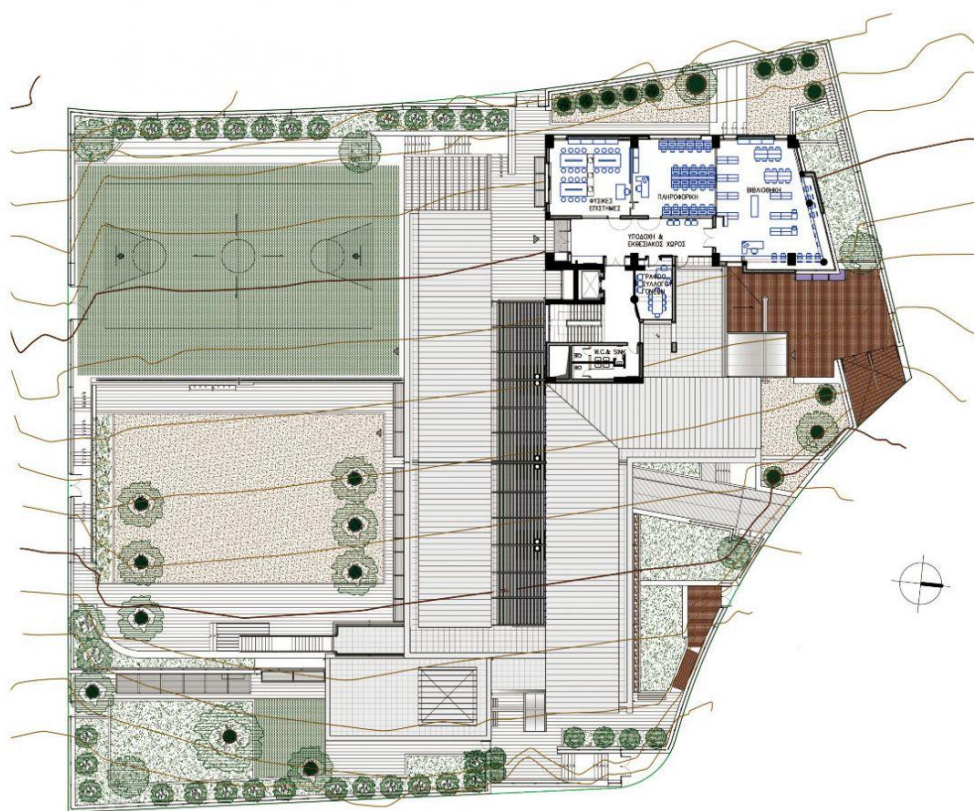
Εικόνα 10 Άποψη του εξωτερικού συστήματος ηλιοπροστασίας του σχολείου



Εικόνα 11 Άποψη των φεγγιτών οροφής

Στην ηλιοπροστασία συμμετέχουν αφενός οι κατάλληλα ανά όψη επιλεγμένοι υαλοπίνακες και αφετέρου οι κατασκευές εξωτερικής ηλιοπροστασίας. Συγκεκριμένα, προς το νότο διαμορφώνεται διώροφο και κατά περίπτωση μονώροφο σκίαστρο πλάτους 1

in μπροστά από την όψη, το οποίο επιτρέπει το χειμερινό ηλιασμό και προστατεύει από το θερινό ήλιο. Προς την ανατολή και τη δύση προτείνεται σύστημα ηλεκτροκίνητων ανασυρόμενων σε αμφίπλευρο οδηγό, περιστρεφόμενων περσίδων ηλιοπροστασίας. Τη διαφώτιστη υαλωτή οροφή προστατεύουν από τον ήλιο εξωτερικές οριζόντιες περιστρεφόμενες περσίδες στο επίπεδο της απόληξης των στεγών, στηριζόμενες σε εγκάρσιες δοκούς, οι οποίες γεφυρώνουν τον υπαίθριο χώρο του δώματος μεταξύ των στεγών.



ΚΑΤΟΨΗ Δ' ΣΤΑΘΜΗΣ

Εικόνα 12 Κάτοψη Δ' στάθμης σχολικού συγκροτήματος

- **Φυσικός Φωτισμός.** Οι σχολικές αίθουσες διδασκαλίας είναι διατεταγμένες εκατέρωθεν ενός εσωτερικού χώρου κυκλοφορίας και πολλαπλών χρήσεων, πλάτους 5 m. Αυτό το πλάτος επιτρέπει τόσο τη λειτουργική αξιοποίηση του διαδρόμου για λοιπές ομαδικές δραστηριότητες, εκτός της κυκλοφορίας, όσο και τη βιοκλιματική αξιοποίηση της τομής του σχολείου. Στην οροφή του, η μεγάλη, επιμήκης, υαλωτή, διαφώτιστη ζώνη κατεβάζει το φυσικό φως στην καρδιά του σχολείου. Η εσωτερική δομή γύρω από αυτό το

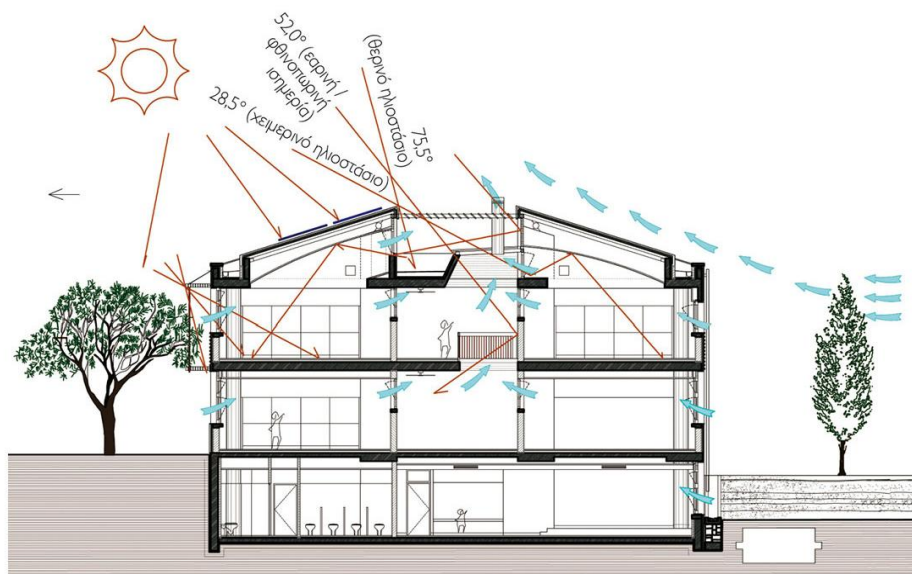
διώροφο διαφώτιστο εσωτερικό χώρο προσφέρει μια ανάταση του εσωτερικού χώρου του σχολείου ως προς τις δυνατότητες ηλιασμού και φυσικού αερισμού του.

Παράλληλα, οι πλευρές των αιθουσών διδασκαλίας και των εργαστηρίων προς τον εσωτερικό διάδρομο, φέρουν ζώνη μεγάλων υαλοστασίων από ύψος 1,70m μέχρι την οροφή, με ζώνη ανακλινόμενων φεγγιτών, η οποία εξασφαλίζει επιπλέον φυσικό φως για τον εσωτερικό διάδρομο, πέραν του γεγονότος ότι διευρύνει αντιληπτικά το χώρο μέσω της συνέχειας της οροφής που εξασφαλίζει.



Εικόνα 13 Άποψη των εσωτερικών χώρων κυκλοφορίας του σχολείου

• **Φυσικός Αερισμός.** Η προαναφερθείσα εσωτερική δομή του σχολείου, αναπτυγμένη γύρω από τον εσωτερικό διώροφο χώρο κυκλοφορίας και πολλαπλών χρήσεων, τα κενά δαπέδου στην οροφή του ισόγειου διαδρόμου, η ανακλινόμενη λειτουργία εξωτερικών υαλοστασίων και εσωτερικών φεγγιτών προς το διάδρομο και, τέλος, οι κατάλληλα τοποθετημένες περσίδες εισαγωγής νωπού αέρα στο κέλυφος των κοινοχρήστων χώρων εξασφαλίζουν το διαμπερή αερισμό προς τις καμινάδες φυσικού αερισμού, που βρίσκονται στην οροφή της κεντρικής ζώνης του σχολείου. Συγκεκριμένα τόσο οι ισόγειες αίθουσες, όσο και οι αίθουσες στον α' όροφο του δημοτικού (στάθμη Γ') έχουν δυνατότητα διαμπερούς εγκάρσιου φυσικού αερισμού από τα εξωτερικά κουφώματα προς τους ανοιγόμενους φεγγίτες του εσωτερικού τοίχου προς το διάδρομο και από εκεί προς τις 6 καμινάδες ελεγχόμενης λειτουργίας του φυσικού αερισμού στο δώμα.



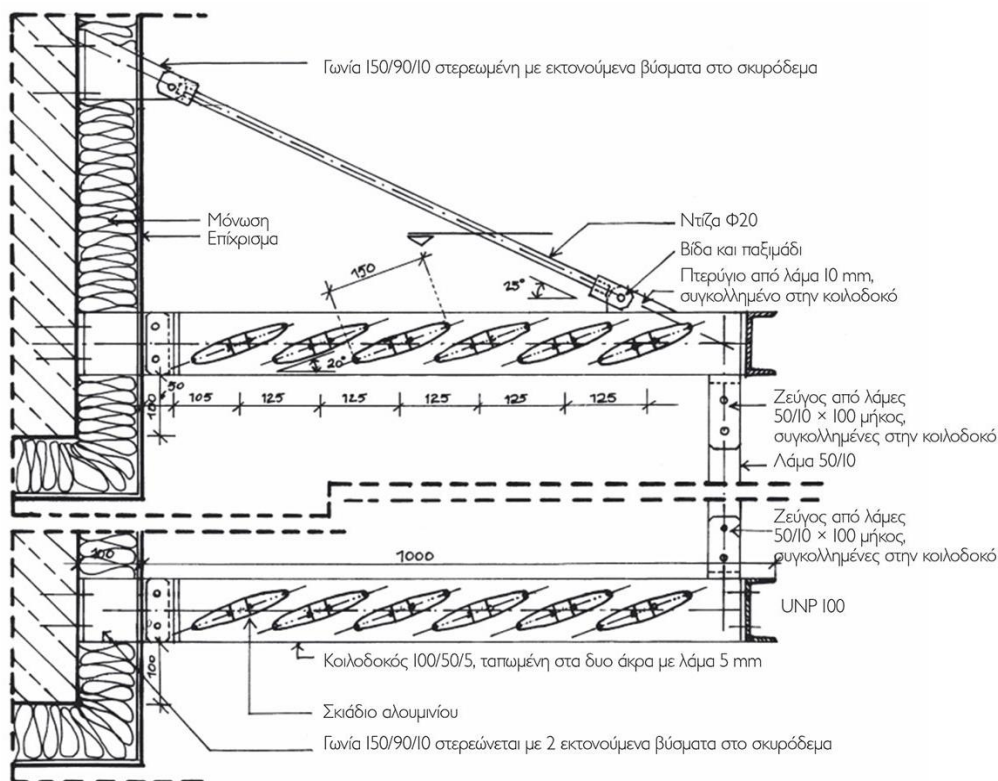
Εικόνα 14 Διαγραμματική Τομή Φυσικού Φωτισμού και Αερισμού

Οι χώροι κυκλοφορίας του ορόφου έχουν διαμπερή, διαμήκη (κάθετο προς τον προηγούμενο) φυσικό αερισμό μέσω περσίδων φυσικού αερισμού στο εξωτερικό κέλυφος των απολήξεών τους και των καμινάδων του δώματος, που προαναφέρθηκαν. Στους χώρους κυκλοφορίας του ισογείου ο διαμπερής, διαμήκης φυσικός αερισμός υποβοηθείται επιπλέον από εξωτερικό επίτοιχο ανεμιστήρα. Οι χώροι διδασκαλίας της Δ' στάθμης διαθέτουν, ομοίως, εκτός των εξωτερικών ανοιγοανακλινόμενων κουφωμάτων, εσωτερική ανοιγόμενη ζώνη φεγγιτών και ο φυσικός διαμπερής αερισμός τους εξασφαλίζεται προς το ανατολικό κούφωμα του χώρου κυκλοφορίας.



Εικόνα 15 Εξωτερική άποψη του σχολικού συγκροτήματος

• **Τυπολογία εξωτερικών κουφωμάτων και υαλοπινάκων.** Η μελέτη εκτίμησε την ανάγκη αναβάθμισης ανά διαφορετικό προσανατολισμό των υαλοπινάκων από απλούς θερμομονωτικούς σε ειδικούς θερμομονωτικούς. Τα κουφώματα οροφής έχουν επιπλέον ενσωματωμένη αντίσταση για την αποφυγή δημιουργίας πάγου ή συσσώρευσης χιονιού. Τα εξωτερικά κουφώματα αποτελούν μέρος ενός ολοκληρωμένου συστήματος ανοιγο-ανακλινόμενων κουφωμάτων που προσφέρει θερμομόνωση υψηλού επιπέδου (Alumil, 2022). Είναι όλα θερμοδιακοπτόμενα για την αποφυγή υγραποιήσεων και την επίτευξη ανάλογου συντελεστή θερμοπερατότητας με τους ενεργειακούς υαλοπίνακες με ενδιάμεσο διάκενο συμπληρωμένο με αργό. Έτσι, ο διπλός υαλοπίνακας έχει συντελεστή θερμοπερατότητας $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, ενώ ο συντελεστής θερμοπερατότητας πλαισίου (ποσοστό πλαισίου ως προς το άνοιγμα 20%) $3,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ και το αποτέλεσμα είναι ο συνολικός συντελεστής θερμικής διαπερατότητας U_w να ανέρχεται στην τιμή $1,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Επιπλέον, η ενεργειακή ‘οχύρωση’ του κτιρίου ενισχύεται με την εφαρμογή εξελιγμένου συστήματος ηλιοπροστασίας με χρήση εξωτερικών περσίδων σκίασης, προκειμένου να είναι ελεγχόμενος ο φυσικός φωτισμός στους εσωτερικούς χώρους (Εικόνα 1), (Alumil, 2021).



Εικόνα 16 Κατασκευαστική λεπτομέρεια των περσίδων σκίασης

• Υλικά

Ο κεντρικός χώρος του συγκροτήματος στεγάζεται από δύο μεγάλες επιμήκεις μονόριχτες στέγες με μεταλλική επικάλυψη (φύλλα ψευδάργυρου), οι οποίες πλαισιώνουν την κεντρική υαλωτή σχισμή που οδηγεί το φυσικό φως στη καρδιά του σχολείου. Μικρότερες μονόριχτες στέγες και μικρά δώματα ολοκληρώνουν τη σύνθεση.

Το κέλυφος θερμομονώνεται εξωτερικά και δίδεται έμφαση στην αποφυγή θερμογεφυρών. Η εξωτερική θερμομόνωση καλύπτει όλες ανεξαιρέτως τις επιφάνειες κελύφους και υπερδιαστασιολογείται (τοιχοί με 10cm πολυστερίνη, δώματα με 10cm πολυστερίνη, δάπεδα σε επαφή με το έδαφος με 4cm εξηλασμένη πολυστερίνη, τοιχία σε επαφή με το έδαφος με 5cm εξηλασμένη πολυστερίνη), προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερη προστασία από υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες και από την προβλεπόμενη από τον Κ.Εν.Α.Κ. Η εξωτερική θερμομόνωση των κατακόρυφων επιφανειών προστατεύεται από ειδικά, κατάλληλα επιχρίσματα. Οι ισόγειες όψεις προς τις αυλές προστατεύονται με ειδικό επίχρισμα υψηλής αντοχής για την προστασία σε κρούσεις.

Οι εξωτερικές όψεις έχουν λευκά επιχρίσματα και έγχρωμα σε επιλεγμένους κτιριακούς όγκους, ενώ οι αναλημματικοί τοίχοι στον περιβάλλοντα χώρο φέρουν οριζόντιες ζώνες βιομηχανικών πετασμάτων βακελίτη με εμφάνιση ξύλου και τοπικές λιθοδομές. Η ποικιλία αυτή των υλικών στη συνολική εικόνα του συγκροτήματος και στον περιβάλλοντα χώρο, συνδιαμορφώνεται από έγχρωμα: κουφώματα, στοιχεία ηλιοπροστασίας, μεταλλικά στέγαστρα, κιγκλιδώματα και υδρορρόες, όπως επίσης και από την επικάλυψη των στεγών με πετάσματα ψευδαργύρου (Κτίριο, 2021).



Εικόνα 17 Εξωτερική άποψη του σχολικού συγκροτήματος

Στον εσωτερικό χώρο του κτιρίου κυριαρχεί το φυσικό ξύλο (εσωτερικές πόρτες, κουπαστές, πάγκοι, ματιοθήκες αιθουσών) και στους κοινόχρηστους χώρους τα κεραμικά πλακίδια σε γήινη απόχρωση. Οι σκάλες είναι μαρμάρινες για μεγαλύτερη αντοχή, ενώ στα δάπεδα των αιθουσών γίνεται χρήση λινολάινα σε θερμές αποχρώσεις. Στην αίθουσα πολλαπλών χρήσεων επικρατεί το ξύλινο δάπεδο και οι περιμετρικές ανθεκτικές ηχοαπορροφητικές επιφάνειες με ζώνες ζωνών αποχρώσεων. Η οροφή είναι επίπεδη, με ηχοαπορροφητικές επενδύσεις.

- **Μικρόκλιμα Προαυλίων.** Τα προαύλια είναι χωροθετημένα στα νότια, γεγονός που επιτρέπει τον άπλετο νότιο ηλιασμό τους, όσο και την προστασία τους από τους βόρειους ανέμους. Επιπλέον, ο προσανατολισμός τους επιτρέπει τη χωρική συνένωση του

ελεύθερου χώρου των προαυλίων με τον ελεύθερο κοινόχρηστο χώρο της ζώνης ενεργού πολεοδομίας στα νότια. Η κάτω αυλή του δημοτικού έχει εκτεταμένη επιφάνεια, επιστρωμένη με διαβαθμισμένο έδαφος με λεπτόκκοκα αδρανή, γεγονός που την καθιστά απορροφητική για τα όμβρια νερά και δεν αντανακλά θερμότητα, όπως οι σκληρές επιφάνειες. Στο νότιο όριο του χώρου, η παρουσία μεγάλων φυλλοβόλων δέντρων παρέχει σκίαση σε ένα μέρος της αυλής κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, ενώ μικρότερες ζώνες χαμηλής βλάστησης πλαισιώνουν το μέτωπο του σχολείου προς την αυλή (Κτίριο, 2021).



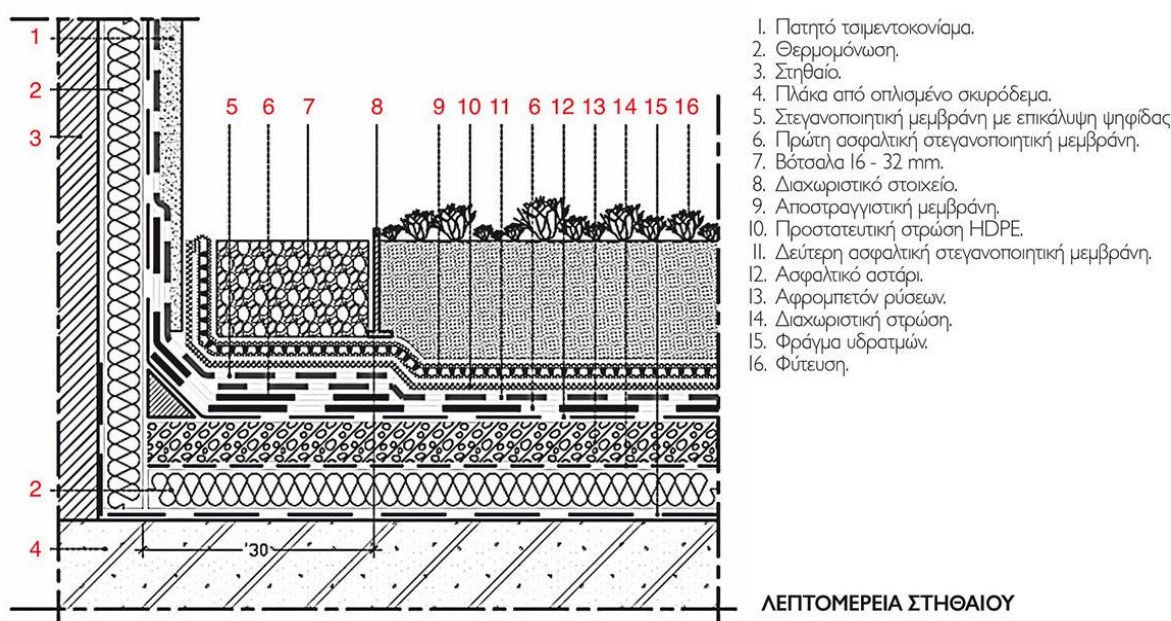
Εικόνα 18 Εξωτερική άποψη του σχολικού συγκροτήματος

Στην άνω αυλή, η οποία καταλαμβάνεται κατά τη μεγαλύτερη επιφάνειά της από το γήπεδο της καλαθοσφαίρισης, το πράσινο οριοθετείται στο μεγάλο επίμηκες παρτέρι στη πλάτη των κερκίδων. Η χωροθέτηση του πρασίνου και κυρίως των φυλλοβόλων δένδρων έχει γίνει με βιοκλιματικά κριτήρια.

- **Αξιοποίηση ΑΠΕ.** Σε ενεργειακό επίπεδο, το κτίριο ενσωματώνει συστήματα Α.Π.Ε, επιχειρώντας μια ορθή σχέση παθητικού βιοκλιματικού σχεδιασμού και μηχανολογικών μελετών για τις ΑΠΕ και την εξοικονόμηση ενέργειας. Ειδικότερα, το κτίριο αξιοποιεί την

ηλιακή ενέργεια και τη γεωθερμία, κάνοντας χρήση τηλεθέρμανσης ισχύος 84 KW, γεωθερμικού συστήματος ισχύος 150 KW, φωτοβολταϊκού συστήματος ισχύος 9,90 KW και ηλιακού θερμικού συστήματος ισχύος 26 KW. Η μελέτη του κτιρίου περιλαμβάνει επίσης την αξιοποίηση των ομβρίων υδάτων για την άρδευση των προαυλίων.

Παράλληλα, το κτίριο κάνει χρήση μονάδων αερισμού με ανάκτηση (VAM), ενεργειακών τζακιών, ενεργειακών λαμπτήρων, ενισχυμένων μονώσεων και αυτοματισμών 25 ελεγκτών CO₂. Αποτέλεσμα των συστημάτων αυτών είναι το κτίριο να υπερκαλύπτει τις ενεργειακές απαιτήσεις βάσει του KENAK, καθώς κατατάσσεται στην ενεργειακή κλάση B+.



Εικόνα 19 Κατασκευαστική λεπτομέρεια στηθαίου

4.2 Βιοκλιματικό Δημοτικό Σχολείο στην Αθήνα

- Εισαγωγή / Ένταξη στον αστικό χώρο

Το υπό ανέγερση έργο³ περιλαμβάνει τη δημιουργία 6θέσιου σχολείου για τις ανάγκες του 5^{ου} Δημοτικού Παιανίας σε οικοπέδο 3.738,17m² στην περιοχή Άνοιξη Παιανίας (ΠΕ 7, οικοδομικό τετράγωνο 7031). Η μελέτη, με χρηματοδότηση από την ΑΜΚΕ Αιγέας, αποσκοπεί στην ανέγερση ενός βιοκλιματικού κτιρίου με εγκαταστάσεις, συνολικής επιφάνειας κάλυψης 1.494,62m², που περιλαμβάνουν 6 αίθουσες διδασκαλίας, 4

³ Το έργο είναι ενταγμένο στο πρόγραμμα 'Αντώνης Τρίτσης' κι έχει εξασφαλίσει προϋπολογισμό 4.686.000 ευρώ (Δημοτική Αρχή Παιανίας, 2022).

εργαστήρια, αίθουσα πολλαπλών χρήσεων, συμπληρωματικούς χώρους υποστήριξης ή βοηθητικής χρήσης (συνολικής επιφάνειας δόμησης 1.140,43 m²) όπως επίσης και τη διαμόρφωση αύλειου χώρου (Δημοτική Αρχή Παιανίας, 2022).



Εικόνα 20 Φωτορεαλιστική απεικόνιση του σχολείου και του αύλειου χώρου

- Ογκοπλασία συγκροτήματος / Διαμόρφωση κτιριακών όγκων

Συγκεκριμένα, το δημοτικό σχολείο αποτελείται από 3 κτίρια, σχεδιασμένα σε σχήμα 'Γ', ενώ στον αύλειο χώρο προβλέπεται γήπεδο μπάσκετ και υπαίθρια κτιστά καθιστικά.

Στο ισόγειο, το κτίριο στεγάζει τρεις αίθουσες διδασκαλίας, τρία γραφεία (διευθυντή, δασκάλων και γραμματείας), δύο γραφεία για το σύλλογο γονέων και κηδεμόνων, χώρο για τον φύλακα-συντηρητή, μια αποθήκη σχολικών βιβλίων, ιατρείο, κυλικείο και χώρους υγιεινής (κοινού – προσωπικού και ΑΜΕΑ).



Εικόνα 21 Φωτορεαλιστική απεικόνιση της πρόσοψης του σχολικού συγκροτήματος



Εικόνα 22 Φωτορεαλιστική απεικόνιση του σχολικού συγκροτήματος

Στο ισόγειο χωροθετούνται επίσης η κουζίνα και το εστιατόριο, καταλαμβάνοντας ένα άκρο του κτιρίου προκειμένου να εξασφαλίσουν σχετική αυτονομία από τις αίθουσες διδασκαλίας και δυνατότητα εύκολης πρόσβασης για την τροφοδοσία.

Ο ισόγειος χώρος του σχολείου ολοκληρώνεται με την αίθουσα πολλαπλών χρήσεων, η οποία διατηρεί ανεξάρτητη πρόσβαση για να χρησιμοποιείται και από φορείς της περιοχής, και μία υπαίθρια σκηνή για παραστάσεις, ενώ στην ανατολική πλευρά του κτιρίου και σε επαφή με αυτό διαμορφώνεται ένα στέγαστρο που προορίζεται να καλύψει τις ανάγκες σε υπαίθριες δραστηριότητες.

Στον 1^ο όροφο στεγάζονται τρεις επιπλέον αίθουσες διδασκαλίας, τέσσερα εργαστήρια και η βιβλιοθήκη του σχολείου.

- Αρχιτεκτονικός / Βιοκλιματικός Σχεδιασμός

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός του κτιρίου επιδιώκει την προσαρμογή του στο τοπικό κλίμα και το φυσικό περιβάλλον και στοχεύει στην αξιοποίηση περιβαλλοντικών παραμέτρων που ελαχιστοποιούν τις ενεργειακές ανάγκες καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου επιτυγχάνουν τον περιορισμό στην κατανάλωση συμβατικών πηγών ενέργειας. Παράλληλα, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός προσβλέπει στην εξασφάλιση ενός άνετου μικροκλίματος στον εσωτερικό και υπαίθριο χώρο για όλους τους χρήστες του κτιρίου. Ειδικότερα, στον αύλειο χώρο, στόχος είναι η δημιουργία μιας εκτεταμένης ζώνης πρασίνου σε συνδυασμό με φυσικά υλικά, η οποία θα λειτουργεί ως τοπόσημο για την περιοχή φιλοξενώντας δραστηριότητες μάθησης, ψυχαγωγίας και άθλησης για όλα τα παιδιά της ευρύτερης περιοχής.

Η μελέτη περιλαμβάνει το σχεδιασμό συγκεκριμένων θέσεων στάθμευσης προκειμένου να μην διαταράσσονται τα υφιστάμενα δέντρα, ενώ παράλληλα ενισχύονται οι φυτεύσεις στα μεγαλύτερα τμήματα των ακάλυπτων χώρων γύρω από τα γειτονικά κτίρια (Δημοτική Αρχή Παιανίας, 2022).

4.3 Βιοκλιματικό Σχολείο στην Κρήτη

- Εισαγωγή / Ένταξη στο φυσικό περιβάλλον

Το 'Crete Bioclimatic School' είναι μία μη υλοποιημένη πρόταση του αρχιτεκτονικού γραφείου "Kamvari Architects" για τον διεθνή διαγωνισμό που προκηρύχθηκε από τον Οργανισμό Σχολικών Κτιρίων σε συνεργασία με τη Διεθνή Ένωση Αρχιτεκτόνων (UIA) στις 24 Απριλίου του 2012, με σκοπό το σχεδιασμό ενός σύγχρονου, καινοτόμου και βιοκλιματικού σχολείου (πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας) Ευρωπαϊκής Παιδείας στο Ηράκλειο Κρήτης.

Η πρόταση των Kamvari Architects περιλαμβάνει το σχεδιασμό ενός γραμμικού κτιρίου μήκους 60μ. που εδράζεται σε δύο υφιστάμενα αναχώματα ενός ελαιώνα, δημιουργώντας ανάμεσα μια στεγασμένη αυλή για τους μαθητές, ύψους 4 μ. πάνω από το έδαφος. Η περιοχή αυτή μπορεί να λειτουργήσει παράλληλα, ως υπαίθρια τάξη καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου. Οι χώροι του συγκροτήματος περιλαμβάνουν χώρους εκπαίδευσης και αναψυχής, έναν εκπαιδευτικό κήπο, παιδική χαρά, μία λίμνη καθώς και μία σειρά εκπαιδευτικών υπαίθριων δραστηριοτήτων μαθηματικού χαρακτήρα. Στόχος της

πρότασης είναι η αρμονική ένταξη του κτιρίου στο περιβάλλον, μέσα από μια απλή χειρονομία που δεν θα έρχεται σε αντιπαράθεση με το φυσικό τοπίο (Kamvari Architects, 2021).



Εικόνα 23 Πανοραμική φωτορεαλιστική απεικόνιση του σχολικού συγκροτήματος

Το εξωτερικό περίβλημα περιλαμβάνει μια σειρά κατακόρυφων περσίδων (προσανατολισμένων με τη χρήση αλγορίθμων) δημιουργώντας μία λεπτή καμπυλόγραμμη επιδερμίδα που αποκαλύπτει τη θέα προς το εσωτερικό του κτιρίου και την εσωτερική δράση των χρηστών. Ταυτόχρονα οι περσίδες και οι φεγγίτες παρέχουν φυσικό αερισμό και φωτισμό κατά τη διάρκεια της ημέρας, δημιουργώντας φωτεινό περιβάλλον στις αίθουσες διδασκαλίας χωρίς τη χρήση ηλεκτρικού ρεύματος.

Παράλληλα, το κέλυφος αυτό, δημιουργεί την αίσθηση ενός περικλειστού, ασφαλούς χώρου παρέχοντας τη δυνατότητα στους εκπαιδευτικούς να έχουν ορατότητα από τον έναν όροφο στον άλλο, διατηρώντας και την επαφή με το τοπίο (Kamvari Architects, 2021).



Εικόνα 24 Φωτορεαλιστική απεικόνιση της νότιας όψης του σχολικού συγκροτήματος

Ο προσανατολισμός του κτιρίου, διατρέχει τον άξονα ανατολής-δύσης και παραπέμπει εννοιολογικά στην ιστορική φύση της Κρήτης, ως πύλης μεταξύ του ανατολικού και του δυτικού κόσμου. Κατ' επέκταση, η μορφολογία του κτιρίου παραλαμβάνει αυτή μιας γέφυρας που ενσωματώνει ποικίλα περιβάλλοντα μάθησης, συνδυάζοντας τη θέα και το φυσικό πλούτο της περιοχής.

Ταυτόχρονα, στο εσωτερικό, επιχειρείται μια εξίσου ενδιαφέρουσα αφήγηση, που αφουγκράζεται τις σύγχρονες εκπαιδευτικές μεθόδους και τον τρόπο που αυτές εφαρμόζονται στα εκπαιδευτικά ιδρύματα της Κρήτης.

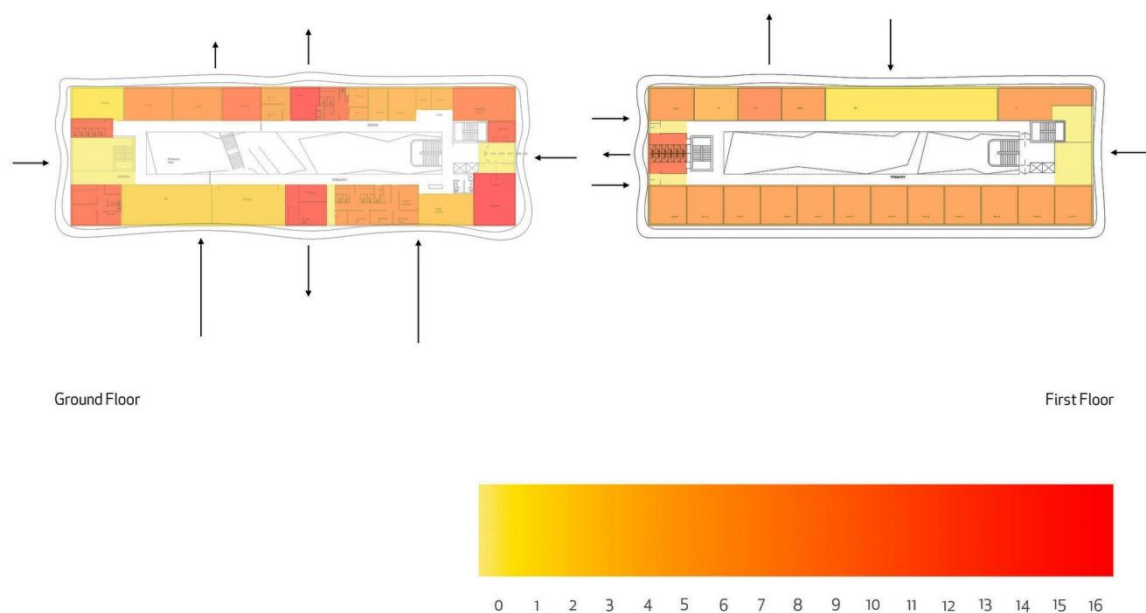
Οι κοινόχρηστοι χώροι αποτελούν χώρους κοινωνικοποίησης των μαθητών, παρέχοντας δυνατότητες για παιχνίδι και λειτουργίες εργαστηριακού χαρακτήρα. Οι αίθουσες διαθέτουν επίσης χώρους ανάπαυσης και άλλα σημεία πολλαπλών χρήσεων που μπορούν να φιλοξενήσουν μικρές και μεγάλες ομάδες μαθητών.



Εικόνα 25 Φωτορεαλιστική απεικόνιση των υπαίθριων χώρων του συγκροτήματος



Εικόνα 26 Φωτορεαλιστική απεικόνιση του εσωτερικού χώρου στο ισόγειο



Εικόνα 27 Κάτοψη του ισογείου και του ορόφου του κτιρίου / Χωρική ανάλυση

Η πρόταση περιλαμβάνει τη χρήση τοπικών υλικών στους περισσότερους χώρους, προκειμένου να δημιουργούν οικειότητα με τους χρήστες και να ενθαρρύνουν τη δημιουργία νέων και παιγνιώδων τρόπων εξερεύνησης του σχολείου, παρέχοντας, όπως υποστηρίζει η αρχιτεκτονική ομάδα, «ένα φουτουριστικό καταφύγιο για προοδευτική μάθηση, πέρα από τα συμβατικά πρότυπα» (Kamvari Architects, 2021).

5. Περιπτώσεις Μελέτης στην Ευρώπη

5.1 Paul Chevallier School

- Εισαγωγή / Ένταξη στον αστικό χώρο

Το σχολικό συγκρότημα *Paul Chevallier* αναπτύσσεται σε μια επικλινή τοποθεσία στην περιοχή Rillieux-la-Pape, ένα προάστιο στα βόρεια της γαλλικής πόλης Lyon, καταλαμβάνοντας ένας ολόκληρο οικοδομικό τετράγωνο συνολικής έκτασης 5.034 τ.μ., κοντά στο κέντρο της συνοικίας. Πρόκειται για ένα μεγάλο έργο του αρχιτεκτονικού γραφείου *Tectoniques*, το οποίο ολοκληρώθηκε το 2013 και περιλαμβάνει ένα νηπιαγωγείο κι ένα δημοτικό σχολείο, ενώ από το 2014 στο συγκρότημα λειτουργεί γυμνάσιο και γυμναστήριο, διαθέσιμο και για κοινοτικές δραστηριότητες. Βορειοανατολικά της περιοχής, κατά μήκος των ορίων της με το Στρασβούργο, βρίσκεται το παλιό χωριό Rillieux-la-Pape, ενώ στα νότια η περιοχή γειτνιάζει με πολυκατοικίες και

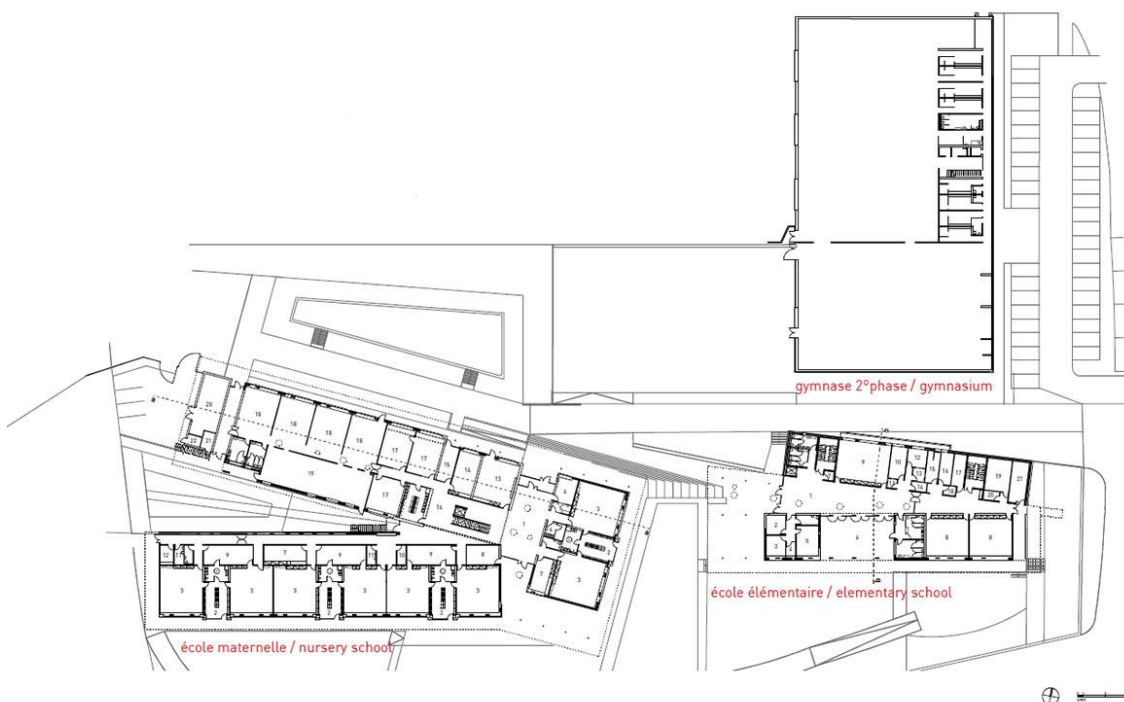
ιδιωτικές κατοικίες. Το ευρύτερο περιβάλλον της περιοχής παρουσιάζει έναν ιδιαίτερο χαρακτήρα, αφενός λόγω της πυκνής βλάστησης του φυσικού τοπίου και της παρουσίας διαφορετικών ειδών πανίδας, και αφετέρου χάρη σ' ένα πλήθος κτιρίων διαφορετικού αρχιτεκτονικού χαρακτήρα που μαρτυρούν την ιστορική του κληρονομιά (*château, villas*, κ.ά.). Συγκεκριμένα, απέναντι από το συγκρότημα υπάρχει το κατάφυτο δασώδες πάρκο *Brosset*, ενώ στην ευρύτερη περιοχή βρίσκονται εγκατεστημένα κτίρια κοινωνικής πρόνοιας, όπως ο οίκος ευγηρίας *Maison des Familles*, το κοινοτικό κέντρο *Centre Social*, το ωδείο *École de Musique*, ενισχύοντας λειτουργικά τη χρήση του σχολικού συγκροτήματος (Dezeen, 2013).



Εικόνα 28 Πανοραμική φωτορεαλιστική απεικόνιση του συγκροτήματος

- Ογκοπλασία συγκροτήματος / Διαμόρφωση κτιριακών όγκων

Η συνολική εγκατάσταση αποτελείται από δύο σχολεία που είναι αυτόνομα σε λειτουργικό και διοικητικό επίπεδο, αλλά μοιράζονται ορισμένες κοινές εγκαταστάσεις παρέχοντας χώρους με δημόσιες λειτουργίες. Ανάμεσα σ' αυτούς ανήκει ένας αστικός πεζόδρομος που συνδέει το χωριό με την κοινόχρηστη είσοδο του συγκροτήματος και του οποίου η χάραξη επεκτείνεται και μέσα στο οικόπεδο του συγκροτήματος οργανώνοντας την κάτοψη, προκειμένου ο ένας κτιριακός όγκος να αποτελεί φυσική συνέχεια του άλλου. Οι εκατέρωθεν όψεις των γύρω κτιρίων διαμορφώνουν τη γραμμικότητα του άξονα, ενώ κατά διαστήματα αυτή διασπάται μέσα από διαπλατύνσεις που φιλοξενούν χώρους με δημόσιες χρήσεις, όπως π.χ. μια παιδική χαρά στη νότια πλευρά και στην απόληξή του ένας χώρος συγκέντρωσης του κοινού κατά την έναρξη και λήξη του σχολικού ωραρίου (Tectoniques, 2013).



Εικόνα 29 Κάτοψη του σχολικού συγκροτήματος (κάτω δεξιά το Δημοτικό σχολείο)

Οι όγκοι των κτιρίων είναι ορθογωνικοί και διατάσσονται μεταξύ τους υπό κλίση, εσωκλείοντας υπαίθριους χώρους, όπως για παράδειγμα έναν λαχανόκηπο στην περίπτωση του νηπιαγωγείου και μια υπαίθρια αυλή στην περίπτωση του δημοτικού σχολείου. Ο συνολικός σχεδιασμός του συγκροτήματος λαμβάνει υπ' όψιν το επικλινές έδαφος, με το νηπιαγωγείο να κατέχει μια ήρεμη, προστατευμένη θέση σε μια πλαγιά στο κέντρο της τοποθεσίας, σε μια φυτεμένη έκταση κοντά σ' ένα κάστρο και μερικές βίλες, το δημοτικό να έχει την πρόσοψή του στην οδό Rue Salignat και το γυμνάσιο, απέναντι από αυτό, να ακολουθεί την χάραξη του δρόμου. Η κάτοψη του συγκροτήματος είναι απλή, ώστε τα παιδιά να προσανατολίζονται με ευκολία. Τα σχολεία ενώνονται με τις μεγάλες σε πλάτος στέγες τους, ενώ η γεωμετρία, και κυρίως τα περάσματα έρχονται σε αντίθεση με τη χωρική ένταση. Οι εσωτερικές προοπτικές του χώρου αλλού διευρύνονται και αλλού συμπύκνωσης, ανάλογα με το αν οι τοιχοποιίες είναι κοίλες ή κυρτές στη μορφοποίησή τους, ενώ οι απόψεις προς τον εξωτερικό χώρο συνεχώς μεταβάλλονται ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες και την εποχή. Κατά συνέπεια, η ποικιλία των χωρικών ποιοτήτων και η ασυμμετρία των όψεων με τη δυνατότητά τους να προσλαμβάνουν έναν

μεταβαλλόμενο χαρακτήρα, προσδίδουν στη σύνθεση μια ποικιλομορφία και μεταβλητότητα.

- Σχέση με το φυσικό περιβάλλον / Συμφιλιώνοντας την αρχιτεκτονική με τη φύση

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του έργου είναι η σχέση που δημιουργεί μεταξύ αρχιτεκτονικής και φύσης. Οι κτιριακοί όγκοι εναρμονίζονται με το περιβάλλον επιτρέποντας στις καιρικές συνθήκες να αλληλεπιδρούν ενίοτε με τα στοιχεία της κατασκευής. Η κεντρική ιδέα του σχεδιασμού περιλαμβάνει ομοιόμορφα, χαμηλά σε ύψος κτίρια που εναρμονίζονται με τις κλίσεις του εδάφους μειώνοντας τις εργασίες εκσκαφής και θεμελίωσης. Ταυτόχρονα το έργο ενσωματώνει τη βλάστηση στα ανώτερα και κατώτερα επίπεδα, ενώ επιβλητικές είναι οι φυτεμένες στέγες που προεξέχουν των τοιχοποιιών, δίνοντας ένα διαφορετικό χαρακτήρα στο σύνολο του συγκροτήματος που αποπνέει τη λυρική σχέση της φύσης με την αρχιτεκτονική (Dossier de Presse, 2013). Οι στέγες είναι προσβάσιμες και ορατές από το εσωτερικό των κτιρίων, μέσω των όγκων του πρώτου ορόφου, μέρος των οποίων υπερυψώνονται μέχρι την οροφή και δίνουν την εντύπωση ότι αιωρούνται κάτω από τα φυτεμένα δώματα.



Εικόνα 30 Άποψη των μονοπατιών στη στέγη του κτιρίου



Εικόνα 31 Άποψη του φυτεμένου δώματος

Παράλληλα, τα κεκλιμένα επίπεδα της οροφής, χάρη στην προσβασιμότητά τους αποτελούν διασκεδαστικούς περιπάτους για τα παιδιά, παρέχοντας ένα είδος ανεμελιάς, απαραίτητης στη σχολική τους καθημερινότητα. Επιπλέον, οι αρχιτέκτονες τοπίου έχουν φροντίσει να προσφέρουν χώρους ανακάλυψης και πειραματισμού μέσα από κρυφά μονοπάτια που εισάγουν τα παιδιά σε μια περιπετειώδη ατμόσφαιρα (Dezeen, 2013).

- Προσβασιμότητα

Η πρόσβαση στις τάξεις του νηπιαγωγείου γίνεται μέσα από τον ενδιάμεσο μεταβατικό χώρο των βεστιαρίων, ο οποίος επισημαίνεται εξωτερικά με κίτρινα μεταλλικά διάτρητα διαχωριστικά που σηματοδοτούν τη μετάβαση από τον εξωτερικό στον εσωτερικό χώρο. Οι χώροι υγιεινής και οι κοιτώνες είναι κοινοί ανά δύο αίθουσες και φέρουν εξατομικευμένο σχεδιασμό επίπλων από ξύλο τρίφυλλου έλατου για τον εξοπλισμό των ερμαρίων και των αιθουσών (Tectoniques, 2013).



Εικόνα 32 Αποψη της πρόσοψης του νηπιαγωγείου

Οι διάδρομοι έχουν το δικό τους χαρακτήρα και αποτελούν τους βασικούς άξονες σχεδιασμού, ενώ διαθέτουν μεγάλα ανοίγματα καθ' όλο το ύψος τους για αύξηση του φυσικού φωτός στους εσωτερικούς χώρους. Οι εκθεσιακοί χώροι, η κύρια είσοδος, ο χώρος εισόδου, η σκεπαστή παιδική χαρά, οι βεράντες και οι διάδρομοι, είναι σχεδιασμένοι προσεκτικά, προκειμένου να παρέχουν στους χρήστες τους ευρυχωρία, φυσικό φωτισμό και άνετη διαμονή.



Εικόνα 33 Άποψη του διαδρόμου στο ισόγειο



Εικόνα 34 Άποψη του διαδρόμου στον όροφο

- Εσωτερικός Χώρος

Η οργάνωση των αιθουσών είναι ορθογωνική με δυνατότητα άνετης φιλοξενίας τριάντα μαθητών. Οι συλλογικοί χώροι περιλαμβάνουν βιβλιοθήκη, αίθουσα συνεδριάσεων, αίθουσες μουσικής και υπολογιστών και επεκτείνονται καθ' ύψος σε προεξοχή από τις στέγες. Μεγάλα παράθυρα προς τη νότια πλευρά, προστατευμένα από τα σκίαστρα και από τις προεξοχές της οροφής (μήκους 2,4μ. και βάθους 0,18μ.), προβάλλουν τη φύση στον εσωτερικό χώρο, η οποία σκόπιμα βρίσκεται σε κοντινή απόσταση από αυτά, ώστε να εξυπηρετεί τις εκπαιδευτικές ανάγκες του σχολείου. Μικρότερα ανοίγματα οργανώνονται στον παιδικό σταθμό και προς το βορρά, ώστε να δέχεται το σταθερό φυσικό φως κατά τη διάρκεια λειτουργίας του (Dossier de Presse, 2013).



Εικόνα 35 Άποψη σχολικής αίθουσας

- Υλικά κατασκευής

Το ξύλο αποτελεί το κύριο υλικό κατασκευής δηλώνοντας την έντονη παρουσία του στην κατασκευή και ικανοποιώντας μια διπλή προϋπόθεση: περιβαλλοντική υπευθυνότητα και αρχιτεκτονική ποιότητα. Εκτός από τα θεμέλια, τις πλάκες, το ισόγειο και τα κλιμακοστάσια, η αρχιτεκτονική ομάδα επιλέγει να τοποθετήσει ξύλινα πάνελ (laminated KLH panels) ως επένδυση στους τοίχους, τις προσόψεις, τα δάπεδα, τα κλιμακοστάσια, ακόμη και στο φρεάτιο του ανελκυστήρα (Dossier de Presse, 2013).



Εικόνα 36 Εξωτερική άποψη του σχολείου



Εικόνα 37 Άποψη των εξωτερικών ανοιγμάτων



Εικόνα 38 Άποψη του κλιμακοστασίου

Στον εσωτερικό χώρο τα ξύλινα πάνελ παραμένουν εμφανή στις επιφάνειες που επενδύουν και παρέχουν σταθερότητα και βάθος στις εσωτερικές τοιχοποιίες και τα διαχωριστικά. Ομοίως, η οροφή είναι κι αυτή κατασκευασμένη από ξύλινα πάνελ, ενώ ο δεύτερος όροφος έχει διπλό δάπεδο κατασκευασμένο από προκατασκευασμένα ξύλινα πάνελ μεταξύ σανίδων OSB τοποθετημένων σε στεγνές πλάκες (Dezeen, 2013). διαμονή.

- Πορίσματα

Το σχολικό συγκρότημα Paul Chevallier, συγκεντρώνει αρετές του περιβαλλοντικού σχεδιασμού και των νέων παιδαγωγικών μεθόδων. Από τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι τα πράσινα δώματα που βελτιώνουν το μικροκλίμα των εσωτερικών χώρων και

παρέχουν χώρους ψυχαγωγίας για τα παιδιά. Παράλληλα, η φυτεμένη στέγη, λειτουργεί κι αυτή ως ένα πεδίο μάθησης, δίνοντας τη δυνατότητα στους μαθητές να έρθουν κοντά με τα στοιχεία της φύσης και να αντιληφθούν με βιωματικό τρόπο τις αρχές της βιωσιμότητας. Το κτίριο, στο σύνολό του ενσωματώνει βιοκλιματικές αρχές και αξιοποιεί τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ενώ μέσα από τις παιδαγωγικές μεθόδους που εφαρμόζει εξοικειώνει τα παιδιά με τον περιβαλλοντικό σχεδιασμό κτιρίων και τις βιοκλιματικές εφαρμογές σ' αυτά.



Εικόνα 39 Εξωτερική άποψη του σχολείου

5.2 The School on the Terraces / Frederiksbjerg School

- Το συγκρότημα

Το σχολικό συγκρότημα *The School on the Terraces*, ή αλλιώς Frederiksbjerg School, αποτελεί ένα Δημοτικό σχολείο και ένα Νηπιαγωγείο έκτασης 15.000m² στην περιοχή Frederiksbjerg στο κέντρο της πόλης Aarhus της Δανίας. Το κτίριο αντιπροσωπεύει μια καινοτόμο προσέγγιση στη σχολική αρχιτεκτονική στη Δανία και είναι ένα από τα πρώτα σχολεία που σχεδιάστηκαν για να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις της Εθνικής Δανικής Μεταρρύθμισης των Δημόσιων Σχολείων που εφαρμόστηκε το 2014. Βασικό στοιχείο της

μεταρρύθμισης είναι ότι τα παιδιά πρέπει να ασκούνται περισσότερο κατά τη διάρκεια της σχολικής ημέρας, γι' αυτό και τα παιδιά ενθαρρύνονται να είναι σωματικά δραστήρια όλη την ημέρα. Μέσα από σκαλοπάτια, κεκλιμένες πίστες και παιδικές χαρές, η διαδρομή των παιδιών από ένα σημείο σ' ένα άλλο έχει σχεδιαστεί για να είναι μια διασκεδαστική σωματική πρόκληση. Προσαρμοσμένες ζώνες για παρουσιάσεις, ομαδικές εργασίες και ατομικές μελέτες υποστηρίζουν τις εκπαιδευτικές και διδακτικές αρχές του σχολείου. Η σωματική δραστηριότητα είναι συνεπώς αναπόφευκτη στο σχολείο Frederiksbjerg, κι όπως έχει διαπιστωθεί συμβάλλει σε καλύτερες μαθησιακές επιδόσεις (Henning Larsen Architects, 2021).

Το σχολείο υλοποιήθηκε το 2016 κι είναι χτισμένο στη θέση του πρώην σχολείου Sct. Annagades, έναν καθιεωμένος χώρος συγκέντρωσης της τοπικής κοινωνίας. Για το λόγο αυτό, οι αρχιτέκτονες *Henning Larsen*, έθεσαν ως βασική αρχή του σχεδιασμού, τη δημιουργία ενός υγιούς και εμπνευσμένου περιβάλλοντος μάθησης που θα λειτουργεί καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας με επίκεντρο τους μαθητές (Archiscene, 2021).



Εικόνα 40 Εξωτερική άποψη του σχολικού συγκροτήματος

Για το λόγο αυτό, το έργο περιλαμβάνει επίσης παιδικό σταθμό και λέσχη νέων με προγράμματα μετά το σχολικό ωράριο βασισμένα σε καινοτόμες μεθόδους για τη μάθηση και το παιχνίδι.

- Ογκοπλασία συγκροτήματος / Διαμόρφωση κτιριακών όγκων

Το σχολείο οργανώνεται σε τρεις ορόφους γύρω από ένα κεντρικό αίθριο όπου συναντώνται και ενώνονται τέσσερις επιμέρους όγκοι με την τυπολογία ενός τετράφυλλου τριφυλλιού. Οι κοινόχρηστοι πρακτικοί χώροι είναι σε επαφή με το αίθριο, ενώ κάθε σύμπλεγμα διαθέτει έναν 'δημόσιο' τετραγωνικό χώρο με 'γωνιές' δραστηριοτήτων, αιώρες ανάγνωσης, κινητά εργαστήρια και έπιπλα πολλαπλών χρήσεων. Το τετράφυλλο μοτίβο χρησιμεύει για να χωρίσει το σχολείο σε μικρότερες ενότητες και δημιουργεί ένα οικείο πλαίσιο για κάθε σύμπλεγμα, καθένα από τα οποία εμφανίζει μια μοναδική ταυτότητα. Οι εξώστες (terraces), ενσωματώνονται από τις ομάδες των μαθητών ως ανοιχτά εργαστήρια και χώροι παιχνιδιού, παρέχοντας το σκηνικό για ενεργή μάθηση τόσο στον εσωτερικό όσο και στον εξωτερικό χώρο. Τα κτιριακά συμπλέγματα προβάλλουν στα τρία αίθρια του σχολείου, ενώ μεγάλα κλιμακοστάσια χρησιμεύουν ως κοινά σημεία κυκλοφορίας, δημιουργώντας μια αίσθηση ανοιχτότητας και δράσης (Henning Larsen Architects, 2021).

- Ένταξη στο περιβάλλον

Το σχολείο παραλαμβάνει διαφορετικό χαρακτήρα ανάλογα με τον περιβάλλοντα αστικό χώρο. Προς τη λεωφόρο Ingerslevs και την οδό Skt. Anna Gade, το κτίριο έχει αστικό χαρακτήρα, ενώ στην απέναντι πλευρά – προς την αυλή του σχολείου – το σχολείο προσφέρει ένα καταπράσινο τοπίο για δραστηριότητα και παιχνίδι. Με τον τρόπο αυτό, το κτίριο καταφέρνει να συνδυάσει ταυτόχρονα ένα μοναδικό περιβάλλον μάθησης κι ένα νέο ελκυστικό προορισμό για τους πολίτες μέσα στην πόλη του Aarhus.

- Αρχιτεκτονικός / Βιοκλιματικός Σχεδιασμός

Ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός του κτιρίου προβλέπει η κίνηση μέσα στο κτίριο να ξεκινά από το ανοιχτό κεντρικό αίθριο και να διαχέεται από τους μικρότερους κοινόχρηστους χώρους μέχρι τις σχολικές αίθουσες, τα δωμάτια ομαδικής εργασίας και τις μικρές κόγχες που δημιουργούν ήσυχα δωμάτια για ατομική μελέτη. Αυτή η δομή επαναλαμβάνεται και

στους τρεις ορόφους. Ο παιδικός σταθμός, το νηπιαγωγείο και η διοίκηση βρίσκονται στο ισόγειο και τον πρώτο όροφο, ενώ οι μαθητές του δημοτικού στους υπόλοιπους ορόφους. Κοινός τόπος συνάντησης αποτελεί το αίθριο, που λειτουργεί ως κατακόρυφη ανοιχτή σύνδεση μεταξύ των ορόφων (Architonic, 2018). Στο δώμα φιλοξενούνται γήπεδα και χώροι στάσης όπου μπορούν οι μαθητές να ξεκουραστούν και να απολαύσουν τη θέα. Ορισμένα δώματα χρησιμοποιούνται ως εξωτερικά εργαστήρια για τα μαθήματα, ενώ άλλα είναι ανοιχτά για το κοινό εκτός των ωρών λειτουργίας του σχολείου.



Εικόνα 41 Κάτοψη του σχολικού συγκροτήματος

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός εστιάζει σε πολυάριθμες χωρικές ποιότητες, όπως το φως της ημέρας και τα υλικά, δημιουργώντας ένα περιβάλλον που να ευνοεί τη μάθηση μέσα από την κίνηση και την πολυαισθητηριακή αντίληψη των χρηστών. Ανάμεσα σ' αυτές τις ποιότητες είναι η ποικιλόμορφη χρήση του φωτός και του χρώματος, σε συνδυασμό με μια μεταβαλλόμενη εισροή φυσικού φωτός, στοιχεία που εμφανίζουν μεγάλο αντίκτυπο στον τρόπο με τον οποίο οι χρήστες του χώρου αντιλαμβάνονται τον χρόνο και το χώρο και αποτελούν βασική παράμετρο για την ανάπτυξη ενός εμπνευσμένου μαθησιακού περιβάλλοντος.



Εικόνα 42 Άποψη του αύλειου χώρου του σχολείου

Συγκεκριμένα, η πρόσοψη του σχολείου διαθέτει μια σειρά ανοιγμάτων σε διαφορετικά μεγέθη, με τα μεγαλύτερα ανοίγματα να τοποθετούνται στο κέντρο δημιουργώντας θέα στους υπαίθριους χώρους, τα μικρότερα ανοίγματα στα ανώτερα τμήματα της πρόσοψης αφήνοντας το φως της ημέρας να διεισδύει μέσα στο κτίριο και τα χαμηλότερα στο επίπεδο του ισογείου να προσκαλούν τα παιδιά να καθίσουν και να διαβάσουν ή να παίξουν στα περβάζια. Αυτό το μοτίβο ανοιγμάτων δημιουργεί μια φυσική διακύμανση του φυσικού φωτός κατά τη διάρκεια της ημέρας, δημιουργώντας διαφορετικές ατμόσφαιρες στην αίθουσα διδασκαλίας, μέσα από εστιασμένες πηγές φωτός, οι οποίες έχει διαπιστωθεί ότι μειώνουν σημαντικά τα επίπεδα θορύβου στο εσωτερικό των χώρων

(Henning Larsen Architects, 2021). Για την αποφυγή υπερθέρμανσης και θάμβωσης έχει τοποθετηθεί μια αντιθαμβωτική μεμβράνη σε όλα τα υαλοστάσια.

- Στρατηγική Αειφορίας

Το κτίριο καθιστά σαφή την προτεραιότητα της πόλης του Aarhus για βιωσιμότητα και ενεργειακή εξοικονόμηση, προβάλλοντας ένα σχολείο που συμβάλλει ενεργά στην προστασία του μέλλοντος της κοινωνίας, της οποίας οι μαθητές θα αποτελέσουν μέλη τα επόμενα χρόνια. Συγκεκριμένα, η στρατηγική αειφορίας του έργου βασίζεται σε τρία κεντρικά θέματα: την ενέργεια, το μικροκλίμα των εσωτερικών χώρων και τα υλικά.



Εικόνα 43 Άποψη του εσωτερικού αιθρίου



Εικόνα 44 Άποψη του μεγάλου κλιμακοστασίου

Παράλληλα, το σχολείο ανταποκρίνεται στις ενεργειακές απαιτήσεις χαμηλής ενεργειακής κλάσης 2020 σύμφωνα με τους κανονισμούς δόμησης της Δανίας, κάτι που έχει επιτευχθεί ακολουθώντας μια ολοκληρωμένη προσέγγιση ενεργειακού σχεδιασμού. Συγκεκριμένα, έχουν ενσωματωθεί διάφορα μέτρα, συμπεριλαμβανομένου ενός καλά μονωμένου κελύφους κτιρίου που μειώνει την απώλεια θερμότητας κατά 50% σε σύγκριση με τις απαιτήσεις του 2020, ενώ ένα υγιές κλίμα εσωτερικού χώρου που διασφαλίζει την ποιότητα του εσωτερικού αέρα, παρέχει καλύτερες δυνατότητες μάθησης στους μαθητές κι ένα καλό εργασιακό περιβάλλον στους εκπαιδευτικούς. Σ' αυτό συμβάλλουν και τα

παθητικά μέτρα που έχουν ληφθεί, όπως ο σχεδιασμός του κτιρίου, ο προσανατολισμός, τα υλικά και η τοποθέτηση των ανοιγμάτων, όπως προαναφέρθηκε.

- Υλικά

Οι αρχιτέκτονες έλαβαν υπόψη τις επιπτώσεις των υλικών που σχετίζονται με το περιβάλλον και την υγεία. Για το λόγο αυτό, τα υφιστάμενα κτίρια κατεδαφίστηκαν με σκοπό να επαναχρησιμοποιηθούν και να απορριφθούν σύμφωνα με τις αρχές της αειφορίας. Όλα τα υλικά επιλέχθηκαν με βάση τη διάρκεια ζωής, την ποιότητα, τη λειτουργία και τη συντήρησή τους (Archiscene, 2021).

Ανάμεσα σ' αυτά, επικράτησε η χρήση ανακυκλωμένου τούβλου, ως πιο φιλικό προς το περιβάλλον καθώς οι εκπομπές CO₂ από τον καθαρισμό των παλαιών είναι χαμηλότερες σε σύγκριση με την παραγωγή νέων τούβλων. Μερικά από τα παλαιότερα τούβλα προέρχονταν από το πρώην επαρχιακό νοσοκομείο στο Aarhus, που χτίστηκε τον 1880. Άλλα προέρχονται από το Sct. Σχολείο Annagade, το οποίο βρισκόταν στο παρελθόν στην ίδια διεύθυνση με το σχολείο Frederiksbjerg. Οι αρχιτέκτονες έκριναν ότι τα πατιναρισμένα τούβλα είναι στιβαρά και ταιριάζουν τέλεια στο ιστορικό περιβάλλον, καθώς διατηρούν την ιστορική μνήμη των κτιρίων από τα οποία προήλθαν και εμφανίζουν ένα ποιοτικό φάσμα αποχρώσεων (Henning Larsen Architects, 2021). Επιπλέον, το απτικό, κόκκινο υλικό του τούβλου, προσθέτει έναν οικείο και φιλόξενο χαρακτήρα στο εξωτερικό κέλυφος του κτιρίου.



Εικόνα 45 Χώροι παιχνιδιού



Εικόνα 46 Εσωτερικοί διάδρομοι του σχολείου

Στο εσωτερικό, τα χρώματα και τα υλικά υποστηρίζουν τον προσανατολισμό και τη λειτουργία των χώρων· ανάμεσα σ' αυτούς, δύο αίθουσες καλύπτονται από ακουστικά

πλακίδια σε θερμές αποχρώσεις, ενώ τρεις μεγάλες τοιχογραφίες κοσμούν τις εσωτερικές όψεις των ανεξάρτητων ομαδικών αιθουσών.

- Πορίσματα

Το *Frederiksbjerg School* είναι σχεδιασμένο με τρόπο που να λειτουργεί ως ένα ζωντανό και δυναμικό σχολείο, ανοιχτό προς την κοινωνία και τους πολίτες της. Το μεγάλο κατά μήκος της λεωφόρου κλιμακοστάσιο με νότιο προσανατολισμό, αποτελεί το στοιχείο συγχώνευσης του σχολείου με το περιβάλλον του, ενώ το μεγάλο εσωτερικό αίθριο παραλαμβάνει το χαρακτήρα ενός δημόσιου χώρου εντός του κτιρίου, παρέχοντας λειτουργική και αντιληπτική οργάνωση των επιμέρους χώρων, ενώ παράλληλα ρυθμίζει το μικροκλίμα του εσωτερικού χώρου με φυσικό φωτισμό και αερισμό. Το σχολείο σε λειτουργεί επίσης ως εργαστήριο⁴ για μελέτες σχετικά με τη συσχέτιση του φωτός της ημέρας και του τεχνητού φωτός και τη σημασία του σ' ένα μαθησιακό περιβάλλον.



Εικόνα 47 Άποψη εξωτερικών ανοιγμάτων



Εικόνα 48 Άποψη σχολικής αίθουσας

5.3 Marin Country Day School

- Το συγκρότημα

⁴ Σε συνεργασία με το Τεχνικό Πανεπιστήμιο της Δανίας, το Πανεπιστήμιο της Κοπεγχάγης, το Πανεπιστήμιο Aarhus και το Ινστιτούτο Κτιριακών Ερευνών της Δανίας (Architonic, 2016).

Το *Marin Country Day School (MCDS)* έχει κατασκευαστεί τον Μάρτιο του 2010 από την αρχιτεκτονική εταιρεία *EHDD Architecture* και λειτουργεί ως Δημοτικό Σχολείο καταλαμβάνοντας μια έκταση 3.135 m² στην περιοχή *Corte Madera* στην Καλιφόρνια των Η.Π.Α. Σε επίπεδο στρατηγικού σχεδίου, η ομάδα των μελετητών είχε εξαρχής τη φιλοδοξία να εντάξει την έννοια της οικολογίας στο πρόγραμμα σπουδών του σχολείου και να ενισχύσει την σχέση των μαθητών με τη φύση στην ιδιαίτερη τοποθεσία που αυτό βρίσκεται. Σε όλη τη διαδικασία σχεδιασμού επιχείρησε να αναπτύξει συνέργειες μεταξύ της πανεπιστημιούπολης και του εκπαιδευτικού προγράμματος που θα επέτρεπαν στους μαθητές να αντιμετωπίσουν με δημιουργικό τρόπο υπαρκτά, τοπικά προβλήματα, χρησιμοποιώντας όλα τα εργαλεία που θα είχαν στη διάθεσή τους. Οι μαθητές συμμετείχαν στο σχεδιασμό, διερεύνησαν επιλογές, αποτύπωσαν την κατασκευή, παρακολούθησαν τα αποτελέσματα και δίδαξαν τους γονείς τους όσα είχαν μάθει για τα κτίρια μόλις αυτά ολοκληρώθηκαν (Aiatopten, 2013).



Εικόνα 49 Κάτοψη του σχολικού συγκροτήματος

Για να έχουν οι μαθητές μεγαλύτερη σύνδεση με την τοποθεσία, ο σχεδιασμός συμπεριέλαβε επίσης τους υπαίθριους χώρους όσο και το περιβάλλοντα χώρο γύρω από τα ίδια τα κτίρια. Τα διάφορα στοιχεία του προγράμματος οργανώνονται γύρω από μία

μεγάλη αυλή, την 'Step-Up Courtyard', η οποία λειτουργεί ως η 'καρδιά' της πανεπιστημιούπολης (φιλοξενώντας εκδηλώσεις όπως η αποφοίτηση), συνδέοντας τα τρία επίπεδα των σχολικών συγκροτημάτων. Ο σχεδιασμός ενισχύει τη σύνδεση εσωτερικού-εξωτερικού χώρου μέσα από τη χρήση μεγάλων ανοιγμάτων που παρέχουν άπλετη θέα, αναιρώντας τα αυστηρά όρια των κτιρίων με το φυσικό περιβάλλον.

Το έργο περιλαμβάνει μια νέα παιδική χαρά και αυλή, μία νέα βιβλιοθήκη, κέντρο τεχνολογίας, καλλιτεχνικά εργαστήρια, αίθουσες διδασκαλίας και γραφεία διοικητικών υπηρεσιών σε νέες κτριάκες δομές συνολικής έκτασης 2.145m², όπως επίσης και ανακαινισμένους χώρους έκτασης 989m² (Ehdd, 2010).



Εικόνα 50 Κατόψεις και όψη του συγκροτήματος και του αύλειου χώρου

- Τοπικός / Κοινοτικός Σχεδιασμός

Το στρατηγικό σχέδιο του MCDS έχει δεσμευτεί ρητά να δώσει στους μαθητές μια ισχυρή βάση οικολογικής παιδείας και εκπαίδευσης, ώστε να είναι έτοιμοι να αντιμετωπίσουν τις μελλοντικές παγκόσμιες προκλήσεις. Όπως προαναφέρθηκε, οι μαθητές συμμετείχαν στη

διαδικασία σχεδιασμού και το κτίριο υλοποιήθηκε με τη συνεχή συμμετοχή τους και την κατανόηση των λειτουργικών του αναγκών.



Εικόνα 51 Αποψη του αύλειου χώρου του σχολείου

Μαθητές και εθελοντές της κοινότητας βοήθησαν στην αποκατάσταση του ρέματος, συμπεριλαμβανομένης της αναφύτευσης εγχώριων ειδών στην παρόχθια ζώνη. Το Τμήμα Ψαριών και Θηραμάτων απαίτησε συνεχείς εκθέσεις παρακολούθησης και αξιολόγησης για την αποκατεστημένη υγεία του οικοσυστήματος, η οποία είναι τώρα ένα επιστημονικό έργο σε εξέλιξη για την έκτη τάξη του Δημοτικού. Επίσης, το ρέμα και η παιδική χαρά του χαμηλότερου συγκροτήματος είναι πλέον δημόσια προσβάσιμα για ολόκληρη την κοινότητα.

Παράλληλα, για να γίνει κατανοητή η απόδοση του κτιρίου με βιωματικό τρόπο στους μαθητές, υπάρχουν εγκατεστημένοι μετρητές ενέργειας για την παρακολούθηση του φωτισμού και της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε κάθε τάξη, επιτρέποντας τη σύγκριση της μιας με την άλλη. Ένα διαδικτυακό σύστημα παρακολούθησης επιτρέπει στους μαθητές να δουν πώς ποικίλλουν τα δεδομένα από την εγκατάσταση των φωτοβλαϊκών, ανάλογα με τον καιρό και την εποχή. Επίσης, διάφοροι μετρητές νερού επιτρέπουν στους μαθητές να συγκρίνουν την ποσότητα του βρόχινου νερού που συλλέγεται από τις στέγες σε σχέση με αυτό που καταναλώνεται συνολικά.

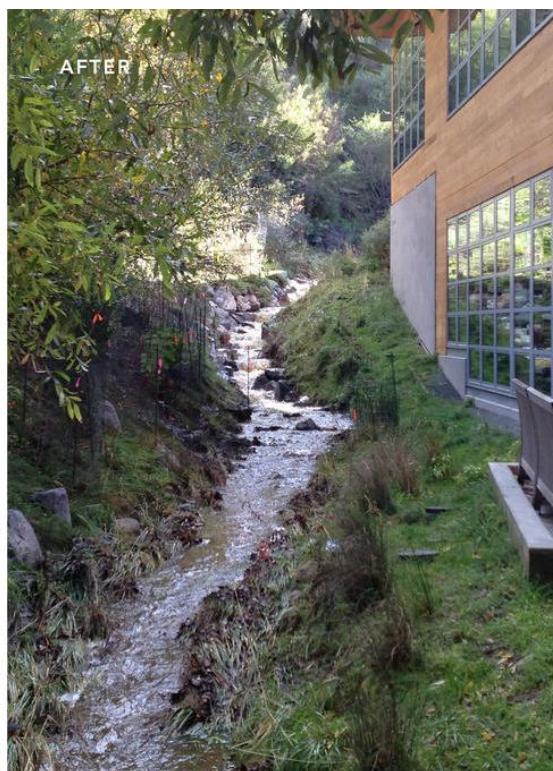
- Χρήση γης και οικολογία

Μια βασική απόφαση από τα πρώτα στάδια του σχεδιασμού ήταν να περιοριστεί όλη η κατασκευή εντός των υφιστάμενων ιχνών της πανεπιστημιούπολης και να μην καταπατηθούν οι πλαγιές των λόφων της τοποθεσίας. Αυτό απαιτούσε εκτεταμένο σχεδιασμό για τη βελτιστοποίηση της χρήσης του χώρου· νέα κτίρια χτίστηκαν σε ακάλυπτα σημεία του οικοπέδου ή σε σημεία που καθαιρέθηκαν υφιστάμενα κτίσματα. Αυτή η χειρονομία είχε ως αποτέλεσμα μια πιο πυκνοδομημένη πανεπιστημιούπολη, με διώροφα κτίρια στη θέση παλαιότερων μονώροφων κατασκευών.

Ένα ακόμη βασικό ζήτημα προς επίλυση, ήταν το εποχικό ρέμα που κατέληγε στον κόλπο, το οποίο είχε διοχετευτεί σε μια διαβρωτική αποστραγγιστική τάφρο και τροφοδοτούνταν από τις απορροές των υφιστάμενων κτιρίων και τα πλακοστρωμένα δάπεδα που απομάκρυναν τους ρύπους στους υποκείμενους υγροτόπους. Η νέα μελέτη προέβλεψε την αποκατάσταση του ρέματος, αντικαθιστώντας τα στοιχεία από σκυρόδεμα με βράχους και παραποτάμιο εξωραϊσμό, παρέχοντας ταυτόχρονα χώρους για την πρόσβαση των μαθητών στο ρέμα.



Εικόνα 52 Το ρέμα πριν από την αποκατάσταση



Εικόνα 53 Το ρέμα μετά την αποκατάσταση

Το ρέμα επανασχεδιάστηκε για να μειώσει τις ισχυρές διαβρώσεις που προκαλούσε και αποκαταστάθηκαν οι φυσικές υδρολογικές διεργασίες και να δημιουργηθούν με φυσικό τρόπο διάφοροι υγρότοποι, με φυσική φύτευση κατά μήκος της ροής του. Η οικολογική ανάλυση αυτού του ιδιαίτερου φυσικού χαρακτηριστικού του σχολείου, έδειξε ότι υπάρχουν πολλές διαφορετικές οικολογικές κόγχες μέσα στο παράχθιο περιβάλλον, συχνά εξαρτώμενες από ιδιαιτερότητες όπως το βάθος του εδάφους σε σχέση με την υψηλή στάθμη του νερού. Η αποκατάσταση του ρέματος επέτρεψε σε αυτές τις διαφορετικές οικολογικές ζώνες να ανθίσουν. Με τον τρόπο αυτό, διατηρήθηκαν οι φυσικές συνδέσεις του ρέματος με τη λεκάνη απορροής και ο ρόλος του ως φυσικού ανατολικού ορίου του σχολείου.

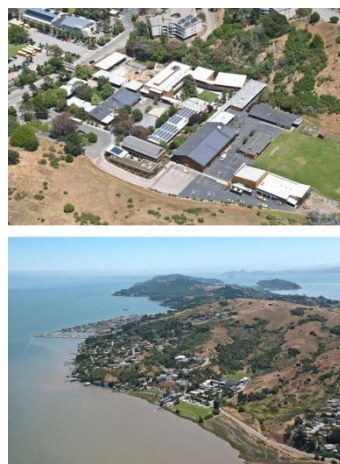
Παράλληλα, ένα εκτεταμένο δίκτυο βιολογικών υδάτων και στρατηγικών τοπίου μείωσε σημαντικά την απορροή. Συγκεκριμένα, για την καλύτερη ενσωμάτωση του νέου κτιρίου στα φυσικά οικοσυστήματα της περιοχής, τα όμβρια ύδατα από τα νέα και τα υφιστάμενα σκληρά δάπεδα αποστραγγίστηκαν σε νεοδημιουργηθέντα κανάλια, επιτρέποντας στα ιζήματα να φιλτράρουν το νερό πριν επανενωθούν στο ρεύμα, προκειμένου να δημιουργηθεί ένας πλούσιος νέος βιότοπος. Οι υδρορρόες στα υφιστάμενα κτίρια αποσυνδέθηκαν από τις αποχετεύσεις ομβρίων υδάτων και διοχετεύθηκαν μέσω μικρών αγωγών, ορατών στα πεζοδρόμια, σε νέα κανάλια.



Εικόνα 54 Άποψη των υπαίθριων χώρων



Εικόνα 55 Άποψη των χώρων στάσης του σχολείου



Εικόνα 56 Πανοραμική άποψη της περιοχής

Οι απορροές από τα δώματα των νέων κτιρίων καταλήγουν πλέον σε μια υπόγεια δεξαμενή 15.000 γαλονιών για επανάχρηση, μειώνοντας την αφιλτράριστη απορροή στο ρέμα και στους υγροτόπους. Το ίδιο νερό φιλτράρεται μηχανικά και χρησιμοποιείται

στους ψυκτικούς πύργους του κτιρίου και στους χώρους υγιεινής, μειώνοντας τη χρήση του πόσιμου νερού. Η υπόγεια δεξαμενή αποθήκευσης διπλασιάζεται ως δεξαμενή αποθήκευσης θερμικής ενέργειας και είναι κατά πολλούς βαθμούς πιο δροσερή από το εισερχόμενο νερό της πόλης.

Οι εργασίες αυτές, πέρα από το ότι αποτελούν στρατηγικές όμβριων υδάτων και εξοικονόμησης νερού, ολοκληρώνουν τον κύκλο του νερού μέσα σε μια πλήρη λεκάνη απορροής, παρέχοντας ανέσεις και χώρους που μπορούν πλέον να απολαμβάνουν οι μαθητές του σχολείου

Όσον αφορά την αρχιτεκτονική τοπίου, αυτή βασίζεται σε αυτοφυή, ανθεκτικά στην ξηρασία είδη για την ελαχιστοποίηση της άρδευσης. Το σύστημα άρδευσης διαθέτει έναν ελεγκτή εξάτμισης – διαπνοής, με βάση τις καιρικές συνθήκες, που υπολογίζει την παροχή νερού σε κάθε ζώνη φυτών σε καθημερινή βάση, σύμφωνα με τα τρέχοντα καιρικά δεδομένα και τους ρυθμούς εξάτμισης - διαπνοής. Από τις μετρήσεις που έχουν γίνει, προκύπτει ότι υπάρχει η δυνατότητα πόσιμου νερού για άρδευση με το ποσοστό μείωσης του ρυθμιζόμενου πόσιμου νερού να ανέρχεται στο 76%, ενώ το ποσοστό του βρόχινου νερού από τη μέγιστη αναμενόμενη 24ωρη, διετή καταιγίδα μπορεί να είναι αντιμετωπίσιμη κατά 30%.

- Βιοκλιματικός Σχεδιασμός

Το ήπιο κλίμα της California, μαζί με την επιθυμία της κοινότητας να είναι το συγκρότημα σε άρρηκτη σχέση με τη φύση, παρείχαν την έμπνευση για πολλές από τις στρατηγικές βιωσιμότητας που εφαρμόστηκαν. Το σχολείο βρίσκεται σε μία όμορφη τοποθεσία που περιβάλλει όπως είδαμε μια ολόκληρη λεκάνη απορροής από την κορυφογραμμή του Ring Mountain έως τον κόλπο του San Francisco.

Οι αρχιτέκτονες έθεσαν από την αρχή ως στόχο το κτίριο να παρέχει εξαιρετικό φυσικό φωτισμό σε κάθε χώρο. Ωστόσο, το αποτύπωμα του κτιρίου είναι στενό, και δεν επιτρέπει επαρκή πλευρικό φωτισμό για τους περισσότερους χώρους. Για το λόγο αυτό, προβλέφθηκε στη μελέτη η χρήση φεγγιτών (solartube) στις υφιστάμενες ανακαινισμένες αίθουσες διδασκαλίας, για να συμπληρώσουν τον πλευρικό φωτισμό μαζί με τον κεντρικό φωτισμό στην οροφή της κάθε αίθουσας. Έτσι, τα περισσότερα δωμάτια έχουν φως ημέρας από δύο ή τρεις διαφορετικές κατευθύνσεις για να παρέχουν ισορροπημένο φως χωρίς λάμψη σε όλο το χώρο.



Εικόνα 57 Άποψη του σχολείου και του αύλειου χώρου

Το υψηλό ποσοστό χώρων κοντά στην περίμετρο του κτιρίου —λόγω του στενού κτιριακού αποτυπώματος— διευκολύνει επίσης τον φυσικό αερισμό και παρέχει τη δυνατότητα να έχει τον έλεγχο ο χρήστης.

Η εγκατεστημένη πυκνότητα ισχύος φωτισμού των 0,79 watt/sf μειώνεται περαιτέρω χρησιμοποιώντας διακόπτες φωτισμού συμπεριλαμβανομένων αισθητήρων κίνησης, ώστε τα φώτα να μην ανάβουν όταν δεν χρειάζονται. Το σχολείο ενθαρρύνει τους μαθητές να συμμετέχουν σε μια εκστρατεία ‘Blinds up/lights off’ για να διασφαλίσει ότι οι κλειστές περσίδες δεν εμποδίζουν το φως της ημέρας.

Παράλληλα, για να ενισχυθεί η αλληλεπίδραση των μαθητών με τους εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους, χρησιμοποιούνται στρατηγικές παθητικού σχεδιασμού σε περισσότερο από το 90% των εξαρτώμενων από φυσικό αερισμό και φωτισμό χώρων, αυξάνοντας την εξωστρέφεια του κτιρίου. Το καλοκαίρι και το φθινόπωρο οι χώροι είναι ζεστοί, αλλά τις νύχτες πνέουν δροσεροί άνεμοι στην περιοχή. Η σκίαση του ήλιου, η διαμόρφωση του τοπίου, η θερμική μάζα και η κίνηση του αέρα παρέχουν εξαιρετική άνεση χωρίς να αποκλείουν τους μαθητές από το περιβάλλον με τον υπέροχο πλούτο των ήχων, τα αξιοθέατα, τις μυρωδιές και τον καθαρό αέρα.

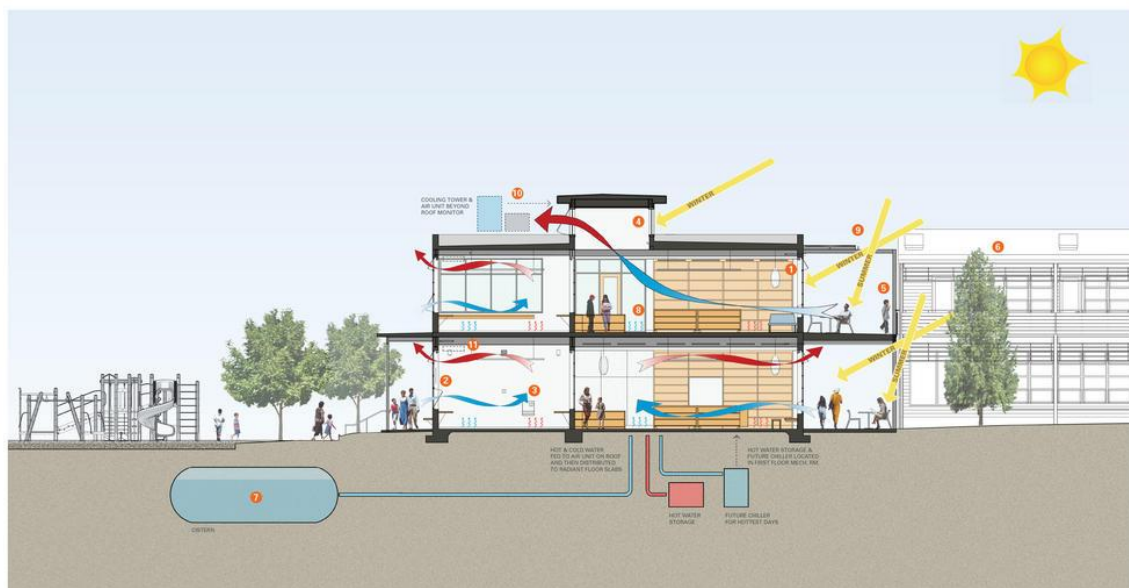


Εικόνα 58 Άποψη της σχέσης του εσωτερικού με τον εξωτερικό χώρο

Επίσης, η παρουσία ενός απότομου βράχου στα ανατολικά προστατεύει τη μεγάλη ζώνη των τάξεων από τον πρωινό ήλιο (λόγω της χαμηλής προσπίπτουσας γωνίας). Ξύλινα οριζόντια σκίαστρα στη δυτική πρόσοψη προστατεύουν τα μεγάλα παράθυρα από τον απογευματινό ήλιο, ενώ επίσης σηματοδοτούν την είσοδο στη βιβλιοθήκη και επιτρέπουν τη θέα προς τα δυτικά, προς τον λόφο Kite Hill.

Ειδικότερα, οι εξωτερικοί στεγασμένοι διάδρομοι μειώνουν σημαντικά την ανάγκη για κλιματιζόμενους χώρους, παρέχοντας βαθιά σκιά στη νότια και δυτική έκθεση της σχολικής τάξης προς τον ήλιο το καλοκαίρι, ενώ επιτρέπουν στο φυσικό φως να εισχωρήσει το χειμώνα.

Ο δομικός σκελετός του κτιρίου αποτελείται από μία μεταλλική κατασκευή με πλήρωση από οπλισμένο σκυρόδεμα για παροχή θερμικής μάζας που να μπορεί να ψυχθεί κατά τις νυχτερινές ώρες. Πράγματι, η νυχτερινή λειτουργία του πύργου ψύξης (παγώνει το νερό στους 55 βαθμούς) και της υπόγειας δεξαμενής νερού παρέχει ενεργή θερμική αποθήκευση, μετατοπίζοντας τη νυχτερινή δροσιά για να αντισταθμίσει τις μέγιστες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της ημέρας χωρίς χρήση κλιματισμού. Αυτό το νερό αποθηκεύεται στην υπόγεια δεξαμενή των 15.000 γαλονιών και ψύχει την πλάκα μέσω σωλήνων ακτινοβολίας την επόμενη μέρα. Οι ίδιοι σωλήνες ακτινοβολίας θερμαίνουν επίσης το κτίριο μέσω ενός λέβητα συμπύκνωσης.



SUSTAINABLE STRATEGIES

- | | |
|---|---|
| 1 sunshades | 7 on-site cistern; stormwater retention |
| 2 high-performance glazing | 8 radiant slab heating + cooling |
| 3 natural ventilation | 9 deep overhangs for shading |
| 4 fully daylight interiors with lighting controls | 10 100% outside air unit |
| 5 exterior circulation; less conditioned space | 11 future cooling panels |
| 6 trees for shading | |

Εικόνα 59 Στρατηγικές Αειφόρου Σχεδιασμού

Οι τοιχοποιίες είναι κατασκευασμένες από ξύλινα πυρίμαχα πλαίσια με μόνωση για την εξάλειψη θερμογεφυρών.

Το κτίριο έχει σχεδιαστεί για να επιτυγχάνει ένταση χρήσης ενέργειας (EUI) 6,74 kBtu/sf/έτος, συμπεριλαμβανομένης της ενέργειας που παράγεται από τη συστοιχία φωτοβολταϊκών και να χρησιμοποιεί λιγότερη από τη μισή ενέργεια από τον αυστηρό ενεργειακό κώδικα της California. Η μελέτη προέβλεψε μία νέα φωτοβολταϊκή συστοιχία 95,5 kW που εγκαταστάθηκε σε τρία υφιστάμενα κτίρια που είχαν την καλύτερη κλίση, προσανατολισμό και έλλειψη εμποδίων.

Υλικά και κατασκευή

Το έργο έχει μια απλή παλέτα υλικών, που εκθέτει τη δομή και ελαχιστοποιεί τα υλικά των τελειωμάτων στους περισσότερους χώρους. Σχεδόν σε όλα τα στοιχεία που είναι από ξύλο, από το πλαίσιο μέχρι την επένδυση και μέχρι το φινίρισμα, υπάρχει πιστοποίηση FSC. Η μελέτη επέλεξε για τις επενδύσεις τη χρήση κέδρου δεύτερης καλλιέργειας (με άφθονους ρόζους) αντί για την καθαρή ξυλεία της πρώτης.



Εικόνα 60 Άποψη του στεγασμένου διαδρόμου έξω από τις αίθουσες

Από τα κτίρια που κατεδαφίστηκαν διασώθηκαν ορισμένα υλικά και χρησιμοποιήθηκαν στη νέα μελέτη. Τα ξύλα που σχημάτιζαν την πρότερη αυλή ‘Step-Up Courtyard’ επαναχρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή νέων καθιστικών γύρω από την πανεπιστημιούπολη.



Εικόνα 61 Φυσικός φωτισμός αίθουσας



Εικόνα 62 Τεχνητός φωτισμός αίθουσας

Οι υπάρχουσες πλάκες από σκυρόδεμα τεμαχίστηκαν σε μικρά πλακίδια και χρησιμοποιήθηκαν ως τοπικοί ογκόλιθοι στην αποκατάσταση του κολπίσκου.

Επιπλέον, δεδομένου ότι τα παιδιά είναι πιο ευαίσθητα στις τοξικές ουσίες από τους ενήλικες, όλες οι επιλογές των υλικών εξετάστηκαν για να ελαχιστοποιηθεί η έκθεση σε

πητικές οργανικές ενώσεις και τοξικές ουσίες. Έτσι, ενσωματώθηκε μία πλήρης σειρά προδιαγραφών για τα υλικά, καθώς και άλλες στρατηγικές IEQ που εν τέλει οδήγησαν στο να κερδίσει το σχολείο την πλατινένια βαθμολογία LEED για τα σχολεία.

- Λειτουργικότητα χώρων

Η νέα μελέτη του σχολείου έδωσε έμφαση στην ευελιξία του λειτουργικού προγράμματος. Για παράδειγμα, η βιβλιοθήκη είναι ένας μεγάλος ανοιχτός χώρος, με μεγάλο ύψος οροφής, οι βιβλιοστάτες είναι τροχήλατοι και τα έπιπλα είναι κινητά, με αποτέλεσμα η αίθουσα να μπορεί εύκολα να φιλοξενήσει αλλαγές στις ανάγκες της βιβλιοθήκης για άλλες εκδηλώσεις και προγράμματα της πανεπιστημιούπολης. Οι παρακείμενοι χώροι είναι ανοιχτοί στη βιβλιοθήκη, αλλά χωρίζονται ακουστικά και παραλαμβάνουν εν δυνάμει άλλες λειτουργίες για την υποστήριξη του προγράμματος της βιβλιοθήκης.



Εικόνα 63 Ο χώρος της βιβλιοθήκης



Εικόνα 64 Χώροι ανάγνωσης

Η χαλύβδινη δομή του στατικού φορέα ευνοεί την ανεξαρτητοποίηση των τοιχοποιιών από τα εσωτερικά χωρίσματα, ενώ η δυνατότητα για μεγάλα ανοίγματα μεταξύ των υποστηλωμάτων παρέχει μεγάλη ευελιξία στις μελλοντικές γενιές να τροποποιήσουν τους εσωτερικούς τοίχους και να διαμορφώσουν νέους χώρους, να διευρύνουν τις αίθουσες διδασκαλίας και αντικαταστήσουν τα γραφεία στη βιβλιοθήκη με αίθουσες προγραμμάτων ή το αντίστροφο (Ehdd, 2010). Επίσης, ο χαλύβδινος δομικός σκελετός επενδύεται με κουφώματα με αντिलυγισμικούς συνδέσμους δυσκαμψίας που αποδίδουν

καλύτερα και απορροφούν τις σεισμικές δυνάμεις. Αυτό επιτρέπει στη δομή και στο κτίριο να αντέχουν σε όλους εκτός από τους μεγαλύτερους σεισμούς χωρίς να παραμορφώνονται τα ανοίγματα.



Εικόνα 65 Σχέση κτιρίου και περιβάλλοντος χώρου

- Εκπαιδευτικό πρόγραμμα

Οι μαθητές του MCDS συμμετέχουν σε μία κοινότητα μάθησης που εμπνέει την περιέργεια, την ενσυναίσθηση και τη δράση. Είναι στο επίκεντρο όλων όσων γίνονται καθημερινά στο σχολείο με αποτέλεσμα να καλλιεργείται μέσα τους μια βαθιά επίγνωση του εαυτού τους και των ευθυνών τους απέναντι στους άλλους μέσα από ένα ακαδημαϊκά απαιτητικό και συμμετοχικό πρόγραμμα σπουδών. Οι μαθητές αποκτούν ακαδημαϊκή προετοιμασία, αυτογνωσία και αυτοπεποίθηση για να επιτύχουν τους μαθητικούς τους στόχους. Έχουν πολλές επιλογές να εξερευνήσουν, να κάνουν έρευνα πεδίου, να παίζουν και να διασκεδάσουν, με την παράλληλη ενθάρρυνση των δασκάλων τους, που τους εμπνέουν και τους προκαλούν να ξεπεράσουν τις δυνατότητές τους, σεβόμενοι το καθένα ξεχωριστά για τις μοναδικές του ικανότητες και ιδιαιτερότητες. Χρησιμοποιώντας και τους τρεις κήπους του συγκροτήματος, μαθαίνουν να φυτεύουν, να συγκομίζουν λαχανικά και βότανα, να προετοιμάζουν το φαγητό τους με τα υλικά των κήπων, να διδάσκονται τον κύκλο ζωής των φυτών, τη σημασία του νερού και της ανακύκλωσης, να μαζεύουν φύλλα και ρίζες για να φτιάχνουν φυτικές βαθές, όπως επίσης να φροντίζουν και να θρέφουν ζώα. Αυτές οι υπαίθριες αίθουσες διδασκαλίας προσφέρουν στους μαθητές

περιβαλλοντική εκπαίδευση, ενσωματωμένη στο πρόγραμμα σπουδών. Ενθαρρύνοντας την κριτική τους σκέψη και εφαρμόζοντας σταθερές επιστημονικές δεξιότητες, οι μαθητές κατανοούν τον αντίκτυπο των προσωπικών τους αποφάσεων στο κοινό καλό (MCDS, 2010).

- Πορίσματα

Το *Marin Country Day School* αξιοποιεί στο έπακρο τη χωροθέτησή του κοντά στη θάλασσα και το βουνό και εφαρμόζει με αποτελεσματικό τρόπο στρατηγικές του ενεργητικού και παθητικού σχεδιασμού με σκοπό την καλλιέργεια της σχέσης των παιδιών με τη φύση και τη δραστηριοποίησή τους γύρω από ένα πλούσιο σε ερεθίσματα φυσικό περιβάλλον. Η διάδραση αυτή με τα στοιχεία του φυσικού περιβάλλοντος καθιστά εύκολη την εξοικείωση των μαθητών με τον βιοκλιματικό σχεδιασμό και τα εργαλεία του, ενώ ταυτόχρονα τους εισάγει σε διαδικασίες μάθησης που ευνοούν τις μεθόδους και τους τρόπους σκέψης τους.



Εικόνα 66 Εξωτερική άποψη του σχολείου

6. Περιβαλλοντική αναβάθμιση υφιστάμενων κτιρίων πρωτο-βάθμιας εκπαίδευσης

Οι δυνατότητες της περιβαλλοντικής αναβάθμισης και παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ σε σχολικές μονάδες της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης διερευνώνται τα τελευταία χρόνια σε αρκετές χώρες του ευρωπαϊκού χώρου, αλλά και στην Ελλάδα, ενώ ήδη αρκετά έργα βρίσκονται σε εξέλιξη σε μια προσπάθεια των αρμόδιων αρχών των πόλεων να αξιοποιήσουν και να βελτιώσουν τις τεχνικές και τα συστήματα φυσικής θέρμανσης, δροσισμού και φωτισμού, κ.ά. σε υφιστάμενες κτιριακές δομές.

6.1 Δυνατότητες παρέμβασης με τη χρήση σύγχρονων τεχνολογιών και συστημάτων αξιοποίησης της ενέργειας

Κύριοι καταναλωτές ενέργειας των σχολικών κτιρίων γύρω από τους οποίους έχει επικεντρωθεί η προσπάθεια εξοικονόμησης ενέργειας είναι:

- Ο Φωτισμός
- Η Θέρμανση
- Ο Κλιματισμός
- Το ζεστό νερό οικιακής χρήσης
- Ο Αερισμός και
- Ο Μηχανολογικός και Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός (όπως ανελκυστήρες, αντλίες, υπολογιστές, εξοπλισμός κουζίνας, οπτικοακουστικός εξοπλισμός, κ.ά), που υποστηρίζουν τις λειτουργίες πολλών σχολικών κτιρίων.

Νέες τεχνολογίες και συστήματα συνεχίζουν να αναπτύσσονται σε κάθε κατηγορία, αλλά μερικές από τις πιο αποτελεσματικές τεχνικές διατήρησης παραμένουν οι κοινές σχεδιαστικές λύσεις που εφαρμόζονται εδώ και αρκετά χρόνια, προτού η παροχή ενέργειας αποτελέσει αγαθό των περισσότερων κοινωνιών (Perkins, 2001).

6.1.1 Ηλιακή Ενέργεια

Τα σχολικά κτίρια είναι αναμενόμενο να κάνουν χρήση της ηλιακής ενέργειας, καθώς το σχολικό ωράριο λειτουργεί κατά τις πρωινές ώρες κι έτσι η ενέργεια του ήλιου μπορεί να χρησιμοποιηθεί με το μέγιστο όφελος. Μεταξύ των συστημάτων που πλέον εφαρμόζονται στα σχολεία είναι (Perkins, 2001):

α. *Ενεργητικά Ηλιακά συστήματα.* Οι ηλιακοί συλλέκτες χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ζεστού νερού και μέρος του φορτίου θέρμανσης. Αυτά τα συστήματα συχνά συνδέονται με το συμβατικό σύστημα παραγωγής ζεστού νερού ενός σχολείου.

β. *Παθητικά ηλιακά συστήματα.* Τα κτιριακά κελύφη μπορούν να σχεδιαστούν για να μειώσουν το ηλιακό κέρδος για ψύξη και να αυξήσουν το ηλιακό κέρδος για θέρμανση.

6.1.2 Γεωθερμία

Τα γεωθερμικά συστήματα χαμηλής στάθμης χρησιμοποιούν γεωθερμικές αντλίες θερμότητας και νερό σε πηγάδια, όπου το νερό παραμένει σε σταθερή θερμοκρασία. Στα πλεονεκτήματα αυτού του συστήματος περιλαμβάνεται η χρήση ενός μη ρυπογόνου ανανεώσιμου πόρου, το χαμηλότερο λειτουργικό κόστος, η μείωση του αντίστοιχου εξοπλισμού στο δώμα του κτιρίου, κ.ά. Υπάρχουν επίσης γεωθερμικά συστήματα που χρησιμοποιούν φυσικά θερμαινόμενο νερό, αλλά δεν έχει γίνει ευρεία χρήση τους από τα σχολεία προς το παρόν (Perkins, 2001).

6.1.3 Διατήρηση του νερού και Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων

Μέχρι σήμερα, οι περισσότερες προσπάθειες εξοικονόμησης νερού έχουν επικεντρωθεί στην επιλογή του εξοπλισμού των χώρων υγιεινής και άλλων υδραυλικών συσκευών χαμηλής κατανάλωσης. Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις ο σχεδιασμός του περιβάλλοντος χώρου του σχολείου και οι τεχνικές άρδευσης χαμηλής κατανάλωσης είναι επίσης σημαντικά ζητήματα εξοικονόμησης νερού. Στις μέρες μας εξετάζονται επίσης συστήματα ανακύκλωσης του γκρίζου νερού, τα οποία περιλαμβάνουν τη χρήση λυμάτων από τους χώρους υγιεινής για πύργους άρδευσης ή ψύξης.

Εξίσου σημαντική είναι και η μείωση της ποσότητας των στερεών αποβλήτων με ταυτόχρονη αύξηση της χρήσης ανακυκλωμένων υλικών ή υλικών με ανακυκλωμένο περιεχόμενο. Το μέτρο αυτό, ωστόσο, απαιτεί περισσότερο αποθηκευτικό χώρο σ' ένα σχολείο και γι' αυτό επηρεάζει την επιλογή των υλικών που θα αποφασίσει η ομάδα των μελετητών.

6.1.4 Φωτοβολταϊκά

Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών προχωρά σταθερά και ένας αυξανόμενος αριθμός σχολικών συγκροτημάτων έχει εγκαταστήσει ανάλογα συστήματα. Στις περισσότερες

περιπτώσεις σχεδιάζονται σε συνδυασμό με ηλεκτρική ενέργεια που παρέχεται από το δίκτυο. Για παράδειγμα, ένα σχολείο μπορεί να χρησιμοποιήσει ένα τέτοιο σύστημα για να λειτουργήσει τις ηλεκτρικές αντλίες και τους φυσητήρες ενός ηλιακού θερμικού αποξηραντικού συστήματος κλιματισμού με υψηλή ταχύτητα ένα ηλιόλουστο απόγευμα και στη συνέχεια να μεταβεί στην ισχύ που παρέχεται από το δίκτυο για τη χαμηλή – ταχύτητα της νυχτερινής ζήτησης.

6.1.5 Κλιματισμός

Τις τελευταίες δεκαετίες όλο και περισσότερα σχολεία έχουν κλιματίσει αρκετές από τις εγκαταστάσεις τους για να βελτιώσουν τις συνθήκες διδασκαλίας και να κάνουν το σχολείο κατάλληλο για χρήση όλο το χρόνο. Σε ορισμένες σχολικές μονάδες ιδιωτικού χαρακτήρα, ο κλιματισμός έχει γίνει το πρότυπο και δεν χρησιμοποιείται κατ' εξαίρεση σε κάποιους πιο ιδιωτικούς χώρους (όπως το γραφείο του διευθυντή). Αυτή η αλλαγή έχει προσθέσει μια σημαντική νέα πηγή κατανάλωσης ενέργειας.

Μεταξύ των σημαντικότερων βημάτων που λαμβάνουν τα σχολεία για να ελέγξουν την αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας που προκαλείται από την ενσωμάτωση κλιματιστικών σωμάτων στις σχολικές μονάδες είναι τα ακόλουθα:

- Χρήση ανεξάρτητων συστημάτων κλιματισμού για την εξυπηρέτηση συγκεκριμένων χώρων (π.χ. αμφιθέατρα, γραφεία, αίθουσα υπολογιστών, κ.ά.)
- Μείωση της ισχύος που απαιτείται από τους ανεμιστήρες των κλιματιστικών μονάδων με χρήση ανεμιστήρων μεταβλητής ταχύτητας, χρήση ψύξης με ακτινοβολία (συνήθως στην Ευρώπη αλλά ακόμα σπάνια στις Ηνωμένες Πολιτείες) και παροχή αέρα σε χαμηλότερη θερμοκρασία.
- Χρήση εξοπλισμού θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού (HVAC) υψηλής απόδοσης, μετάδοσης κίνησης μεταβλητής ταχύτητας στους ανεμιστήρες, κινητήρων υψηλής απόδοσης και ψυκτικού εξοπλισμού με καλή βαθμολογία (EER).
- Χρήση μόνωσης οροφής, χρήση υαλοστασίων χαμηλής εκπεμπιμότητας (Low E) και εφαρμογή ανοιχτόχρωμων υλικών στη στέγη για μείωση του ψυκτικού φορτίου.
- Εφαρμογή στρατηγικών που χρησιμοποιούνται για την ελαχιστοποίηση του ηλιακού κέρδους μέσω των υαλοπινάκων, με παράλληλη μεγιστοποίηση της διείσδυσης του φωτός της ημέρας, όπως σωστός προσανατολισμός κτιρίου, χρήση φυλλοβόλων δέντρων, ράφια φωτισμού, αντιθαμβωτικά συστήματα, κ.ά. (Perkins, 2001).

6.1.6 Θέρμανση

Παρότι η αυξημένη χρήση κλιματισμού σε κάποια σχολικά συγκροτήματα άλλαξε την εξίσωση στους κύριους καταναλωτές ενέργειας, στα περισσότερα ο πιο σημαντικός παραμένει η θέρμανση και γι' αυτό εξακολουθεί να είναι στο επίκεντρο των προσπαθειών για την εξοικονόμηση ενέργειας. Αρκετά σχολικά συγκροτήματα σχεδιάστηκαν με πιο συμπαγή κελύφη, πιο συνεκτικές κατόψεις, μεγαλύτερη μόνωση και πιο αποτελεσματικά συστήματα θέρμανσης προκειμένου να μειώσουν τις τιμές της ενέργειας, ωστόσο, δεν μπόρεσαν να αποφευχθούν οι αρνητικές συνέπειες ορισμένων από αυτά τα μέτρα (κακή ποιότητα αέρα εσωτερικών χώρων, ελάχιστο φυσικό φως σε πολλούς χώρους, έλλειψη θερμικής άνεσης, κ.ά). Μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1990, οι πιο συνηθισμένες ενέργειες για τη μείωση των απωλειών της θερμότητας ήταν οι εξής (Perkins, 2001):

- Ενίσχυση της απόδοσης του κτιριακού κελύφους με την προσθήκη μόνωσης στις τοιχοποιίες και τις οροφές, προθαλάμων στους χώρους εισόδων και χρήσης υψηλών προδιαγραφών κουφωμάτων με αντοχή στις ακραίες καιρικές συνθήκες.
- Βελτίωση του θερμικού ισοζυγίου και αύξηση του αριθμού των ελέγχων του συστήματος θέρμανσης σε κάθε χώρο προκειμένου να εξαλειφθεί η ανάγκη να χρειαστεί δροσισμό μία αίθουσα λόγω υπερβολικής θέρμανσης τις κρύες ημέρες του χρόνου. Αυτό είναι ένα κοινό πρόβλημα σε παλαιότερες σχολικές δομές, όπου οι κακές διαδικασίες λειτουργίας και συντήρησης επιτρέπουν την εξουδετέρωση του ηλιακού κέρδους σε μία πρόσοψη ανοίγοντας τα παράθυρα.
- Χρήση βελτιωμένων χειριστηρίων, συμπεριλαμβανομένων των άμεσων ψηφιακών χειριστηρίων, τα οποία προσαρμόζουν πιο γρήγορα και αποτελεσματικά τα επίπεδα θερμότητας σε έναν χώρο ώστε να αντικατοπτρίζουν τις αλλαγές στην πληρότητα και το ηλιακό κέρδος. Οι θερμοστάτες νυχτερινής απόσβεσης και άλλα χειριστήρια είναι πλέον μια κοινή πρακτική. Αυτά τα χειριστήρια επαναφοράς συχνά συνδυάζονται με χειριστήρια ελέγχου της πρωινής και απογευματινής θέρμανσης, καθώς και με επαναρύθμισης του νερού θέρμανσης σύμφωνα με την εξωτερική θερμοκρασία.
- Αντικατάσταση κουφωμάτων σε περίπτωση που υπάρχουν μεγάλες απώλειες προκειμένου να αυξηθεί η θερμική απόδοση του κελύφους του κτιρίου και να μειωθεί το κόστος συντήρησής τους. Στην περίπτωση αυτή, γίνεται χρήση υαλοστασίων χαμηλής εκπεμπιμότητας (Low E), καθώς η συγκεκριμένη τεχνολογική καινοτομία βελτιώνει

σημαντικά την απόδοση των κουφωμάτων και συχνά προσεγγίζει τα πλεονεκτήματα των ανοιγμάτων με μόνωση (διπλά υαλοστάσια).

- Χρήση αποδοτικών λεβητών και ανάλογων συστημάτων που εξοικονομούν ενεργειακά κόστη μέσω της ανάκτησης θερμότητας καυσαερίων, των αποσβεστήρων καυσαερίων, της καύσης διπλού καυσίμου, της καύσης υψηλής απόδοσης και άλλων χαρακτηριστικών. Επιπλέον, συνιστάται συχνά να επιλέγονται λέβητες ώστε να ανταποκρίνονται αποτελεσματικότερα στη ζήτηση θέρμανσης (π.χ. μονάδες των 50-60 % της ζήτησης για λειτουργία σε χαμηλά φορτία).
- Χρήση περισσότερο αποτελεσματικών συστημάτων διανομής, όπως η άντληση μεταβλητής ταχύτητας και η ανεξάρτητη ζώνη για έλεγχο θερμοκρασίας, καθώς συμβάλλουν στη μείωση της ενέργειας θέρμανσης και ψύξης που χάνεται στη διανομή.

6.1.7 Εξαερισμός

Ο εξαερισμός είναι μέσα στις προϋποθέσεις των περισσότερων κανονισμών βιοκλιματικού σχεδιασμού και συμβάλλει στην κατανάλωση ενέργειας με δύο βασικούς τρόπους: αφενός μέσω της ενέργειας που χρησιμοποιείται όταν ο αέρας εξαερισμού θερμαίνεται, ψύχεται ή/και κάνει αφύγρανση και αφετέρου της ενέργειας που απαιτείται για τη λειτουργία των ανεμιστήρων του συστήματος εξαερισμού. Οι βασικές στρατηγικές εξοικονόμησης ενέργειας στον εξαερισμό περιλαμβάνουν (Perkins, 2001):

- Συστήματα ανάκτησης θερμότητας που μεταφέρουν τη θερμότητα των καυσαερίων στον εισερχόμενο κρύο αέρα ή αντιστρόφως, που μεταφέρουν την ‘ψύξη’ των καυσαερίων στον εισερχόμενο υγρό αέρα.
- Εγκατάσταση κύκλου προθέρμανσης κατά την εκκίνηση του ανεμιστήρα τις πρώτες πρωινές ώρες. Η εξοικονόμηση ενέργειας στην περίπτωση αυτή προκύπτει από τη θέρμανση του εσωτερικού αέρα, αντί του ψυχρότερου εξωτερικού αέρα, με σκοπό να ανέβει η θερμοκρασία του κτιρίου.
- Εγκατάσταση αεραγωγών εκτόνωσης και συστημάτων εξάτμισης, εάν είναι απαραίτητο, για την εκτόνωση της πίεσης στις μονάδες του δώματος με ανεπαρκείς αεραγωγούς.

6.1.8 Φωτισμός

Ο φωτισμός αποτελεί ίσως το πεδίο με τη μεγαλύτερη εξέλιξη στην εξοικονόμηση ενέργειας. Στη δεκαετία του 1960, το τυπικό πρότυπο σχεδιασμού για το φωτισμό μιας

σχολικής αίθουσας απαιτούσε 21,5 - 32 Watt / m². Σήμερα, τα ίδια επίπεδα φωτισμού μπορούν να επιτευχθούν με 7,5 – 9,7 Watt / m². Ο λόγος για τον οποίο είναι εφικτή αυτή η μείωση, εντοπίζεται στην ανάπτυξη στραγγαλιστικών πηνίων και λαμπτήρων υψηλής απόδοσης και εξαρτημάτων που είναι πιο αποτελεσματικά στην κατεύθυνση της χαμηλής αντανάκλασης και των ικανοποιητικών επιπέδων φωτισμού στην επιφάνεια εργασίας. Επίσης, όσον αφορά στην εξοικονόμηση ενέργειας, πολλά σχολικά συγκροτήματα έχουν διαπιστώσει ότι η πλήρης αντικατάσταση των παλαιότερων λαμπτήρων φωτισμού με νέα είναι οικονομικά πολύ πιο αποδοτική.

Ορισμένα επιπλέον μέτρα που συμβάλλουν στη μείωση του φωτισμού μπορούν να επιτευχθούν με έναν συνδυασμό απλής τεχνολογίας και κοινής λογικής στις διαδικασίες λειτουργίας του φωτισμού. Μεταξύ των πιο κοινών μέτρων είναι τα ακόλουθα (Perkins, 2001):

- Το προφανές βήμα να κλείνουμε τα φώτα όταν μία αίθουσα δεν είναι σε χρήση
- Εξίσου προφανής είναι η μείωση του φωτισμού στα επίπεδα που είναι πραγματικά απαραίτητα για μία εργασία. Στο παρελθόν, τα πρότυπα φωτισμού συχνά επηρεάζονταν από τους κατασκευαστές και τους προμηθευτές ενέργειας, με αποτέλεσμα πολλά σχολεία να έχουν υπερβολικά επίπεδα φωτισμού. Στις μέρες μας η μελέτη φωτισμού κατά το σχεδιασμό ενός σχολικού κτιρίου μπορεί να προδιαγράψει με ακρίβεια τις φωτιστικές ανάγκες για κάθε χώρο ανάλογα με τη λειτουργία του.
- Η χρήση διπλού κυκλώματος ώστε να είναι ενεργοποιημένος μόνο ο αριθμός των απαιτούμενων φωτιστικών σωμάτων κατά τη χρήση της σχολικής αίθουσας. Σε πολλές τάξεις, τα μισά φωτιστικά σώματα κατά τη διάρκεια μιας κανονικής ηλιόλουστης ημέρας παρέχουν τα επιθυμητά επίπεδα φωτισμού.
- Η χρήση φωτοκύτταρων σε ορισμένους χώρους -όπως μεγάλοι κοινόχρηστοι χώροι, αθλητικά γήπεδα, χώροι στάθμευσης- όπου μπορεί να δικαιολογηθεί η αυτόματη ρύθμιση των επιπέδων φωτός με χρήση της τεχνολογίας, μπορεί να λειτουργήσει αποδοτικά ελέγχοντας την ποσότητα του φωτισμού.
- Η χρήση ανιχνευτών κίνησης για αυτόματη απενεργοποίηση των λαμπτήρων σε χώρους που δεν χρησιμοποιούνται. Οι ανιχνευτές κίνησης δεν είναι τόσο αποδοτικοί σε σχολικές αίθουσες, αλλά σε μικρότερους χώρους που χρησιμοποιούνται σποραδικά.

- Η χρήση προγραμματιζόμενων συστημάτων ελέγχου κεντρικού φωτισμού διαθέσιμα για αυτόματη διαχείριση με ψηφιακά χειριστήρια.
- Ο σχεδιασμός του σχολείου με τρόπο που να αξιοποιεί στο έπακρο το φυσικό φωτισμό, με τρόπους που να ελέγχουν το άμεσο ηλιακό φως υψηλής έντασης και τη θάμβωση.
- Η χρήση φωτιστικών χαμηλής ενέργειας με λαμπτήρες (LED) και λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης για χώρους στάθμευσης. Οι λαμπτήρες LED έχουν μεγάλη αναμενόμενη διάρκεια ζωής και οι λαμπτήρες ατμών νατρίου παράγουν διπλάσιο φως / watt από τους λαμπτήρες ατμού υδραργύρου και πέντε φορές / watt από τα φωτιστικά πυρακτώσεως.

6.1.9 Οικοδομικά Υλικά με αποδοτική χρήση πόρων

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις αναβαθμίσεις των σχολικών κτιρίων αποτελούν ένα άλλο σημαντικό ζήτημα. Τα συνήθη ερωτήματα που προκύπτουν είναι:

- Αν τα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι τοπικά.
- Αν έχουν παραχθεί από βιώσιμους ή ανανεώσιμους πόρους.
- Αν μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν σε περίπτωση μελλοντικής καταεδάφισης του κτιρίου στο μέλλον.
- Αν έχουν κατασκευαστεί με διαδικασίες που δημιουργούν τοξικά υποπροϊόντα.
- Αν είναι εύκολα στη συντήρηση κι αν είναι ανθεκτικά

Όλες αυτές οι ανησυχίες πρέπει να εξισορροπούνται με θέματα όπως η απόδοση, η αισθητική, το κόστος, και τα πολλά άλλα κριτήρια που συμβάλλουν στην επιλογή οποιουδήποτε υλικού ή συστήματος.

6.2 Παρεμβάσεις σε σχολεία της Ευρώπης

Στον ευρωπαϊκό χώρο, η ενεργειακή κρίση της δεκαετίας του 1970 και το εμπάργκο του πετρελαίου, επηρέασαν αρνητικά την ενεργειακή απόδοση αρκετών σχολικών συγκροτημάτων και σε πολλά από αυτά έγιναν επεμβάσεις στο περίβλημα των κτιριακών τους όγκων προκειμένου να μειωθούν οι απώλειες από τη διείσδυση του εξωτερικού αέρα. Οι επεμβάσεις αυτές, ωστόσο, αναφέρονται συχνά ως η κύρια αιτία των καλά τεκμηριωμένων προβλημάτων υγείας που προέκυψαν στη συνέχεια από την κακή ποιότητα του εσωτερικού αέρα. Άλλες αιτίες είναι τα παλαιωμένα συστήματα ψύξης -

θέρμανσης, οι μη συντηρημένοι αγωγοί και η αδυναμία άμεσης αποκατάστασης των φθορών λόγω οικονομικών προβλημάτων.

Η Αμερικανική Εταιρεία Μηχανικών Θέρμανσης, Ψύξης και Κλιματισμού (ASHRAE) αντιμετώπισε αυτό το ζήτημα με κώδικες και συστάσεις στο δημοσιευμένο Πρότυπο 62-1989. Σε πολλές εξωτερικές καιρικές συνθήκες, ο αυξημένος αερισμός, όχι μόνο βελτιώνει την ποιότητα του εσωτερικού αέρα, αλλά μειώνει την κατανάλωση ενέργειας ψύξης. Τα καλά σχεδιασμένα και ελεγχόμενα συστήματα εξοικονόμησης αέρα μπορούν να επιτύχουν εύκολα αυτόν τον στόχο. Οι κανόνες για την ποιότητα του αέρα εσωτερικών χώρων (IAQ) της Υπηρεσίας Ασφάλειας και Υγείας στην Εργασία (OSHA) και το κιτ «Εργαλεία για Σχολεία» της Υπηρεσίας Προστασίας του Περιβάλλοντος (EPA) αναφέρονται σε αυτό το πρότυπο (Perkins, 2001). Άλλα προβλήματα αντιμετωπίζονται πλέον από την κοινή λογική, την καλύτερη συντήρηση και την αυξανόμενη γνώση σχετικά με την εκπομπή πτητικών οργανικών ενώσεων (VOC).

Στις μέρες μας, οι τυπικές απαιτήσεις του ενεργειακού κώδικα είναι αυτές που βασίζονται στο Πρότυπο 90.1-1999 της ASHRAE. Μεγαλύτερη προσοχή δίδεται πλέον στη θέση των εισαγωγών αέρα μακριά από τις πηγές καυσαερίων του κτιρίου ή των οχημάτων, στον τακτικό καθαρισμό των αεραγωγών κλιματισμού, εξαερισμού και θέρμανσης, στον καλύτερο αερισμό σε αίθουσες ειδικών χρήσεων (χημεία, βιολογία, καλές τέχνες κ.λπ.), στην επιλογή καλύτερων συστημάτων φιλτραρίσματος αέρα και στην τακτική καθαριότητα του χώρου. Ταυτόχρονα, οι μελετητές προσέχουν να προσδιορίσουν υλικά όπως χρώματα και κόλλες που είναι πιστοποιημένα ως «χαμηλών εκπομπών» όσον αφορά τις VOCs.

Υπάρχουν βέβαια σχετικές ανησυχίες και για το εξωτερικό περιβάλλον. Πιθανώς το πιο συχνά συζητούμενο θέμα είναι η ανάγκη για μείωση των ενώσεων που καταστρέφουν το όζον στην ψύξη, την καταστολή πυρκαγιάς και άλλα συστήματα.

Μεταξύ των πιο κοινών αναβαθμίσεων που αφορούν σήμερα σε κτιριακά κελύφη για την περιβαλλοντική τους αναβάθμιση και την καλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας είναι οι ακόλουθες (Perkins, 2001):

- Χρήση υαλοστασίων χαμηλής εκπεμπιμότητας (Low E).
- Επιπρόσθετη μόνωση κατά τις διαδικασίες αντικατάστασης της στέγης ή επισκευής του δώματος.
- Προσθήκη προθαλάμων στα σημεία εισόδων των σχολικών κτιρίων.

- Αντικατάσταση κουφωμάτων κι άλλες ενέργειες για τη μείωση της διείσδυσης αέρα και της απώλειας θερμότητας.

Μαζί με την εξοικονόμηση ενέργειας, ο βιώσιμος ή «πράσινος», ο σχεδιασμός έχει αναδειχθεί τις τελευταίες δύο δεκαετίες ως εξίσου σημαντικός παράγοντας στο σχεδιασμό των σχολικών κτιρίων. Ήδη, αρκετά σχολεία της Ευρώπης έχουν ενσωματώσει τη βιωσιμότητα στα προγράμματα σπουδών τους, καθώς και στα κτιριακά τους προγράμματα. Μεταξύ των σημαντικότερων θεμάτων που εξετάζονται σε κάθε «πράσινο» κτίριο είναι τα ακόλουθα:

- Η ενεργειακή απόδοση
- Η διατήρηση του νερού
- Η διαχείριση των στερεών αποβλήτων
- Η εξασφάλιση πόρων με αποδοτικά δομικά υλικά
- Η περιβαλλοντική ποιότητα

Κάθε ένα από αυτά τα θέματα έχει μεταφραστεί σε συγκεκριμένες αποφάσεις σχεδιασμού και λειτουργίας για έναν αυξανόμενο αριθμό σχολικών κτιρίων της Ευρώπης.

6.3 Παρεμβάσεις σε σχολεία της Ελλάδας

Στην Ελλάδα, τα σχολικά κτίρια, σύμφωνα με παλαιότερες παρεμβάσεις για εξοικονόμηση και προστασία ενέργειας χωρίζονται σε νεοκλασικά κτίρια του Μεσοπολέμου έως το 1950, σχολικά κτίρια που χτίστηκαν πριν από την εφαρμογή του Γενικού Οικοδομικού Κανονισμού (ΓΚΚ) (1950-1980) και σχολικά κτίρια που κατασκευάστηκαν βάσει της νέας εφαρμογής του (ΓΚΚ) (1979) μέχρι το 1998, οπότε λήφθηκαν νέα μέτρα και ορίστηκαν όροι για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Μετά την Οδηγία 2002/91/EK της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων ελήφθησαν νέα μέτρα για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στα κτίρια, πιο συγκεκριμένα ο νόμος 3661, ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων και του Ν. 3855 σύμφωνα με τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την εξοικονόμηση ενέργειας (Economou, 2011).

Ανάμεσα στα έργα περιβαλλοντικής αναβάθμισης υφιστάμενων κτιρίων της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης, εντάσσονται οι παρεμβάσεις που έχουν ξεκινήσει πιλοτικά από το 2021 στο σχολικό συγκρότημα της οδού Κλεάνθους στη Θεσσαλονίκη, με συγχρηματοδότηση του

Δήμου και του Ευρωπαϊκού Ταμείου Περιφερειακής Ανάπτυξης⁵. Το σχολικό συγκρότημα καλύπτει μία έκταση γύρω στα 13 στρέμματα και αποτελείται από τέσσερα κτίρια διδακτηρίων κι ένα κλειστό χώρο γυμναστηρίου (Δημητρακοπούλου, 2021).



Εικόνα 67 Απόψη του σχολικού συγκροτήματος στην οδό Κλεάνθους

Η προτεινόμενη περιβαλλοντική αναβάθμιση αφορά σε βιοκλιματικές επεμβάσεις στον περιβάλλοντα χώρο για την αναβάθμιση του αύλειου χώρου, στην ενεργειακή θωράκιση των κτιριακών δομών, στην αξιοποίηση της γεωθερμίας για την κάλυψη αναγκών θέρμανσης και στην εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων, με απώτερο στόχο την ανάδειξη των σχολείων της περιοχής αυτής σ' ένα εκπαιδευτικό συγκρότημα χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης. Ειδικότερα, οι επεμβάσεις που έχουν μελετηθεί για τον περιβάλλοντα χώρο περιλαμβάνουν:

- Εκτεταμένες ζώνες πρασίνου
- Επιστρώσεις διαπερατών δαπέδων σε επιλεγμένες περιοχές του αύλειου χώρου

⁵ Το κονδύλιο παρέχεται από το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Κεντρικής Μακεδονίας 2014-2020 στον άξονα προτεραιότητας 'Υποστήριξη της μετάβασης προς μια οικονομία χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα σε όλους τους Τομείς', με συμβατική δαπάνη περίπου τρία εκατομμύρια ευρώ (Δήμος Θεσσαλονίκης, 2021).

- Προστατευμένους χώρους στάσης και αναψυχής
- Μεταλλικές κατασκευές για προστασία από βορινούς ανέμους
- Βιοκλιματικά σκίαστρα
- Εγκατάσταση φωτιστικών σωμάτων υψηλής απόδοσης και χαμηλής κατανάλωσης

Αντίστοιχα, οι επεμβάσεις για τις κτιριακές δομές περιλαμβάνουν:

- Εγκατάσταση συστήματος κεντρικού ελέγχου και διαχείρισης ενέργειας
- Δημιουργία φυτεμένου δώματος
- Θερμομόνωση στο εξωτερικό κέλυφος των κτιρίων
- Αντικατάσταση των εξωτερικών κουφωμάτων με νέα κουφώματα θερμοδιακοπής
- Τοποθέτηση συστήματος σταθερής σκίασης σε επιλεγμένες όψεις των κτιρίων
- Αλλαγή του συστήματος διανομής θερμότητας σε όλες τα κτίρια
- Εγκατάσταση νέου συστήματος θέρμανσης με γεωθερμικές αντλίες
- Ενσωμάτων φωτοβολταϊκών συστημάτων
- Εγκατάσταση νέου τύπου φωτιστικών σωμάτων και συστήματος ελέγχου φωτισμού με βάση τις στάθμες φυσικού φωτισμού και την παρουσία των χρηστών στους χώρους (Δήμος Θεσσαλονίκης, 2021).

Στα πλαίσια της μελέτης εφαρμογής, η περιβαλλοντική αναβάθμιση του σχολικού συγκροτήματος γίνεται τμηματικά προκειμένου να μην απορρυθμίζεται η λειτουργία του σχολείου και προβλέπεται να παραδοθεί το 2024.

B' ΜΕΡΟΣ

7. Μελέτη Περίπτωσης / Το 15^ο Δημοτικό Σχολείο Κατερίνης

Βάσει των όσων έχουν μελετηθεί στις προηγούμενες ενότητες, η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει σε μία περίπτωση μελέτης, το 15^ο Δημοτικό Σχολείο Κατερίνης, με σκοπό να διερευνήσει τις δυνατότητες περιβαλλοντικής αναβάθμισης του κτιρίου με παρεμβάσεις που θα βελτιώσουν την ενεργειακή του απόδοση, χωρίς, ωστόσο να αλλοιώνουν το χαρακτήρα του σχολείου εν γένει.

7.1 Τοποθεσία / Οικόπεδο

Η υπό μελέτη υφιστάμενη κτιριακή δομή βρίσκεται επί οικοπέδου σε κεντρικό σημείο της πόλης της Κατερίνης. Το κέντρο της Κατερίνης, αναπτύχθηκε από τη δεκαετία του '60 με άναρχο τρόπο ακολουθώντας τη γενικότερη αυθαίρετη ανοικοδόμηση της πόλης όπου είναι φανερή η απουσία κρατικού προγραμματισμού και πολιτικής γης. Η αθρόα ανοικοδόμηση κατέστρεψε ανεπανόρθωτα τον όποιο ιστορικό ιστό είχε διατηρηθεί στο κέντρο της και βοήθησε στην υπερσυγκέντρωση των βασικών χρήσεων στο κέντρο αποδυναμώνοντας την εξυπηρέτηση της περιφερειακής κατοικίας.

Συγχρόνως, αναπτύχθηκε σημαντικά η κυκλοφορία πεζών και οχημάτων που, σε συνδυασμό με την έλλειψη κοινόχρηστων χώρων πρασίνου και πολιτισμού, συνετέλεσε στην απώλεια της όποιας ιστορικής ταυτότητας είχε κληρονομήσει αυτή η κεντρική περιοχή.

Το οικόπεδο που εντάσσεται το υπό μελέτη κτίριο βρίσκεται μέσα στα όρια αυτής της περιοχής και ειδικότερα είναι τοποθετημένο:

1. κοντά στον κεντρικό οδικό άξονα εισόδου-εξόδου της πόλης, με συνέπεια να καθίσταται εύκολη η πρόσβαση σε αυτό,
2. σε πολύ κοντινή απόσταση από το Κεντρικό Δημοτικό Πάρκο, συνολικής έκτασης 4,47 εκταρίων, το οποίο μόλις πρόσφατα αναβαθμίστηκε σε υπαίθριο κέντρο πολιτισμού και αναψυχής, με πολυσύνθετο πρόγραμμα δραστηριοτήτων, μετά από μελέτη ανάπλασής του από επιστημονική ομάδα του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης,
3. κοντά στον εμπορικό πεζόδρομο Μ.Αλεξάνδρου-Παπάφη-Πάρκο, ο οποίος ουσιαστικά αποτελεί την καρδιά της εμπορικής δραστηριότητας της πόλης.

Η πεζοδρόμηση αυτή συνέβαλε στη δημιουργία ενός τοπικού δικτύου πεζοδρόμων που συνδέεται με βασικούς πυρήνες πρασίνου, όπως το πάρκο, τις κύριες πλατείες της πόλης και το Δημαρχείο. Η κίνηση αυτή έδωσε στην πόλη μια άλλη εικόνα, ένα χώρο επαφής, βόλτας, πρασίνου και αναψυχής, και σε συνδυασμό με τον επανασχεδιασμό του πάρκου μια νέα αντίληψη και σχέση με τον πολίτη.

Το οικοπέδο μελέτης βρίσκεται στη συμβολή των οδών Δημ.Γούναρη και Σβορώνου. Πρόκειται για ένα στενόμακρο οικοπέδο, διαστάσεων 15X59μ., συνολικής επιφάνειας 885μ². Βορειοδυτικά και νοτιοδυτικά συνορεύει με οικοπέδα, τα κτίσματα των οποίων περιορίζουν σημαντικά τη θέα. Σε τμήμα του υπό μελέτη οικοπέδου είναι χωροθετημένο κτίριο 310μ², το οποίο από το 1980 νοικιάζεται από το Δήμο της Κατερίνης και λειτουργεί ως Δημοτικό Σχολείο και Νηπιαγωγείο.



Εικόνα 68 Πανοραμική άποψη του σχολείου

Η οδός Σβορώνου, στην μικρή πλευρά του οικοπέδου, οδηγεί στον κεντρικό οδικό άξονα εισόδου-εξόδου της πόλης, αλλά και στο Δημοτικό Πάρκο, ενώ η οδός Γούναρη, κάθετη στην πρώτη, οδηγεί προς τον κεντρικό πεζόδρομο και την κεντρική πλατεία της πόλης.

Οι δρόμοι που περιβάλλουν το οικοπέδο εντάσσονται στον δεύτερο ή μεσαίο κυκλοφοριακό δακτύλιο της πόλης, που είναι δακτύλιος διπλής κατεύθυνσης και επιτρέπει στην κυκλοφορία της κεντρικής περιοχής να εκτονωθεί από τον εσωτερικό δακτύλιο. Είναι ο δακτύλιος των μέσων μαζικής μεταφοράς που μπορεί να χρησιμοποιηθεί και από τα Ι.Χ.

Η συγκεκριμένη περιοχή στην οποία εντάσσεται το υπό μελέτη οικοπέδο έχει συντελεστή δόμησης 2.0, με ποσοστό κάλυψης οικοπέδου 70% και μέγιστο επιτρεπτό ύψος τα 18μ.

Η κυρίαρχη χρήση της περιοχής είναι η κατοικία με βασικό τύπο αυτόν της πολυώροφης οικοδομής, το ισόγειο της οποίας είναι διαμορφωμένο ως *pilotis* ή εμπορικό κατάστημα.

Οι οικοδομές οργανώνονται στην περίμετρο των οικοδομικών τετραγώνων, στο κέντρο των οποίων διαμορφώνεται 'ακάλυπτος' χώρος. Οι εκτάσεις αυτές, συχνά αποτελούν οργανωμένες εστίες πρασίνου, αν κι σε πολλές περιπτώσεις έχουν μετατραπεί από τους κατοίκους σε χώρους στάθμευσης αυτοκινήτων.

7.2 Σημασία και Ιστορία του κτιρίου

Το υπάρχον κτίσμα, χτίστηκε σε δύο χρονικές περιόδου, αρχικά το ισόγειο (1952) και στη συνέχεια ο 1^{ος} και ο 2^{ος} όροφος (1958). Κατά το διάστημα 1952-1980, στέγαζε τα ιδιωτικά "Εκπαιδευτήρια Παπαδημητρίου" με νηπιαγωγείο, δημοτικό, γυμνάσιο-λύκειο και αναγνωστήριο, υπό τη διεύθυνση του ιδρυτή και φιλολόγου Διονυσίου Παπαδημητρίου. Από το 1980 νοικιάζεται από το Δήμο Κατερίνης και λειτουργεί ως Δημοτικό Σχολείο και Νηπιαγωγείο.

Τα εκπαιδευτήρια «Παπαδημητρίου», αποτέλεσαν το μακροβιότερο, το αρτιότερο και σημαντικότερο από τα Ιδιωτικά Σχολεία της Πιερίας, ίσως και από τα καλύτερα της Ελλάδας. Η σπουδαιότητά του οφείλεται σ' ένα σύνολο καινοτομιών που εφάρμοσε ο διευθυντής του εκπαιδευτηρίου, ανάμεσα στις οποίες:

- α. σε εκπαιδευτικό επίπεδο: η διάθεση χώρου αναγνωστηρίου, τα μαθήματα της περιπατητικής και της λογικής-ηθικής, τα πλήρως εξοπλισμένα εργαστήρια πειραμάτων φυσικοχημείας (πλούσια συλλογή πετρωμάτων), οι οργανωμένες διαλέξεις και η προαιρετική διδασκαλία ξένων γλωσσών,
- β. σε πολιτιστικό επίπεδο: οι μουσικές εκδηλώσεις, η οργάνωση εκπαιδευτικών εκδρομών και θεατρικών παραστάσεων (με την υποστήριξη κινηματογραφικής μηχανής, πιάνου, μαγνητοφώνου, κ.λπ), οι γυμναστικές επιδείξεις με νέα αθλήματα (π.χ. ξιφασκία), η συμμετοχή σε πανελλήνιους αθλητικούς αγώνες και οι παρελάσεις,
- γ. σε επίπεδο παροχών: η δωρεάν φοίτηση και στέγαση άπορων φοιτητών, η δωρεά υποτροφιών στους αριστούχους μαθητές, η μεταφορά των μαθητών από και προς το σχολείο με ιδιόκτητο λεωφορείο και το μεγαφωνικό σύστημα ελέγχου διδασκαλίας (και κλασικής μουσικής στα διαλείμματα).

Σημαντικό ρόλο έπαιξαν και ο τρόπος λειτουργίας του σχολείου σε καθημερινό επίπεδο:

1. Η πρωινή λειτουργία σε συνδυασμό με καλές συνθήκες εργασίας (καινούριο κτίριο,

μεγάλες αίθουσες, μικρός αριθμός μαθητών κατά τμήμα), 2. Η διάθεση αναγνωστηρίου για όσους μαθητές δεν είχαν κάποια υποστήριξη στο σπίτι (κυρίως παιδιά μεταναστών), 3. Η προαιρετική διδασκαλία ξένων γλωσσών και 4. Η τροφοδότηση με μαθητές από το νηπιαγωγείο και το δημοτικό.

Το κτίριο παρουσιάζει επίσης καινοτομίες και στον τρόπο οργάνωσης και αξιοποίησης των εσωτερικών και εξωτερικών του χώρων. Οι αίθουσες ανα δύο είχαν τη δυνατότητα να ενώνονται, καθώς ανάμεσά τους - αντί για τοιχοποιία - υπήρχαν κινητά ξύλινα πετάσματα, τα οποία όταν άνοιγαν, δημιουργούσαν μια ενιαία σάλα στην οποία μπορούσαν να πραγματοποιηθούν θεατρικές παραστάσεις και πολιτιστικές εκδηλώσεις. Επιπλέον, στο δώμα του κτιρίου πραγματοποιούνταν θερινές χορευτικές εκδηλώσεις και διαλέξεις, όπως επίσης και μαθήματα ξιφασκίας.

Η σημερινή κατάσταση του κτιρίου, παρόλο που εξακολουθεί να βρίσκεται σε λειτουργία, δεν πληρεί τις προδιαγραφές ενός σύγχρονου δημοτικού σχολείου και νηπιαγωγείου, ούτε μπορεί να καλύψει τις αυξανόμενες απαιτήσεις σε χώρους διδασκαλίας και εξοπλισμό. Έτσι, ο Δήμος αναγκάζεται να επινοικιάζει και επιπλέον χώρους σε γειτονικά κτίρια, προκειμένου να εξασφαλίζεται η ομαλή λειτουργία του σχολείου (χώροι για διδασκαλία η/υ, γυμναστήριο κ.ά.).

Τα “Εκπαιδευτήρια Παπαδημητρίου” (νυν 15^ο Δημοτικό Σχολείο Κατερίνης) έχουν μείνει στη μνήμη - όσων μαθήτευσαν σε αυτό και όχι μόνο - ως σταθμός στην ιδιωτική εκπαίδευση της πόλης και αποτελούν ακόμη και σήμερα τοπόσημο για την περιοχή.



Εικόνα 69 Αποψη του αύλειου χώρου από το δρόμο

7.4 Δυνατότητες παρεμβάσεων περιβαλλοντικής αναβάθμισης

7.4.1 Προσανατολισμός / Χωροθέτηση

- Ο προσανατολισμός του κτιρίου είναι βορειοδυτικός με το μεγαλύτερο ποσοστό υαλοστασίων να είναι στραμμένα προς το νότο κι ένα μικρότερο ποσοστό προς το βορρά, όπου χωροθετούνται και οι περισσότερες αίθουσες διδασκαλίας εξασφαλίζοντας σταθερό φωτισμό σχεδόν καθ' όλη τη διάρκεια του έτους (Εικόνες 26,27).
- Η χωροθέτηση του κτιρίου στο οικόπεδο είναι η βέλτιστη με την πιο επιμήκη πλευρά να είναι στραμμένη προς το βορρά και τον εσωτερικό διάδρομο κυκλοφορίας και εισόδων στις αίθουσες διδασκαλίας στραμμένες προς το νότο.
- Ο προσανατολισμός του κτιρίου σε σχέση με τους ανέμους που πνέουν στην περιοχή ευνοεί, καθώς κατά τους χειμερινούς μήνες οι δροσεροί βορινοί άνεμοι εξασφαλίζουν καλό αερισμό των αιθουσών λόγω των διαμπερών ανοιγμάτων τους. Κατά τους εαρινούς μήνες, οι θερμοί δυτικοί άνεμοι δεν επηρεάζουν το κτίριο, καθώς η μορφολογία του κλείνει με κτιριακό όγκο το δυτικό μέτωπο.
- Στους εσωτερικούς χώρους η διάταξη επιχειρεί να αξιοποιήσει τα μέγιστα πλεονεκτήματα του προσανατολισμού, με τις αίθουσες να στρέφονται προς το νότο και τους βοηθητικούς χώρους (κλιμακοστάσιο, WC, κ.ά.) να είναι προσανατολισμένοι προς τη βόρεια και νοτιοανατολική πλευρά.



Εικόνα 70 Εξωτερική άποψη του κτιρίου



Εικόνα 71 Άποψη της σχολικής αυλής

7.4.2 Ποιότητα αέρα

Ο φυσικός αερισμός και δροσισμός επιτυγχάνεται μέσω των ανοιγμάτων στη βόρεια και νότια όψη του κτιρίου και στη βέλτιστη χωροθέτηση αυτών, στη μεν βόρεια όψη με γραμμική διάταξη στο ανώτερο μέρος της εξωτερικής τοιχοποιίας, στη δε νότια σχεδόν σε όλο το ύψος της πρόσοψης. Κατά τους θερινούς μήνες προτείνεται η χρήση ανεμιστήρων οροφής για τον καλύτερο δροσισμό των αιθουσών. Επίσης, για την πραγματοποίηση διαμπερούς αερισμό των χώρων υγιεινής, προτείνεται η χρήση ανοιγοκλειόμενου φεγγίτη στο υαλοστάσιο της νότια όψης.



Εικόνα 72 Άποψη του σχολείου από τον 1^ο όροφο

7.4.3 Φυσικός Φωτισμός

Ο φυσικός φωτισμός επιτυγχάνεται από τα ανοίγματα του κτιρίου, κυρίως μέσα από τα μεγάλα ανοίγματα προς το νότο και τα μικρότερα προς το βορρά, τα οποία παρέχουν σταθερό φωτισμό χειμώνα και καλοκαίρι.

7.4.4 Σκιασμός

Προτείνεται η χρήση οριζόντιων περσίδων στα νότια ανοίγματα του κτιρίου για τον βελτιστοποίηση της θερμικής άνεσης των αιθουσών, συμπληρωματικά του προστεγασμένου διαδρόμου μπροστά στις εισόδους.

Ηλιακή ενέργεια - Φωτοβολταϊκά συστήματα

Προτείνεται η χρήση ενσωματωμένων φωτοβολταϊκών στο δώμα του κτιρίου με σκοπό την αξιοποίηση όλης της επιφάνειάς του κτιρίου (Κοσμόπουλος και Περιβολάρης, 2017). Παρότι ο τύπος των μη ενσωματωμένων σε δώμα φωτοβολταϊκών δίνει τη δυνατότητα επιλογής του κατάλληλου προσανατολισμού και της γωνίας κλίσης με στόχο τη βέλτιστη απόδοση, επιλέγεται ο τύπος των ενσωματωμένων προκειμένου να μην είναι ορατά τα φωτοβολταϊκά από το επίπεδο του δρόμου και συνεπώς να διατηρείται ανέπαφος ο μορφολογικός χαρακτήρας του κτιρίου, χαρακτηριστικός για την εποχή του.



Εικόνα 73 Αποψη του δώματος



Εικόνα 74 Αποψη της αποθήκης στο δώμα

7.4.5 Θέρμανση

Για τη θέρμανση του κτιρίου προτείνεται η χρήση γεωθερμικής αντλίας θερμότητας με κατακόρυφο εναλλάκτη. Η θέρμανση του νερού θα επιτυγχάνεται κατά την περίοδο θέρμανσης από τη γεωθερμική αντλία θερμότητας, ενώ κατά την περίοδο ψύξης μόνο από τα ηλιακά συστήματα στο δώμα του κτιρίου (Κοσμόπουλος και Περιβολάρης, 2017).

Για την αποθήκευση της θερμότητας προτείνεται εξωτερική θερμομόνωση του κτιρίου στη βορινή όψη για την αποφυγή των θερμογεφυρών και την ενίσχυση της αεροστεγανότητας του κτιρίου, καθώς και η χρήση κουφωμάτων με τριπλούς ενεργειακούς υαλοπίνακες.

8. Συμπεράσματα

Με τον παραπάνω προτεινόμενο συνδυασμό λύσεων, επιχειρείται η κάλυψη κατά το δυνατόν των απαιτούμενων εσωκλιματικών συνθηκών του κτιρίου σε όλη τη διάρκεια του έτους, συμπεριλαμβάνοντας τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο που καταστέλλεται η λειτουργία του, προκειμένου να μπορεί να υποστηρίξει μια θερινή δραστηριότητα. Ο κίνδυνος υπερθέρμανσης το καλοκαίρι ελέγχεται με το υψηλό επίπεδο θερμικής μόνωσης, τον διαμερή αερισμό, το σκιασμό με τις οριζόντιες περσίδες στη νότια όψη και τη χρήση ανεμιστήρων οροφής εντός των αιθουσών, παρέχοντας εσωτερική θερμική άνεση στους χρήστες (Αραβαντινός, 2011). Ο φυσικός φωτισμός επιτυγχάνεται με τα υφιστάμενα ανοίγματα του κτιρίου, μεγαλύτερα προς τον νότο και μικρότερα προς το βορρά, τα οποία παρέχουν σταθερό φωτισμό χειμώνα και καλοκαίρι.

Παράλληλα, επιδιώκεται η ενίσχυση της μαθησιακής ικανότητας των μαθητών και σε βιωματικό επίπεδο η βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης του χώρου.

8.1 Αναπάντητα ερωτήματα / Αδυναμίες της έρευνας

Ως αναπάντητα ερωτήματα της έρευνας αναφέρονται τα παρακάτω:

- Ποιες είναι οι προϋποθέσεις για την έναρξη των έργων βιοκλιματικής αναβάθμισης υφιστάμενων σχολικών κτιρίων;
- Υπάρχει κάποιο πλαίσιο χρηματοδότησης για την περιβαλλοντική αναβάθμιση των υφιστάμενων σχολικών δομών που να είναι σε ισχύ την τρέχουσα περίοδο;

Κι ως αδυναμίες της έρευνας οι ακόλουθες:

- Έλλειψη επαρκούς βιβλιογραφίας για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων στην εφαρμογή βιοκλιματικών αρχών κατά το σχεδιασμό σχολείων της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης
- Έλλειψη αναφορών για το βιωματικό αποτύπωμα των χρηστών αναφορικά με τα αποτελέσματα της εφαρμογής βιοκλιματικών παραμέτρων σε σχολικά κτίρια.

8.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Για μελλοντική έρευνα προτείνεται η έρευνα πεδίου με χρήση ερωτηματολογίων για του βασικούς χρήστες των σχολείων της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης: τους μαθητές και το εκπαιδευτικό προσωπικό με στόχο την αποτίμηση σε βιωματικό επίπεδο των χωρικών

ποιοτήτων που προκύπτουν μέσα από την παράμετρο του βιοκλιματικού σχεδιασμού. Άλλες προτάσεις μελλοντικής έρευνας περιλαμβάνουν:

8.2.1 Μείωση άλλων ενεργειακών απαιτήσεων

Υπάρχουν περαιτέρω ενεργειακές απαιτήσεις που μπορούν να μειωθούν. Τα συστήματα διαχείρισης και ελέγχου ενέργειας που βασίζονται σε μικροεπεξεργαστή (EMCS) μπορούν να είναι πολύ οικονομικά για τον έλεγχο συστημάτων θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού (π.χ. start/stop, επαναφορά θερμοκρασίας, βελτιστοποίηση συστήματος, αρχεία καταγραφής συντήρησης κ.λπ.). Τα σχολεία ενσωματώνουν έναν αυξανόμενο αριθμό μηχανικών και ηλεκτρικών συσκευών, όπως τηλεόραση, VCR, υπολογιστές, οπτικοακουστικό εξοπλισμό, εξοπλισμό κουζίνας, εξειδικευμένο επαγγελματικό εξοπλισμό διδασκαλίας και ανελκυστήρες, τα οποία απαιτούν ενέργεια. Ορισμένα από αυτά τα συστήματα μπορούν να ελεγχθούν από μικροεπεξεργαστές για να ελαχιστοποιηθούν τα απόβλητα. Οι βαθμολογίες εισροής ενέργειας, που είναι διαθέσιμες για μεγάλο μέρος αυτού του εξοπλισμού, θα πρέπει να αξιολογούνται ως μέρος των προδιαγραφών απόδοσης (Perkins, 2001).

8.2.2 Μείωση του κτιριακού αποτυπώματος στο φυσικό περιβάλλον

Όσοι ασχολούνται με την ανακαίνιση και τη νέα κατασκευή σχολικών κτιρίων σημειώνουν τον αντίκτυπο του σχεδιασμού του χώρου στο φυσικό περιβάλλον. Οι υποχρεωτικές αναθεωρήσεις περιβαλλοντικών επιπτώσεων και οι αυστηρότεροι περιβαλλοντικοί κανονισμοί έχουν μειώσει σημαντικά αυτές τις επιπτώσεις. Ορισμένες ομάδες σχεδιασμού δίνουν μεγαλύτερη έμφαση στη μείωση του αποτυπώματος του κτιρίου, στη μείωση της ενόχλησης των περιοχών της τοποθεσίας και στην προστασία των σημαντικών φυσικών χαρακτηριστικών μιας τοποθεσίας.

8.3 Πιθανές ή/και πρακτικές εφαρμογές πορισμάτων της έρευνας

Πιθανές ή/και πρακτικές εφαρμογές των πορισμάτων της έρευνας μπορούν να χρησιμοποιηθούν με τους παρακάτω τρόπους:

- Καταγραφή και συστηματοποίηση των μεθόδων βιοκλιματικής αναβάθμισης υφιστάμενων σχολείων της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης σε Ελλάδα και Ευρώπη.
- Χρήση των πορισμάτων για μελλοντική έρευνα.

- Χρήση των πορισμάτων για μελλονική έρευνα πεδίου.
- Ενίσχυση των ερευνητικών αποτελεσμάτων στην κατεύθυνση παιδαγωγικό σύστημα – χώρος – παιδί.

Βιβλιογραφία

- Aiatopten (2013). *Marin Country Day School Learning Resource Center and Courtyard*. [Διαδικτυακό άρθρο]. Διαθέσιμο στο: <http://www.aiatopten.org/node/276> [Πρόσβαση: 03/04/2021]
- Allumil (2022). *Βιοκλιματικό σχολείο στην Κοζάνη*. [Διαδικτυακό άρθρο]. Διαθέσιμο στο: <https://www.alumil.com/greece/specifiers/inspiration/case-studies/bioclimatic-school-at-kozani> [Πρόσβαση: 17/02/2021]
- Archiscene (2021). *The School on the Terraces / Henning Larsen Architects / 2013*. [Online]. Διαθέσιμο στο: <https://www.archiscene.net/firms/henning-larsen-architects/school-terraces/> [Πρόσβαση: 19/03/2021]
- Architonic (2016) *Frederiksbjerg School. Aarhus, Denmark*. [online]. Διαθέσιμο στο: <https://www.architonic.com/en/project/henning-larsen-architects-frederiksbjerg-school/5104352> [Πρόσβαση: 24/06/2021]
- ASHRAE 55 (2010). *ANSI/ASHRAE Standard 55-2010, ASHRAE Environmental Conditions for human Occupancy*. Atlanta, GA, USA: American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Inc.
- Βασιλάκης Κ., 2014. *Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Σχολικών Κτιρίων. Μελέτη περίπτωσης: Το Γενικό Λύκειο Ιαλυσού Ρόδου*. Ρόδος: Εύδημος
- Δημητρακοπούλου, Ε. (2021). *Ενεργειακή αναβάθμιση του σχολικού συγκροτήματος της Κλεάνθους*. Ειδήσεις EPT3, 19 Αυγούστου [Διαδικτυακό άρθρο]. Διαθέσιμο στο: <https://www.ertnews.gr/roi-idiseon/energeiaki-anavathmisi-toy-scholikoy-sygkrotimatos-tis-kleanthoys-2/> [Πρόσβαση: 12/05/2022]
- Daniels, H., Stables, A., Tse, H. M. and Cox, S. (2019). *School Design Matters*. How school design relates to the practice and experience of schooling. London: Routledge

- Davis, A. (2013). *Paul Chevallier School by Tectoniques*. In: Dezeen, 09/09/2013.
Ανακτήθηκε από: <https://www.tectoniques.com> [13/01/2022]
- Δήμος Θεσσαλονίκης (2021). «*Άρχισαν τα έργα για την ενεργειακή αναβάθμιση των σχολείων στην Κλεάνθους*». Εφημερίδα Μακεδονία, 18 Αυγούστου [Διαδικτυακό άρθρο]. Διαθέσιμο στο: <https://www.voria.gr/article/archisan-ta-erga-gia-tin-energiaki-anavathmisi-ton-scholion-stin-kleanthous> [Πρόσβαση 03/05/22]
- Dinh, K. (2021). *Welcome for the Head*. Available at: <https://www.mcids.org/about-us/welcome-from-the-head> [Retrieved: 13/07/20]
- Dudek, M. (2007). *Schools and Kindergartens: A design manual*. Basel: Birkhäuser.
- Dudek, M. (2000). *Architecture of schools: The new learning environments*. Oxford: Architectural Press.
- Economou, A. (2011). Passive solar design in schools for the protection of the environment. Greece: a case study. In: *World Renewable Energy Congress*, Sweden, 8-13 May, Linköping. Available at: https://ep.liu.se/ecp/057/vol14/008/ecp57vol14_008.pdf [Retrieved 09/02/2022]
- Ehdd (2010). *Upper School Improvements*. [Διαδικτυακό άρθρο]. Διαθέσιμο στο: <https://www.ehdd.com/projects> [Πρόσβαση: 13/07/21]
- Εθνικό Κέντρο Τεκμηρίωσης (2017). *ΦΕΚ 2367/Β' 2017*. [Διαδικτυακό αρχείο]. Διαθέσιμο στο: www.et.gr/idos-nph/search/fekForm.html#results [Πρόσβαση: 13/08/21]
- Εθνικό Κέντρο Τεκμηρίωσης (1989). *ΦΕΚ 59/Δ' 1989*. [Διαδικτυακό αρχείο]. Διαθέσιμο στο: www.et.gr/idos-nph/search/fekForm.html#results [Πρόσβαση: 13/08/21]
- Ευαγγελινός, Ε., Ζαχαρόπουλος, Η., Μπουγατιώτη, Φ. και Α. Οικονόμου (2022). *Βιοκλιματικός σχεδιασμός σχολικών κτιρίων*. Αθήνα: ΕΜΠ
- Ευαγγελινός, Ε., Αξαρχή, Κ., Γιάννας, Ζαχαρόπουλος, Η. και Μάρδα, Ν. (2001). *Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων και Περιβάλλοντος Χώρου*. Πάτρα: Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο
- Haddad, S., King, S. and Osmond, P. (2012). Enhancing thermal comfort in school buildings. In: *10th International Healthy Buildings Conference Proceedings*, Brisbane, 08-12 / 07, Brisbane, Australia, pp. 1745-1750

Henning Larsen Architects (2021). *Frederiksbjerg School* [Official Website]. Διαθέσιμο στο: <https://henninglarsen.com> [Πρόσβαση: 25/06/21].

Kamensky, M., Katunský, D. and Bagoňa, M. (2013). Analysis of Energy Balance in Elementary School Building. In: *Advanced Materials Research*, Vol. 855, Issue 1, pp. 43-46. Available at: DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.855.43 [Retrieved: 08/06/2022]

Kamvari Architects (2021). *Crete Bioclimatic School*. Available at: <http://www.kamvariarchitects.com/crete-bioclimatic-school/> [Πρόσβαση 03/05/21]

Κατασκευές Κτιρίων (2022). *Σύγχρονο βιοκλιματικό σχολείο αποκτά ο Δήμος Παιανίας*. [Διαδικτυακό άρθρο]. Διαθέσιμο στο: <https://kataskevesktirion.gr/σύγχρονο-βιοκλιματικό-δημοτικό-σχολ/> [Πρόσβαση: 17/07/21]

Κτίριο (2017). Πρότυπο βιοκλιματικό σχολείο στην Κοζάνη. Στο: *Κτίριο*, Τεύχος 7

Κτίριο (2021). *Πρότυπο βιοκλιματικό σχολικό συγκρότημα δημοτικού – νηπιαγωγείου στην Κοζάνη*. Διαδικτυακό άρθρο. Διαθέσιμο στο: <https://www.ktirio.gr/el/κτιρια/κτιρια-δημοσια-εκπαιδευσης-υγειας> [Πρόσβαση: 13/02/2021]

Marin Country Day School (MCDS) (2010). *About us*. Official Website. Available at: <https://www.mcds.org/> [Πρόσβαση 10/10/21]

Perkins, L. B. (2001). *Elementary and Secondary Schools*. New York: Wiley

Samioiu, A.I., Doulos, L.T. and Zerefos, S. (2022). Daylighting and artificial lighting criteria that promote performance and optical comfort in preschool classrooms. In: *Energy and Buildings*, Vol.258, pp. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111819> [Retrieved: 06/05/22]

Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης (2012). *Οδηγία 2012/27/ΕΕ*. [Διαδικτυακό άρθρο]. Διαθέσιμο στο: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/ALL/?uri=celex:32012L0027> [Πρόσβαση: 14/10/21]

Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης (2010). *Οδηγία 2010/31/ΕΚ*. [Διαδικτυακό άρθρο]. Διαθέσιμο στο: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/LSU/?uri=celex:32010L0031> [Πρόσβαση: 09/10/21]

- Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης (2006). *Οδηγία 2006/32/EK*. [Διαδικτυακό άρθρο]. Διαθέσιμο στο: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=CELEX:32006L0032> [Πρόσβαση: 08/10/21]
- Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης (2002). *Οδηγία 2002/91/ΕΟΚ*. [Διαδικτυακό άρθρο]. Διαθέσιμο στο: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/ALL/?uri=celex:32002L0091> [Πρόσβαση: 03/10/21]
- Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης (1993). *Οδηγία 93/76/ΕΟΚ*. [Διαδικτυακό άρθρο]. Διαθέσιμο στο: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/ALL/?uri=CELEX%3A31993L0076> [Πρόσβαση: 22/09/21]
- Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης (1988). *Οδηγία 89/106/ΕΟΚ*. [Διαδικτυακό άρθρο]. Διαθέσιμο στο: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/ALL/?uri=CELEX:31989L0106> [Πρόσβαση: 18/09/21]
- Τεχνικό Επιμελητήριο της Ελλάδας (ΤΕΕ) (2022). *Σε διαβούλευση νέα TOTEE: Βιοκλιματικός Σχεδιασμός στον ελλαδικό χώρο*. [Διαδικτυακό άρθρο]. Διαθέσιμο στο: <https://web.tee.gr/eidisis/se-diavoyleysi-nea-totee-vioklimatikos-schediasmos-ston-elladiko/> [Πρόσβαση: 09/09/2022]
- Tectoniques / Architectes (2019). *School complex, Rillieux-la-Pape / Rhône*. [PDF]. Ανακτήθηκε από: <https://www.dezeen.com/2013/09/09/school-complex-in-rillieux-la-pape-by-tectoniques/> [12/04/2020]
- Tectoniques (2014). Centre scolaire à Rillieux-la-Pape. In: *D'Architectures*, Vol 226, Mai 2014, pp.82-89
- Tectoniques / Architecture & Ingénierie (2013). Groupe scolaire à Rillieux-la-Pape (69). In: *Dossier de Presse*. Juin 2013.
- Tectoniques. Rillieux-la-Pape School Complex – Tectoniques Architects (2013). In: *The Positive Green*. Vol. 351, 11/12, pp. 76-90
- The American Institute of Architects (2013). *Marin Country Day School Learning Resource Center and Courtyard*. AIA'S Committee on the Environment (COTE), Winning Projects 1997-2016, available at: <http://www.aiatopten.org/node/276> [Retrieved: 09/10/21]

Tsikra, P. and Andreou, E. (2017). Investigation of the Energy Saving Potential in Existing School Buildings in Greece. The role of Shading and Daylight Strategies in Visual Comfort and Energy Saving. In: *Pocedia Environmental Sciences*, Vol. 38, pp. 204-211. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.107> [Retrieved: 08/04/22]

Τσουκαλά (2014). *Ροϊκές Χωρογραφίες και Εκπαιδευτικές Αναστοχαστικές Αντιστίξεις*. Θεσσαλονίκη: Επίκεντρο

Τσουκαλά (2000). *Τάσεις στη σχολική αρχιτεκτονική: από την παιδοκεντρική λειτουργικότητα στη μεταμοντέρνα προσέγγιση*. Θεσσαλονίκη: Παρατηρητής

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (2010). *Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων*, Άρθρο 19 [Διαδικτυακό άρθρο]. Διαθέσιμο στο: www.opengov.gr/minenv/?c=2312 [Πρόσβαση 28/03/2010]

Πηγές εικόνων

Εικόνες 1,2: E.C., INNOBUILD project

Εικόνα 3:

https://www.google.com/url?esrc=s&q=&rct=j&sa=U&url=http://courses.arch.ntua.gr/fsr/109927/UERMIKH%2520ANESH.pdf&ved=2ahUKEwja-YuE7eH6AhW9mWoFHQAIDzsQFnoECAUQAg&usg=AOvVaw2A79xPDOS_V0pfse1iN1pz

Εικόνες 4-6: E.C., INNOBUILD project

Εικόνες 7-19: <https://www.ktirio.gr/el/κτιρια/κτιρια-δημοσια-εκπαιδευσης-υγεια/πρότυπο-βιοκλιματικό-σχολικό-συγκρότημα-δημοτικού>—Εικόνα 8:

Εικόνες 20-22:

<https://kataskevesktirion.gr/%CF%83%CF%8D%CE%B3%CF%87%CF%81%CE%BF%CE%BD%CE%BF-%CE%B2%CE%B9%CE%BF%CE%BA%CE%BB%CE%B9%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C->

%CE%B4%CE%B7%CE%BC%CE%BF%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C-
%CF%83%CF%87%CE%BF%CE%BB/

Εικόνες 23-27: <http://www.kamvariarchitects.com/crete-bioclimatic-school/>

Εικόνες 28-39: <https://www.tectoniques.com/en/projet/ecoles-gymnase-et-restaurant-scolaire/>

Εικόνες 40-48: <https://henninglarsen.com/en/projects/featured/1246-frederiksbjerg-school>

Εικόνα 49-67: <https://www.mcids.org/>

Εικόνα 67: https://www.typosthes.gr/thessaloniki/288867_dimos-thessalonikis-enishyetai-me-ne-sholeia-anabathmizontai-ta-ktiria

Εικόνες 68-74: Προσωπικό αρχείο Π. Παντελιάδου

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.