



Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας  
Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών  
«Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός Πόλεων και Κτιρίων»

Διπλωματική Εργασία

"Διερεύνηση της Βέλτιστης Διαπερατότητας Οριζόντιων  
Περσίδων με Έλεγχο των Παραγόντων του Σκιασμού, Φυσικού  
Φωτισμού, και Θάμβωσης σε Νότια Προσανατολισμένη Τυπική  
Σχολική Αίθουσα στην Κλιματική Ζώνη Γ, με Σκοπό τη  
Βέλτιστη Βιοκλιματική Λειτουργία της"

Ιωάννης Θ. Βλάχος

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Αικατερίνη Μερέση

Ιωάννινα, Αύγουστος 2020

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 της Βέλτιστης Διαπερατότητας Οριζόντιων  
Περσίδων με Έλεγχο των Παραγόντων του Σκιασμού, Φυσικού  
Φωτισμού, και Θάμβωσης σε Νότια Προσανατολισμένη Τυπική  
Σχολική Αίθουσα στην Κλιματική Ζώνη Γ, με Σκοπό τη  
Βέλτιστη Βιοκλιματική Λειτουργία της"

Ιωάννης Θ. Βλάχος

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων καθηγητής:

Συν-Επιβλέπων καθηγητής:

Αικατερίνη Μερέση

Δέσποινα Ζαβράκα

Δρ. Αρχιτέκτων Μηχανικός Α.Π.Θ.

Δρ. Αρχιτέκτων Μηχανικός Α.Π.Θ.

Ιωάννινα, Αύγουστος 2020

## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	10
Abstract .....	11
Συνομεύσεις & Ακρωνύμια .....	12
Σημαντικότερα σημεία της εργασίας .....	13
Συνεισφορά της εργασίας .....	13
ABSTRACT .....	15
Εισαγωγή .....	22
ΠΡΩΤΟ ΜΕΡΟΣ .....	26
1. Φυσικός φωτισμός κτιρίων .....	26
1.1. Φυσικός φωτισμός – βιοκλιματικός σχεδιασμός. ....	26
1.2. Ποσοτικά χαρακτηριστικά φυσικού φωτισμού.....	28
1.3. Ποιοτικά χαρακτηριστικά φυσικού φωτισμού.....	33
2. Θάμβωση.....	36
2.1. Φαινόμενο θάμβωσης. ....	36
2.2. Άμεση και έμμεση θάμβωση. ....	36
2.3. Άλλα είδη θάμβωσης. ....	38
2.4. Δείκτης θάμβωσης. ....	39
2.5. Αποτροπή φαινομένου θάμβωσης σε σχολικά κτίρια.....	41
2.6. Οπτική άνεση σε σχολική αίθουσα. ....	45
2.7. Διάχυση φωτός.....	47
2.8. Τεχνητός φωτισμός. ....	50
3. Σκίαση.....	51
3.1. Σκίαση, ηλιασμός σχολικών κτιρίων. ....	51
3.2. Τύποι σκιάστων – προσανατολισμός κτιρίου. ....	51
4. Θερμικά – ψυκτικά φορτία .....	55
4.1. Θερμική άνεση.....	55
4.2. Ενεργειακές καταναλώσεις σε σχολικά κτίρια. ....	58
4.3. Μείωση Θερμικών & ψυκτικών φορτίων σε σχολικά κτίρια. ....	60
5. Παραδείγματα σχεδιασμού βιοκλιματικών κτιρίων σχολικών μονάδων.....	62
5.1. Παράδειγμα 1.....	62
5.2. Παράδειγμα 2.....	64
5.3. Παράδειγμα 3.....	66

6. Συμπεράσματα πρώτου μέρους. ....	68
ΔΕΥΤΕΡΟ ΜΕΡΟΣ .....	70
7. Περιοχή μελέτης.....	70
7.1. Κλιματολογικά δεδομένα περιοχής μελέτης.....	70
8. Τυπική αίθουσα μελέτης - σύνθεση & μοντελοποίηση.....	75
8.1. Σύνθεση κελύφους τυπικής αίθουσας χωρίς σύστημα σκίασης – περιγραφή διάταξης. ....	75
8.2. Προσομοίωση τυπικής αίθουσας διδασκαλίας. ....	77
8.3. Ηλιασμός και επίπεδα φυσικού φωτισμού τυπικής σχολικής αίθουσας διδασκαλίας χωρίς σύστημα σκίασης. ....	79
8.4. Προσομοίωση της θάμβωσης τυπικής σχολικής αίθουσας διδασκαλίας χωρίς σύστημα σκίασης. ....	86
9. Προτεινόμενες διατάξεις συστημάτων σκίασης - ηλιοπροστασίας. Ανάλυση αποτελεσμάτων. 90	
9.1. Περίπτωση τυπικής αίθουσας με σύστημα σκίασης κινητών οριζόντιων εξωτερικών περσίδων διαπερατότητας 0. ....	91
9.2. Περίπτωση τυπικής αίθουσας με σύστημα σκίασης κινητών οριζόντιων εξωτερικών περσίδων διαπερατότητας 0,2. ....	99
9.3. Περίπτωση τυπικής αίθουσας με σύστημα σκίασης κινητών οριζόντιων εξωτερικών περσίδων διαπερατότητας 0,30. ....	108
9.4. Περίπτωση τυπικής αίθουσας με σύστημα σκίασης κινητών οριζόντιων εξωτερικών περσίδων διαπερατότητας 0,40. ....	117
9.5. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα.....	125
10. Συμπεράσματα .....	131
Βιβλιογραφία .....	133

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1-1 Οι τυπικές τιμές του αριθμού ωρών λειτουργίας κτιρίων εκπαιδευτηρίων κατά τη διάρκεια ύπαρξης διαθέσιμου Φ.Φ. (φυσικού φωτισμού) (πηγή: Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.20701-1/2017, Πίνακας 5.2).....	27
Πίνακας 1-2 Τυπικό ωράριο λειτουργίας κτιρίων εκπαίδευσης (πηγή: Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.20701-1/2017, Πίνακας 2.1).....	28
Πίνακας 1-3 Απαιτήσεις φωτισμού σε αίθουσες διδασκαλίας, σε συνθήκες αποκλειστικού φυσικού φωτισμού και συμπληρωματικού τεχνητού φωτισμού.(BakerN. etal. 1993). ....	31
Πίνακας 1-4 Κατηγορίες δεικτών χρωματικής απόδοσης (Ra) (πηγή: Μερέση 2010:61).....	35
Πίνακας 2-1 Μέγιστοι αποδεκτοί δείκτες θάμβωσης για τεχνητό και φυσικό φωτισμό (Πηγή: Baker et al, 1993: 2.18). ....	40
Πίνακας 2-2 Μέση στάθμη γενικού φωτισμού (όχι ειδικού) κτιρίου αναφοράς και μέγιστες τιμές δείκτη θάμβωσης UGR - εκπαιδευτήρια (Πηγή: Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017:48635).....	40
Πίνακας 4-1 Κατανομή ετήσιων καταναλώσεων Ελληνικών σχολείων σε KWh/m2 (Πηγή:Επεξεργασία από Santamouris C. et al. 1993: 654).....	59
Πίνακας 7-1 Μέση μηνιαία και ετήσια βροχόπτωση Πηγή: Ε.Μ.Υ., Υπουργείο Γεωργίας, Γ.Π.Σ. Ιωαννίνων. ....	70
Πίνακας 7-2 Ελάχιστη μηνιαία, Μέση μηνιαία και μέγιστη μηνιαία Θερμοκρασία (οC). Περίοδος 1956-1997. Πηγή: Ε.Μ.Υ.....	71
Πίνακας 7-3 Μέση μηνιαία υγρασία (%). Περίοδος 1956-1997. Πηγή: Ε.Μ.Υ.....	72
Πίνακας 7-4 Μέση Σχετική υγρασία αέρα (%) ταχύτητα (μ/δλ) σε Beaufort και διεύθυνση ανέμου. Πηγή: Ε.Μ.Υ, Γ.Π.Σ. Ιωαννίνων.....	72
Πίνακας 7-5 Στοιχεία ηλιοφάνειας Πηγή: Ε.Μ.Υ., Κ.Α.Π.Ε.....	73
Πίνακας 8-1 Τυπική σχολική αίθουσα, χωρίς σύστημα σκίασης, Τιμές DGI και φωτορεαλιστική απεικόνιση εσωτερικού στο λογισμικό Radiance©.....	88
Πίνακας 9-1 Τυπική σχολική αίθουσα, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 0ο, διαπερατότητας 0. Τιμές DGI και φωτορεαλιστική απεικόνιση εσωτερικού στο λογισμικό Radiance©. Πηγή: Προσωπικό αρχείο.....	95
Πίνακας 9-2 Τυπική σχολική αίθουσα, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 45ο, διαπερατότητας 0. Τιμές DGI και φωτορεαλιστική απεικόνιση εσωτερικού στο λογισμικό Radiance©. Πηγή: Προσωπικό αρχείο.....	98
Πίνακας 9-3 Τυπική σχολική αίθουσα, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 0ο,	

διαπερατότητας 0,20. Τιμές DGI και φωτορεαλιστική απεικόνιση εσωτερικού στο λογισμικό Radiance©. Πηγή: Προσωπικό αρχείο.....	103
Πίνακας 9-4 Τυπική σχολική αίθουσα, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 45ο, διαπερατότητας 0,20. Τιμές DGI και φωτορεαλιστική απεικόνιση εσωτερικού στο λογισμικό Radiance©. Πηγή: Προσωπικό αρχείο.....	106
Πίνακας 9-5 Τυπική σχολική αίθουσα, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 0ο, διαπερατότητας 0,30. Τιμές DGI και φωτορεαλιστική απεικόνιση εσωτερικού στο λογισμικό Radiance©. Πηγή: Προσωπικό αρχείο.....	112
Πίνακας 9-6 Τυπική σχολική αίθουσα, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 45ο, διαπερατότητας 0,30. Τιμές DGI και φωτορεαλιστική απεικόνιση εσωτερικού στο λογισμικό Radiance©. Πηγή: Προσωπικό αρχείο.....	115
Πίνακας 9-7 Τυπική σχολική αίθουσα, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 0ο, διαπερατότητας 0,40. Τιμές DGI και φωτορεαλιστική απεικόνιση εσωτερικού στο λογισμικό Radiance©. Πηγή: Προσωπικό αρχείο.....	121
Πίνακας 9-8 Τυπική σχολική αίθουσα, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 45ο, διαπερατότητας 0,40. Τιμές DGI και φωτορεαλιστική απεικόνιση εσωτερικού στο λογισμικό Radiance©. Πηγή: Προσωπικό αρχείο.....	124

## Κατάλογος Γραφημάτων

Γράφημα 1-1 Σχέση παραγωγικότητας των εργαζομένων και απόσταση μεταξύ τη θέσης εργασίας και παραθύρου. Πηγή: Μετάφραση από Boyce et al, 2003, Σελ 38.....	27
Γράφημα 4-1 Επιμερισμός ετήσιων καταναλώσεων σε σχολεία στην Ελλάδα το 1993. Πηγή: Επεξεργασία δεδομένων από (Santamouris C. Et al. 1993: 659).....	60
Γράφημα 8-1 Τιμές DGI σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας χωρίς σύστημα σκίασης στο χειμερινό ηλιοστάσιο και την εαρινή/χειμερινή ισημερία στις ώρες 9:00,12:00, 15:00. Πηγή: Προσωπικό αρχείο επεξεργασία δεδομένων σε Microsoft Excel. ....	89
Γράφημα 9-1 Τιμές DGI σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 0ο, διαπερατότητας 0, στο χειμερινό ηλιοστάσιο και την εαρινή/χειμερινή ισημερία στις ώρες 9:00 και 12:00. Πηγή: Προσωπικό αρχείο επεξεργασία δεδομένων σε Microsoft Excel. ....	96
Γράφημα 9-2 Τιμές DGI σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 45°, διαπερατότητας 0, στο χειμερινό ηλιοστάσιο και την εαρινή/χειμερινή ισημερία στις ώρες 9:00,12:00. Πηγή: Προσωπικό αρχείο επεξεργασία δεδομένων σε MS Excel.....	98
Γράφημα 9-3 Τιμές DGI σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 0ο, διαπερατότητας 0,20, στο χειμερινό ηλιοστάσιο και την εαρινή/χειμερινή ισημερία στις ώρες 9:00,12:00. Πηγή: Προσωπικό αρχείο επεξεργασία δεδομένων σε MS Excel.....	104
Γράφημα 9-4 Τιμές DGI σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 45°, διαπερατότητας 0,20, στο χειμερινό ηλιοστάσιο και την εαρινή/χειμερινή ισημερία στις ώρες 9:00,12:00. Πηγή: Προσωπικό αρχείο επεξεργασία δεδομένων σε MS Excel.....	107
Γράφημα 9-5 Τιμές DGI σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 0°, διαπερατότητας 0,30, στο χειμερινό ηλιοστάσιο και την εαρινή/χειμερινή ισημερία στις ώρες 9:00,12:00, 15:00. Πηγή: Προσωπικό αρχείο επεξεργασία δεδομένων σε MS Excel.....	113
Γράφημα 9-6 Τιμές DGI σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 45°, διαπερατότητας 0,30, στο χειμερινό ηλιοστάσιο και την εαρινή/χειμερινή ισημερία στις ώρες 9:00,12:00. Πηγή: Προσωπικό αρχείο επεξεργασία δεδομένων σε MS Excel.....	116



Γράφημα 9-7 Τιμές DGI σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας , με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 0ο, διαπερατότητας 0,40. στο χειμερινό ηλιοστάσιο και την εαρινή/χειμερινή ισημερία στις ώρες 9:00,12:00, 15:00. Πηγή: Προσωπικό αρχείο επεξεργασία δεδομένων σε MS Excel.....	122
Γράφημα 9-8 Τιμές DGI σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας , με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 45ο, διαπερατότητας 0,40. στο χειμερινό ηλιοστάσιο και την εαρινή/χειμερινή ισημερία στις ώρες 9:00,12:00. Πηγή: Προσωπικό αρχείο επεξεργασία δεδομένων σε MS Excel.....	124
Γράφημα 9-9 Τιμές DF (Σ.Φ.Φ.) σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 0°, διαφορετικών διαπερατοτήτων. Πηγή: Προσωπικό αρχείο επεξεργασία δεδομένων σε Microsoft Excel©.....	125
Γράφημα 9-10 Τιμές DF (Σ.Φ.Φ.) σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 45°, διαφορετικών διαπερατοτήτων. Πηγή: Προσωπικό αρχείο επεξεργασία δεδομένων σε Microsoft Excel©.....	126
Γράφημα 9-11 Τιμές λόγου Emin/Emax σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 0°, διαφορετικών διαπερατοτήτων. Πηγή: Προσωπικό αρχείο επεξεργασία δεδομένων σε Microsoft Excel©. ....	127
Γράφημα 9-12 Τιμές λόγου Emin/Emax σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 45°, διαφορετικών διαπερατοτήτων. Πηγή: Προσωπικό αρχείο επεξεργασία δεδομένων σε Microsoft Excel©. ....	127
Γράφημα 9-13 Τιμές DGI σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 45°, διαφόρων διαπερατοτήτων στο χειμερινό ηλιοστάσιο (21/12) και ώρα 12:00. Πηγή: Προσωπικό αρχείο επεξεργασία δεδομένων σε Microsoft Excel©. ....	128
Γράφημα 9-14 Τιμές DGI σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 45°, διαφόρων διαπερατοτήτων στο χειμερινό ηλιοστάσιο (21/12) και ώρα 09:00. Πηγή: Προσωπικό αρχείο επεξεργασία δεδομένων σε Microsoft Excel©. ....	129
Γράφημα 9-15 Τιμές DGI σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 45°, διαφόρων διαπερατοτήτων στην εαρινή ισημερία (21/09) και ώρα 09:00. Πηγή: Προσωπικό αρχείο επεξεργασία δεδομένων σε Microsoft Excel©. ....	130
Γράφημα 9-16 Τιμές DGI σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 45°, διαφόρων διαπερατοτήτων στην εαρινή ισημερία (21/09) και ώρα 12:00. Πηγή: Προσωπικό αρχείο επεξεργασία δεδομένων σε Microsoft Excel©. ....	130

## Περίληψη

Ο σωστός σχεδιασμός σχολικών κτιρίων υιοθετώντας αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού, μπορεί να μειώσει σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας και ταυτόχρονα να έχει πολλαπλά οφέλη για την υγεία και την απόδοση των μαθητών και καθηγητών/δασκάλων. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η ανάλυση του φυσικού φωτισμού και του φαινομένου της θάμβωσης σε μια τυπική σχολική αίθουσα, νότια προσανατολισμένη στα Ιωάννινα και η εύρεση της βέλτιστης τιμής της διαπερατότητας του συστήματος σκίασης. Κριτήρια για αυτό είναι η αίθουσα να σκιάζεται επαρκώς, να αποφεύγονται φαινόμενα θάμβωσης και οπτικής δυσφορίας, ενώ παράλληλα να ενισχύονται τα επίπεδα του φυσικού φωτισμού ώστε να αποφεύγεται κατά τον δυνατόν η χρήση τεχνητού φωτισμού.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται είναι αρχικά η έρευνα σε ελληνικά και διεθνή επιστημονικά κείμενα για θέματα φυσικού φωτισμού, σε σχολικά κτίρια. Ερευνώνται οι παράμετροι και οι εξισώσεις που διέπουν τα φαινόμενα και γίνεται μελέτη των κυριότερων δεικτών και μεγεθών που έχουν προταθεί από τους επιστήμονες για την ανάλυση και την ποσοτικοποίηση των φαινομένων αυτών. Κατανοείται σε βάθος ο μηχανισμός των φαινομένων αυτών και οι τρόποι ενίσχυσης των ενεργειακών κερδών και αποφυγής ή μείωσης των αρνητικών επιδράσεων. Στη συνέχεια χρησιμοποιούνται εξειδικευμένα λογισμικά που προσομοιώνουν τα φαινόμενα αυτά (Autodesk Ecotect© και Radiance©). Η προσομοίωση γίνεται σε επίπεδο μονάδας τυπικής σχολικής αίθουσας που μελετάται αρχικά χωρίς κανένα σύστημα σκίασης και μετέπειτα ακολουθεί σειρά προσομοιώσεων της ίδιας διάταξης με συστήματα σκίασης οριζόντιων περσίδων, διαφορετικών διαπερατοτήτων σε διάφορες κλίσεις, σε διαφορετικές ώρες της ημέρας και σε διαφορετικές ημερομηνίες.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά και προτείνεται η βέλτιστη τιμή της διαπερατότητας των οριζόντιων κινητών συστημάτων σκίασης για την τυπική αίθουσα στα Ιωάννινα ώστε να εξασφαλίζονται συνθήκες οπτικής άνεσης στους μαθητές και διδάσκοντες.

**Λέξεις κλειδιά:** Φυσικός φωτισμός, θάμβωση, σχολείο, διαπερατότητα, οπτική άνεση.

## Abstract

Proper design of school buildings by adopting principles of bioclimatic design can significantly reduce energy consumption and at the same time can have multiple benefits for the health and performance of students and teachers. The purpose of this work is to analyze the daylight levels and the phenomenon of glare in a typical classroom, south oriented in Ioannina city Greece, and to find the optimal value of the transmittance of the shading system. Criteria for this are the classroom to be adequately shaded, to avoid glare and visual discomfort while enhancing the levels of natural light thus avoiding the use of artificial lighting as much as possible.

The methodology followed is initially the research in Greek and international scientific papers on daylight methods in school buildings. The parameters and equations that govern the phenomena are investigated and the main indexes proposed by the scientists for the analysis and quantification of these phenomena are studied. The mechanism of these phenomena and the ways of enhancing energy gains and avoiding or reducing the negative effects are deeply studied. Lightning analysis software is used that simulates these phenomena (Autodesk Ecotect© and Radiance©). The simulation is done in a typical classroom that is initially studied without any shading system and then follows a series of simulations of the same layout with shading systems of external horizontal blinds that have different values of transmittance at different inclinations, at different times of the day and on different dates.

The results are presented cumulatively and the optimal value of the transmittance of the horizontal shading systems for the typical room in Ioannina is proposed in order to ensure conditions of visual comfort for students and teachers.

**Key words:** Daylight, glare, School, transmittance, visual comfort.

## Συντομεύσεις & Ακρωνύμια

Ε.Α.Π.	Ελληνικό Ανοιχτό Πανεπιστήμιο
Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.	Τεχνική οδηγία τεχνικού επιμελητηρίου Ελλάδος
Κ.Α.Π.Ε.	Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
Κ. ΕΝ. Α.Κ.	Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων
Σ.Φ.Φ.	Συντελεστής Φυσικού Φωτισμού
Χ.Τ.Φ.Φ.	Χρήσιμες Τιμές Φυσικού Φωτισμού
Φ.Ε.Κ.	Φύλλο Εφημερίδας της Κυβερνήσεως
Φ.Φ.	Φυσικός Φωτισμός
ASHRAE	American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning
BRE	Building Research Establishment
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
DF	Daylight Factor
DGI	Daylight Glare Factor
GI	Glare Index
LED	Light Emitting Diode
UDI	Useful Daylight illuminances

## Σημαντικότερα σημεία της εργασίας

Τα κυριότερα σημεία της παρούσας διπλωματικής εργασίας με τίτλο: “Διερεύνηση της Βέλτιστης Διαπερατότητας Οριζόντιων Περσίδων με Έλεγχο των Παραγόντων του Σκιασμού, Φυσικού Φωτισμού, και Θάμβωσης σε Νότια Προσανατολισμένη Τυπική Σχολική Αίθουσα στην Κλιματική Ζώνη Γ, με Σκοπό τη Βέλτιστη Βιοκλιματική Λειτουργία της” είναι τα ακόλουθα:

- Έλεγχος των επιπέδων φυσικού φωτισμού και φαινομένων θάμβωσης σε τυπική σχολική αίθουσα σε πόλη της κλιματικής ζώνης Γ.
- Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν ότι η τυπική σχολική αίθουσα σε νότιο προσανατολισμό χωρίς σύστημα σκίασης παρουσιάζει έντονα φαινόμενα θάμβωσης και χαμηλά επίπεδα διείσδυσης φυσικού φωτισμού στο βάθος της.
- Έλεγχος επιπέδων φυσικού φωτισμού και θάμβωσης με την προσθήκη συστημάτων οριζόντιων κινητών περσίδων εφαρμόζοντας διαφορετικές τιμές διαπερατότητας του υλικού των περσίδων.
- Επιλογή της βέλτιστης τιμής διαπερατότητας που ενισχύει τα επίπεδα φωτισμού ενώ ταυτόχρονα μειώνει την πιθανότητα εμφάνισης φαινομένων θάμβωσης.

## Συνεισφορά της εργασίας

Η εργασία διερευνά την βελτίωση των ήδη υπαρχόντων συστημάτων σκίασης σε σχολικές αίθουσες ώστε αυτά να αυξάνουν τα επίπεδα φυσικού φωτισμού ενώ παράλληλα να μειώνουν την πιθανότητα εμφάνισης φαινομένων θάμβωσης. Η έρευνα αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε Αρχιτέκτονες και Μηχανικούς για την επιλογή και τον σχεδιασμό συστημάτων ηλιοπροστασίας και φωτοενίσχυσης σε σχολικά κτίρια.

# Διερεύνηση της Βέλτιστης Διαπερατότητας Οριζόντιων Περισίδων με Έλεγχο των Παραγόντων του Σκιασμού, Φυσικού Φωτισμού, και Θάμβωσης σε Νότια Προσανατολισμένη Τυπική Σχολική Αίθουσα στην Κλιματική Ζώνη Γ, με Σκοπό τη Βέλτιστη Βιοκλιματική Λειτουργία της

Ιωάννης Θ. Βλάχος, Αικατερίνη Μερέση

Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο,

Πάροδος Αριστοτέλους 18, 26335 Πάτρα

email: [std91398@ac.eap.gr](mailto:std91398@ac.eap.gr), [meresi.aikaterini@ac.eap.gr](mailto:meresi.aikaterini@ac.eap.gr)

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σωστός σχεδιασμός σχολικών κτιρίων, μπορεί να μειώσει σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας και ταυτόχρονα να έχει πολλαπλά οφέλη για την υγεία και την απόδοση των μαθητών και καθηγητών/δασκάλων (Αζαρή 2001).

Για τον έλεγχο των επιπέδων του φυσικού φωτισμού στην αίθουσα επιλέγεται η χρήση του συντελεστή φυσικού φωτισμού ή Daylight Factor (DF). Στις κλιματικές συνθήκες της νότιας Ευρώπης ένας ικανοποιητικός φωτισμός επιτυγχάνεται με  $DF = 1-3\%$  (Αζαρή 2001, :215). Ειδικότερα για τις σχολικές αίθουσες ο Αγγλικός κανονισμός προτείνει  $DF > 2\%$  τουλάχιστον στο 80% της αίθουσας (BREEM UK, 2014) και ο Ιταλικός  $DF_{Average} > 3\%$  &  $DF_{min}/DF_{max} > 0,16$  (Constanzo et al 2017). Αντίστοιχα για την μελέτη του φαινομένου της θάμβωσης ελέγχονται οι τιμές του δείκτη θάμβωσης από φυσικό φωτισμό ή Daylight Glare Index (DGI) στο εσωτερικό της αίθουσας, έτσι ώστε να εκτιμηθεί η πιθανότητα θάμβωσης σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα 1.

**Πίνακας 1.** Μέγιστοι αποδεκτοί δείκτες θάμβωσης για φυσικό φωτισμό.

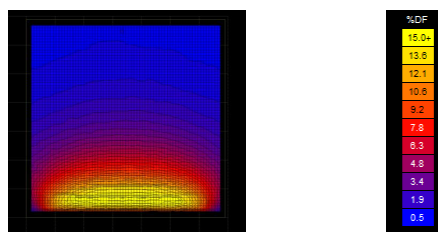
Χαρακτηρισμός θάμβωσης	DGI
Ανεπαίσιμη θάμβωση	16-18
Αποδεκτή θάμβωση	20-22
Μη ανεκτή θάμβωση	24-26
Αφόρητη θάμβωση	28

Πηγή: Baker et al, 1993: 2.18

## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η εργασία αρχικά επικεντρώθηκε στην ανάλυση του ηλιασμού, των επιπέδων φυσικού φωτισμού και της θάμβωσης, μίας τυπικής Ελληνικής σχολικής αίθουσας με νότιο προσανατολισμό στη κλιματική ζώνη Γ της Ελλάδος και συγκεκριμένα στα Ιωάννινα. Η περιοχή έχει την χαμηλότερη ηλιοφάνεια στον ελλαδικό χώρο (Matzarakis et al., 2005). Η ανάλυση περιελάμβανε προσομοίωση με τα λογισμικά Autodesk Ecotect® και Radiance®.

Η αίθουσα χωρίς σύστημα σκίασης ελέγχθηκε για τον ηλιασμό σε διάφορες ώρες και τις ημερομηνίες στο χειμερινό ηλιοστάσιο 21/12, την εαρινή/φθινοπωρινή ισημερία 21/03 & 21/09 και το θερινό ηλιοστάσιο στις 21/06. Η προσομοίωση για τα επίπεδα φυσικού φωτισμού με τον συντελεστή DF, έδειξε τιμές  $DF_{Average} = 4,32\%$ , πολύ πάνω από το όριο των 2% και ανομοιομορφία φυσικού φωτισμού με  $DF_{min}/DF_{max} = 0,05 < 0,16$  (βλ. Εικόνα 1).



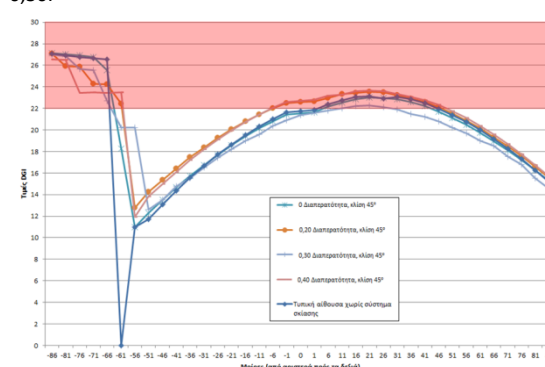
**Εικόνα 1.** Κάνναβος τιμών DF στην τυπική αίθουσα χωρίς σύστημα σκίασης.

Η τυπική αίθουσα διδασκαλίας του Ο.Σ.Κ. μελετήθηκε με σύστημα οριζόντιων εξωτερικών κινητών. Τα κριτήρια για την επιλογή του καταλληλότερου συστήματος ηλιοπροστασίας περιλάμβαναν αφενός την καλύτερη διαχείριση του φυσικού φωτισμού αλλά και τον περιορισμό του φαινομένου της θάμβωσης. Για τον λόγο αυτό μελετήθηκαν το σύστημα οριζόντιων κινητών εξωτερικών περισίδων με διαφορετικούς συντελεστές διαπερατότητας 0, 0,20, 0,30 & 0,40.

Σε ότι αφορά τα επίπεδα φυσικού φωτισμού και ομοιομορφίας τα αποτελέσματα δείχνουν μια ανομοιομορφή κατανομή του φυσικού φωτισμού οι οποία είναι οριακά

κάτω του 0,16 ενώ αντίθετα στις περιπτώσεις με κλίση  $45^\circ$  η ομοιομορφία αυξάνεται με τιμές του λόγου  $DF_{min}/DF_{max}$  που ξεκινούν από 0,27 για αδιαφανείς περισίδες και όσο αυξάνεται η διαπερατότητα μειώνονται με 0,19 για διαπερατότητα 0,40.

Σε ότι αφορά την πιθανότητα θάμβωσης, το διάγραμμα 1 δείχνει συγκεντρωτικά τις τιμές του δείκτη DGI σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας σε διαφορετικές τιμές διαπερατότητας την δυσμενέστερη από άποψη θάμβωσης ημερομηνία που είναι το χειμερινό ηλιοστάσιο, την 21η Δεκεμβρίου και ώρα 12:00. Το σύστημα σκίασης οριζόντιων κινητών περισίδων φαίνεται να έχει την καλύτερη απόδοση, από την άποψη της αποφυγής των φαινομένων θάμβωσης, όταν η διαπερατότητα ορίζεται στο 0,30.



**Διάγραμμα 1:** Τιμές DGI σε αίθουσα, με σύστημα σκίασης οριζ. περισίδων  $45^\circ$ , διαφόρων διαπερατοτήτων 21/12 12:00.

## ΣΤΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η σύγκριση των τιμών του δείκτη DGI σε διάφορες τιμές διαπερατότητας των περισίδων δείχνει ότι το σύστημα σκίασης που προτείνεται είναι αυτό με διαπερατότητα 0,30. Η τιμή της διαπερατότητας αυτής έχει την καλύτερη απόδοση στην αποφυγή των φαινομένων της θάμβωσης με βάση τις εκτιμήσεις του δείκτη DGI. Παράλληλα η διαπερατότητα αυξάνει τα επίπεδα φυσικού φωτισμού στην αίθουσα και εξασφαλίζει ομοιόμορφη κατανομή φωτισμού με βάση τις τιμές του DF που αφορά νεφροσκηπή ουρανό.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αζαρή Κ., Γιαννάς Σ., Ευαγγελινός Ε., Ζαχαρόπουλος Η., Μαρδα Ν. 2001. Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων και Περιβάλλοντος Χώρου Τόμος Α. Ε.Α.Π. Πάτρα.
2. Baker, N., Fanchiotti, A., Steemers, K. (eds), 1993. Daylighting in Architecture – European Reference Book, Commission of the European Communities Directorate - General XII for Science Research and Development, Brussels : James & James Ltd.
3. Boyce, P., Hunter, C., Howlett, O., 2003. The Benefits of Daylight through Windows. Sponsored by “Capturing the Daylight Dividend” program, Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, New York.
4. BREEM UK. New Construction, Non-Domestic Buildings, Technical Manual BRE Global Ltd., Watford, UK, 2014.
5. Costanzo Vincenzo, Evola G., Marletta L, (2017). A Review of Daylighting Strategies in Schools: State of the Art and Expected Future Trends.
6. Dunn, R., Dunn, K., & Price, G.E. 1985. Learning styles inventory LSI: An inventory for the identification of how individuals in grades 3 through 12 prefer to learn. Lawrence, KS: Price Systems.
7. Matzarakis Andreas, & Katsoulis Vasileios. (2005). Πρακτικά 7ου Διεθνούς Συνεδρίου Μετεωρολογίας, Κλιματολογίας και Φύσης της Ατμόσφαιρας. Retrieved from: [http://www.urbanclimate.net/matzarakis/papers/matzarakis\\_katsoulis\\_2005\\_cyprus.pdf](http://www.urbanclimate.net/matzarakis/papers/matzarakis_katsoulis_2005_cyprus.pdf)

# **Διερεύνηση της Βέλτιστης Διαπερατότητας Οριζόντιων Περσίδων με Έλεγχο των Παραγόντων του Σκιασμού, Φυσικού Φωτισμού, και Θάμβωσης σε Νότια Προσανατολισμένη Τυπική Σχολική Αίθουσα στην Κλιματική Ζώνη Γ, με Σκοπό τη Βέλτιστη Βιοκλιματική Λειτουργία της**

**Ιωάννης Θ. Βλάχος, Αικατερίνη Μερέση**

Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο,  
Πάροδος Αριστοτέλους 18, 26335 Πάτρα

email: [std91398@ac.eap.gr](mailto:std91398@ac.eap.gr), [meresi.aikaterini@ac.eap.gr](mailto:meresi.aikaterini@ac.eap.gr)

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η ανάλυση του φυσικού φωτισμού και του φαινομένου της θάμβωσης σε μια τυπική σχολική αίθουσα, νότια προσανατολισμένη στα Ιωάννινα και η εύρεση της βέλτιστης τιμής της διαπερατότητας του συστήματος σκίασης. Κριτήρια για αυτό είναι η αίθουσα να σκιάζεται επαρκώς, να αποφεύγονται φαινόμενα θάμβωσης και οπτικής δυσφορίας, ενώ παράλληλα να ενισχύονται τα επίπεδα του φυσικού φωτισμού ώστε να αποφεύγεται κατά τον δυνατόν η χρήση τεχνητού φωτισμού. Χρησιμοποιούνται εξειδικευμένα λογισμικά που προσομοιώνουν τα φαινόμενα αυτά (Autodesk Ecotect® και Radiance®). Η προσομοίωση γίνεται σε επίπεδο μονάδας τυπικής σχολικής αίθουσας που μελετάται αρχικά χωρίς κανένα σύστημα σκίασης και μετέπειτα ακολουθεί σειρά προσομοιώσεων της ίδιας διάταξης με συστήματα σκίασης οριζόντιων περσίδων, διαφορετικών διαπερατοτήτων σε διάφορες κλίσεις, σε διαφορετικές ώρες της ημέρας και σε διαφορετικές ημερομηνίες. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά και προτείνεται η βέλτιστη τιμή της διαπερατότητας των οριζόντιων κινητών συστημάτων σκίασης για την τυπική αίθουσα στα Ιωάννινα ώστε να εξασφαλίζονται συνθήκες οπτικής άνεσης στους μαθητές και διδάσκοντες.

**Λέξεις κλειδιά:** Φυσικός φωτισμός, θάμβωση, σχολείο, διαπερατότητα, οπτική άνεση.

## **ABSTRACT**

The purpose of this work is to analyze the daylight levels and the phenomenon of glare in a typical classroom, south oriented in Ioannina city Greece, and to find the optimal value of the transmittance of the shading system. Criteria for this are the classroom to be adequately shaded, to avoid glare and visual discomfort while enhancing the levels of natural light thus avoiding the use of artificial lighting as much as possible.

Lightning analysis software is used that simulates these phenomena (Autodesk Ecotect© and Radiance©). The simulation is done in a typical classroom that is initially studied without any shading system and then follows a series of simulations of the same layout with shading systems of external horizontal blinds that have different values of transmittance at different inclinations, at different times of the day and on different dates. The results are presented cumulatively and the optimal value of the transmittance of the horizontal shading systems for the typical room in Ioannina is proposed in order to ensure conditions of visual comfort for students and teachers.

**Key words:** Daylight, glare, School, transmittance, visual comfort.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σωστός σχεδιασμός σχολικών κτιρίων υιοθετώντας αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού, μπορεί να μειώσει σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας και ταυτόχρονα να έχει πολλαπλά οφέλη για την υγεία και την απόδοση των μαθητών και καθηγητών/δασκάλων (Αξαρχή 2001). Η συντριπτική πλειοψηφία των σχολικών κτιρίων στην Ελλάδα λειτουργούν την ημέρα, έτσι ο ήλιος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ανεξάντλητη και δωρεάν φωτεινή πηγή για τον φωτισμό των αιθουσών σχολικών κτιρίων. Η μελέτη άλλωστε του φυσικού φωτισμού ενός σχολείου είναι ίσως σημαντικότερη από κάθε άλλο κτίριο (Barrett et al 2015).

Το κυριότερο πρόβλημα σε ότι αφορά την μελέτη φυσικού φωτισμού σε μία τυπική σχολική αίθουσα στην Ελλάδα είναι ότι αφενός είναι επιθυμητό ο φυσικός φωτισμός να διαχέεται ομοιόμορφα και να διεισδύει μέχρι το βάθος της σχολικής αίθουσας παράλληλα με την ενίσχυση των θερμικών φορτίων την χειμερινή περίοδο και αφετέρου η αίθουσα πρέπει να σκιάζεται επαρκώς και να αποφεύγονται φαινόμενα θάμβωσης και υπερθέρμανσης τους θερινούς μήνες λειτουργίας της σχολικής μονάδας. Οι ανάγκες αυτές έρχονται σε αντίθεση μεταξύ τους, δεδομένου ότι τα συστήματα σκίασης και

αποφυγής της θάμβωσης μειώνουν τα επίπεδα φυσικού φωτισμού στο χώρο.

Για τον έλεγχο των επιπέδων του φυσικού φωτισμού στο χώρο επιλέγεται η χρήση του συντελεστή φυσικού φωτισμού (Σ.Φ.Φ.) ή Daylight Factor (DF). Στις κλιματικές συνθήκες της νότιας Ευρώπης ένας ικανοποιητικός φωτισμός επιτυγχάνεται με  $DF = 1-3\%$  (Αξαρχή 2001, :215). Ειδικότερα για τις σχολικές αίθουσες ο Αγγλικός κανονισμός προτείνει  $DF > 2\%$  τουλάχιστον στο 80% της αίθουσας (BREEAM UK, 2014) και ο Ιταλικός  $DF_{Average} > 3\%$  &  $DF_{min}/DF_{max} > 0,16$  (Constanzo et al 2017).

Αντίστοιχα για την μελέτη του φαινομένου της θάμβωσης ελέγχονται οι τιμές του δείκτη θάμβωσης από φυσικό φωτισμό ή Daylight Glare Index (DGI) στο εσωτερικό της αίθουσας, έτσι ώστε να εκτιμηθεί η πιθανότητα θάμβωσης σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα 1.

**Πίνακας 1.** Μέγιστοι αποδεκτοί δείκτες θάμβωσης για φυσικό φωτισμό.

Χαρακτηρισμός θάμβωσης	DGI
Ανεπαίσθητη θάμβωση	16-18
Αποδεκτή θάμβωση	20-22
Μη ανεκτή θάμβωση	24-26
Αφόρητη θάμβωση	28

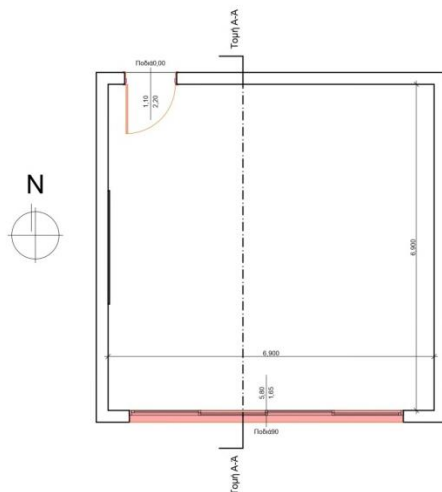
Πηγή: Baker et al, 1993: 2.18



## 2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### 2.1. Τυπική αίθουσα χωρίς σύστημα σκίασης.

Η εργασία αρχικά επικεντρώθηκε στην ανάλυση του ηλιασμού, των επιπέδων φυσικού φωτισμού και της θάμβωσης, μίας τυπικής Ελληνικής σχολικής αίθουσας με νότιο προσανατολισμό στη κλιματική ζώνη Γ της Ελλάδος και συγκεκριμένα στα Ιωάννινα. Η περιοχή έχει την χαμηλότερη ηλιοφάνεια στον ελλαδικό χώρο (Matzarakis et al., 2005).

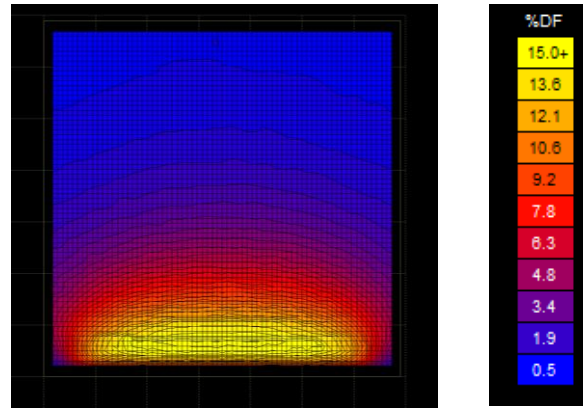


**Εικόνα 1.** Κάτοψη τυπικής σχολικής αίθουσας.

Η ανάλυση περιελάμβανε προσομοίωση με τα λογισμικά Autodesk Ecotect© και Radiance©.

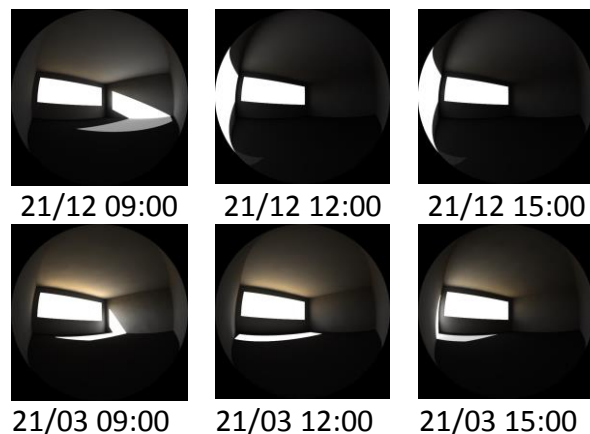
Η αίθουσα χωρίς σύστημα σκίασης ελέγχθηκε για τον ηλιασμό σε διάφορες ώρες και τις ημερομηνίες στο χειμερινό ηλιοστάσιο 21/12, την εαρινή/φθινοπωρινή ισημερία 21/03 & 21/09 και το θερινό ηλιοστάσιο στις 21/06.

Η προσομοίωση για τα επίπεδα φυσικού φωτισμού με τον συντελεστή DF, έδειξε τιμές  $DF_{Average} = 4,32\%$ , πολύ πάνω από το όριο των 2% και ανομοιομορφία φυσικού φωτισμού με  $DF_{min}/DF_{max} = 0,05 < 0,16$  (βλ. Εικόνα 2).



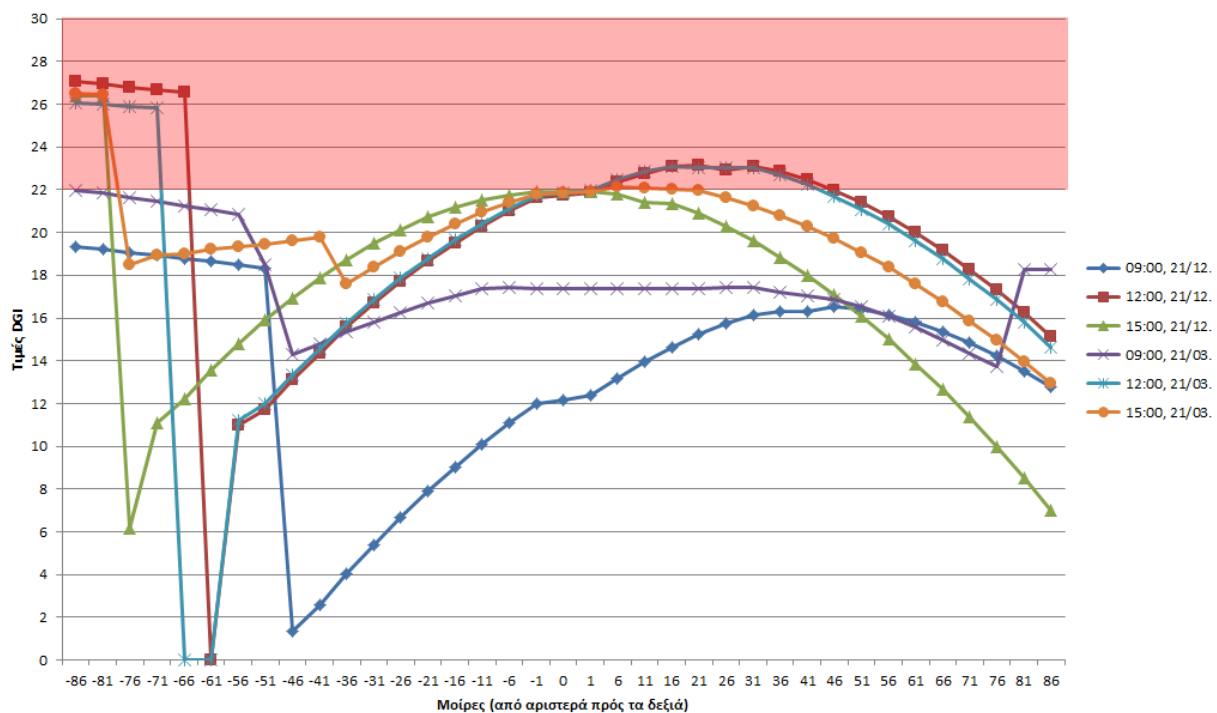
**Εικόνα 2.** Κάνναβος τιμών DF στην τυπική αίθουσα χωρίς σύστημα σκίασης.

Αντίστοιχα πραγματοποιήθηκε η προσομοίωση για την πιθανότητα θάμβωσης με χρήση του τελεστή DGI στις ημέρες 21/12 & 21/03-21/09 και τις ώρες 09:00, 12:00.



**Εικόνα 3.** Φωτορεαλιστική απεικόνιση τυπικής αίθουσας στο λογισμικό Radiance©.

Η προσομοίωση έδειξε σε αρκετές περιπτώσεις μεγάλη πιθανότητα μη ανεκτής θάμβωσης ( $DGI > 24$ ) ως και πιθανή ανυπόφορη θάμβωση ( $DGI > 26$ ) και ως εκ τούτου επιτακτική ανάγκη για χρήση συστημάτων ηλιοπροστασίας.



Διάγραμμα 1: Τιμές DGI σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας χωρίς σύστημα σκίασης, σε διαφορετικές ώρες και ημέρες.

## 2.2. Πρόταση παρεμβάσης με σύστημα σκίασης οριζόντιων κινητών περσίδων διαφορετικών διαπερατοτήτων.

Η τυπική αίθουσα διδασκαλίας του Ο.Σ.Κ. και σε σχέση με τη διαχείριση του φυσικού φωτισμού σε αίθουσα στα Ιωάννινα, προτείνεται το σύστημα οριζόντιων εξωτερικών κινητών περσίδων (Νικολάου, 2019: 101). Τα κριτήρια για την επιλογή του καταλληλότερου συστήματος ηλιοπροστασίας περιλάμβαναν αφενός την καλύτερη διαχείριση του φυσικού φωτισμού αλλά και τον περιορισμό του φαινομένου της θάμβωσης. Για τον λόγο αυτό μελετήθηκαν το σύστημα οριζόντιων κινητών εξωτερικών περσίδων με διαφορετικούς συντελεστές διαπερατότητας 0, 0.20, 0.30 & 0.40.

Η αύξηση της διαπερατότητας του υλικού των περσίδων συμβάλλει στην αύξηση των επιπέδων φυσικού φωτισμούς στο χώρο αλλά αντίστοιχα και αύξηση της

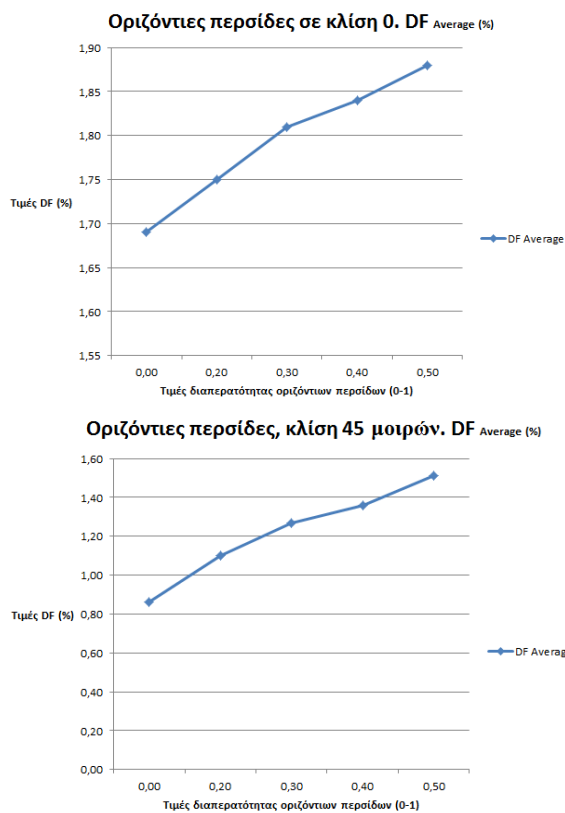
διαπερατότητας οδηγεί σε αύξηση της θάμβωσης. Η παρούσα εργασία μελετάει το μεταίχμιο αυτό, την επιθυμητή τιμή δηλαδή της διαπερατότητας του υλικού των περσίδων που ισορροπεί τα δύο αντιφατικά μεγέθη, του φωτισμού και της θάμβωσης.

## 3. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 3.1. Έλεγχος επιπέδων φυσικού φωτισμού.

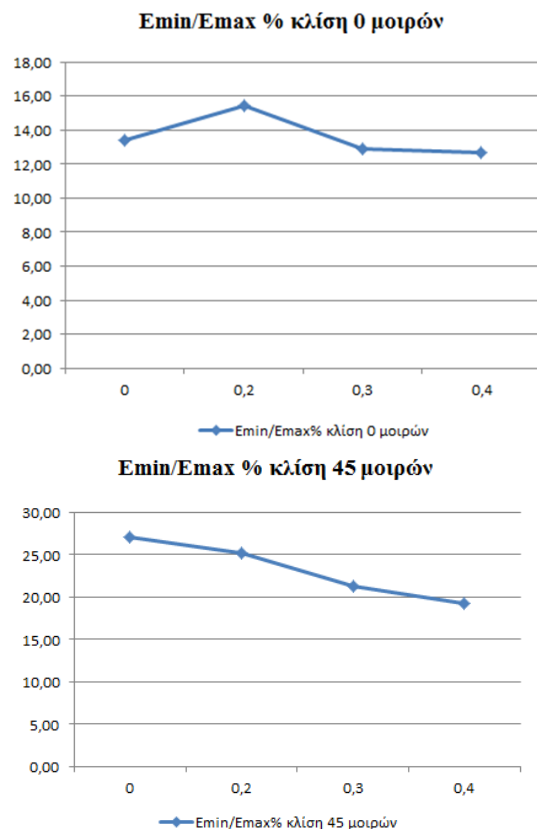
Τα επίπεδα φυσικού φωτισμού αυξάνονται γραμμικά όσο αυξάνεται η διαπερατότητα των περσίδων. Συγκεκριμένα οι τιμές του συντελεστή φυσικού φωτισμού DF κυμαίνονται από 1,69% για αδιαφανείς περσίδες έως 1,84% σε περσίδες με διαπερατότητα 0,40. Όταν οι οριζόντιες περσίδες ρυθμίζονται σε κλίση 45° οι τιμές του DF μειώνονται συνολικά ως αναμένεται, ακολουθώντας πάλι γραμμική αύξηση όσο αυξάνεται η διαπερατότητα. Συγκεκριμένα οι τιμές του συντελεστή

φυσικού φωτισμού DF κυμαίνονται από 0,86% για αδιαφανείς περσίδες έως 1,51% σε περσίδες με διαπερατότητα 0,40.



Διαγράμματα 2,3: Τιμές DF σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 0° & 45°, διαφορετικών διαπερατοτήτων.

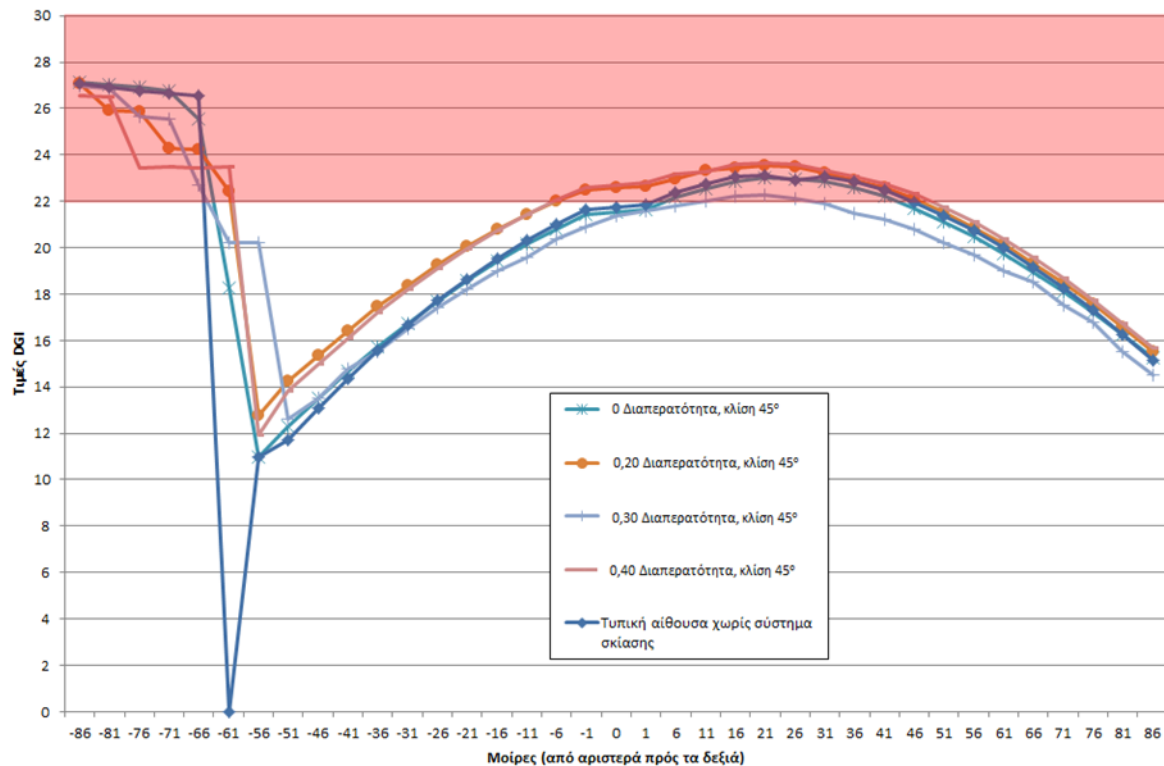
Από τα διαγράμματα 4 & 5 και συγκρίνοντας τον λόγο της ελάχιστης τιμής του DF προς την μέγιστη τιμή του  $DF_{min}/DF_{max}$  συμπεραίνεται ότι στις περιπτώσεις σκίασης με οριζόντιες περσίδες με μηδενική κλίση, ο λόγος αυτός είναι κοντά στο 13% εκτός από την διαπερατότητα 0,20 που προκύπτει τιμή του λόγου 15%. Οι τιμές αυτές δείχνουν μια ανομοιόμορφη κατανομή του φυσικού φωτισμού οι οποία είναι οριακά κάτω του 0,16 ενώ αντίθετα στις περιπτώσεις με κλίση 45° η ομοιομορφία αυξάνεται με τιμές του λόγου  $DF_{min}/DF_{max}$  που ξεκινούν από 0,27 για αδιαφανείς περσίδες και όσο αυξάνεται η διαπερατότητα μειώνονται με 0,19 για διαπερατότητα 0,40.



Διαγράμματα 4,5 Τιμές λόγου  $DF_{min}/DF_{max}$  σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 0°, 45°, διαφορετικών διαπερατοτήτων.

### 3.2. Έλεγχος θάμβωσης.

Σε ότι αφορά την πιθανότητα θάμβωσης, το διάγραμμα 6 δείχνει συγκεντρωτικά τις τιμές του δείκτη DGI σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας σε διαφορετικές τιμές διαπερατότητας την δυσμενέστερη από άποψη θάμβωσης ημερομηνία που είναι το χειμερινό ηλιοστάσιο, την 21η Δεκεμβρίου και ώρα 12:00. Το σύστημα σκίασης οριζόντιων κινητών περσίδων φαίνεται να έχει την καλύτερη απόδοση, από την άποψη της αποφυγής των φαινομένων θάμβωσης, όταν η διαπερατότητα ορίζεται στο 0,30. Ακολουθεί το σύστημα με αδιαφανείς περσίδες το οποίο όμως παρουσιάζει τιμές του δείκτη DGI πάνω από 22 (μη αποδεκτή θάμβωση) σε αρκετές περιπτώσεις.



Διάγραμμα 6: Τιμές DGI σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 45ο, διαφόρων διαπερατοτήτων στο χειμερινό ηλιοστάσιο (21/12) και ώρα 12:00.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### 3.3. Συμπεράσματα

Η σύγκριση των τιμών του δείκτη DGI σε διάφορες τιμές διαπερατότητας των περσίδων δείχνει ότι το σύστημα σκίασης που προτείνεται είναι αυτό με διαπερατότητα 0,30. Η τιμή της διαπερατότητας αυτής έχει την καλύτερη απόδοση στην αποφυγή των φαινομένων της θάμβωσης με βάση τις εκτιμήσεις του δείκτη DGI. Παράλληλα η διαπερατότητα αυξάνει τα επίπεδα φυσικού φωτισμού στην αίθουσα και εξασφαλίζει ομοιόμορφη κατανομή φωτισμού με βάση τις τιμές του DF που αφορά νεφосκεπή ουρανό.

1. Αζαρή Κ., Γιαννάς Σ., Ευαγγελινός Ε., Ζαχαρόπουλος Η., Μαρδα Ν. 2001. Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων και Περιβάλλοντος Χώρου Τόμος Α. Ε.Α.Π. Πάτρα.
2. Baker, N., Fanchiotti, A., Steemers, K. (eds), 1993. Daylighting in Architecture – European Reference Book, Commission of the European Communities Directorate - GeneralXII for Science Research and Development, Brussels : James & James Ltd.
3. Boyce, P., Hunter, C., Howlett, O., 2003. The Benefits of Daylight through Windows.Sponsored by "Capturing the Daylight Dividend" program, Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, New York.

4. BREEAM UK. New Construction, Non-Domestic Buildings, Technical Manual BRE Global Ltd., Watford, UK, 2014.
5. Costanzo Vincenzo, Evola G., Marletta L, (2017). A Review of Daylighting Strategies in Schools: State of the Art and Expected Future Trends.
6. Dunn, R., Dunn, K., & Price, G.E. 1985. Learning styles inventory LSI: An inventory for the identification of how individuals in grades 3 through 12 prefer to learn. Lawrence, KS: Price Systems.
7. Matzarakis Andreas, & Katsoulis Vasileios. (2005). Πρακτικά 7ου Διεθνείς Συνεδρίου Μετεωρολογίας, Κλιματολογίας και Φύσιξης της Ατμόσφαιρας. Retrieved from: [http://www.urbanclimate.net/matzarakis/papers/matzarakis\\_katsoulis\\_2005\\_cyprus.pdf](http://www.urbanclimate.net/matzarakis/papers/matzarakis_katsoulis_2005_cyprus.pdf)

## Εισαγωγή

Ο προσεκτικός σχεδιασμός σχολικών κτιρίων, μπορεί να μειώσει σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας και ταυτόχρονα να έχει πολλαπλά οφέλη για την υγεία και την απόδοση των μαθητών και καθηγητών/δασκάλων. Η πλειονότητα των σχολείων στην Ελλάδα λειτουργούν την ημέρα και σε ώρες που η ενέργεια που παρέχεται από τον ήλιο μπορεί να αξιοποιηθεί. Οι αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού μπορούν να χρησιμοποιηθούν εκτός των άλλων για την οπτική άνεση των χρηστών χωρίς την χρήση ή την ελαχιστοποίηση των ενεργειακών αναγκών.

Η έρευνα της παρούσας διπλωματικής επικεντρώνεται στην ανάλυση της επίδρασης του ήλιου, ώστε να αξιοποιηθεί κατάλληλα για επαρκή, ομοιόμορφο και σε βάθος φωτισμό μιας τυπικής σχολικής αίθουσας σε νότιο προσανατολισμό, αποφεύγοντας φαινόμενα όπως αυτό της θάμβωσης και της υπερθέρμανσης των χώρων.

Η τυπική σχολική αίθουσα, αποτελεί μια ιδιαίτερη κτιριακή μονάδα, μεγάλη σε διαστάσεις που αφενός είναι επιθυμητό ο φυσικός φωτισμός να διαχέεται ομοιόμορφα και να διεισδύει μέχρι το βάθος της και αφετέρου η αίθουσα πρέπει να σκιάζεται επαρκώς και να αποφεύγονται φαινόμενα θάμβωσης και υπερθέρμανσης τους θερινούς μήνες λειτουργίας της σχολικής μονάδος.

Εξαιτίας των αντικρουόμενων αυτών φαινομένων προτείνεται από την διεθνή βιβλιογραφία η χρήση οριζόντιων προβολοειδών συστημάτων σκίασης και ειδικότερα κινητών περσίδων για τον σκιασμό και την αποφυγή της θάμβωσης. Δυστυχώς αυτά τα συστήματα σκίασης μειώνουν δραστικά τα επίπεδα φυσικού φωτισμού στην αίθουσα ιδιαίτερα όταν βρίσκονται σε ημίκλειστη θέση.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι τελικά η διερεύνηση των αντιφατικών αυτών φαινομένων και η εύρεση της κατάλληλης διαπερατότητας των περσίδων ώστε η αίθουσα να σκιάζεται επαρκώς και να αποφεύγονται φαινόμενα θάμβωσης και οπτικής δυσφορίας, αλλά παράλληλα να ενισχύονται τα επίπεδα του φυσικού φωτισμού ώστε να αποφεύγεται κατά τον δυνατόν η χρήση τεχνητού φωτισμού.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται είναι αρχικά η έρευνα σε Ελληνική και διεθνή επιστημονικά κείμενα για θέματα φυσικού φωτισμού, θάμβωσης σε συνήθη αλλά και ειδικότερα σε σχολικά κτίρια. Ερευνώνται οι παράμετροι και οι εξισώσεις που διέπουν τα φαινόμενα και γίνεται μελέτη των κυριότερων δεικτών και μεγεθών που έχουν προταθεί από τους επιστήμονες για την ανάλυση και την ποσοτικοποίηση των φαινομένων αυτών και κατανοείται σε βάθος ο μηχανισμός των φαινομένων αυτών και οι τρόποι ενίσχυσης των ενεργειακών κερδών και αποφυγής ή αντιμετώπισης των αρνητικών επιδράσεων.

Στη συνέχεια χρησιμοποιούνται εξειδικευμένα λογισμικά που -από αποδεδειγμένα από σειρά επιστημονικών μελετών- προσομοιώνουν τα φαινόμενα αυτά (Autodesk Ecotect© και Radiance©). Η προσομοίωση γίνεται σε επίπεδο μονάδας τυπικής σχολικής αίθουσας που μελετάται αρχικά χωρίς κανένα σύστημα σκίασης και μετέπειτα ακολουθεί σειρά προσομοιώσεων της ίδιας διάταξης με συστήματα σκίασης οριζόντιων περσίδων, διαφορετικών διαπερατοτήτων σε διάφορες κλίσεις περσίδων, σε διαφορετικές ώρες της ημέρας και σε διαφορετικές ημερομηνίες.

Ο τελικός στόχος είναι, αξιοποιώντας την βιβλιογραφία και την χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών, να επιτύχουμε την μέγιστη οπτική άνεση για τους μαθητές και εργαζόμενους, με τη λιγότερη δυνατή κατανάλωσης ενέργειας.

Η διάρθρωση της εργασίας είναι η εξής:

Στο πρώτο μέρος γίνεται η παράθεση του θεωρητικού υποβάθρου της εργασίας και στο δεύτερο μέρος η προσομοίωση του μοντέλου και των σεναρίων.

Το κεφάλαιο 1 ασχολείται με τον φυσικό φωτισμό των κτιρίων και τις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού για τον φυσικό φωτισμό. Στο κεφάλαιο γίνεται η ανάλυση των εξισώσεων του φυσικού φωτισμού και αναλύονται τα ποιοτικά του χαρακτηριστικά.

Ακολούθως το κεφάλαιο 2 ασχολείται αποκλειστικά με το φαινόμενο της θάμβωσης, τα είδη, τους προτεινόμενους δείκτες, τα όρια και τα μέτρα αποφυγής ή πρόληψης του φαινομένου. Δίνεται ο ορισμός της οπτικής άνεσης.



Το κεφάλαιο 3, αναλύει την σκίαση και τον ηλιασμό ειδικότερα σε σχολικές μονάδες του Ελλαδικού χώρου και τις μεθόδους και διατάξεις που προτείνεται να ακολουθούνται ανάλογα με τον προσανατολισμό των αιθουσών.

Μετάπειτα στο κεφάλαιο 4 γίνεται μια σύντομη ανάλυση στις ενεργειακές καταναλώσεις σχολικών κτιρίων στην Ελλάδα και την επίδραση του ηλιασμού και του φωτισμού στην μείωση ή αύξηση των θερμικών φορτίων.

Ακολουθούν στο πέμπτο κεφάλαιο μερικά παραδείγματα εφαρμογής αρχών βιοκλιματικού σχεδιασμού σε σχολεία και ειδικότερα αξιοποίησης του φυσικού φωτισμού.

Ακολουθούν τα συμπεράσματα του πρώτου μέρους στο κεφάλαιο 6 που κλείνουν το θεωρητικό κομμάτι της διπλωματικής εργασίας.

Στην αρχή του δεύτερου μέρους στο κεφάλαιο 7, γίνεται η παρουσίαση των κλιματολογικών δεδομένων της περιοχής που μελετάται η τυπική αίθουσα, δηλαδή η περιοχή των Ιωαννίνων στη Γ κλιματική ζώνη.

Στο όγδοο κεφάλαιο παρουσιάζεται η διάταξη της τυπικής σχολικής αίθουσας και τα χαρακτηριστικά της που θα μοντελοποιηθούν. Ακολουθεί η προσομοίωση της αίθουσας χωρίς σύστημα σκίασης σε ειδικά λογισμικά (Autodesk Ecotect© και Radiance©) όπου προσδιορίζεται ο ηλιασμός και τα επίπεδα φυσικού φωτισμού με τη χρήση του συντελεστή DF (συντελεστής φυσικού φωτισμού). Εν συνεχεία πραγματοποιείται η προσομοίωση της θάμβωσης και η εξαγωγή καμπυλών του δείκτη DGI (Daylight glare index) σε διαφορετικές γωνίες θέασης εντός της αίθουσας. Αξιολογείται η κατάσταση της τυπικής αίθουσας χωρίς σύστημα σκίασης.

Στο επόμενο κεφάλαιο, εξετάζεται σειρά σεναρίων της τυπικής αίθουσας με σύστημα σκίασης κινητών οριζόντιων εξωτερικών περσίδων διαφόρων διαπερατοτήτων σε διαφορετικές κλίσεις των περσίδων  $0^\circ$  &  $45^\circ$ . Από την ανάλυση που ακολουθεί αξιολογούνται όλες οι επιμέρους περιπτώσεις με έλεγχο των DF και DGI για την εξαγωγή συμπερασμάτων για τα επίπεδα φυσικού φωτισμού και τη πιθανότητα εμφάνισης θάμβωσης σε κάθε επιμέρους διαπερατότητα.



Τέλος στο κεφάλαιο 10 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά όλα τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων και προτείνεται η βέλτιστη τιμή της διαπερατότητας των οριζόντιων κινητών συστημάτων σκίασης για την τυπική αίθουσα στα Ιωάννινα.

## ΠΡΩΤΟ ΜΕΡΟΣ

### 1. Φυσικός φωτισμός κτιρίων

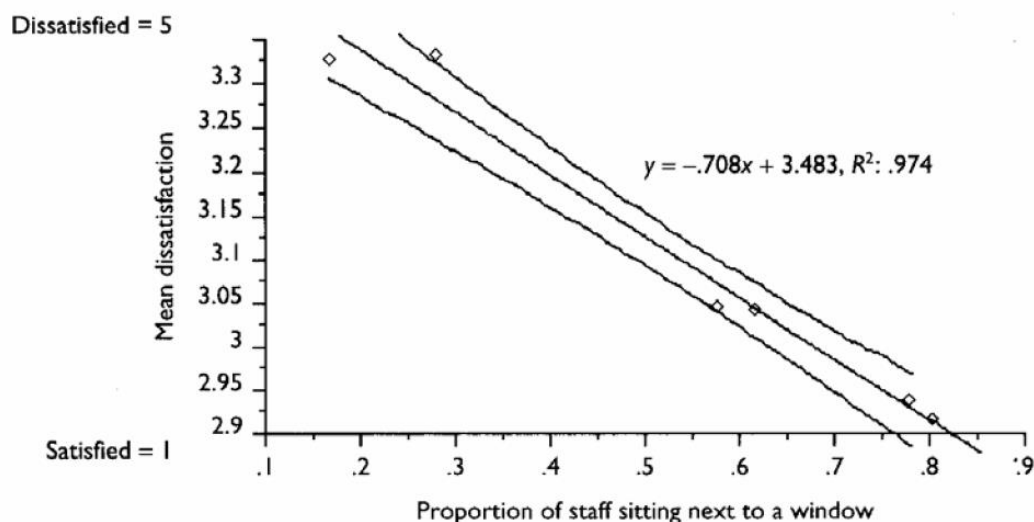
#### 1.1. Φυσικός φωτισμός – βιοκλιματικός σχεδιασμός.

Η κατανάλωση ενέργειας για τον φωτισμό των κτιρίων και των επιπτώσεων στο περιβάλλον έχουν απασχολήσει τους επιστήμονες. Η βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας ενός κτιρίου μπορεί να γίνει μόνο με τη μελέτη φωτισμού του (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20702-5/2010, Σελ. 85). Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίων μπορεί να συμβάλλει στον περιορισμό της κατανάλωσης της ενέργειας με απόσβεση σε βάθος χρόνου προσφέροντας μια βιώσιμη ποιότητα ζωής (Αλεξανδρή κ.α., 2011, σελ. 4). Η κατανάλωση ενέργειας σε κτίρια γραφείων για τον φωτισμό φτάνει και στο 50% της συνολικής ενέργειας ενώ η χρήση φυσικού φωτισμού συμβάλλει στη δημιουργία αειφόρων κτιρίων (Αξαρχή 2001, Σελ170-171), ειδικότερα σε κτίρια ειδικών χρήσεων όπως είναι τα σχολεία.

Η ηλιακή ενέργεια, ως κυριότερη πηγή ενέργειας στη Γή, αποτελεί τη βασική παράμετρο για το βιοκλιματικό σχεδιασμό των κτιρίων και στη μείωση κατανάλωσης ενέργειας. Αυτό συμβαίνει διότι το φυσικό φως μπορεί να μειώσει τη χρήση του τεχνητού φωτισμού εξοικονομώντας ηλεκτρική ενέργεια. Με τον σωστό σχεδιασμό του ηλιασμού και του κελύφους μπορεί να επιτευχτεί αύξηση ή/και μείωση του ηλιασμού από και προς το κτίριο (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20702-5/2010). Στον σχεδιασμό πρέπει να ληφθούν υπόψη τόσο ο προσανατολισμός, οι διαστάσεις του χώρου και των ανοιγμάτων. Οι Μεσογειακές χώρες, όπως η Ελλάδα, μπορούν να επωφεληθούν από τη χρήση του φυσικού φωτισμού, εξαιτίας της ευνοϊκής τους γεωγραφικής θέσης.

Σειρά μελετών έχουν δείξει ότι ο σωστός σχεδιασμός κτιρίων, λαμβάνοντας υπόψη τον φυσικό φωτισμό, έχει πολλαπλά οφέλη για την υγεία του ανθρώπου (Dunn et al, 1985). Ο φυσικός φωτισμός μπορεί να συμβάλλει στη μείωση της υπερκόπωσης, πονοκεφάλων κ.α. (Boyce et al, 2003, Σελ 45-46), όπως επίσης σε χώρους εργασίας στην καλή διάθεση των εργαζομένων, στην αύξηση της αποδοτικότητας (Heschong Letal, 2002), (Boyce et al, 2003, Σελ 38), (Figueiro et al.

2002) (Boubekri et al 2014). Ο σωστός φυσικός φωτισμός βοηθάει στη δημιουργία άνεσης, ενώ ειδικότερα σε κτίρια σχολείων είναι βασικός παράγοντας στη διαδικασία της μάθησης (Αξαρχλή 2001, Σελ 171), αντίθετα ο ανεπαρκής φυσικός φωτισμός μειώνει τη συγκέντρωση των μαθητών και τους κάνει ευερέθιστους (Brescu Opet 1993). Ενδεχομένως η μελέτη του φυσικού φωτισμού σε σχολεία να είναι σημαντικότερη από οποιοδήποτε άλλο κτίριο (Barrett et al 2015).



Γράφημα 1-1 Σχέση παραγωγικότητας των εργαζομένων και απόσταση μεταξύ τη θέσης εργασίας και παραθύρου. Πηγή: Μετάφραση από Boyce et al, 2003, Σελ 38.

Ο φυσικός φωτισμός όπως είναι προφανές δεν παρέχεται όλες τις ώρες και εκεί χρησιμοποιείται ο τεχνητός φωτισμός είτε ως συμπληρωματικός είτε σε συνθήκες σκότους ως κυρίως φωτισμός. Ειδικότερα για τα εκπαιδευτικά ιδρύματα το τυπικό ωράριο ανά χρήση και οι ώρες λειτουργίας ανά έτος παρέχονται από τους παρακάτω πίνακες:

Πίνακας 1-1 Οι τυπικές τιμές του αριθμού ωρών λειτουργίας κτιρίων εκπαιδευτηρίων κατά τη διάρκεια ύπαρξης διαθέσιμου Φ.Φ. (φυσικού φωτισμού) (πηγή: Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.20701-1/2017, Πίνακας 5.2)

Κατηγορία κτιρίου	Ώρες λειτουργία ημέρας (T <sub>D</sub> )	Ώρες λειτουργία νύκτας (T <sub>N</sub> )
Νηπιαγωγείο	1387	0



Πρωτοβάθμια/δευτεροβάθμια εκπαίδευση	1560	0
Τριτοβάθμια εκπαίδευση	1800	200

Πίνακας 1-2 Τυπικό ωράριο λειτουργίας κτιρίων εκπαίδευσης (πηγή: Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.20701-1/2017, Πίνακας 2.1)

Κατηγορία κτιρίου	Ώρες λειτουργίας	Ημέρες λειτουργίας ανά βδομάδα	Περίοδος λειτουργίας σε μήνες
Νηπιαγωγείο	8	5	9 (Σεπ-Μαϊ)
Πρωτοβάθμια/δευτεροβάθμια εκπαίδευση	8	5	9 (Σεπ-Μαϊ)
Τριτοβάθμια εκπαίδευση	13	5	10 (Σεπ-Ιούν)

## 1.2. Ποσοτικά χαρακτηριστικά φυσικού φωτισμού.

Οι πηγές του φυσικού φωτισμού είναι οι εξής:

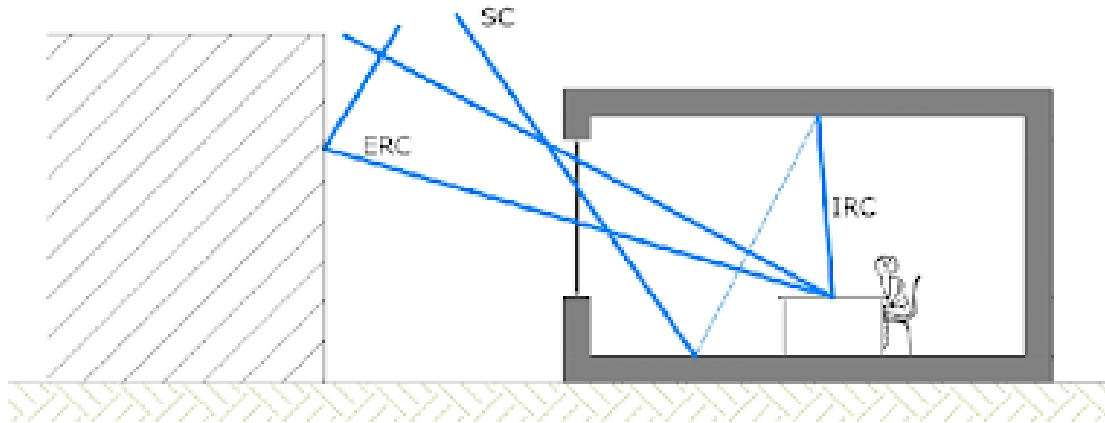
- Άμεση ηλιακή ακτινοβολία
- Η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία, που προέρχεται από τη διάχυση στον ουράνιο θόλο
- Η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία, που προέρχεται μετά από ανακλάσεις στο έδαφος και στα κτίρια (βλ. Εικόνα 1.1).



Εικόνα 1.1 Οι πηγές φυσικού φωτισμού: Πηγή: Μετάφραση από Lechner, 2015.

Η ποσότητα της φωτεινής ακτινοβολίας που φτάνει σε ένα σημείο στον εσωτερικό χώρο είναι αποτέλεσμα τριών συνιστωσών:

- **Ουράνια συνιστώσα (SC)** που αντιστοιχεί στη φωτεινή ακτινοβολία που προέρχεται απευθείας από τον ουρανό, κι εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης του φωτός, από το μέγεθος του ανοίγματος, από τα εμπόδια που προσδιορίζουν το ορατό τμήμα του ουρανού και από τις φωτομετρικές ιδιότητες του διαφανούς υλικού.
- **Η εξωτερική ανακλώμενη συνιστώσα (ERC)** που αντιστοιχεί στη φωτεινή ακτινοβολία που προέρχεται από ανάκλαση σε εξωτερικές επιφάνειες και εξαρτάται από την ανακλαστική ικανότητα των επιφανειών αυτών, δηλαδή το χρώμα και την υφή τους.
- **Η εσωτερική ανακλώμενη συνιστώσα (IRC)** που αντιστοιχεί στη φωτεινή ακτινοβολία που προέρχεται από ανάκλαση σε εσωτερικές επιφάνειες και εξαρτάται από τη γεωμετρία του εσωτερικού χώρου και την ανακλαστική ικανότητα των επιφανειών αυτών.

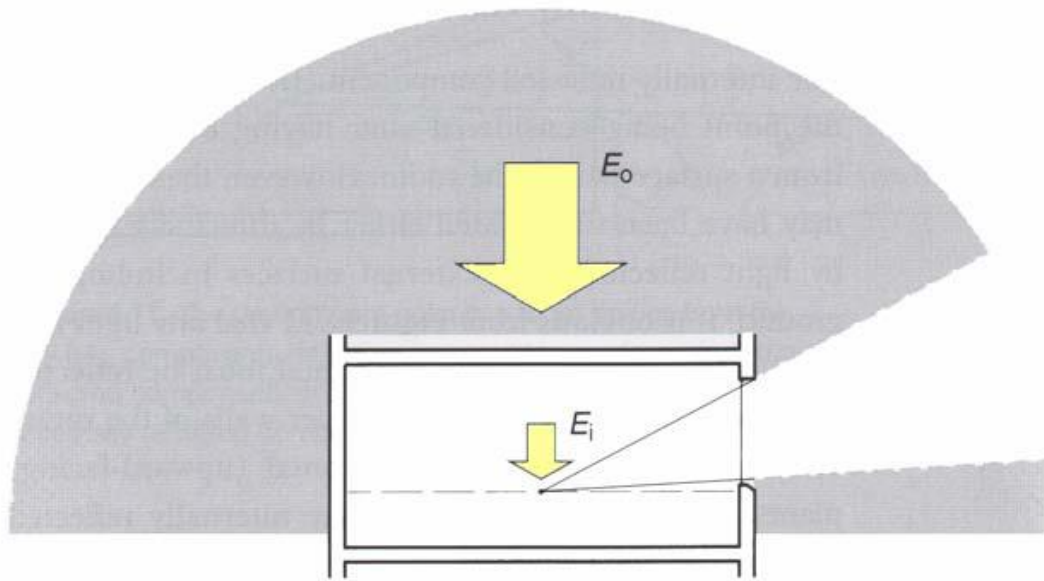


*Εικόνα 1.2 Οι συνιστώσες της φωτεινής ακτινοβολίας που φτάνει σε ένα σημείο στον εσωτερικό χώρο. Πηγή: Τ.Ο. Τ.Ε.Ε. 20702-5/2010.*

Εξαιτίας της απρόβλεπτης φύσης του εξωτερικού φωτισμού, είναι πολύ δύσκολο να προσδιοριστεί ο εσωτερικός φυσικός φωτισμός με φωτομετρικούς όρους ( $\text{lm/m}^2$  ή lux). Για τον υπολογισμό αυτό προτάθηκε από τους μελετητές ο Συντελεστής Φυσικού Φωτισμού (Σ.Φ.Φ. ή DF) που είναι πάντα σταθερός. Ο Συντελεστής Φυσικού Φωτισμού (Daylight Factor DF) είναι ο λόγος του φωτισμού που δέχεται ένα συγκεκριμένο σημείο του εσωτερικού χώρου ( $E_i$ ) στο επίπεδο εργασίας, προς τον αντίστοιχο φωτισμό σε εξωτερικό στην ύπαιθρο ( $E_o$ ) σε συνθήκες νεφосκεπούς ουρανού, εκφρασμένος επί τοις εκατό (Εικόνα 1-3). Από τον ορισμό του DF όσο αυξάνεται ο εξωτερικός φωτισμός αυξάνεται και ο εσωτερικός γι αυτό και ο λόγος παραμένει σταθερός. Ο Συντελεστής Φυσικού Φωτισμού δίνει την επάρκεια του φυσικού φωτισμού εντός ενός χώρου.

$$\text{Σ.Φ.Φ.} = E_i / E_o \times 100 \%$$

Στην Ελλάδα, ένας ικανοποιητικός φωτισμός επιτυγχάνεται όταν ο DF είναι της τάξης του 1-3% (Αξαρχή 2001, Σελ 215). Ειδικότερα για τις σχολικές αίθουσες ο BRE προτείνει  $DF > 2\%$  τουλάχιστον στο 80% της αίθουσας (BREEAM UK, 2014) και ο Ιταλικός  $DF_{\text{Average}} > 3\%$  &  $DF_{\text{min}}/DF_{\text{max}} > 0,16$  (Constanzo et al 2017).



Εικόνα 1.3 Ο Συντελεστής Φυσικού Φωτισμού ισούται με  $E_i/E_o \times 100 \%$ . Πηγή: Baker & Steemers, 2002, Σελ 60.

Πίνακας 1-3 Απαιτήσεις φωτισμού σε αίθουσες διδασκαλίας, σε συνθήκες αποκλειστικού φυσικού φωτισμού και συμπληρωματικού τεχνητού φωτισμού. (Baker et al. 1993).

Τεχνητός φωτισμός		Φυσικός Φωτισμός		
Φωτισμός (Lux)	Δείκτης Θάμβωσης (Glare Index)	Είδος Φ.Φ.	Σ.Φ.Φ.	Δείκτης Θάμβωσης (Glare Index)
300-500	16 (Τυπική)	A	5	21
300-500	19 (Σεμινάρια)	B	2	23

Οι Nabil & Mardaljevic (2006) εισήγαγαν μια νέα απλή μέθοδο αξιολόγησης του φυσικού φωτισμού ελάχιστα πιο περίπλοκη από τον Σ.Φ.Φ. για τον ποσοτικό προσδιορισμό του φυσικού φωτισμού. Η παράμετρος που χρησιμοποιούν ονομάζεται Χρήσιμες Τιμές Φυσικού Φωτισμού (Χ.Τ.Φ.Φ.) (useful daylight illuminances ή UDI). Ο Χ.Τ.Φ.Φ. δίνει μία συνολική μέθοδο υπολογισμού του φυσικού φωτισμού και της διεισδυσούσης ηλιακής ακτινοβολίας μαζί χρησιμοποιώντας ρεαλιστικά τοπικά κλιματικά δεδομένα. Επιπρόσθετα, παρέχει πληροφορίες σχετικά με τον υπολογισμό



των υψηλών τιμών φωτισμού που προκαλούν οπτική δυσφορία και θάμβωση στους χρήστες, καθώς και ανεπιθύμητα θερμικά φορτία (Εικόνα 1-4).

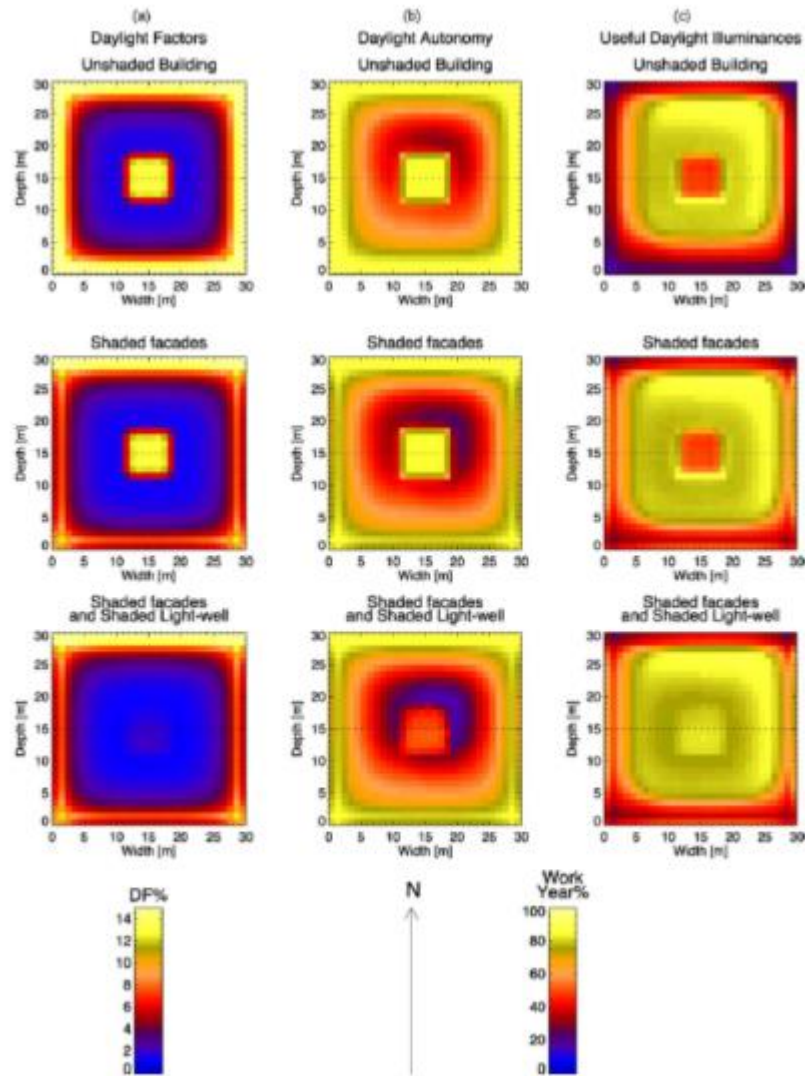


Fig. 2. Daylight factor, daylight autonomy and useful daylight illuminance area plots.

Εικόνα 1.4 Τιμές Σ.Φ.Φ. (DF), Ποσοστά αυτονομίας σε Φ.Φ. (DA), Χ.Τ.Φ.Φ.(UDI) σε μη σκιασμένο κτίριο. Πηγή: (Nabil & Mardaljevic., 2006:909).

Σύμφωνα λοιπόν με τους Nabil & Mardaljevic, ο ικανοποιητικός φωτισμός εξασφαλίζεται για τις περισσότερες δραστηριότητες, όταν οι Χρήσιμες Τιμές Φυσικού Φωτισμού κυμαίνονται μεταξύ 100 και 2000lux. Όταν οι Χ.Τ.Φ.Φ. κυμαίνονται σε επίπεδα μικρότερα των 100 lux, ο φυσικός φωτισμός θεωρείται ανεπαρκής για οποιαδήποτε δραστηριότητα, ενώ πάνω από τα 2000 lux πιθανόν προκαλείται το φαινόμενο της θάμβωσης στους χρήστες.



### **1.3. Ποιοτικά χαρακτηριστικά φυσικού φωτισμού.**

Ο επιτυχημένος σχεδιασμός του φυσικού φωτισμού, όπως και του τεχνητού, πρέπει εκτός από την σωστή ποσότητα φωτισμού να μειώνει/μηδενίζει τα φαινόμενα θάμβωσης και να μειώνει τη δημιουργία αντιθέσεων στη λαμπρότητα αντικειμένων. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του φυσικού φωτισμού αξιολογούνται με βάση τη κατανομή του φωτισμού, τη χρωματική απόδοση και τη θάμβωση.

- Η κατανομή του φυσικού φωτισμού.

Από τη κατανομή του φυσικού φωτισμού σε ένα χώρο δίνεται μια εικόνα της ποσότητας του φωτός, που φτάνει σε κάθε σημείο του. Συνήθως, ο φωτισμός να αναφέρεται στην επιφάνεια εργασίας και παρουσιάζεται σε κάτοψη και σε τομή του χώρου (Μερέση 2010, σελ57).

Όσο πιο ομοιόμορφη κατανομή φωτισμού υπάρχει στο χώρο, τόσο περισσότερη είναι η οπτική άνεση που επικρατεί στο χώρο, μειώνοντας έτσι τη χρήση του τεχνητού φωτισμού και περιορίζοντας την κατανάλωση της ενέργειας (Μερέση 2010, σελ57).

- Η Λαμπρότητα.

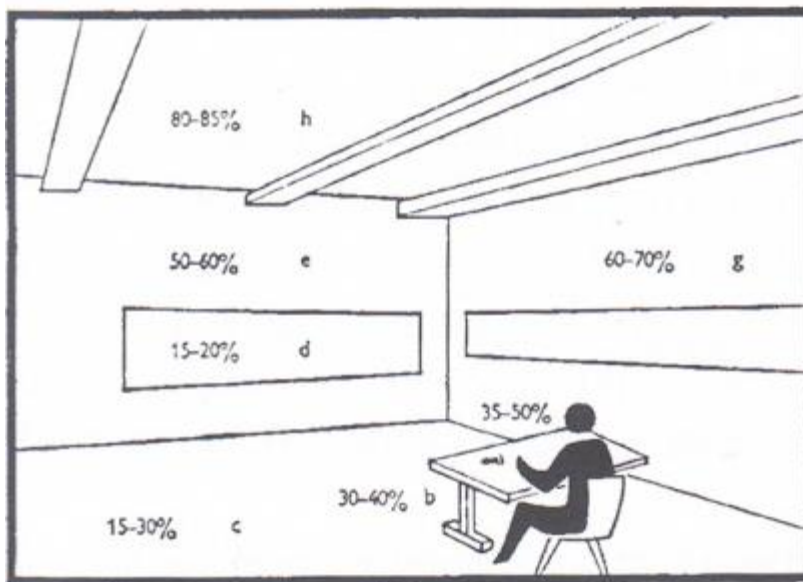
Λαμπρότητα (L) είναι η ποσότητα φωτός που φτάνει στο ανθρώπινο μάτι ύστερα από αντανάκλαση σε μια δοσμένη επιφάνεια και αποτελεί το αντικειμενικό μέτρο αίσθησης φωτεινότητας μιας επιφάνειας. Ορίζεται ως το πηλίκο της φωτεινής έντασης (I) της φωτεινής πηγής προς το εμβαδόν της επιφάνειας αυτής (A):

$$L = I / A \text{ ή } S_b = C_d / \text{cm}^2.$$

Μονάδα μέτρησης αυτής είναι: Candela per square meter (cd/m<sup>2</sup>) (Baker et al, 1993:2.14).

Η κατανομή της λαμπρότητας σε ένα εσωτερικό χώρο είναι σημαντικό κριτήριο για την ποιότητα της οπτικής του χρήστη. Μια ισορροπημένη κατανομή λαμπρότητας κάνει ένα χώρο ευχάριστο. Το ανθρώπινο μάτι αδυνατεί να ανταποκριθεί σε πολύ υψηλές τιμές λαμπρότητας ή σε μεγάλες διαφορές λαμπρότητας, οπότε έχουμε το φαινόμενο της θάμβωσης. Στο σχεδιασμό χώρων κατά το δυνατόν να αποφευχθεί η

μεγάλη ανομοιογένεια στις τιμές λαμπροτήτων μέσα στο οπτικό πεδίο του παρατηρητή. Ο σωστός σχεδιασμός και έλεγχος της λαμπρότητας γίνεται με σωστή επιλογή υλικών σε σχέση με τον συντελεστή ανάκλασης (Αξαρχή, 2001 :196), (Baker et al, 1993:2.14).



Εικόνα 1.5 Επιθυμητοί συντελεστές ανάκλασης στο εσωτερικό σχολικής αίθουσας. Πηγή: (Buddle F. 1969: 42).

- Η θάμβωση (αναλύεται εκτενώς στο κεφάλαιο 2).
- Η χρωματική απόδοση.

Χρωματική απόδοση του φωτός είναι η ικανότητά του να αποδώσει το χρώμα ενός σώματος όπως θα το απέδιδε το φυσικό φως. Σύμφωνα με τη Διεθνή Επιτροπή Φωτισμού (CIE), μονάδα μέτρησης είναι ο δείκτης Χρωματικής απόδοσης (Color Rendering Index – Ra) οι τιμές του οποίου κυμαίνονται από 0 έως 100. Οι χαμηλές τιμές του δείκτη αυτού αντιστοιχούν σε κακή χρωματική απόδοση, ενώ οι ψηλές αντιστοιχούν σε καλή χρωματική απόδοση (Μερέση, 2010, Σελ61).



*Εικόνα 1.6 Αριστερά: Ειδική διάταξη αξιολόγησης της χρωματικής απόδοσης του φωτισμού. Δεξιά: Χρώματα κάτω από φωτισμό διαφορετικών δεικτών χρωματικής απόδοσης. Πηγή: Μερέση 2010:62.*

Η Διεθνής Επιτροπή Φωτισμού κατέταξε τους δείκτες χρωματικής απόδοσης, όπως φαίνεται στον Πίνακα 1-4.

*Πίνακας 1-4 Κατηγορίες δεικτών χρωματικής απόδοσης (Ra) (πηγή: Μερέση 2010:61)*

Κατηγορία	Ra	Απαιτήσεις	Τυπικές Εφαρμογές
1B	80-90	Σχετικά μεγάλη σημασία στην ακρίβεια χρωμάτων	Κατοικίες, γραφεία, ξενοδοχεία, σχολεία

## **2. Θάμβωση**

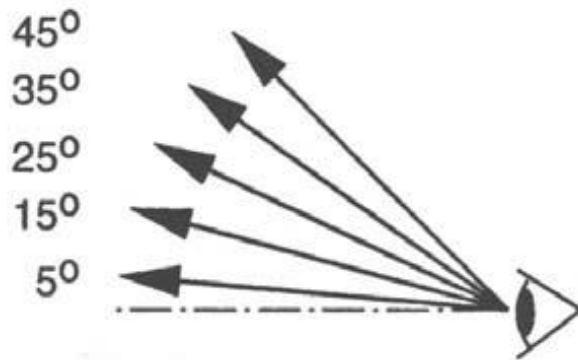
### **2.1. Φαινόμενο θάμβωσης.**

Ως φαινόμενο της θάμβωσης ορίζεται η έλλειψη οπτικής άνεσης που νοιώθει ο χρήστης ενός εσωτερικού χώρου, είτε από υψηλές τιμές λαμπρότητας, είτε από μεγάλες διαφορές λαμπρότητας μέσα στο οπτικό του πεδίο (Baker et al, 1993: 2.15).

Η θάμβωση μπορεί να προκληθεί από διάφορες πηγές, όπως παράθυρα, φωτιστικά ή από ανακλάσεις του φωτός στις εσωτερικές επιφάνειες ενός χώρου, όταν υπάρχει διαφορά λαμπρότητας μεταξύ φωτιστικής πηγής και εξωτερικού περιβάλλοντος. Τα φαινόμενα θάμβωσης είναι συχνότερα σε χώρους γραφείων και σχολείων σε ηλιόλουστη ημέρα.. Αντίστοιχα στον τεχνητό φωτισμό η θάμβωση είναι δύσκολο να προκύψει και προϋποθέτει συνδυασμό κακών επιλογών όσον αφορά τα φωτιστικά σώματα και υλικών. Αποτέλεσμα και στις δυο περιπτώσεις χώρων είναι η έλλειψη οπτικής άνεσης και η μειωμένη αντίληψη του ματιού στις λεπτομέρειες του χώρου ή του επιπέδου εργασίας.

### **2.2. Άμεση και έμμεση θάμβωση.**

Η θάμβωση διακρίνεται σε άμεση και έμμεση ή ανακλώμενη. Την άμεση θάμβωση προκαλούν φωτεινές πηγές, φυσικές ή τεχνητές, που είναι άμεσα ορατές. Η άμεση θάμβωση εξαρτάται από τη λαμπρότητα του αντικειμένου και τις διαστάσεις του. Την έμμεση θάμβωση προκαλούν οι ανακλάσεις των φωτεινών πηγών σε γυαλιστερές επιφάνειες. Όσο κεντρικότερα βρίσκεται η φωτεινή πηγή στο οπτικό πεδίο, τόσο πιθανότερο είναι να αποτελέσει πηγή θάμβωσης (Robbins, 1986) (Εικόνα 2-1).



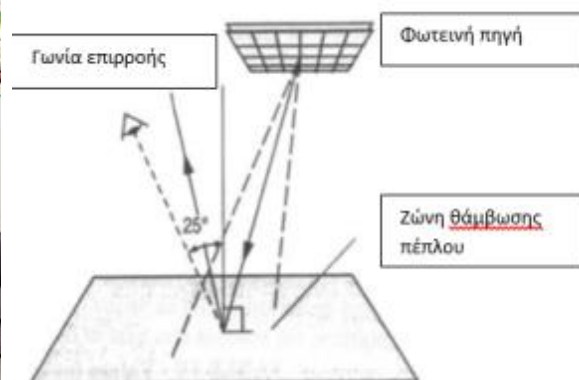
Εικόνα 2.1 Απευθείας θάμβωση: αποδεκτές τιμές λαμπρότητας

$5^\circ \rightarrow 580\text{cd/m}^2$ ,  $15^\circ \rightarrow 850\text{cd/m}^2$ ,  $25^\circ \rightarrow 1250\text{cd/m}^2$ ,  $35^\circ \rightarrow 1800\text{cd/m}^2$ ,  $45^\circ \rightarrow 2500\text{cd/m}^2$ , Πηγή: (Baker et al, 1993).

Η έμμεση θάμβωση διακρίνεται σε ανακλώμενη και θάμβωση πέπλου. Η ανακλώμενη θάμβωση προκαλείται από έντονα λείες και γυαλιστερές επιφάνειες, οι οποίες αναπαράγουν τη φωτεινή πηγή που ανακλούν το φως (Εικόνα 2-2). Από την άλλη, η έμμεση θάμβωση πέπλου προκαλείται όταν η λεία και γυαλιστερή επιφάνεια βρίσκεται στο επίπεδο εργασίας, γιατί μειώνεται η αντίθεση μεταξύ του ανοιχτόχρωμου χαρτιού (άμεσου περιβάλλοντος) και των γραμμάτων, με αποτέλεσμα τη δυσκολία στην ανάγνωση, σαν να υπάρχει ένα πέπλο μπροστά στα μάτια (Baker et al, 1993: 2.15) (Εικόνα 2-3).



Εικόνα 2.2 Έμμεση ή ανακλώμενη θάμβωση που προκαλείται από οθόνη υπολογιστή (Μερέση 2010) Πηγή: <https://www.lrc.rpi.edu> (12/3/2019)



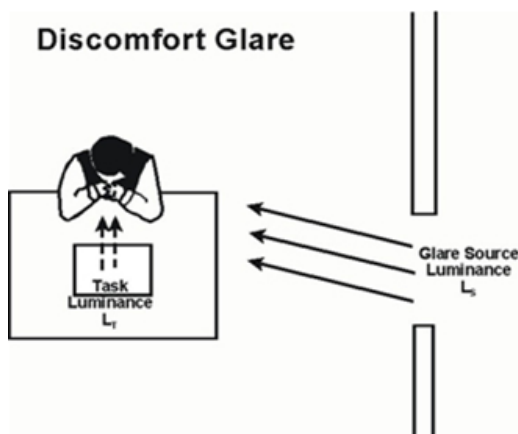
Εικόνα 2.3 Έμμεση Θάμβωση «πέπλου» σε οριζόντια επιφάνεια.

### 2.3. Άλλα είδη θάμβωσης.

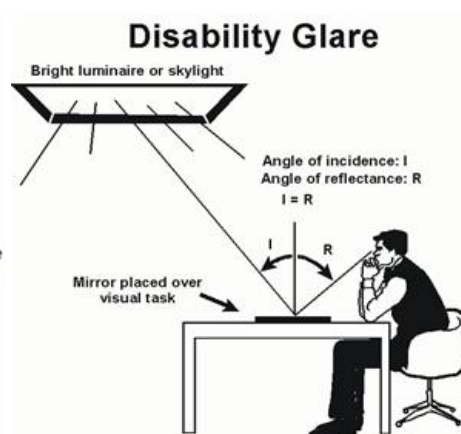
Άλλα είδη θάμβωσης είναι: η θάμβωση δυσφορίας (discomfort glare) και η θάμβωση περιορισμένης οπτικής ικανότητας ή/και ανικανότητας (disability glare). Αυτά τα είδη θάμβωσης κατηγοριοποιούνται ανάλογα με την επίδρασή τους στους χρήστες ενός χώρου.

Πιο συγκεκριμένα, η θάμβωση δυσφορίας (discomfort glare) είναι το φαινόμενο που προκαλείται όταν μια φωτεινή πηγή μεγάλης λαμπρότητας βρίσκεται παράπλευρα από τη θέση της επιφάνειας εργασίας (βλέπε Εικόνα 2.11). Στην περίπτωση αυτή δεν επηρεάζεται απαραίτητα η ικανότητα όρασης του χρήστη, αλλά δημιουργεί δυσφορία και πιθανή απόσπαση προσοχής.

Η θάμβωση περιορισμένης οπτικής ικανότητας ή/ και ανικανότητας (disability glare) δημιουργείται όταν υπάρχει επιφάνεια μεγάλης λαμπρότητας στο οπτικό πεδίο του παρατηρητή, κατά την εκτέλεση μιας εργασίας (βλέπε Εικόνα 2-4). Η επιφάνεια αυτή διαχέει το φως και λόγω της μειωμένης αντίθεσης στην επιφάνεια εργασίας, προκαλεί μείωση της οπτικής αντίληψης που, ανάλογα με τη διάρκεια έκθεσης, μπορεί να οδηγήσει και σε οπτική ανικανότητα.



Εικόνα 2.4 Θάμβωση δυσφορίας  
Πηγή: <http://www.fsec.ucf.edu>  
(13/3/2019).



Εικόνα 2.5 Θάμβωση περιορισμένης οπτικής ικανότητας ή/ και ανικανότητας  
Πηγή: <http://www.fsec.ucf.edu>  
(13/3/2019).

## 2.4. Δείκτης θάμβωσης.

Η θάμβωση είναι όπως αναφέρθηκε παραπάνω ένα ποιοτικό κριτήριο το οποίο δύσκολα ποσοτικοποιείται.. Στον τεχνητό φωτισμό, η IES (Illuminating Engineering Society – Η.Π.Α.) προσδιόρισε το δείκτη θάμβωσης GI (Glare Index) ο οποίος υπολογίζεται βάσει της εξίσωσης που ακολουθεί (Baker et al, 1993:2.16).

$$GI = 10 * \log_{10} * (K * P * \frac{L_8^{1.6} * \omega^{0.8}}{L_h})$$

όπου:

K, Σταθερά που εξαρτάται από τις μονάδες.

P, Συντελεστής «θέσης» που εξαρτάται από τη θέση της φωτεινής πηγής σε σχέση με τη γραμμή της όρασης.

L<sub>s</sub>, Η τιμή λαμπρότητας της φωτεινής πηγής.

L<sub>b</sub>, Η τιμή λαμπρότητας του περιβάλλοντα χώρου.

ω, η στερεά γωνία που ξεκινά από τον οφθαλμό και περικλείει τη φωτεινή πηγή.

Αντίστοιχα για τον φυσικό φωτισμό, οι μελετητές πρότειναν τον δείκτη θάμβωσης DGI (Daylight Glare Index), που συνδέεται με τον GI από την σχέση (Baker et al, 1993: 2.17):

$$DGI = 2/3 (GI + 14) \text{ για τιμές έως } 28$$

Παρακάτω παρουσιάζονται οι μέγιστοι αποδεκτοί δείκτες θάμβωσης για τεχνητό και φυσικό φωτισμό. Με βάση τον παρακάτω πίνακα θεωρούνται αποδεκτές τιμές του DGI κάτω από 22.

Επιπρόσθετα ο δείκτης πιθανότητας θάμβωσης DGP (Daylight Glare Probability) θεωρείται δείχνει την πιθανότητα θάμβωσης στην περίπτωση του φυσικού φωτισμού. Ο συγκεκριμένος δείκτης αντιπροσωπεύει το ποσοστό των χρηστών ενός χώρου γραφείων, που αισθάνονται δυσφορία εξαιτίας της θάμβωσης που προκαλείται από τον πλευρικό φυσικό φωτισμό των ανοιγμάτων του κελύφους του χώρου (Wienold & Christoffersen, 2006).



*Πίνακας 2-1 Μέγιστοι αποδεκτοί δείκτες θάμβωσης για τεχνητό και φυσικό φωτισμό (Πηγή: Baker et al, 1993: 2.18).*

<b>Χαρακτηρισμός θάμβωσης</b>	<b>(IES) GI δείκτης θάμβωσης τεχνητού φωτισμού</b>	<b>(DGI) GI δείκτης θάμβωσης φυσικού φωτισμού</b>
Ανεπαίσθητη θάμβωση	10	16
	13	18
Αποδεκτή θάμβωση	16	20
	19	22
Μη ανεκτή θάμβωση	22	24
	25	26
Αφόρητη θάμβωση	28	28

Ο κανονισμός ενεργειακής απόδοσης κτιρίων Κ.Εν.Α.Κ. (ΦΕΚ 2367/Β/12-7-2017), η Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017 και σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 15193:2007 δίνουν τις μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του δείκτη θάμβωσης UGR (Unified Glare Rating), και αντίστοιχα τη μέση ελάχιστη στάθμη φωτισμού σε σχολικά κτίρια όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

*Πίνακας 2-2 Μέση στάθμη γενικού φωτισμού (όχι ειδικού) κτιρίου αναφοράς και μέγιστες τιμές δείκτη θάμβωσης UGR - εκπαιδευτήρια (Πηγή: Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017:48635).*

<b>Χρήση κτιρίου ή θερμικής ζώνης</b>	<b>Στάθμη φωτισμού (lx)</b>	<b>Επίπεδο αναφοράς μέτρησης (m)</b>	<b>Δείκτης θάμβωσης UGR</b>	<b>Ομοιομορφία φωτισμού Uo (min/μέση τιμή)</b>
Νηπιαγωγείο	300	0,80	19	0,60
Πρωτοβάθμια & δευτεροβάθμια εκπαίδευση	300	0,80	19	0,60
Τριτοβάθμια	300	0,80	19	0,60





εκπαίδευση				
Φροντιστήριο ωδείο	500	0,80	19	0,60

Ο δείκτης UGRδίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$UGR = 8 * \log \left( \frac{0.25}{L_b} * \sum_n \left( L_n^2 * \frac{\omega_n}{\rho_n^2} \right) \right)$$

όπου:

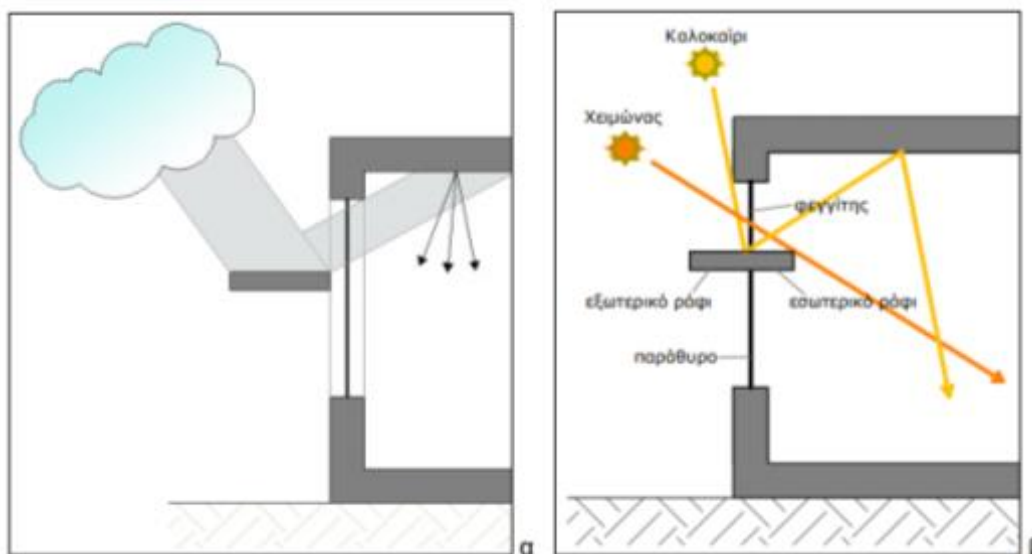
$L_n$ , Η τιμή λαμπρότητας της η φωτεινής πηγής.

$\rho_n$ , Σταθερά (Guth position index).

$\omega$ , η στερεά γωνία που ξεκινά από τον οφθαλμό και περικλείει τη φωτεινή πηγή.

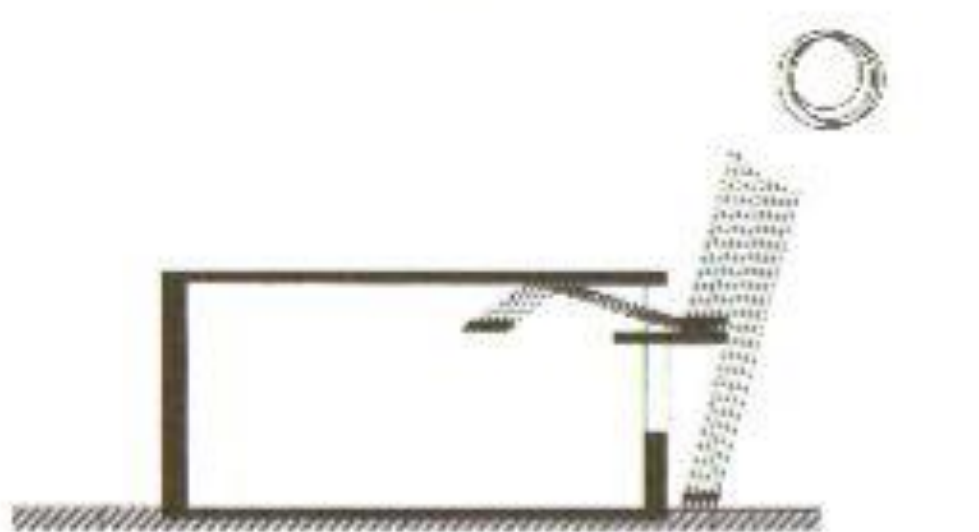
## 2.5. Αποτροπή φαινομένου θάμβωσης σε σχολικά κτίρια.

Η θάμβωση έχει αρνητικές επιπτώσεις τόσο στην απόδοση των μαθητών όσο και των διδασκόντων. Επομένως είναι απαραίτητος ο του ηλιασμού σε μια σχολική αίθουσα, με τον σωστό σχεδιασμό μπορεί να μειώσει ή και να αποτρέψει τη θάμβωση. Πολλές απλές τεχνικές σχεδιασμού όπως τοποθέτηση ανοιγμάτων σε διαφορετικούς τοίχους, συστήματα προβόλων και περσίδων, στέγαστρα, και κουρτίνες μπορεί να συμβάλλουν στην αποτροπή της θάμβωσης.



*Εικόνα 2.6 Ράφια φωτισμού ή ανακλαστικά ράφια. Πηγή Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20705-5/2010 Βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίων.*

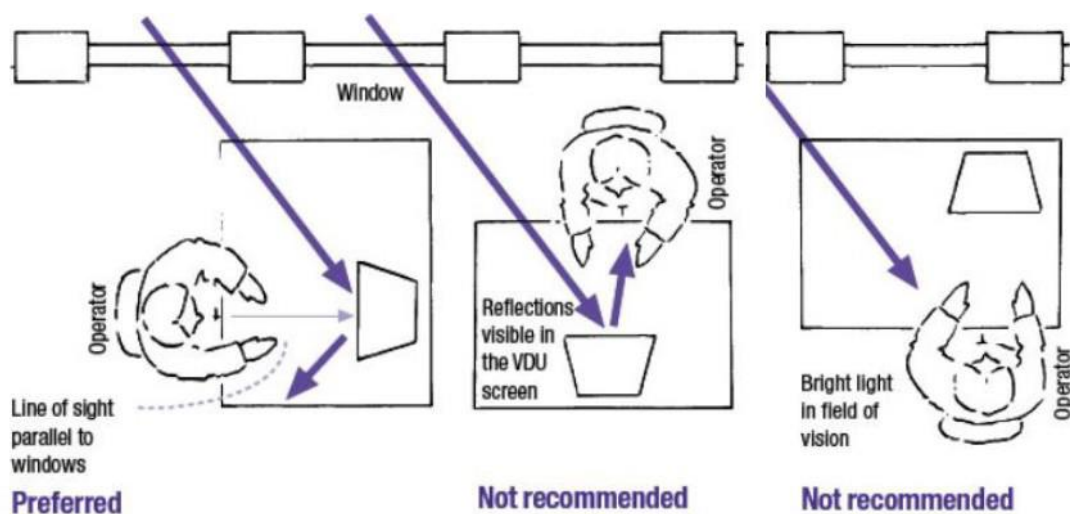
Η τοποθέτηση ανοιχτόχρωμων ανακλαστικών επιφανειών κοντά σε ανοίγματα (π.χ. ράφια φωτισμού ή χρήση ανακλαστικών επιφανειών στις οροφές των αιθουσών Εικ. 2-6) είναι ενδεδειγμένη, καθώς βοηθά στην ομοιόμορφη κατανομή του φωτός και στη εξομάλυνση των αντιθέσεων στα επίπεδα φωτισμού τους (Baker & Steemers, 202: 152). Αποτέλεσμα αυτού είναι να μοιάζουν οι αίθουσες περισσότερο φωτεινές. Τα ράφια φωτισμού τοποθετούνται πάνω από το ύψος των ματιών εξαιτίας της μεγάλης ανακλαστικότητας της ανάντη επιφάνειάς τους. Ειδικότερα στις ηλιόλουστες περιοχές και σε νότιους προσανατολισμούς ανοιγμάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως σκίαστρα παρόλο που δεν σχεδιάστηκαν για τον λόγο αυτό (Μερέση 2010, Σελ 68-69). Η χρήση ραφιών φωτισμού σε συνδυασμό με πρόσθετες εύχρηστες κινητές διατάξεις σκίασης μπορούν να ενισχύσουν τα επίπεδα φωτισμού στην σκοτεινή πλευρά της αίθουσας, να αυξήσουν την κατανομή του φωτός αποφεύγοντας την χρήση κουρτινών ή άλλων εσωτερικών σκιάστρων σε σχολικές αίθουσες της Αθήνας (Mereri 2016).



*Εικόνα 2.7 Χρήση σκιάστρων και φωτιστικών ραφιών για ομοιόμορφη κατανομή φωτός. Πηγή: Ο.Σ.Κ. Α.Ε. Οδηγίες Βιοκλιματικού σχεδιασμού, 2008, σελ. 26.*

Η έμμεση θάμβωση μπορεί να αποφευχθεί με τον κατάλληλο σχεδιασμό των φωτιστικών επιφανειών. Οι κατευθυντήριες γραμμές σχεδιασμού ιδιωτικών σχολείων που έχουν δοθεί από το Υπουργείο Παιδείας (Υ.Α. 77053/2006 ΦΕΚ1149Β’/25-08-2006) προτείνουν πλευρικό φυσικό φωτισμό για τον λόγο αυτό. Σημαντική είναι και η επιλογή κατάλληλων φωτιστικών σωμάτων ειδικότερα σε χώρους εργασίας με Η/Υ. Οποιαδήποτε μη απαραίτητη γυαλιστερή επιφάνεια εάν είναι εφικτό να αποφεύγεται (Steffy 2008). Γυαλιστερές επιφάνειες πρέπει κατά το δυνατόν να αποφεύγονται. Έχει αποδειχθεί ότι η καλύτερη θέση της οθόνης του υπολογιστή είναι αυτή όπου η γραμμή οράσεως του χρήστη είναι παράλληλη με το φωτιστικό άνοιγμα ή σχηματίζει γωνία  $45^\circ$  (Ο.Σ.Κ. Α.Ε. Οδηγίες Βιοκλιματικού σχεδιασμού, 2008, σελ. 26-27).

Σε παρόμοια συμπεράσματα Οι Baker & Steemers (1993:178) παρατήρησαν ότι οι φωτεινές πηγές, σε γωνία μεγαλύτερη των  $50^\circ$  από την ευθεία της όρασης, δεν επηρεάζουν το δείκτη θάμβωσης φυσικού φωτισμού. Έτσι, αν τοποθετηθούν οι θέσεις εργασίας σύμφωνα με αυτό το κριτήριο, τότε αποφεύγεται σίγουρα το φαινόμενο της θάμβωσης. Στην εικόνα 2.15 φαίνεται η σωστή χωροθέτηση των χώρων εργασίας.



*Εικόνα 2.8 Απεικόνιση της προτεινόμενης θέσης εργασίας στα αριστερά και των δύο μη προτεινόμενων σε χώρο γραφείου.*

Όπως παρατηρούμε στην παραπάνω εικόνα, σε ένα χώρο γραφείων που ο φωτισμός παρέχεται από ανοίγματα σε μια πλευρά, υπάρχουν τρεις επιλογές για τη χωροθέτηση των θέσεων εργασίας. Όταν η θέση εργασίας έχει τοποθετηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε ο εργαζόμενος να βλέπει το άνοιγμα (βλέπε Εικόνα 2-8 στα δεξιά), προκαλείται απευθείας θάμβωση από την άμεση οπτική επαφή με το άνοιγμα, το οποίο έχει μεγάλη διαφορά στη λαμπρότητά του από την οθόνη του υπολογιστή. Όταν η θέση εργασίας τοποθετείται με τρόπο ώστε να μην έχει επαφή ο εργαζόμενος με το άνοιγμα (βλέπε Εικόνα 2-8 στο κέντρο), οι ακτίνες του φωτός ανακλούν στην οθόνη του υπολογιστή, προκαλώντας έτσι έμμεση ή ανακλώμενη θάμβωση, με αποτέλεσμα την οπτική δυσφορία του εργαζόμενου. Όταν η θέση εργασίας τοποθετείται κατά τρόπο που η γραμμή όρασης του εργαζομένου είναι παράλληλη με το άνοιγμα (βλέπε Εικόνα 2-8 στα αριστερά), τότε αποτρέπεται η δημιουργία απευθείας αλλά και έμμεσης θάμβωσης, ενώ παρέχει ταυτόχρονα τη δυνατότητα χωροθέτησης του γραφείου κοντά στο άνοιγμα, προσφέροντας έτσι τα οφέλη του φυσικού φωτισμού και της θέας στον εργαζόμενο.

Ποιοτικά χαρακτηριστικά των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν, όπως η ανακλαστικότητα, το χρώμα, η υφή επηρεάζουν σημαντικά το φαινόμενο της θάμβωσης. Γενικά προτείνονται οι παρακάτω συντελεστές ανάκλασης: 70% για οροφές, 40% για κατακόρυφες επιφάνειες και 20% για δάπεδα. Γενικός κανόνας είναι

ότι η έμμεση θάμβωση αποφεύγεται όταν δεν χρησιμοποιούνται στιλπνές επιφάνειες αλλά επίπεδες και ματ (Αξαρχή 2001, Σελ196 & 200). Οι οροφές και οι τοίχοι καλό είναι να βάφονται σε λευκούς ή ανοιχτόχρωμους χρωματισμούς, γιατί αντανακλούν το φως. Ακόμα και οι ανοιχτόχρωμοι χρωματισμοί απορροφούν τη μισή ποσότητα του φωτός που προσπίπτει σε αυτές, ελαττώνοντας την ποσότητα που αντανακλάται ξανά προς το χώρο. Τα έντονα χρώματα καλό είναι να χρησιμοποιούνται σε μικρότερες επιφάνειες (Ο.Σ.Κ. Α.Ε. Οδηγίες Βιοκλιματικού σχεδιασμού).

Για να αποφευχθεί το φαινόμενο τις θάμβωσης από τα ανοίγματα, οι Baker et al (Baker et al 1993 : 2.18) προτείνουν τη χρήση σκιάστρων ή ειδικών υαλοπινάκων για τη μείωση της λαμπρότητας του ουρανού, τη μείωση της αντίθεσης της φωτεινότητας μεταξύ ουρανού και κουφωμάτων-εσωτερικών τοίχων, τη μείωση του ορατού τμήματος του ουρανού από το εσωτερικό του χώρου (Μερέση, 2010 σελ 60).

## **2.6. Οπτική άνεση σε σχολική αίθουσα.**

Η οπτική άνεση υπάρχει όταν οι χρήστες του κτιρίου έχουν επαρκή φωτισμό για τις δραστηριότητές τους, ο φωτισμός αυτός έχει την σωστή ποιότητα και ένταση και υπάρχει οπτική επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον. Καλά επίπεδα επαρκούς φωτισμού επιτυγχάνονται με σωστή κατανομή του φωτισμού, χωρίς ακραίες διακυμάνσεις (υπερβολικός ή χαμηλός φωτισμός). Ο επαρκής φωτισμός βοηθάει στην διατήρηση ενός ευχάριστου και αποδοτικού περιβάλλοντος χρήστη και ελαχιστοποιεί την ενεργειακή κατανάλωση. Η σωστή ποιότητα φωτισμού επιτυγχάνεται με την χρήση όσο το δυνατόν περισσότερου φυσικού φωτισμού και τον περιορισμό του τεχνητού, άλλωστε οι αισθήσεις των ανθρώπων είναι προσαρμοσμένες στο να αγαπούν το φως του ήλιου. Επιπλέον οι οπτικές διαφυγές και ανεμπόδιστες θεάσεις στο εξωτερικό περιβάλλον δημιουργούν μία αίσθηση ασφάλειας και ελέγχου στους ανθρώπους, ενώ μειώνουν τα επίπεδα στρες.

Η οπτική άνεση μπορεί να επιτευχθεί με απλές αλλά στρατηγικές παρεμβάσεις στον σχεδιασμό του κελύφους, με χρήση μεγάλων ανοιγμάτων, σωστά τοποθετημένων φεγγιτών και αίθριων, χρήση ραφιών φωτισμού κ.α.. Όταν η χρήση

του φυσικού φωτισμού δεν επαρκεί, τότε η χρήση φωτιστικών σωμάτων τεχνολογίας LED ή/και T5 (φθορισμού) με την χρήση αισθητήρων φωτός και αυτοματοποιημένων συστημάτων σκίασης μπορούν να ισορροπήσουν τον φυσικό και τεχνητό φωτισμό και να μειώσουν την ενεργειακή κατανάλωση και φαινόμενα όπως αυτό της οπτικής θάμβωσης (Dounis et al., 1993).

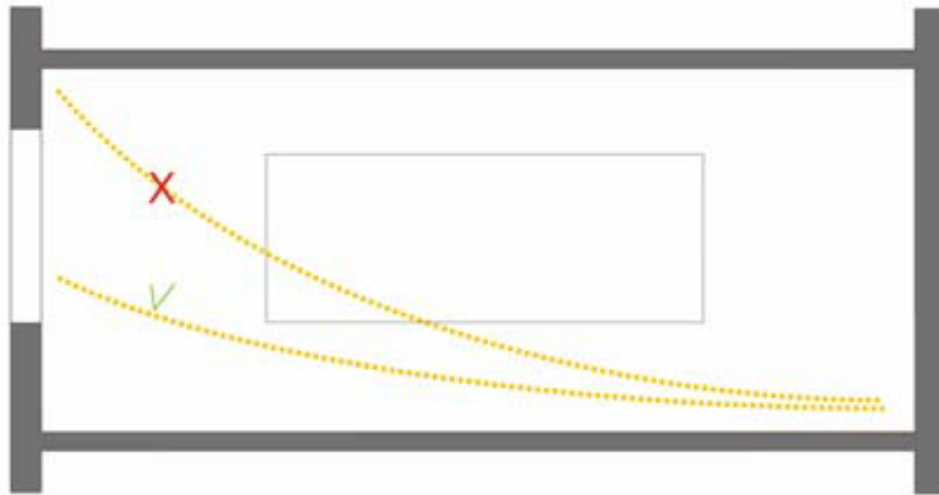
Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες για την επίτευξη επαρκούς ορατότητας και συνεπώς μέγιστης οπτικής άνεσης σε μια σχολική αίθουσα, είναι η μείωση των σκοτεινών, αλλά και των υπερβολικά φωτεινών περιοχών στο επίπεδο εργασίας (Iwata et al., 1994). Οι Iwata et al, (Iwata et al, 1997) παρατήρησαν ότι όσο περισσότερο φως εισέρχεται από τα παράθυρα, τόσο μεγαλώνει η ανάγκη για αύξηση των επιπέδων τεχνητού φωτισμού στο βάθος της αίθουσας. Ο Aizlewood (1993 :152) υποστήριξε ότι ένας χώρος δείχνει φωτεινότερος όταν είναι ομοιόμορφα φωτισμένος, ακόμα κι όταν ποσοτικά το φως είναι λιγότερο.

Οι Budde και Theil (1969: 42) απέδειξαν ότι, σε επίπεδο κάθετο στο παράθυρο, η αναλογία μεταξύ της μεγαλύτερης και της μικρότερης τιμής φυσικού φωτισμού σε μια σχολική αίθουσα πρέπει να είναι:  $E_{min}/E_{max} = 1/3$  (DIN 18031). Η αναλογία αυτή δεν είναι επιτεύξιμη σε μονόπλευρα φωτιζόμενες αίθουσες. Συνήθως, σε τάξεις χωρίς εξωτερικά εμπόδια ισχύει η αναλογία 1προς 5, ενώ σε τάξεις με εμπόδια ο παρονομαστής μικραίνει ακόμα περισσότερο, ανάλογα με το ύψος των εμποδίων και την απόσταση από το παράθυρο (Budde & Theil, 1969).

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την οπτική άνεση είναι τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά που ελέγχουν το φωτισμό. Πιο αναλυτικά υπάρχουν τρία χαρακτηριστικά τα οποία είναι:

- Η ποσότητα φωτισμού που φτάνει στο επίπεδο εργασίας το οποίο για την αίθουσα διδασκαλίας είναι 300-325 lux.
- Η ομοιόμορφη κατανομή του φωτισμού στη σχολική αίθουσα (δηλαδή η ομοιόμορφη κατανομή που φτάνει σε όλα τα θρανία (Εικ. 2-9).
- Η αποφυγή της άμεσης θάμβωσης, που προέρχεται κυρίως είτε από φωτοσκιάσεις μέσα στην αίθουσα, είτε από την πρόσπτωση της ηλιακής

ακτινοβολίας στο επίπεδο των θρανίων (Ο.Σ.Κ. Α.Ε., Οδηγός Βιοκλιματικού Σχεδιασμού, 2008, σελ.23).



Εικόνα 2.9 Η ομοιόμορφη κατανομή του φυσικού φωτισμού σε μια σχολική αίθουσα. Πηγή: Κ. Μερέση, 2010.

## 2.7. Διάχυση φωτός.

Όπως ήδη γνωρίζουμε, η ηλιακή ακτινοβολία είναι μια πολύ δυνατή πηγή φωτός που μπορεί να δημιουργήσει έντονη οπτική και θερμική δυσφορία στους χρήστες ενός χώρου. Για το λόγο αυτό, κατά το σχεδιασμό του φυσικού φωτός απαιτείται η μέγιστη χρήση του απαλού, διάχυτου φυσικού φωτός και ο περιορισμός της άμεσης εισόδου της ηλιακής ακτινοβολίας στους χώρους διδασκαλίας (Ο.Σ.Κ. Α.Ε. Οδηγίες Βιοκλιματικού σχεδιασμού, 2008, σελ. 24).

Επειδή το φως του ήλιου αλλάζει συνεχώς κατά τη διάρκεια της μέρας και από εποχή σε εποχή, η τροχιά του ήλιου είναι η βασική παράμετρος προκειμένου να σχεδιαστεί επιτυχώς ο φυσικός φωτισμός ενός κτιρίου. Ο προσανατολισμός του κτιρίου είναι καθοριστικός για τη μέγιστη χρήση του διάχυτου φωτός και την ελαχιστοποίηση της άμεσης διείσδυσης του φωτός. Η τοποθέτηση του κτιρίου με προσανατολισμό κατά μήκος του άξονα βοράς-νότος παρουσιάζει πλεονεκτήματα σε ότι αφορά το φυσικό φωτισμό των χώρων, αφού ο μεν βόρειος προσανατολισμός



δίνει το μέγιστο διάχυτο φως, ο δε νότιος μπορεί εύκολα να σκιαστεί σε όλη τη διάρκεια του χρόνου χωρίς να εμποδίζεται η θέα (Ο.Σ.Κ. Α.Ε. Οδηγίες Βιοκλιματικού σχεδιασμού, 2008, σελ. 24).

Η τοποθέτηση του κτιρίου με προσανατολισμό κατά μήκος του άξονα ανατολής δύσης πρέπει να αποφεύγεται καθώς τείνουν να εισάγουν πολύ φως και υπερβολική θερμότητα και απαιτούν πολύπλοκα συστήματα σκίασης, τα οποία συχνά εμποδίζουν τη θέα. Αντιθέτως το βόρειο και το νότιο άκρο του κτιρίου εξασφαλίζουν πολύ λιγότερο φως στο εσωτερικό (Ο.Σ.Κ. Α.Ε. Οδηγίες Βιοκλιματικού σχεδιασμού, 2008, σελ. 24).

Για να υπάρχει ομοιόμορφη κατανομή του φωτισμού μέσα στις αίθουσες συνιστάται να υπάρχουν ανοίγματα σε όλες τις όψεις τους. Συνήθως οι αίθουσες διδασκαλίας έχουν μεγάλα ανοίγματα προς τη μία όψη, με συνέπεια να παρατηρείται ανομοιογένεια στην κατανομή του φωτός. Η ομοιόμορφη κατανομή μπορεί να επιτευχθεί με επιπλέον ανοίγματα στην πλευρά του διαδρόμου, ή με ανοίγματα στην οροφή ή φεγγίτες στον τελευταίο όροφο. Στην περίπτωση σχολείων με αίθουσες τοποθετημένες προς βορά και νότο, πρέπει να υπερυψώνεται ή υποβιβάζεται η οροφή του διαδρόμου, ώστε να εξασφαλίζεται ο αμφίπλευρος φωτισμός των τάξεων (Ο.Σ.Κ. Α.Ε. Οδηγίες Βιοκλιματικού σχεδιασμού, 2008, σελ. 24).

#### Τύποι φωτισμού:

Η θέση, ο προσανατολισμός και το μέγεθος των φωτιστικών επιφανειών σε συνδυασμό με την επιλογή του τρόπου σκίασής τους είναι σημαντικοί παράμετροι στον σχεδιασμό. Υπάρχουν δύο τύποι φωτισμού, ανάλογα με τη θέση των ανοιγμάτων στο κέλυφος: ο φωτισμός από ψηλά και ο πλευρικός φωτισμός (Ο.Σ.Κ. Α.Ε. Οδηγίες Βιοκλιματικού σχεδιασμού, 2008, σελ. 27).



### **A) Φωτισμός από ψηλά (φεγγίτες οροφής)**

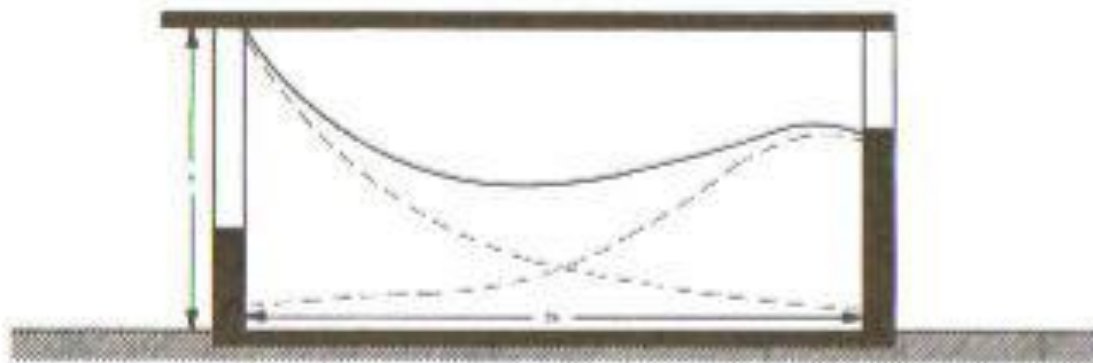
Οι φεγγίτες είναι αποτελεσματικοί ως προς τη λειτουργία τους καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες (ηλιοφάνεια, νεφοσκεπής ουρανός) και ανεξάρτητα από τον προσανατολισμό του κτιρίου. Οι φεγγίτες οροφής χρησιμοποιούνται σε μονώροφα κτίρια ή στον τελευταίο όροφο πολυώροφων κτιρίων. Τα ανοίγματα οροφής επιτρέπουν ομοιόμορφη κατανομή του φυσικού φωτός στο χώρο, μειώνοντας ταυτόχρονα τις πιθανότητες εμφάνισης φαινομένων θάμβωσης. Οι φεγγίτες οροφής πρέπει να χρησιμοποιούνται με μεγάλη προσοχή σε περιοχές με έντονη ηλιοφάνεια, καθώς είναι πιθανό να υπερθερμάνουν τις αίθουσες διδασκαλίας. Στην Ελλάδα οι φεγγίτες οροφής πρέπει να έχουν κατακόρυφη (και όχι οριζόντια ή επικλινή) θέση και κατά προτίμηση να στρέφονται προς τον βορρά (Ο.Σ.Κ. Α.Ε. Οδηγίες Βιοκλιματικού σχεδιασμού, 2008, σελ. 28).

Οι φωτοσωλήνες, τα κανάλια φωτισμού και οι φωτεινοί αγωγοί είναι επίσης σχετικά απλές διατάξεις (κατασκευαστικά) οι οποίες μπορούν να εισάγουν φως σε αίθουσες διδασκαλίας και άλλους χώρους ακόμα και σε υποκείμενους ορόφους. (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20702-5/2010 σελ 106).

### **B) Πλευρικός φωτισμός (παράθυρα – φεγγίτες)**

Ο πλευρικός φωτισμός είναι η πλέον διαδεδομένη μέθοδος φυσικού φωτισμού. Για την σωστή διαχείριση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, είναι απαραίτητη η χρήση συστημάτων σκίασης ώστε να ελεγχθεί το φαινόμενο της θάμβωσης (Constanzo et. al., 2017: 18). Ένας απλός και χρήσιμος κανόνας για τον υπολογισμό του χρήσιμου φωτός που εισέρχεται στην αίθουσα είναι πως η διεύθυνση του φωτός ισούται περίπου με το 1,5-2 φορές το ύψος του πρεκτιού του παραθύρου. Επομένως, για να επιτευχθεί ο τέλειος φωτισμός, τα παράθυρα-φεγγίτες στους τοίχους πρέπει να βρίσκονται όσο το δυνατόν ψηλότερα, πάνω από το ύψος της θέασης. Όμως, από την άλλη πλευρά, για να εξασφαλιστεί η καλύτερη θέα προς τον

εξωτερικό χώρο πρέπει τα ανοίγματα να βρίσκονται στο ύψος του ματιού. (Εικ. 2-14) (Ο.Σ.Κ. Α.Ε. Οδηγίες Βιοκλιματικού σχεδιασμού, 2008, σελ. 28).



Εικόνα 2.10 Η διείσδυση του φωτός ισούται περίπου με το 1,5 ως 2 φορές το ύψος του πρεκτιού του παραθύρου. Πηγή: Ο.Σ.Κ. Α.Ε. Οδηγίες Βιοκλιματικού σχεδιασμού, 2008, σελ. 29.

## 2.8. Τεχνητός φωτισμός.

Ο τεχνητός φωτισμός πρέπει να σχεδιάζεται συνδυαστικά με τον φυσικό φωτισμό, έτσι ώστε να δημιουργείται ο «τέλειος» φωτισμός σε μια αίθουσα. Η γενική αρχή είναι ότι στα σημεία όπου το φυσικό φως είναι επαρκές, τα τεχνητά φώτα πρέπει να σβήνουν και να ανάβουν εκεί όπου είναι ελλιπής ο φυσικός φωτισμός. Η λειτουργία αυτού του συνδυαστικού συστήματος μπορεί να γίνεται χειροκίνητα ή με χρήση αυτοματισμών (με φωτοευαίσθητους αισθητήρες που καταγράφουν τα επίπεδα φωτός στο χώρο) (Ο.Σ.Κ. Α.Ε. Οδηγίες Βιοκλιματικού σχεδιασμού, 2008, σελ. 27).

Ο φυσικός φωτισμός είναι πάντα το ζητούμενο στον σχεδιασμό και η απουσία του επηρεάζει άμεσα και έμμεσα την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Ο τεχνητός φωτισμός καταναλώνει το 30% περίπου της συνολικής ενέργειας των σχολικών κτιρίων (Ο.Σ.Κ. Α.Ε. Οδηγίες Βιοκλιματικού σχεδιασμού, 2008, σελ. 65). Ο φυσικός φωτισμός μπορεί να εξοικονομήσει ενέργεια 30-70% έναντι του τεχνητού φωτισμού (ΠΣΠ61 3η Ο.Σ.Σ. Ε.Α.Π.).



Στην αίθουσα διδασκαλίας, ο φυσικός φωτισμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή φωτισμού με απόδοση από 220 ως 330 lux και με το συμπληρωματικό τεχνητό φωτισμό, με απόδοση από 550 ως 660 lux. (Ο.Σ.Κ. Α.Ε. Οδηγίες Βιοκλιματικού σχεδιασμού, 2008, σελ. 24).

### **3. Σκίαση**

#### **3.1. Σκίαση, ηλιασμός σχολικών κτιρίων.**

Ο καλύτερος τρόπος για να εξασφαλιστεί οπτική και θερμική άνεση σε έναν χώρο είναι η κατάλληλη σκίαση των ανοιγμάτων. Σε χώρες όπως η Ελλάδα, ο σχεδιασμός του φυσικού φωτισμού σε μια σχολική αίθουσα, πρέπει να συνδυάζεται άμεσα με τη σκίαση, ώστε να αποφεύγεται η υπερθέρμανση των χώρων, κι επομένως η θερμική δυσφορία μαθητών και διδασκόντων (Ο.Σ.Κ. Α.Ε. Οδηγίες Βιοκλιματικού σχεδιασμού, 2008, σελ. 29). Όπως αναφέραμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, η σκίαση αποτελεί ένας από τους σημαντικότερους τρόπους αποφυγής της διείσδυσης της ηλιακής ακτινοβολίας και του φαινομένου της θάμβωσης. Από την άλλη πλευρά κατά το χειμώνα ο ηλιασμός παίζει σημαντικό ρόλο τόσο στον φυσικό φωτισμό όσο και την μείωση των θερμικών φορτίων που απαιτούνται.

#### **3.2. Τύποι σκιάστρων – προσανατολισμός κτιρίου.**

Η σκίαση μπορεί να επιτευχθεί με σταθερά ή κινητά εξωτερικά σκιάστρα, με εσωτερικά σκιάστρα και με συνδυασμό εξωτερικών/εσωτερικών σκιάστρων. Η χρήση κινητών σκιάστρων δίνει το πλεονέκτημα σκίασης των ανοιγμάτων όταν αυτή κρίνεται απαραίτητη, ανεξάρτητα από την εποχή του έτους και τη θέση του ήλιου αλλά είναι σχετικά δαπανηρή στην εγκατάσταση, λειτουργία και χρόνο ζωής της.

Στους όποιους θερμούς μήνες ανάμεσα στην εαρινή και τη φθινοπωρινή ισημερία που λειτουργούν τα σχολεία, η σκίαση των κτιρίων πρέπει να επιτυγχάνεται προτού εισέλθει η ηλιακή ακτινοβολία και εγκλωβιστεί μέσω των υαλοπινάκων στους

χώρους, οπότε τα εξωτερικά σκίαστρα είναι αποτελεσματικότερα των αντίστοιχων εσωτερικών. Συνεπώς, η χρήση εξωτερικών κινητών σκιάστρων αποτελεί τον πιο ενδεδειγμένο τρόπο σκιασμού των ανοιγμάτων.

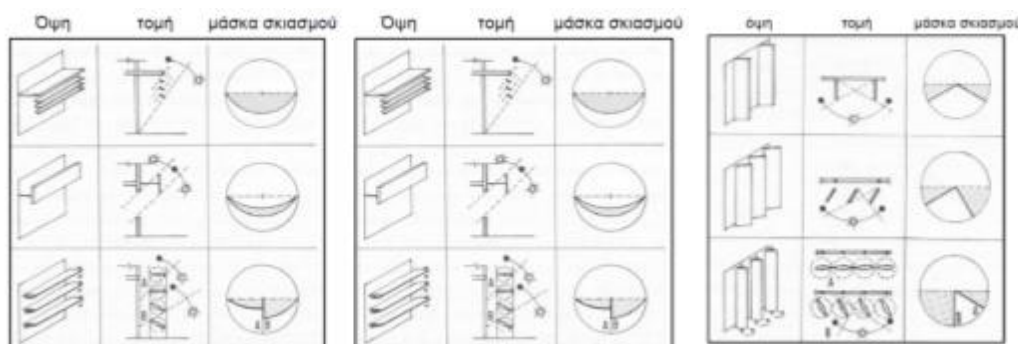
Ανάλογα με τον προσανατολισμό του ανοίγματος συνιστώνται διαφορετικοί τύποι σκίασης (Ο.Σ.Κ. Α.Ε. Οδηγίες Βιοκλιματικού σχεδιασμού, 2008, σελ. 31).

- Σκίαση νότιων ανοιγμάτων

Όταν τα ανοίγματα βλέπουν στο νότο ενδείκνυται η χρήση οριζόντιων σκιάστρων (πρόβολοι) σταθερά ή κινητά. Για να εξασφαλιστεί η μέγιστη θερμική απόδοση του κτιρίου, μπορεί να σχεδιαστεί ο πρόβολος σε τέτοια θέση ώστε να περνούν οι ακτίνες του ήλιου από το άνοιγμα για τον ηλιασμό τους χειμερινούς μήνες (Ο.Σ.Κ. Α.Ε. Οδηγίες Βιοκλιματικού σχεδιασμού, 2008, σελ. 32). Το πλάτος του σκιάστρου πρέπει να επιλεγθεί προσεκτικά ώστε το χειμώνα να επιτρέπει τη διείσδυση του ηλίου μέσα στο χώρο, ενώ τους θερινούς μήνες να εξασφαλίζεται ο πλήρης σκιασμός (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20705-5/2010 Βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίων). Οι πρόβολοι είναι εξαιρετικοί στη σκίαση νότιων ανοιγμάτων και συχνά υποχρεωτικοί για την αποφυγή υπερθέρμανσης των αιθουσών σε νότιες κλιματικές συνθήκες (Constanzo et al., 2017: 17).

- Σκίαση ανατολικών και δυτικών ανοιγμάτων

Όταν τα παράθυρα βλέπουν προς την ανατολή και τη δύση είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθεί η κατακόρυφη σκίαση με αρχιτεκτονικά στοιχεία κάθετα στην όψη ή υπό κλίση. Επειδή η θέση του ήλιου αλλάζει και στην ανατολή και τη δύση είναι χαμηλά κοντά στον ορίζοντα, ένα κινητό κατακόρυφο πέτασμα αποτελεί τον πλέον αποτελεσματικό τρόπο σκίασης, ειδικά σε συνθήκες καθαρού ουρανού, αν και μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στη σταθερότητα και τη συντήρηση. Για να χρησιμοποιηθεί ένα σταθερό σκίαστρο, θα πρέπει να εκτιμηθούν το πλάτος και το ύψος του παραθύρου, καθώς και η απόσταση του σκιάστρου από αυτό (Ο.Σ.Κ. Α.Ε. Οδηγίες Βιοκλιματικού σχεδιασμού, 2008, σελ. 33), ενώ συχνά τα σταθερά σκίαστρα θέλουν και επιπλέον εσωτερική σκίαση (Constanzo et al., 2017: 17).



Εικόνα 3.1 Μορφές οριζόντιων και κατακόρυφων σκιάστρων για νότια, νοτιοανατολική και νοτιοδυτική όψη  
Πηγή Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20702-5/2010.

Η καλύτερη λύση για εσωτερική σκίαση των σχολείων είναι τα βενετικά στόρια, κατά προτίμηση κινούμενα σε οδηγούς, γιατί εξασφαλίζουν τη βέλτιστη λειτουργία και το μεγαλύτερο χρόνο ζωής (Ο.Σ.Κ. Α.Ε. Οδηγίες Βιοκλιματικού σχεδιασμού). Η λύση αυτή έχει το μειονέκτημα ότι παρόλο που μειώνει τη θάμβωση δεν αποτρέπει τη διείσδυση της ακτινοβολίας στην σχολική αίθουσα και την υπερθέρμανση (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20705-5/2010, Σελ 50).

Σημαντική συνεισφορά στη σκίαση χαμηλών κτιρίων προσφέρει η φύτευση σε κατάλληλες θέσεις και μεγέθη. Φυλλοβόλα δέντρα και αναρριχώμενα φυτά σε πέργκολες μπορούν να υποκαταστήσουν ως ένα βαθμό την ευελιξία των κινητών διατάξεων. Ο Ελληνικός κανονισμός ενεργειακής απόδοσης κτιρίων (Κ.ΕΝ.Α.Κ.) και κατ επέκταση και οι μελετητές, επειδή δεν μπορούν να ποσοτικοποιήσουν ή να μοντελοποιήσουν την συνεισφορά των φυτών αγνοούν τα οφέλη τους στον σκιασμό και τη διαχείριση των θερμικών φορτίων.

Νέες τεχνολογίες στα υλικά και την συνδεσιμότητα των επιμέρους στοιχείων σκίασης ενός κτιρίου με αλγόριθμους, επιτρέπουν την μεταβλητότητα του κελύφους ώστε αυτό να μεταλλάσσεται κατά την επιθυμία του χρήστη ή σύμφωνα με τα εξωτερικά ερεθίσματα (βλ. εικόνα 3-2) (Knippers et al., 2013) ή την HypoSurface του καθηγητή Mark Goulthorpe (“Mark Goulthorpe | MIT Architecture,” n.d.). Οι ιδέες των Habraken (Habraken et al., 1999) και του δικού μας Τάκη Ζενέτου (Καλαφάτη et al., 2006) για την συνεχόμενη μεταβλητότητα της όψης ενός κτιρίου αρχίζουν και βρίσκουν εφαρμογή σε σύγχρονες κατασκευές. Θερμοχρωματικοί και ηλεκτροχρωματικοί υαλοπίνακες μπορούν να ρυθμίσουν την διείσδυση φυσικού

φωτός και οι τεχνολογίες αυτές είναι ήδη ώριμες και εμπορικά διαθέσιμες (Costanzo et al. 2017:18).



Εικόνα 3.2 Θεματικό περίπτερο της EXPO 2012. SOMA Architects. Ηλεκτρονικά ελεγχόμενη και μηχανικά μεταβαλλόμενη όψη. Πηγή: Archdaily.com.



## 4. Θερμικά – ψυκτικά φορτία

### 4.1. Θερμική άνεση

Η ποιότητα ζωής στα κτίρια είναι εξαρτημένη από τρεις παράγοντες. Θερμική άνεση, οπτική άνεση και ποιότητα εσωτερικού αέρα. Η θερμική άνεση είναι η κατάσταση του μυαλού στην οποία ένας άνθρωπος δεν επιθυμεί καμία θερμική αλλαγή του εσωτερικού περιβάλλοντος που διαβιεί (ASHRAE, 2013). Η θερμική άνεση καθορίζεται από τον δείκτη PMV (Predictive Mean Vote) ο οποίος εξάγεται από την εξίσωση του Fanger. Ο PMV προβλέπει την επικρατούσα ψήφο θερμικής αίσθησης για ένα μεγάλο αριθμό ανθρώπων (Fanger, 1970). Οι παράμετροι από τις οποίες εξαρτάται τη θερμική άνεση είναι:

- Η θερμοκρασία του αέρα που αποτελεί κύριο κριτήριο αξιολόγησης της θερμικής άνεσης. Σύμφωνα με την ASHRAE το 80% των ατόμων αισθάνεται θερμικά άνετα, όταν η θερμοκρασία του αέρα κυμαίνεται μεταξύ 21.5 και 25°C (με σχετική υγρασία 50%) (Αξαρχή, 1995).
- Η μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία των εσωτερικών επιφανειών που περιβάλλουν το χώρο ( $t_{mr}$ ). Κατά το σχεδιασμό των κτιρίων, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας του αέρα και των περιβαλλουσών επιφανειών, ώστε να μην υπερβαίνει τους 3°-4°C. Ένα μονωμένο κτίριο μπορεί να έχει χαμηλότερη θερμοκρασία από ένα αμόνωτο κτίριο, όμως να παρέχει τον ίδιο βαθμό θερμικής άνεσης (Αξαρχή, 1995).
- Η σχετική υγρασία έχει άμεσο αντίκτυπο στην ικανότητα του σώματος να αποβάλλει θερμότητα με την εξάτμιση, κι επομένως επηρεάζει το αίσθημα της θερμικής άνεσης. Ο μέσος άνθρωπος αισθάνεται την υγρασία όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι χαμηλότερη από 20°C, ή υψηλότερη από 25°C (Αξαρχή, 1995).
- Η ταχύτητα του εσωτερικού αέρα που κινείται αποτελεί επίσης σημαντικό παράγοντα θερμικής άνεσης. Όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του σώματος, η αύξηση της ταχύτητας του αέρα οδηγεί στο αίσθημα ψύχους. Αντίθετα, όταν η

θερμοκρασία του αέρα είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία του σώματος, η αύξηση της ταχύτητας του αέρα οδηγεί στην αίσθηση ζέστης και δροσισμού (Αξαρχή, 1995).

- Η ενδυμασία (clo)
- Δραστηριότητα – ρυθμός μεταβολισμού (met)

Όλες οι παραπάνω παράμετροι, επηρεάζουν τη ροή ενέργειας από τον άνθρωπο προς το περιβάλλον. Με δεδομένο ότι η θερμοκρασία του σώματος παραμένει σταθερή, το σώμα μας προσπαθεί να ισορροπήσει τα οφέλη και τις απώλειες θερμότητας στις δεδομένες καταστάσεις και έτσι εκφράζεται η άνεση ή δυσφορία στις εκάστοτε θερμικές συνθήκες.

Η σημασία της θερμικής άνεσης στην καθημερινότητα μας, και ειδικότερα στο χώρο του σχολείου, είναι μεγάλη. Ειδικότερα στα σχολεία η ύπαρξη θερμικής άνεσης έχει να κάνει με την απόδοση μαθητών και καθηγητών καθώς η βιολογική και ψυχολογική ισορροπία του ανθρώπου εξασφαλίζεται από την προσαρμογή του στο φυσικό περιβάλλον.

Όταν οι κλιματικές συνθήκες του περιβάλλοντος είναι ευνοϊκές, το ανθρώπινο σώμα αποβάλλει ακριβώς το ποσό θερμότητας που πρέπει, κι έτσι επικρατεί στο χώρο το αίσθημα της θερμικής άνεσης. Αντιθέτως, σε δυσμενείς συνθήκες- (όταν επικρατεί πολύ “κρύο” ή πολύ “ζέστη”), το σώμα χάνει πολύ περισσότερη θερμότητα από την ενδεδειγμένη ή αντίστοιχα αδυνατεί να αποβάλει το πλεόνασμα της παραγόμενης θερμότητας, και τότε δεν υπάρχει θερμική άνεση. (Αξαρχή, 1995).

Η Αμερικανική ένωση μηχανολόγων μηχανικών θέρμανσης & κλιματισμού - (ASHRAE) δημιούργησε ένα απλό πίνακα θερμικής άνεσης χρησιμοποιώντας την κωδικοποίηση -3 για το κρύο (cold), -2 για δροσερό (cool), -1 ελάχιστα δροσερό (slightly cool), 0 φυσιολογικό (natural), +1 ελάχιστα θερμό (slightly warm), +2 θερμό (warm), +3 καυτό (hot) («ASHRAE Handbook-fundamentals,” 2005). Ο δείκτης PMV αργότερα υιοθετήθηκε από τον διεθνή οργανισμό πιστοποιήσεων με το ISO 7730 (ISO, 1994).



Ο διεθνής οργανισμός πιστοποιήσεων (ISO) και το εγχειρίδιο ASHRAE 55 (ASHRAE, 2013) προτείνουν ότι ο PVM πρέπει να διατηρείται στο 0 με μία ανοχή της τάξης του  $\pm 0,5$  για την μέγιστη θερμική άνεση. Η διατήρηση της θερμικής άνεσης ακόμα και σε μικρότερες αποκλίσεις είναι εφικτή και εμπορικά διαθέσιμη με χρήση προηγμένων συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης (Fuzzy Logic Systems) που μπορούν να προσαρμοστούν ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες και τις προτιμήσεις του εκάστοτε χρήστη (Dounis et al., 2009).

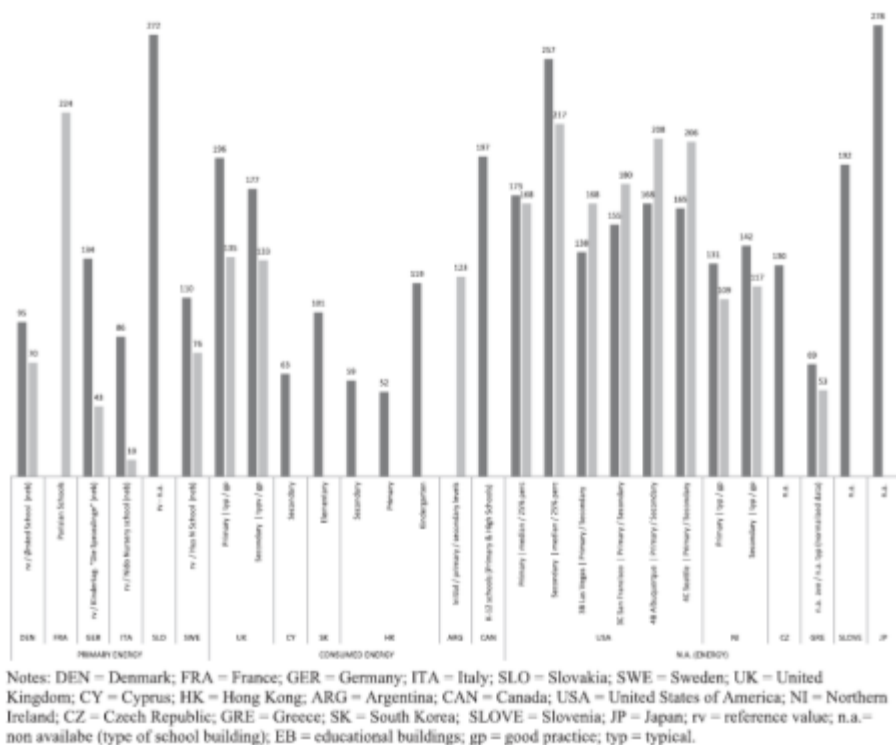
Γενικά, τα κτίρια πρέπει να σχεδιάζονται με τρόπο που να εξοικονομεί το μέγιστο δυνατό ποσό ενέργειας για τη θέρμανση και την ψύξη τους κι επιπλέον να εκμεταλλευτεί τις ήπιες μορφές ενέργειας, ώστε να επιτυγχάνεται και η μικρότερη δυνατή επιβάρυνση του περιβάλλοντος.

Τις τελευταίες δεκαετίες, υπήρξε μια αύξηση του ενδιαφέροντος μεταξύ των εκπαιδευτικών, των αρχιτεκτόνων και των πολιτών για την επανεξέταση της μορφής του αστικού δημόσιου σχολείου (Gamson Danks 2010), καθώς πολλά σχολικά κτίρια είναι εκτεταμένες εκτάσεις ασφάλτου και άλλων πλακόστρωτων επιφανειών (Schulman and Peters 2008 ). Ο Schulman και ο Peters (2008), που μελέτησαν τη γειτονιά των σχολείων της πόλης σε 258 δημοτικά δημόσια και δημοτικά σχολεία των ΗΠΑ, διαπίστωσαν ότι κατά μέσο όρο χρησιμοποιήθηκε μεγάλη αφθονία αδιάβροχων επιφανειών (π.χ. ασφάλτου, τούβλου, σκυροδέματος, καουτσούκ και τεχνητού χλοοτάπητα), ενώ το πράσινο κατέλαβε το μικρότερο μέρος της γης της σχολικής αυλής. Η βιβλιογραφία για τις σχολικές εστίες επικεντρώνεται κυρίως στην ασφάλεια των δραστηριοτήτων και στην έκθεση στην ατμοσφαιρική ρύπανση, ενώ έχει δοθεί πολύ λιγότερη προσοχή στις συνθήκες βελτίωσης της θερμικής απόδοσης (Zhang et al., 2017). Μια από τις πρώτες προσπάθειες που αναφέρονται στο θερμικό περιβάλλον των σχολικών σχολείων ήταν ο Moogk-Soulis (2002). Τα σχολεία βρέθηκαν να έχουν σημαντικά υψηλότερες επιφανειακές θερμοκρασίες από ότι το περιβάλλον τους, ένα φαινόμενο που ονομάζεται «νησίδα θερμότητας σχολείου», κυρίως λόγω του τρόπου κατασκευής των σχολικών σχολείων και την απουσία δέντρων. Η θερμική αντίληψη ενός σχολείου στην Ελλάδα (Antoniadis et al 2016) χαρακτηρίστηκε από συνθήκες ακραίας θερμικής καταπόνησης, με την έντονη ηλιακή ακτινοβολία να είναι ο κυρίαρχος παράγοντας που επηρέασε τις συνθήκες θερμικής

αντίληψης και θερμικού άγχους. Η έκθεση της αυλής στο άμεσο ηλιακό φως σε ένα σχολείο στην Αίγυπτο οδήγησε τους μαθητές να αποκαλύψουν την υψηλή θερμική δυσaráσκεια (El-Bardisy et al., 2016), ενώ ο ανεπαρκής αριθμός δένδρων που φυτεύτηκαν σε εξωτερικούς χώρους στις σχολικές αίθουσες και η απουσία σκιάς είχαν ως αποτέλεσμα υπερθέρμανση υπαίθριων ανοιχτών χώρων και αυξημένη δυσaráσκεια σε ζεστές και ηλιόλουστες ημέρες (Shih et al., 2017).

#### 4.2. Ενεργειακές καταναλώσεις σε σχολικά κτίρια.

Ο κτιριακός τομέας στην Ε.Ε. καταναλώνει περίπου το 40% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Στην Ελλάδα, τα υπάρχοντα σχολεία έχουν μέση κατανάλωση 93KWh/m<sup>2</sup>/year σε όλες τις κλιματικές ζώνες (Santamouris C. et al. 1993: 659). Αντίστοιχες μελέτες σε άλλες χώρες με παρόμοια κλίματα δείχνουν ότι η Ελλάδα έχει μικρότερες καταναλώσεις σε σχολεία σε σχέση με τον αντίστοιχο μέσο όρο (Pereira et al., 2014), (βλ. παρακάτω γράφημα 4-1), όπως και μικρότερες καταναλώσεις από άλλα ειδικά κτίρια στην Ελλάδα.

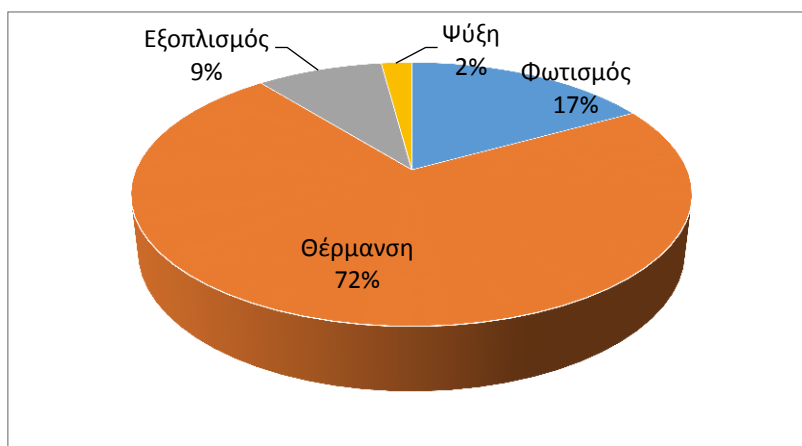


Αυτό συμβαίνει κυρίως γιατί τα Ελληνικά σχολεία κατά μεγάλη πλειοψηφία δεν είναι εξοπλισμένα με ψυκτικές διατάξεις -όπως aircondition (A/C)-, λειτουργούν μόνο για 9 μήνες τον χρόνο (Santamouris C. et al. 1993: 659) και τα κτίρια δεν λειτουργούν εντός των ζωνών θερμικής άνεσης που θέτει ο ASHRAE για τις περιόδους ψύξης/θέρμανσης (Dascalaki&Sermpetzoglou, 2010: 722,723).. Ανάλογα με τον τύπο θέρμανσης και την ύπαρξη ή μη διατάξεων ψύξης η αντίστοιχη μέση ετήσια κατανάλωση φθάνει τα 180 KWh/m<sup>2</sup>/year (βλ. πίνακα 4-1) σε όλες τις κλιματικές ζώνες της Ελλάδος και έτσι φθάνει καταναλώσεις σχολείων σε αρκετά ψυχρότερα κλίματα.

Πίνακας 4-1 Κατανομή ετήσιων καταναλώσεων Ελληνικών σχολείων σε KWh/m<sup>2</sup> (Πηγή: Επεξεργασία από Santamouris C. et al. 1993: 654).

Τύπος κτιρίου	Φωτισμός (KWh/m <sup>2</sup> )	Εξοπλισμός (KWh/m <sup>2</sup> )	Ψύξη (KWh/m <sup>2</sup> )	Ηλεκτρική θέρμανση (KWh/m <sup>2</sup> )	Θέρμανση από ορυκτά καύσιμα (KWh/m <sup>2</sup> )	Συνολική κατανάλωση (KWh/m <sup>2</sup> )
Όλα τα κτίρια	16	8	2	5	62	93
Κτίρια που χρησιμοποιού ν A/C	30	9	42	4	95	180
Κτίρια που θερμαίνονται με ηλεκτρική ενέργεια	20	7	1	49	21	98
Κτίρια που θερμαίνονται με ορυκτά καύσιμα	16	8	2	2	68	96

Τα μεγαλύτερα φορτία ενέργειας σε Ελληνικά σχολεία καταναλώνονται για την θέρμανση 72,40% και για τον φωτισμό 17% (βλ. γράφημα 4-1).



*Γράφημα 4-1 Επιμερισμός ετήσιων καταναλώσεων σε σχολεία στην Ελλάδα το 1993.  
Πηγή: Επεξεργασία δεδομένων από (Santamouris C. Et al. 1993: 659).*

Τα Ελληνικά σχολεία έχουν μεγάλο δυναμικό για εξοικονόμηση ενέργειας καθώς η πλειοψηφία αυτών έχουν κτιστεί προ του έτους 1979, ημερομηνία εφαρμογής του πρώτου κανονισμού θερμομόνωσης κτιρίων (Κ.Θ.Κ.) (Santamouris et al. 1993: 656). Σε άλλη μελέτη αναφέρεται ότι το 59% όλων των βαθμίδων έχει κτισθεί πριν το 1980 (Dascalaki & Sermpetzoglou, 2010: 726).

#### **4.3. Μείωση Θερμικών & ψυκτικών φορτίων σε σχολικά κτίρια.**

Η μεγαλύτερης κλίμακας μελέτη που χρηματοδοτήθηκε από το Υπουργείο Βιομηχανίας πριν από 27 χρόνια (Santamouris C. et al. 1993), κατέληξε στο ότι σε 180 μη μονωμένα και 58 μονωμένα σχολικά κτίρια, η κατανάλωση μπορεί να μειωθεί σε ποσοστό 43,90% με την χρήση θερμομόνωσης σε αμόνωτα κτίρια, και κατά 6,10% αντικαθιστώντας τους μονούς υαλοπίνακες με διπλούς σύμφωνα με προσομοιώσεις. Αντίστοιχα η πραγματική κατανάλωση των υπαρχόντων δομών με εφαρμογή του Κ.Θ.Κ. ήταν κατά 40% λιγότερη σε σύγκριση με αμόνωτες δομές. Η κατανάλωση ενέργειας για την ψύξη μπορεί να μειωθεί κατά 30% μόνο με τη χρήση σωστά μελετημένων σκιάστρων, 50% με τη χρήση νυχτερινού αερισμού και 97% με τη χρήση τοπικών ανεμιστήρων οροφής. Σε ότι αφορά την κατανάλωση για φωτισμό η μελέτη κατέδειξε ότι η κατανάλωση μπορεί να μειωθεί στο 39% εάν και την εποχή που διεξήχθη δεν ήταν εμπορικά διαθέσιμες οι λαμπτήρες τεχνολογίας LED και οι



περισσότεροι εγκαταστημένοι λαμπτήρες ήταν τεχνολογίας πυρακτώσεως.

Νεότερες μελέτες έχουν δείξει ότι νέες τεχνολογίες στα υλικά και στις μεθόδους προσομοίωσης μαζί με την ανάλυση με συστηματικό τρόπο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν (Bernardoetal., 2016) ανά περίπτωση κτιρίου ή μονάδος (αίθουσας) για την εξαγωγή συμπερασμάτων και *ad hoc* λύσεων.

## 5. Παραδείγματα σχεδιασμού βιοκλιματικών κτιρίων σχολικών μονάδων.

### 5.1. Παράδειγμα 1.

#### Το σχολείο "Bailly" στο Παρίσι

Το σχολείο βρίσκεται στο βόρειο προάστιο του Παρισιού Saint Denis. Επειδή βρίσκεται σε βιομηχανική περιοχή με έντονο θόρυβο, έπρεπε να ληφθεί υπόψη ο προσανατολισμός, ώστε να αποφευχθεί ο θόρυβος. Το κτίριο κατασκευάστηκε από γυαλί, τούβλο και ξύλο ώστε να προστατευτεί το κτίριο από ηχητικές και οπτικές οχλήσεις.

Ο άξονας κυκλοφορίας βρίσκεται στο όριο με την οδό "Bailly", ώστε να αποφευχθεί η ηχορρύπανση. Οι χρωματιστές στέγες καλύπτουν τις αίθουσες των πτερύγων, επιτρέποντας την είσοδο του ανατολικού ηλιακού φωτός στο εσωτερικό.

Ο προσανατολισμός των ανοιγμάτων των αιθουσών στις πτέρυγες αντιμετωπίζεται με δύο διαφορετικούς τρόπους. Πιο συγκεκριμένα, στα ανοίγματα των νότιων όψεων έχουν τοποθετηθεί μόνιμες μεταλλικές οριζόντιες περσίδες, για τον περιορισμό του άμεσου ηλιακού φωτός, σε αντίθεση με τα βορινά ανοίγματα.

Στην βόρεια πλευρά των διαδρόμων κίνησης έχουν τοποθετηθεί γυάλινες επιφάνειες με ημίδιαπερατούς χρωματιστούς προβόλους, ώστε να εισέρχεται το φυσικό φως στο βάθος του κτιρίου. Επιπλέον υπάρχουν φεγγίτες στην οροφή κατά μήκος των διαδρόμων, οι οποίοι βοηθούν στο φυσικό φωτισμό και αερισμό (Εικ. 5-1).

Στις αίθουσες διδασκαλίας υπάρχουν στην οροφή στέγες με πρόβολο και ανοίγματα που βλέπουν στην ανατολική πλευρά του κτιρίου, βοηθώντας ταυτόχρονα τον φυσικό φωτισμό και αερισμό των αιθουσών (Εικ.5-2). Η χαμηλή φύτευση στο δώμα ενισχύει το μικροκλίμα της περιοχής και την αισθητική του σχολείου. (Ανακτήθηκε από ιστότοπο: <http://www.ktirio.gr/κτιρια/ξενα-κτιρια/σχεδιασμος-βιοκλιματικων-οψεων-σχολειο-bailly-στο-παρισι>).



*Εικόνα 5.1 Κάτοψη βιοκλιματικού σχολείου με τις μεγάλες γυάλινες επιφάνειες και τους χρωματιστούς προβόλους, Πηγή: Ανακτήθηκε από ιστότοπο : <http://www.ktirio.gr/κτιρια/ξενα-κτιρια/σχεδιασμος-βιοκλιματικων-οψεων-σχολειο-bailly-στο-παρισι>*



*Εικόνα 5.2 Οι Η αίθουσα διδασκαλίας με φυσικό φωτισμό από την οροφή , Πηγή: Ανακτήθηκε από ιστότοπο : <http://www.ktirio.gr/κτιρια/ξενα-κτιρια/σχεδιασμος-βιοκλιματικων-οψεων-σχολειο-bailly-στο-παρισι>.*



## 5.2. Παράδειγμα 2.

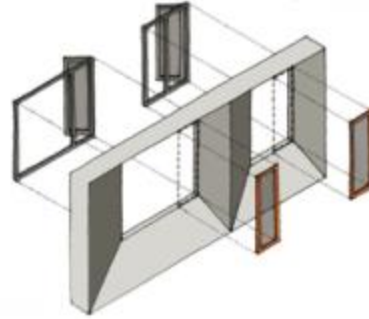
Το σχολείο "Burntwood School" βρίσκεται στην πόλη Wandsworth νότια του Λονδίνου. Τα τελευταία χρόνια ξεκίνησε μια σειρά επεμβάσεων στο σχολικό συγκρότημα με τη συντήρηση των υπαρχόντων κτισμάτων και την ανέγερση νέων κτιρίων. Το πιο χαρακτηριστικό στοιχείο του σχεδιασμού είναι η τρισδιάστατη όψη που κυριαρχεί στην όψη των νέων κτιρίων. Στις σχολικές αίθουσες συναντώνται πετάσματα με μεγαλύτερα ανοίγματα, σε αντίθεση με τις πλάγιες όψεις όπου έχουν σχεδιαστεί πετάσματα με μικρότερα ανοίγματα (εικ. 5-3, 5-4). Η οπτική διαφοροποίηση δε γίνεται μόνο για χάρη ομορφιάς, αλλά και για να εξισορροπούνται τα απαραίτητα επίπεδα φωτός για τις δραστηριότητες στην τάξη, διασφαλίζοντας παράλληλα την είσοδο των ανεπιθύμητων θερμικών φορτίων. Σ' αυτό συντελεί και η τοποθέτηση υαλοπινάκων στην εσωτερική παρειά κάθε πετάσματος, που επιτρέπουν τη σκίαση του κτιρίου.

Για τα ανοίγματα επιλέχθηκαν ενεργειακά κουφώματα αλουμινίου και τα τζάμια φέρουν επίστρωση με υψηλή ανακλαστικότητα στο υπέρυθρο τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας, αποτρέποντας την είσοδο ανεπιθύμητων θερμικών φορτίων, αλλά επιτρέποντας την ηλιακή ακτινοβολία να περάσει στο εσωτερικό του κτιρίου.

Η όψη του κτιρίου έχει επενδυθεί με σκυρόδεμα, έτσι ώστε η θερμική μάζα να απορροφά την περίσσεια ενέργεια κατά τη διάρκεια της ημέρας για να την αποδώσει στο χώρο αργότερα. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγονται οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου.

Το έργο λόγω βιοκλιματικού σχεδιασμού απέσπασε την ανώτερη κατάταξη Excellent στο βρετανικό σύστημα ενεργειακής αξιολόγησης BREEAM.





Εικόνα 5.3 Όψη του κτιρίου με ανοίγματα διαφορετικού μεγέθους. Πηγή [https://www.ktirio.gr/κτίρια/νέα\\_κτίρια/Σχολείο\\_με\\_κατάταξη\\_BREEAM\\_\"excellent\"](https://www.ktirio.gr/κτίρια/νέα_κτίρια/Σχολείο_με_κατάταξη_BREEAM_\), στη Μ. Βρετανία



Εικόνα 5.4 Σχολική αίθουσα κτιρίου Πηγή: [https://www.ktirio.gr/κτίρια/νέα\\_κτίρια/Σχολείο\\_με\\_κατάταξη\\_BREEAM\\_\"excellent\"](https://www.ktirio.gr/κτίρια/νέα_κτίρια/Σχολείο_με_κατάταξη_BREEAM_\), στη Μ. Βρετανία

### 5.3. Παράδειγμα 3.

#### Lycée Albert Camus Γαλλία

Το σχολείο "Lycee Albert Camus" στο Frejus της Γαλλίας που χτίστηκε το 1991-93 ήταν ένα από τα σημαντικότερα έργα του αρχιτεκτονικού γραφείου Norman Foster & Partners στον συνδυασμό οικολογικών και κοινωνικών ενεργειών σε ένα κτίριο (Foster & Partners). Η διάταξη του κτιρίου είναι σε έναν διαμήκη άξονα που περνάει από το κέντρο, δημιουργώντας μια "πλατεία χωριού" στον πυρήνα του κτιρίου (Foster & Partners). Η έκταση της κατασκευής είναι 14.500m<sup>2</sup> (Foster & Partners). Οι τοίχοι από παράθυρα σε συνδυασμό με θόλους οπλισμένου σκυροδέματος αποτελούν την πλειοψηφία του κτιρίου (Sherman).

Το κτίριο βρίσκεται σε περιοχή με μεσογειακό κλίμα που λαμβάνει πολύ ηλιακό φως και επικρατούν καλές συνθήκες θερμοκρασίας. Μέσα από τον σχεδιασμό, ο καθαρός αέρας εισέρχεται από τις πλευρές του κτιρίου και διασκορπίζεται μέσω των διαδρόμων (Foster & Partners). Επιπλέον, η σωματοποιημένη οροφή που αποτελείται από μια μεταλλική θωράκιση που καλύπτεται από σκυρόδεμα, ευνοεί τον επαρκή αερισμό και δροσισμό (Foster & Partners). Το σκυρόδεμα λειτουργεί με τέτοιο τρόπο ώστε η ηλιακή ακτινοβολία που απορροφάται αργά περνάει κάτω από τους θόλους του σκυροδέματος επιτρέποντας στο κτίριο να κρύνει φυσικά, ώστε να μη χρειάζεται μηχανικός κλιματισμός (Foster & Partners). Επιπλέον, με βάση την τοποθέτηση του ήλιου σε σχέση με το κτίριο, το νότιο άκρο είναι επικαλυμμένο σε σκιά, ενώ το βόρειο άκρο έχει επαρκή σκίαση (Sherman).



Εικόνα 5.5 Η δενδροφύτευση και τα μεταλλικά διάτρητα σκίαστρα. Πηγή: <https://alieparent.wordpress.com/2014/09/25/lycee-abert-camus-building-and-its-energies/>



Εικόνα 5.6 Σκίτσο της τομής με τη βιοκλιματική λειτουργία του φυσικού αερισμού – φωτισμού και εσωτερική εικόνα του διαδρόμου κίνησης Πηγή: <https://alieparent.wordpress.com/2014/09/25/lycee-abert-camus-building-and-its-energies>

## 6. Συμπεράσματα πρώτου μέρους.

Ο σωστός σχεδιασμός σχολικών κτιρίων, υιοθετώντας αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού, μπορεί να μειώσει σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας και ταυτόχρονα να έχει πολλαπλά οφέλη για την υγεία και την απόδοση των μαθητών και καθηγητών/δασκάλων. Ο ήλιος και η ενέργεια που αυτός προσφέρει αποτελεί τη βασική παράμετρο για τον βιοκλιματικό σχεδιασμό κτιρίων. Η συντριπτική πλειοψηφία των σχολικών κτιρίων στην Ελλάδα λειτουργούν την ημέρα, γεγονός που σημαίνει ότι ο ήλιος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ανεξάντλητη και δωρεάν φωτεινή πηγή για τον φωτισμό των κτιρίων και των αιθουσών.

Εξαιτίας της αστάθειας του διαθέσιμου εξωτερικού φωτός, ή έρευνα μιας σχολικής μονάδος προϋποθέτει την ανάλυση της επίδρασης του ήλιου ώστε να αξιοποιηθεί κατάλληλα η φυσική πηγή για επαρκή και ομοιόμορφο φωτισμό των μονάδων, αποφεύγοντας φαινόμενα όπως αυτό της θάμβωσης και της υπερθέρμανσης των χώρων. Προτείνεται να μελετάται η χρήση και η τοποθέτηση συστημάτων σκίασης και ραφιών σκίασης-ανακλαστήρων για την σκίαση και την ενίσχυση του φωτισμού, την αποφυγή της θάμβωσης, τη μείωση των θερμικών φορτίων και εν γένει τη μέγιστη θερμική και οπτική άνεση των χρηστών.

Επιπρόσθετα και όποτε απαιτείται, ο σωστός σχεδιασμός πρέπει να προβλέπει την ενίσχυση και τυχόν αντικατάσταση με επαρκή και ποιοτικό τεχνητό φωτισμό. Αντίστοιχα η επιλογή των δομικών υλικών και των χαρακτηριστικών τους (λαμπρότητα, ανακλαστικότητα, θερμοχωρητικότητα κ.α) πρέπει να συνεκτιμηθεί μαζί με την όλο και μεγαλύτερη διείσδυση λείων οθονών και υπολογιστών στις αίθουσες που εντείνουν το φαινόμενο της θάμβωσης.

Το κυριότερο πρόβλημα σε ό,τι αφορά την μελέτη φυσικού φωτισμού σε σχολική αίθουσα στον Ελλαδικό χώρο είναι ότι αφενός είναι επιθυμητό ο φυσικός φωτισμός να διαχέεται ομοιόμορφα και να διεισδύει μέχρι το βάθος της σχολικής αίθουσας παράλληλα με την ενίσχυση των θερμικών φορτίων την χειμερινή περίοδο και αφετέρου η αίθουσα πρέπει να σκιάζεται επαρκώς και να αποφεύγονται φαινόμενα θάμβωσης και υπερθέρμανσης τους θερινούς μήνες λειτουργίας της σχολικής μονάδος. Οι ανάγκες αυτές έρχονται σε αντίθεση μεταξύ τους, δεδομένου ότι τα



συστήματα σκίασης και αποφυγής της θάμβωσης μειώνουν τα επίπεδα φυσικού φωτισμού στο χώρο, καθώς και τα θερμικά κέρδη τον χειμώνα, και γι' αυτό απαιτείται προσοχή κατά τη διαδικασία σχεδιασμού.

Ο τελικός στόχος είναι, αξιοποιώντας διάφορες τεχνικές σκιασμού και φωτοενίσχυσης, να επιτύχουμε οπτική άνεση για τους μαθητές και εργαζόμενους, με τη λιγότερη δυνατή κατανάλωσης ενέργειας.

## ΔΕΥΤΕΡΟ ΜΕΡΟΣ

### 7. Περιοχή μελέτης.

#### 7.1. Κλιματολογικά δεδομένα περιοχής μελέτης

Για της ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα εξεταστεί μία τυπική αίθουσα διδασκαλίας στην περιοχή των Ιωαννίνων. Τα Ιωάννινα βρίσκονται στη βορειοδυτική Ελλάδα σε γεωγραφικό πλάτος **39,4°** και μήκος **20,5°** και υψόμετρο κοντά στα 500m. Το κλίμα στο Λεκανοπέδιο των Ιωαννίνων χαρακτηρίζεται ως ηπειρωτικό υγρό. Το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης κυμαίνεται από 1.000mm έως 1.200mm, για την περίοδο 1951-1990 (βλ. Πίνακα 7-1). Συγκεκριμένα το 70% του υετού παρατηρείται τη χειμερινή περίοδο (Οκτώβριος-Μάρτιος) και το υπόλοιπο 30% τη θερινή περίοδο (Απρίλιος-Σεπτέμβριος).

*Πίνακας 7-1 Μέση μηνιαία και ετήσια βροχόπτωση Πηγή: Ε.Μ.Υ., Υπουργείο Γεωργίας, Γ.Π.Σ. Ιωαννίνων.*

Μήνας	Σταθμός Ιωαννίνων (ΕΜΥ 1951-1988)	Σταθμός Ιωαννίνων (ΕΜΥ 1956-1997)	Σταθμός Ιωαννίνων (ΥΠΓΕ 1967-1989)
Ιανουάριος	160,0	124,2	138,0
Φεβρουάριος	130,3	111,6	112,2
Μάρτιος	101,6	95,4	104,0
Απρίλιος	75,7	76,0	75,4
Μάιος	72,9	69,3	69,7
Ιούνιος	48,1	43,5	40,8
Ιούλιος	29,8	32,0	42,6
Αύγουστος	28,4	31,2	38,1
Σεπτέμβριος	61,2	54,0	57,7

Οκτώβριος	109,5	99,5	107,1
Νοέμβριος	171,4	167,9	151,5
Δεκέμβριος	168,8	174,9	145,5
<b>Χειμερινό εξάμηνο (Οκτ. – Μαρ.)</b>	<b>841,6</b>	<b>773,5</b>	<b>758,3</b>
<b>Θερινό εξάμηνο (Απρ. – Σεπ.)</b>	<b>316,1</b>	<b>306,0</b>	<b>324,3</b>
<b>Έτος</b>	<b>1157,7</b>	<b>1079,5</b>	<b>1082,6</b>

Η θερμοκρασία στην περιοχή έχει μεγάλες διακυμάνσεις, με ετήσιο θερμοκρασιακό εύρος 20,1 °C. Η μέση ετήσια τιμή της ήταν 14,7°C για την περίοδο 1931-40 & 1950-75 και 14,3°C για την περίοδο 1956-97. Οι μέγιστες τιμές της θερμοκρασίας είναι τον Ιούλιο και Αύγουστο (24,8 και 24,3°C) και η ελάχιστη τον Ιανουάριο (4,7°C). Η μεγάλες διακυμάνσεις οφείλονται στα και στην χαμηλή-μέση βλάστηση της παραλίμνιας περιοχής.

Πίνακας 7-2 Ελάχιστη μηνιαία, Μέση μηνιαία και μέγιστη μηνιαία Θερμοκρασία (οC). Περίοδος 1956-1997. Πηγή: E.M.Y.

<b>1<sup>ο</sup> Εξάμηνο</b>	<b>Ιαν</b>	<b>Φεβ</b>	<b>Μαρ</b>	<b>Απρ</b>	<b>Μαϊ</b>	<b>Ιουν</b>
Ελάχιστη Μηνιαία Θερμοκρασία	0,2	1,0	3,2	5,9	9,6	12,8
Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία	4,7	6,1	8,8	12,4	17,4	21,9
Μέγιστη Μηνιαία Θερμοκρασία	10,1	11,5	14,4	17,7	23,0	27,6
<b>2<sup>ο</sup> Εξάμηνο</b>	<b>Ιουλ</b>	<b>Αυγ</b>	<b>Σεπ</b>	<b>Οκτ</b>	<b>Νοε</b>	<b>Δεκ</b>
Ελάχιστη Μηνιαία Θερμοκρασία	14,9	15,0	12,2	8,5	4,7	1,8





Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία	24,8	24,3	20,1	14,9	9,7	5,9
Μέγιστη Μηνιαία Θερμοκρασία	30,8	30,9	26,7	21,2	15,5	11,1

Η μέση ετήσια σχετική υγρασία φτάνει το 67% (πίνακας 7.3), , η εξάτμιση από την επιφάνεια της λίμνης ανέρχεται σε 800mm περίπου.

Πίνακας 7-3 Μέση μηνιαία υγρασία (%). Περίοδος 1956-1997. Πηγή: Ε.Μ.Υ.

1 <sup>ο</sup> Εξάμηνο	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν
Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία	76,9	73,7	69,5	67,7	65,9	59,1
2 <sup>ο</sup> Εξάμηνο	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία	52,4	54,4	63,6	70,8	79,8	81,5

Η ένταση των ανέμων στην περιοχή είναι περιορισμένη. Στον Πίνακα 7-4 δίνονται οι μέσες μηνιαίες τιμές της ταχύτητας του ανέμου του μετεωρολογικού σταθμού Ιωαννίνων κατά την περίοδο 1951-70 και 1956-97.

Πίνακας 7-4 Μέση Σχετική υγρασία αέρα (%) ταχύτητα (μ/δλ) σε Beaufort και διεύθυνση ανέμων. Πηγή: Ε.Μ.Υ, Γ.Π.Σ. Ιωαννίνων

Μήνας	Μέση Σχετική υγρασία (1931-40 & 1950-75)	Μέση Σχετική υγρασία (1956-1997)	Μέση Ταχύτητα Ανέμου (1931-40 & 1950-75)	Μέση Ταχύτητα Ανέμου (μ/δλ) (1956-1997)	Επικρατούσα διεύθυνση ανέμων (1956-1997)
Ιανουάριος	77	77	0,9	1,5	SE
Φεβρουάριος	75	74	1,0	1,5	SE



Μάρτιος	69	69	1,2	1,6	SE
Απρίλιος	67	68	1,2	0,7	NW
Μάιος	65	66	1,0	0,3	NW
Ιούνιος	59	59	1,0	0,1	NW
Ιούλιος	51	52	1,2	0,2	W
Αύγουστος	51	54	1,0	0,3	NW
Σεπτέμβριος	62	64	0,9	0,4	W
Οκτώβριος	71	71	1,0	1,1	SE
Νοέμβριος	80	80	0,7	0,5	SE
Δεκέμβριος	81	81	0,7	0,8	SE
<b>Μέσος όρος</b>	<b>67</b>	<b>68</b>	<b>0,9</b>		

Η ηλιοφάνεια στην περιοχή είναι πολύ μικρή για τα δεδομένα του Ελλαδικού χώρου εξαιτίας της συχνής νεφοκάλυψης. Οι μέσες μηνιαίες τιμές πραγματικής ηλιοφάνειας (βλ. Πίνακα 7-5) κυμαίνονται από 30-69%.

Πίνακας 7-5 Στοιχεία ηλιοφάνειας Πηγή: Ε.Μ.Υ., Κ.Α.Π.Ε.

Μήνας	Ώρες ηλιοφάνειας (h)	Ημέρες με βροχή	Ημέρες με χιόνι	Ημέρες με ομίχλη	Ημέρες με καταιγίδα
Ιανουάριος	93,8	12,4	1,9	5,4	1,9
Φεβρουάριος	97,6	11,4	2,1	3	2,1
Μάρτιος	145,6	12,2	1,1	2,3	2,2
Απρίλιος	127,2	12,5	0	1,6	2,5
Μάιος	244,2	10,8	0	1,5	5
Ιούνιος	269,1	6,8	0	0,9	5,2
Ιούλιος	319,8	4,8	0	0,3	4,8

Αύγουστος	299	4,7	0	0,2	4,6
Σεπτέμβριος	222,6	6,4	0	1,6	3,6
Οκτώβριος	179,4	9,7	0	5	3,3
Νοέμβριος	117	13,6	0,2	7,4	3,9
Δεκέμβριος	86,7	14,6	1	6,5	2,7
<b>Σύνολο έτους</b>	<b>2252</b>				

Συμπερασματικά το μεσόκlima της περιοχής είναι τυπικό ηπειρωτικό-παραλίμνιο. Το μικροκλίμα επηρεάζεται από την λίμνη Παμβώτιδα και παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και μεγάλες τιμές υγρασίας. Η παρακείμενη βλάστηση και το επικρατούν υγρό στοιχείο μετριάζουν την αίσθηση ζέστης το καλοκαίρι. Η περιοχή έχει την χαμηλότερη ηλιοφάνεια στον ελλαδικό χώρο (Matzarakis Andreas et al., 2005) και χαμηλής έντασης άνεμους.

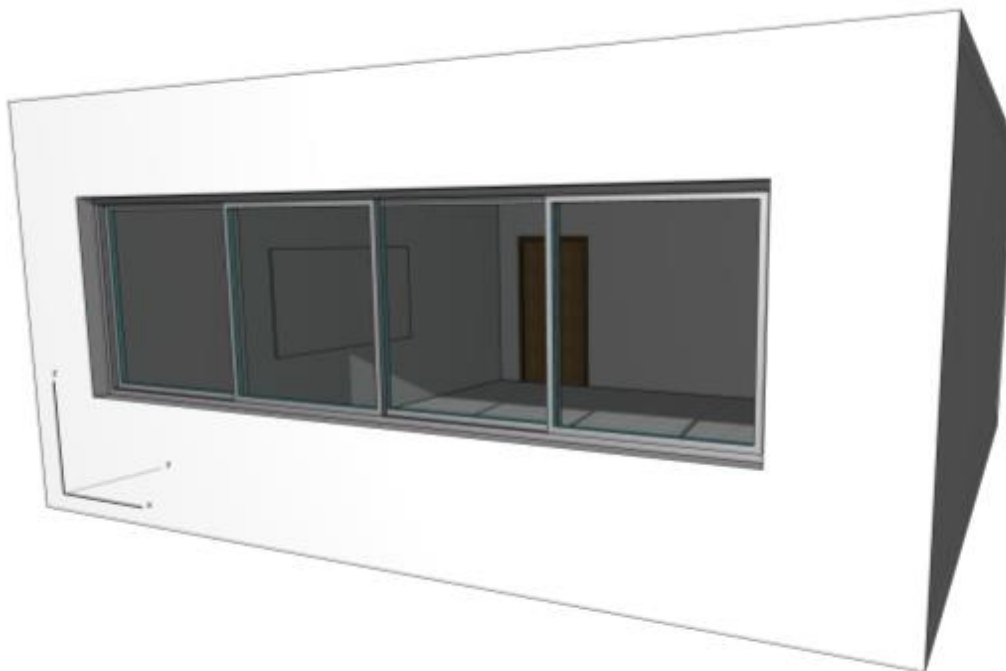
## 8. Τυπική αίθουσα μελέτης - σύνθεση & μοντελοποίηση.

### 8.1. Σύνθεση κελύφους τυπικής αίθουσας χωρίς σύστημα σκίασης – περιγραφή διάταξης.

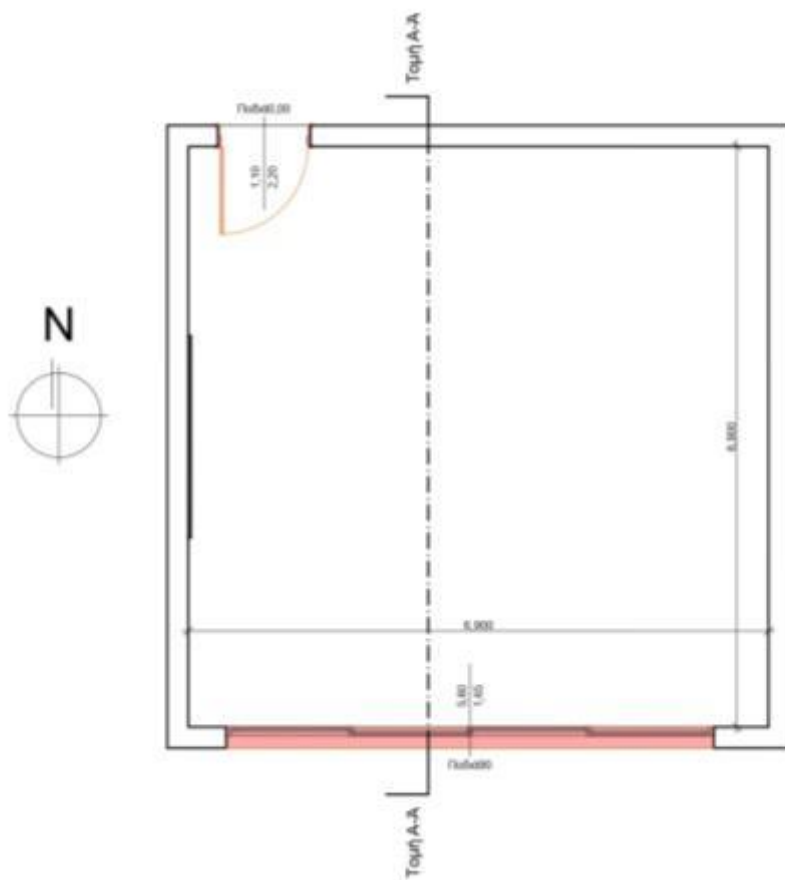
Η αίθουσα, που θα προσομοιωθεί σε λογισμικό, είναι μία τυπική αίθουσα του προγράμματος ανέγερσης δημοσίων σχολείων του Ο.Σ.Κ., εσωτερικών διαστάσεων **6,90mX6,90mX3,20m** (ΜΧΠΧΥ) και συνολικού εμβαδού  $E=47,61\text{m}^2$ , νότια προσανατολισμένη, τοποθετημένη σε ελεύθερο ορίζοντα χωρίς εξωγενής σκιάσεις.

Η αίθουσα δέχεται νότιο ηλιασμό από ένα παράθυρο διαστάσεων  $5,80\text{mX}1,65\text{m} = 9,57\text{m}^2$ , άνοιγμα το οποίο καλύπτει τις απαιτήσεις φωτισμού του κτιριοδομικού κανονισμού (Υ.Α. 3046/304/ΦΕΚ 59Δ/03-02-1989) και της απόφασης υπουργού παιδείας (Υ.Α. 77053/2006 ΦΕΚ1149Β'/25-08-2006) για απαίτηση ελάχιστης φωτιστικής επιφανείας τουλάχιστον **20%** του δαπέδου της αίθουσας. Αναλυτικότερα:

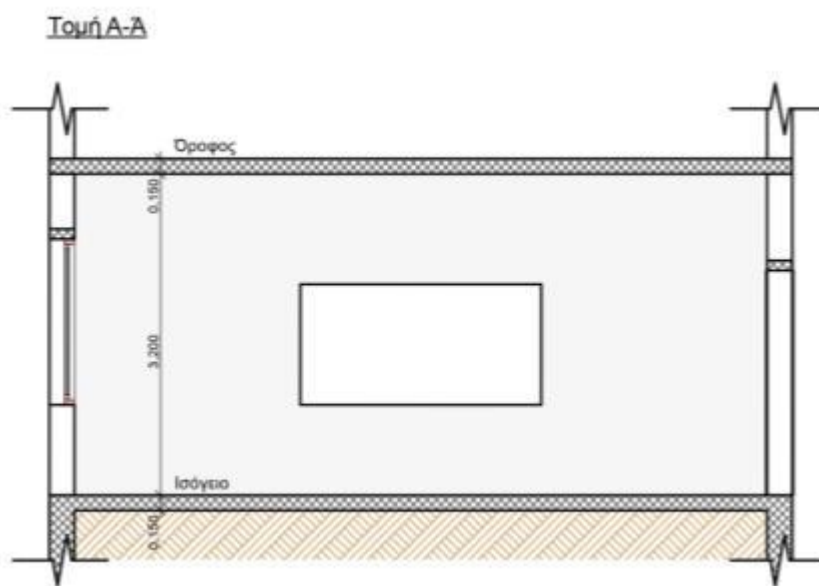
$$E_{\Phi.20\%} = 47,61 \cdot 20\% = 9,522 \text{ m}^2 < 9,57 \text{ m}^2$$



Εικόνα 8.1 Τρισδιάστατη απεικόνιση της τυπικής αίθουσας διδασκαλίας. Πηγή: Προσωπικό αρχείο, επεξεργασία σε ArchiCAD22©.



Εικόνα 8.2 Κάτοψη της τυπικής αίθουσας διδασκαλίας. Πηγή: Προσωπικό αρχείο, επεξεργασία σε ArchiCAD22©

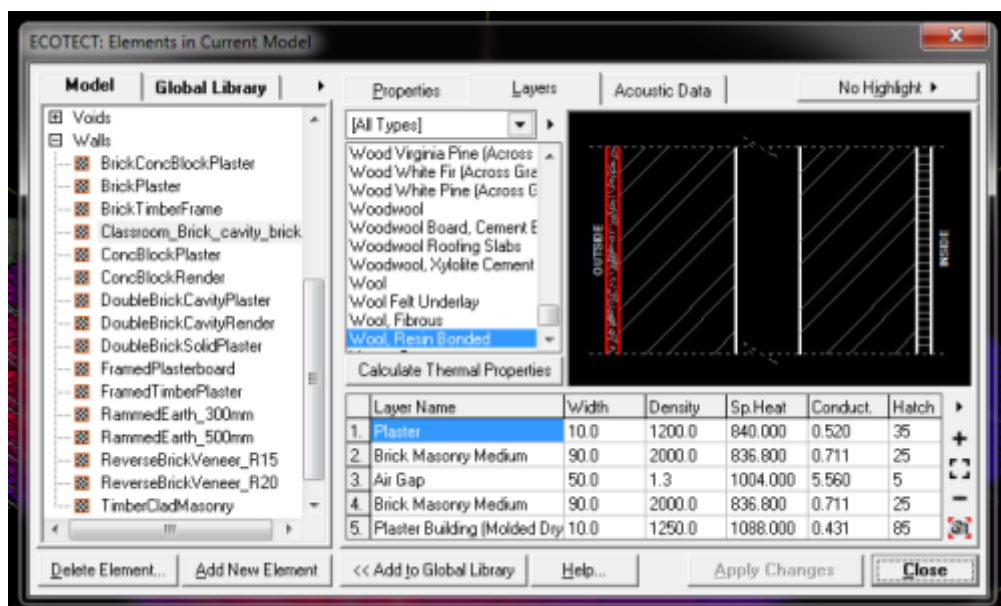


Εικόνα 8.3 Τομή Α-Α της τυπικής αίθουσας διδασκαλίας. Πηγή: Προσωπικό αρχείο, επεξεργασία σε ArchiCAD22©

## 8.2. Προσομοίωση τυπικής αίθουσας διδασκαλίας.

Η αίθουσα θα προσομοιωθεί στο εμπορικό λογισμικό Autodesk Ecotect© V5.5 για τη μελέτη ηλιασμού και σκιασμού και σε συνδυασμό με το open source εξειδικευμένο λογισμικό Radiance©. για την εύρεση δεικτών φυσικού φωτισμού και θάμβωσης.

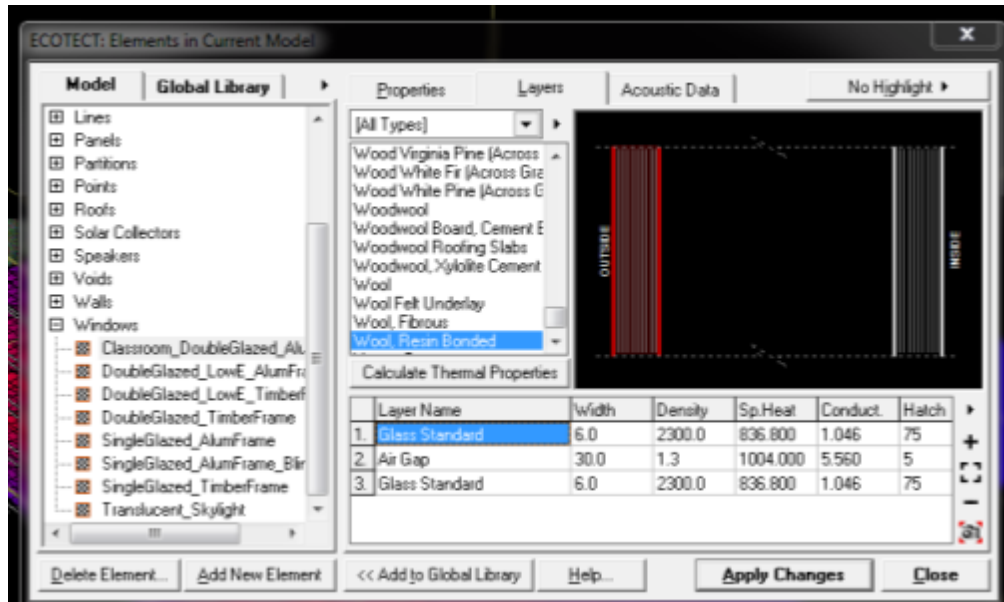
Οι τοίχοι της αίθουσας ορίζονται ως διπλοί δρομικοί, επιχρισμένοι και στις δύο όψεις, με διάκενο αέρα 0,05m (βλ. παρακάτω εικόνα), αμόνωτοι -χαρακτηριστικοί της πλειοψηφίας των υπαρχόντων σχολικών κτιριακών υποδομών. Το συνολικό πάχος τους είναι 0,25m. Η **ανακλαστικότητα των τοίχων** ορίζεται σε **0,60** (κλίμακα 0-1) - σοβατισμένοι και βαμμένοι με ελαφριά απόχρωση (βλ Πίνακα 3.15, Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017 Υ.Α. ΦΕΚ4003/Β/17-11-2017).



Εικόνα 8.4 Προσομοίωση των υλικών και συντελεστών τοίχου στο λογισμικό Ecotect© V5.5 Πηγή: Προσωπικό αρχείο, επεξεργασία σε Ecotect© V5.5.

Η οροφή είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα με την κάτω επιφάνεια επιχρισμένη και βαμμένη με ελαφριά απόχρωση **ανακλαστικότητας 0,80** (0-1). Το δάπεδο είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα με επικάλυψη από μάρμαρο **ανακλαστικότητας 0,30** (0-1).

Τέλος το κούφωμα είναι με διπλό υαλοπίνακα 6mm με διάκενο 30mm και πλαίσιο αλουμινίου χωρίς θερμοδιακοπή. Η ανακλαστικότητα των υαλοστασίων ορίζεται στο **0,11** (0-1), με διαπερατότητα 0,82 (transparency) (0-1).



Εικόνα 8.5 Προσομοίωση των υλικών και συντελεστών κουφώματος στο λογισμικό Ecotect© V5.5 Πηγή: Προσωπικό αρχείο, επεξεργασία σε Ecotect© V5.5.

Για τη μελέτη των επιπέδων φυσικού φωτισμού χρησιμοποιείται ανάλυση με δισδιάστατα πεπερασμένα στοιχεία στο Ecotect©. Ο κάνναβος των πεπερασμένων στοιχείων διαστάσεων 1X1cm τοποθετείται σε απόσταση **740mm** από το δάπεδο, όσο ακριβώς είναι η επιφάνεια ενός θρανίου δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης (Εικόνα 8-6). Οι επιφάνειες των θρανίων δεν προσομοιώθηκαν καθώς έχουν ανεπαίσθητη επίδραση στα τελικά αποτελέσματα και τυχόν λάθη στις εκτιμήσεις των τιμών ανακλαστικότητας κτλ μπορεί να οδηγήσουν σε λάθος συμπεράσματα. (Μερέση, 2010).



1200x400mm  
Ύψος: 740mm



1200x800mm

*Εικόνα 8.6 Διαστάσεις τυπικού σχολικού θρανίου και πίνακα δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Πηγή: κτιριακές υποδομές Α.Ε. (ΚΤΥΠ)*

[https://www.ktyp.gr/files/prodiagrafes/exoplismoi\\_sxoleiwn/OSK\\_eidi\\_exoplismou.pdf](https://www.ktyp.gr/files/prodiagrafes/exoplismoi_sxoleiwn/OSK_eidi_exoplismou.pdf)

### **8.3. Ηλιασμός και επίπεδα φυσικού φωτισμού τυπικής σχολικής αίθουσας διδασκαλίας χωρίς σύστημα σκίασης.**

Η τυπική αίθουσα διδασκαλίας, χωρίς σύστημα σκίασης, μελετάται για τον φυσικό φωτισμό και τη θάμβωση που προκαλείται το χειμερινό ηλιοστάσιο (21<sup>η</sup> Δεκεμβρίου) στα Ιωάννινα όπου η ηλιακή ακτινοβολία είναι η ελάχιστη δυνατή και η τροχιά του ήλιου στο χαμηλότερο σημείο του ορίζοντα, επίσης την εαρινή/χειμερινή ισημερία (21<sup>η</sup> Μαρτίου/21<sup>η</sup> Σεπτεμβρίου) όπου ο ήλιος είναι στο ενδιάμεσο σημείο. Ο έλεγχος γίνεται σε τρεις διαφορετικές χρονικές στιγμές της ημέρας 09:00, 12:00 και 15:00 (για τη περίπτωση ολοήμερου σχολείου).

Αρχικά μελετάται ο ηλιασμός στο μοντέλο της αίθουσας που προέκυψε από στο περιβάλλον του Autodesk Ecotect®, έτσι την 21<sup>η</sup> Δεκεμβρίου (βλ. εικόνα 8-7) παρατηρείται έντονη διείσδυση άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας ήδη από τις 09:00 η οποία διαρκεί μέχρι τις 15:00 που εξηγείται από την χαμηλή τροχιά του ήλιου τον χειμώνα. Η γωνία κίνησης του ήλιου προκαλεί ηλιασμό σε μεγάλες επιφάνειες τις αίθουσας. Μπορούμε να υποθέσουμε ότι οι χρήστες του χώρου έρχονται αντιμέτωποι με φαινόμενα άμεσης και έμμεσης θάμβωσης καθ όλη τη διάρκεια της ημέρας.

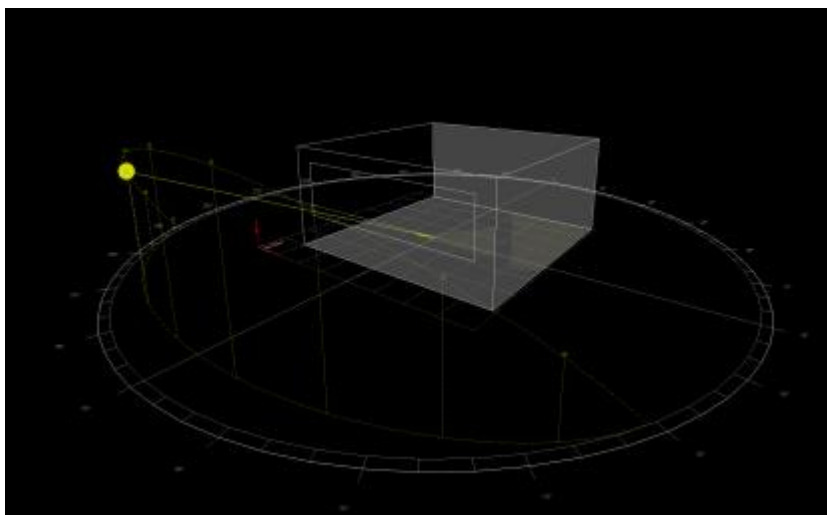
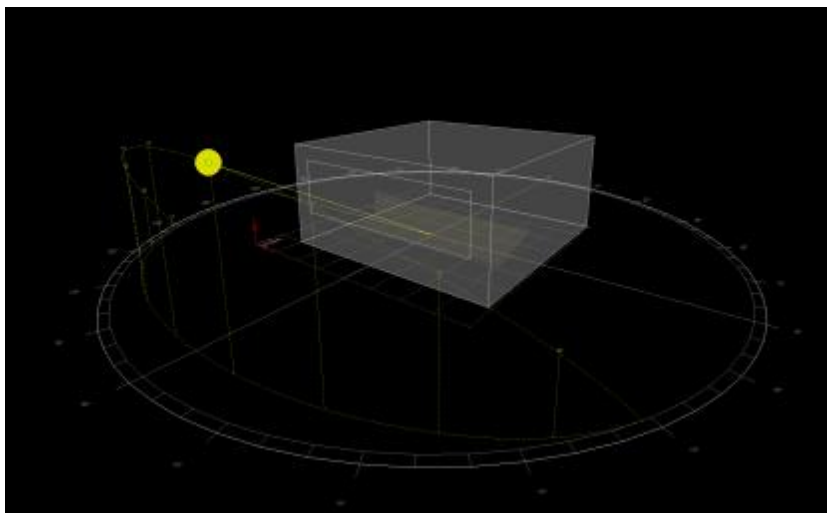
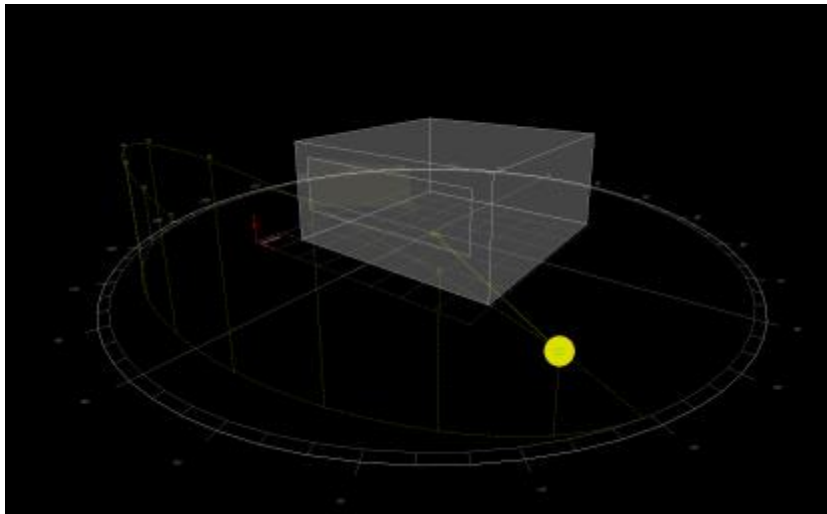
Την εαρινή/φθινοπωρινή ισημερία (αποτελούν συμμετρικές ημερομηνίες από άποψη ηλιασμού) παρατηρείται επίσης διείσδυση των ακτινών του ήλιου στην



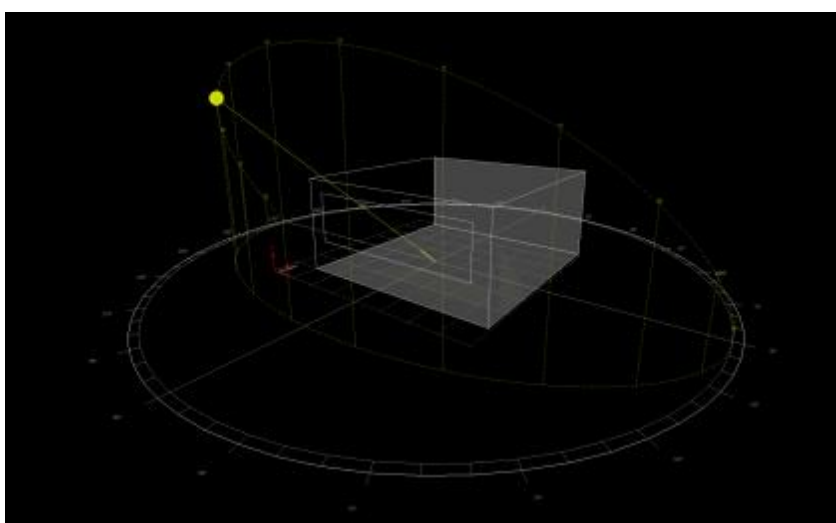
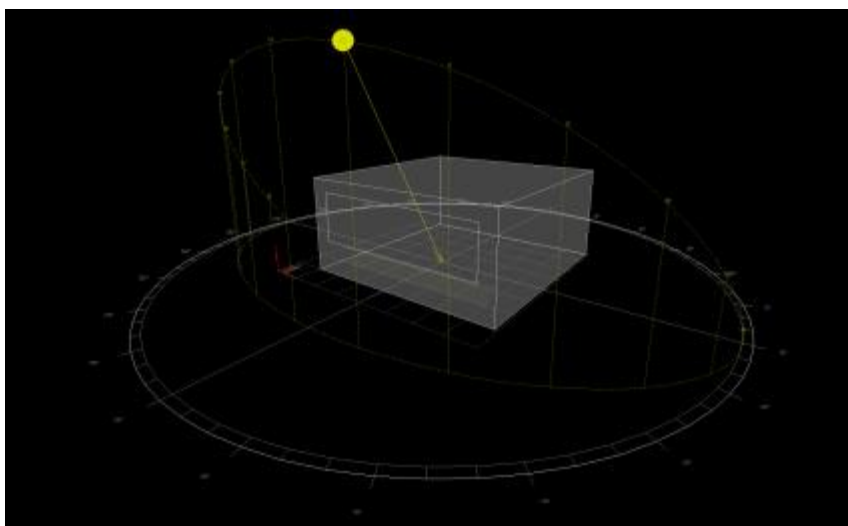
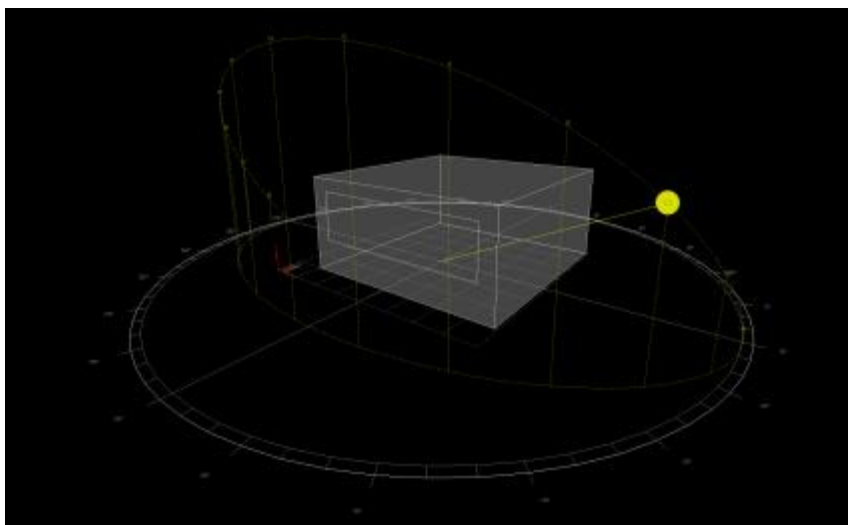
αίθουσα (βλ. εικόνα 8-8). Η κατάσταση εδώ είναι σαφώς καλύτερη από το χειμερινό ηλιοστάσιο αλλά και πάλι οι χρήστες της αίθουσας θα βιώνουν φαινόμενα θάμβωσης.

Η αίθουσα δεν μελετάται το θερινό ηλιοστάσιο (21<sup>η</sup> Ιουνίου) κυρίως γιατί ο ήλιος είναι στο υψηλότερο σημείο της τροχιάς του (βλ. εικόνα 8-9) ώστε να μην προκαλεί φαινόμενα θάμβωσης, καθώς οι ακτίνες του ήλιου προσπίπτουν άμεσα μόνο σε μία μικρή περιοχή κοντά στο άνοιγμα και δευτερεύοντος γιατί τα σχολεία είναι κλειστά ή είναι κοντά στην ημερομηνία που κλείνουν για τις θερινές διακοπές.

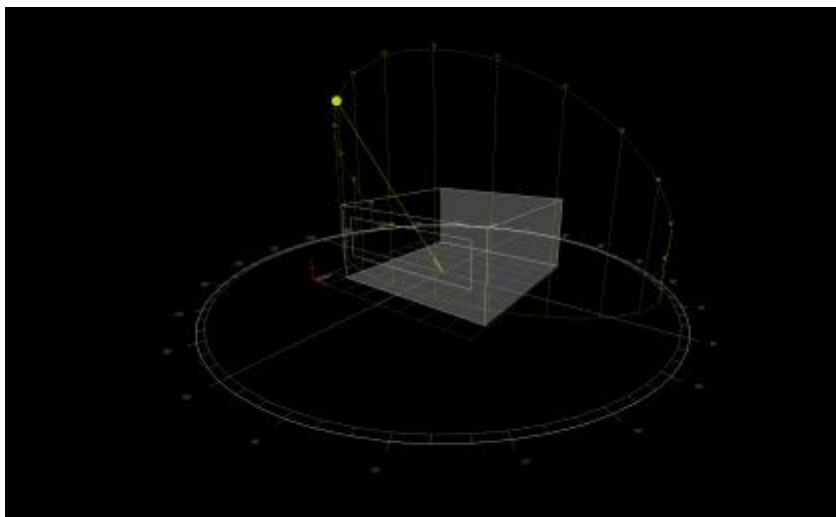
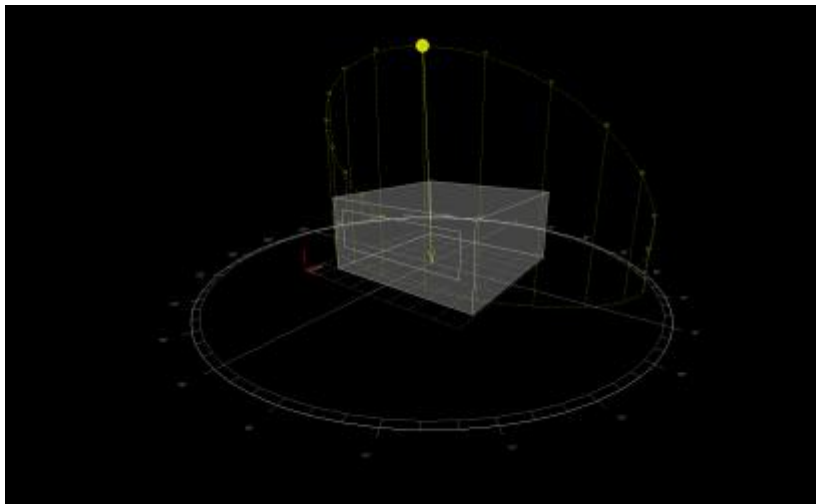
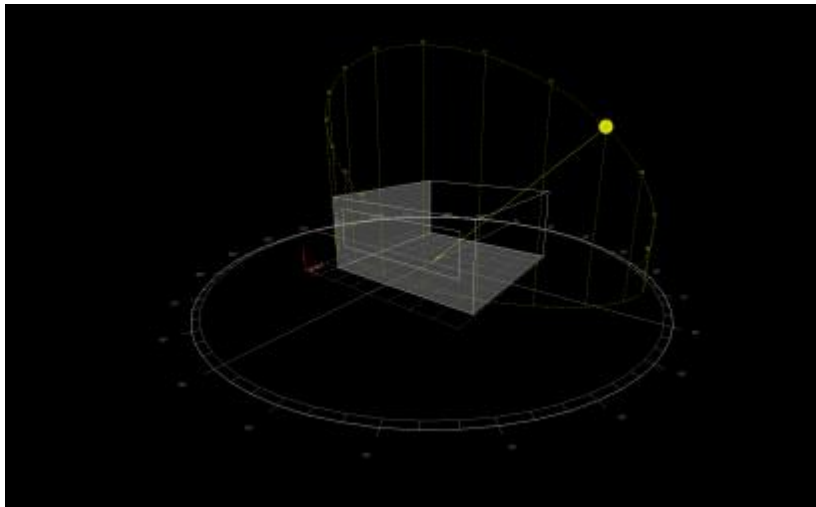




Εικόνα 8.7 Ηλιασμός τυπικής σχολικής αίθουσας στα Ιωάννινα στις 21 Δεκεμβρίου και ώρες 9:00, 12:00, 15:00 Πηγή: Ecotect© V5.5.

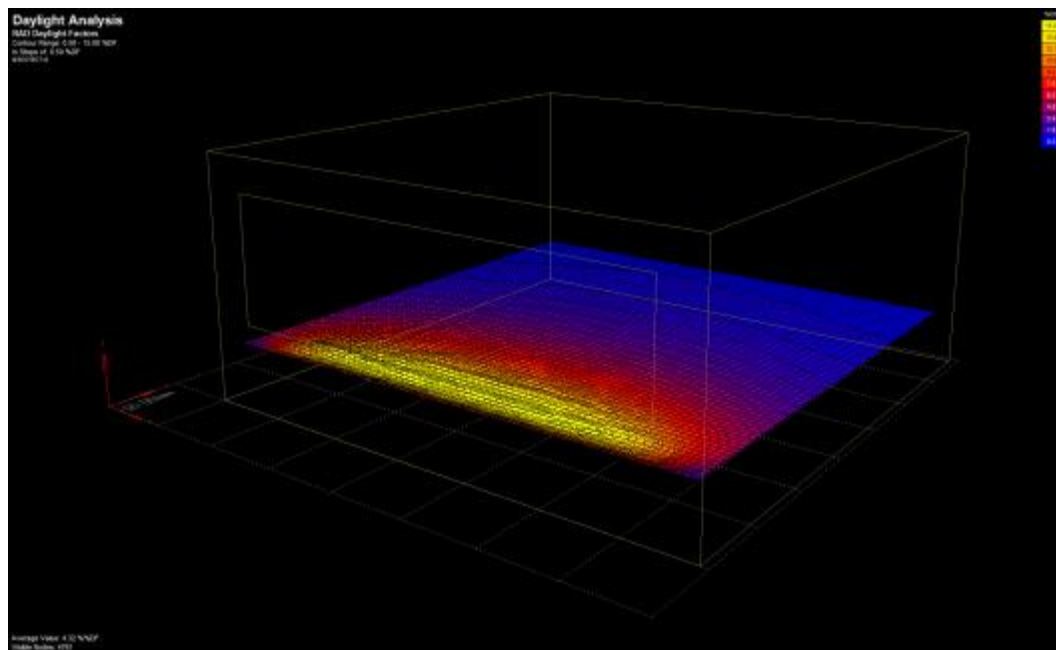
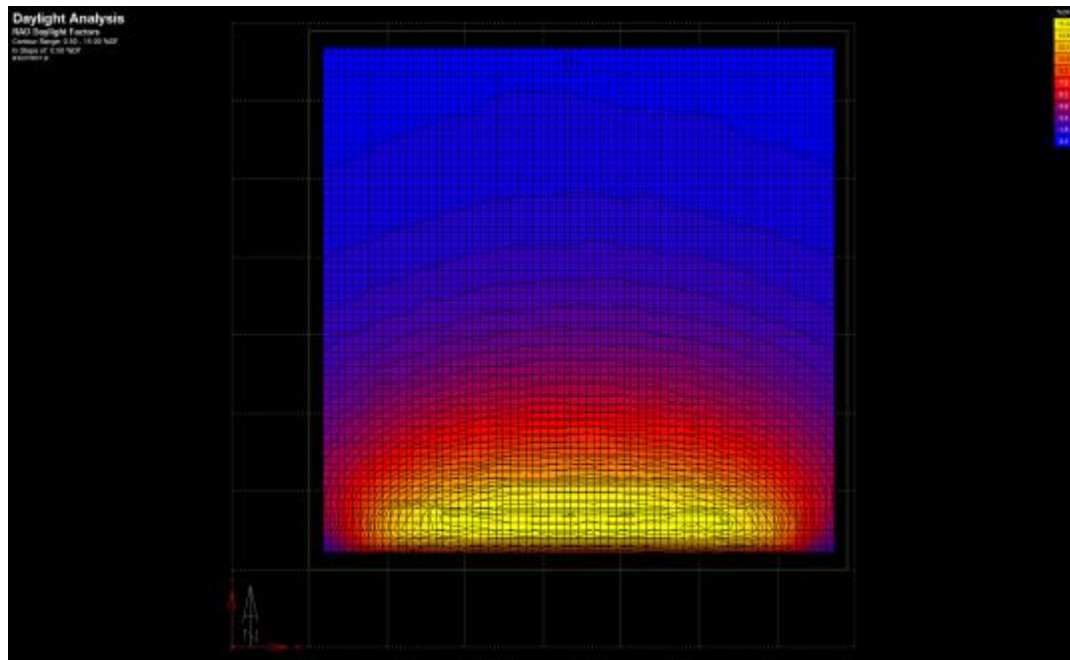


*Εικόνα 8.8 Ηλιασμός τυπικής σχολικής αίθουσας στα Ιωάννινα στις 21 Μαρτίου και ώρες 9:00,12:00,15:00 Πηγή: Ecotect© V5.5.*



Εικόνα 8.9 Ηλιασμός τυπικής σχολικής αίθουσας στα Ιωάννινα στις 21 Ιουνίου και ώρες 9:00, 12:00, 15:00 Πηγή: Ecotect© V5.5.

Περαιτέρω μελετάται η κατανομή του φυσικού φωτισμού της τυπικής αίθουσας χωρίς σύστημα σκίασης. Η μελέτη γίνεται με τον συντελεστή φυσικού φωτισμού DF (Daylight factor) που όπως αναφέρθηκε είναι ανεξάρτητος της θέσης της αίθουσας (προσανατολισμός, γεωγραφική τοποθεσία) και αφορά νεφοσκεπή ουρανό.



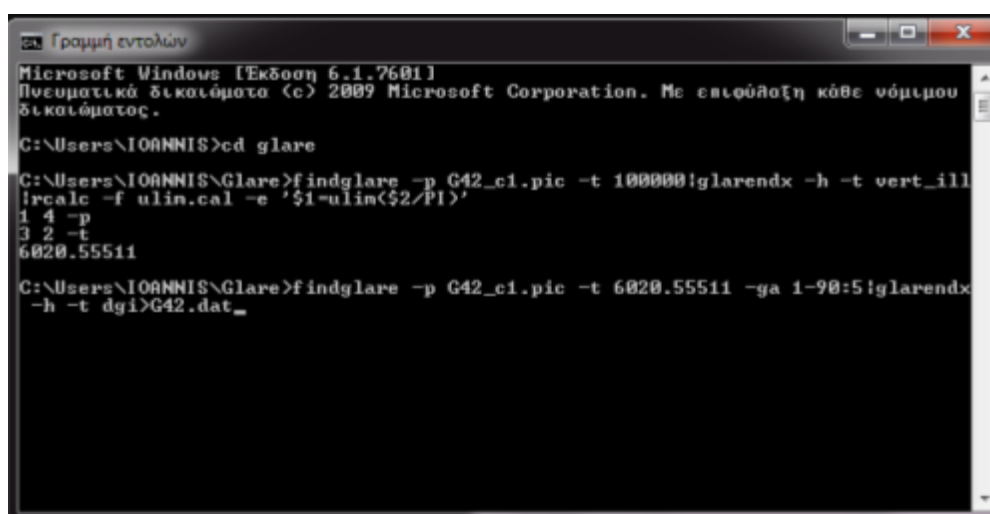
Εικόνα 8.10 Κάνναβος τιμών DF (Σ.Φ.Φ.) στην τυπική αίθουσα χωρίς σύστημα σκίασης, Scale 0,50 – 15,00+, Step 0,50. Πηγή: Ecotect© V5.5.

Με την μελέτη του DF από την μοντελοποίηση στο λογισμικό Autodesk Ecotect© και υπολογισμούς στο Radiance©, για την τυπική αίθουσα, η οποία δεν περιλαμβάνει κανένα σύστημα σκίασης, προκύπτουν τιμές που κυμαίνονται από (min) 0,75% στο βάθος της αίθουσας και (max) 15,87% περίπου 0,40-0,60m από το παράθυρο. Η μέση τιμή του DF στην αίθουσα είναι  $DF_{Average} = 4,32\%$ , τιμή που υπερβαίνει κατά πολύ το όριο του 2%, αλλά παρουσιάζεται ανομοιομορφία φυσικού φωτισμού με  $DF_{min}/DF_{max} = 0,05$  πολύ μικρότερο του ορίου 0,16.

Στην τυπική αίθουσα σχολικής μονάδος που εξετάζεται, η μέση τιμή του DF είναι πάνω από το όριο ώστε να μην απαιτείται η χρήση τεχνητού φωτισμού αλλά αντίστοιχα στην αίθουσα επικρατεί μεγάλη ανομοιομορφία στον φωτισμό ώστε στις περιοχές της αίθουσας που είναι κοντά στο παράθυρο οι τιμές φυσικού φωτισμού είναι υπερβολικά υψηλές ενώ αντίστοιχα στις απομακρυσμένες περιοχές στο βάθος της αίθουσας οι τιμές είναι υπερβολικά χαμηλές.

#### 8.4. Προσομοίωση της θάμβωσης τυπικής σχολικής αίθουσας διδασκαλίας χωρίς σύστημα σκίασης.

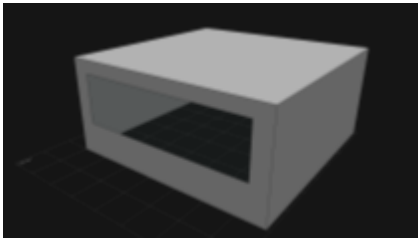

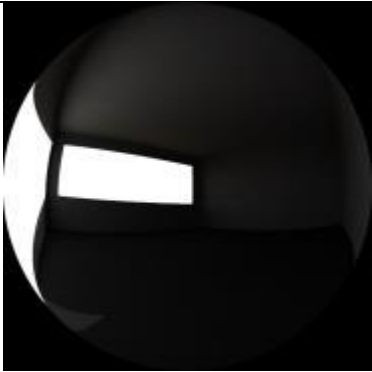

Στην τυπική αίθουσα διδασκαλίας χωρίς σύστημα σκίασης μελετάται επίσης και η θάμβωση και συγκεκριμένα εξάγονται οι τιμές του δείκτη θάμβωσης από φυσικό φωτισμό DGI (Daylight Glare Index) με το λογισμικό Autodesk Ecotect© και υπολογισμούς στο Radiance©, μέσω ενός αλγορίθμου που συνδυάζεται με εντολές σε περιβάλλον Windows DOS©.

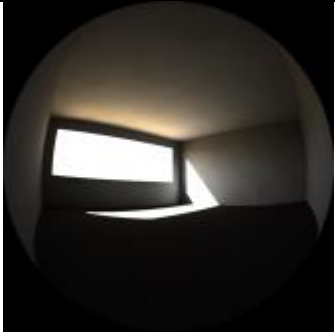

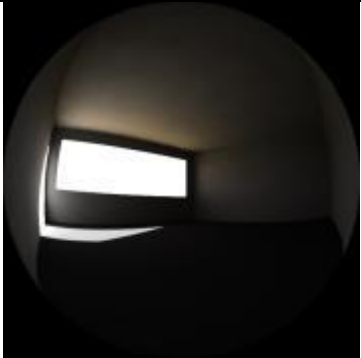


```
Γραμμή εντολών
Microsoft Windows [Έκδοση 6.1.7601]
Πνευματικά δικαιώματα (c) 2009 Microsoft Corporation. Με επιφύλαξη κάθε νόμιμου
δικαιώματος.
C:\Users\IOANNIS>cd glare
C:\Users\IOANNIS\Glare>findglare -p G42_c1.pic -t 100000!glarendx -h -t vert_ill
|rcalc -f ulin.cal -e '$1=ulin($2/PI)'
1 4 -p
3 2 -t
6020.55511
C:\Users\IOANNIS\Glare>findglare -p G42_c1.pic -t 6020.55511 -ga 1-90:5!glarendx
-h -t dgi>G42.dat_
```

Εικόνα 8.11 Γραμμή εντολών για την εξαγωγή δεικτών DGI σε Windows DOS©. Πηγή: Ι. Βλάχος

Οι τιμές του DGI εξάγονται από μια φωτορεαλιστική απεικόνιση του εσωτερικού της αίθουσας σε ημισφαιρικό φακό (fish eye view) σε διαφορετική ημερομηνία και ώρα με ηλιόλουστο ουρανό και παρουσιάζονται σε διάγραμμα (βλ. διάγραμμα 8.1) σε διαφορετικές γωνίες θέασης του εσωτερικού της αίθουσας που ξεκινούν από  $-86^\circ$  στην ακραία αριστερά πλευρά της εικόνας μέχρι  $+86^\circ$  στην αντίστοιχη δεξιά πλευρά. Μηδενικές τιμές του συντελεστή DGI σε αυτό και σε αντίστοιχο διάγραμμα αντιστοιχούν σε τιμές λαμπρότητας της εικόνας μικρότερες του 1/7. Οι τιμές του DGI δείχνουν την πιθανότητα θάμβωσης.

Αίθουσα χωρίς σύστημα σκίασης.					
Ημερομηνία	Ώρα	Min/max τιμή DGI	Μέση τιμή DGI	Φωτορεαλιστική απεικόνιση εσωτερικού αίθουσας (fish eye view)	
21/12	09:00	1,34	13,58		
		19,36			
	12:00	11,00	20,33		
		27,07			
	15:00	6,14	17,42		
		26,42			

21/03	09:00	13,73	17,54	
		21,98		
	12:00	0	19,45	
		26,05		
	15:00	12,97	19,77	
		26,48		

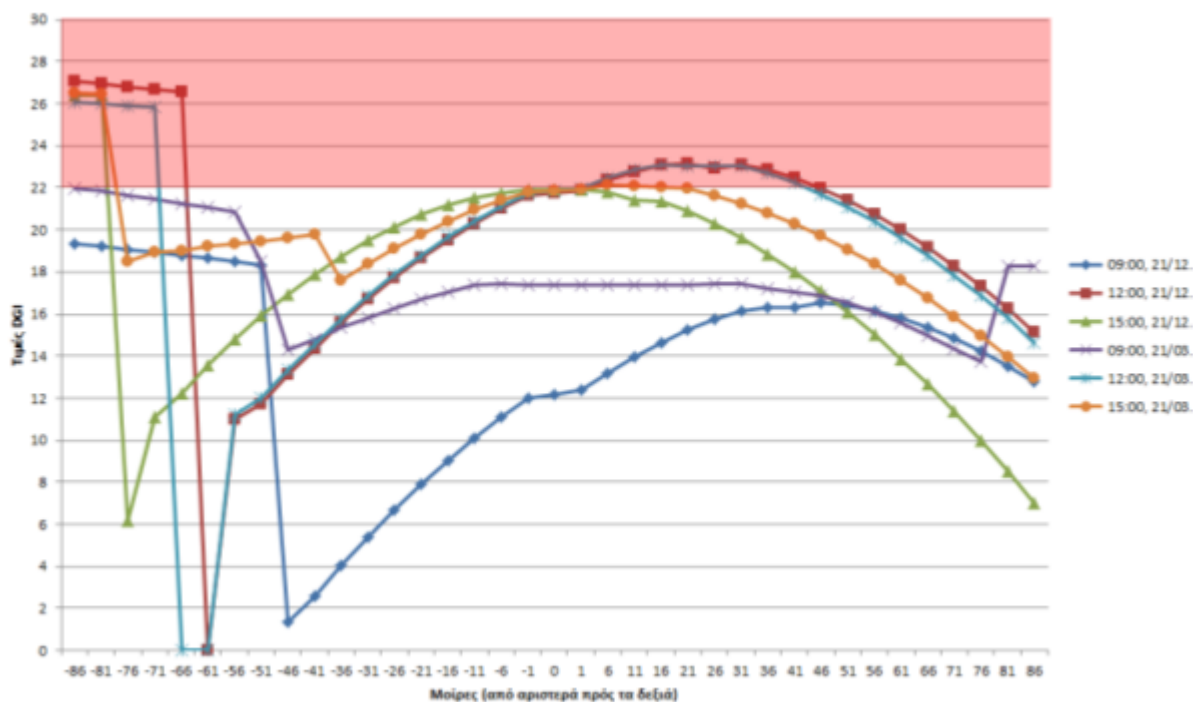
*Πίνακας 8-1 Τυπική σχολική αίθουσα, χωρίς σύστημα σκίασης, Τιμές DGI και φωτορεαλιστική απεικόνιση εσωτερικού στο λογισμικό Radiance©.*

Παρατηρούμε από το γράφημα 8-1 ότι η αίθουσα χωρίς σύστημα σκίασης παρουσιάζει αρκετές φορές σε διάφορες ημερομηνίες και ώρες, πιθανά έντονα φαινόμενα θάμβωσης λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές του δείκτη θάμβωσης DGI από τη προσομοίωση.

Συγκεκριμένα πιθανά έντονα φαινόμενα θάμβωσης παρατηρούνται την 21<sup>η</sup> Δεκεμβρίου στις 12:00 και 15:00 με τιμές του DGI που ξεπερνούν κατά πολύ το αποδεκτό όριο 22 (βλ. πίνακα 4 πρώτου μέρους) (Baker et al, 1993: 2.18). και τιμές υπερβαίνουν την μη ανεκτή θάμβωση (27,07 και 26,42) και προσεγγίζουν την



αφόρητη θάμβωση (28). Αντίστοιχα την 21<sup>η</sup> Μαρτίου στις ίδιες ώρες παρατηρούνται επίσης μεγάλες τιμές του δείκτη DGI 26,05 και 26,48 αντίστοιχα, οι οποίες όμως περιορίζονται σε μικρό τμήμα του πεδίου όρασης.



*Γράφημα 8-1 Τιμές DGI σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας χωρίς σύστημα σκίασης στο χειμερινό ηλιοστάσιο και την εαρινή/χειμερινή ισημερία στις ώρες 9:00, 12:00, 15:00.  
Πηγή: Προσωπικό αρχείο επεξεργασία δεδομένων σε Microsoft Excel.*

Από τα παραπάνω συμπεράνουμε ότι στη τυπική αίθουσα διδασκαλίας που βρίσκεται στα Ιωάννινα και έχει νότιο προσανατολισμό χωρίς κάποιο σύστημα σκίασης, η πιθανότητα παρουσίας φαινόμενων θάμβωσης είναι πολύ έντονη που απαιτεί τη χρήση συστημάτων σκίασης και ηλιοπροστασίας. Ομοίως τα επίπεδα φυσικού είναι σε υψηλά επίπεδα και η τοποθέτηση συστημάτων ηλιοπροστασίας θα συντελέσει στην μείωση τους αρκεί αυτά να μην ελαχιστοποιηθούν σε μη ανεκτά επίπεδα ώστε να απαιτείται η χρήση τεχνητού φωτισμού.

## **9. Προτεινόμενες διατάξεις συστημάτων σκίασης - ηλιοπροστασίας. Ανάλυση αποτελεσμάτων.**

Προηγουμένως μελετήθηκε η τυπική αίθουσα διδασκαλίας στα Ιωάννινα σε νότιο προσανατολισμό χωρίς σύστημα σκίασης και διαπιστώθηκε η αναγκαιότητα τοποθέτησης κάποιου συστήματος ηλιοπροστασίας. Η διεθνής βιβλιογραφία αλλά και οι Ελληνικές οδηγίες (Ο.Σ.Κ., Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. Βιοκλιματικός σχεδιασμός) σε νότια ανοίγματα συγκλίνουν στην χρήση συστημάτων προβόλων για τη σκίαση.

Καθώς η περιοχή μελέτης είναι τα Ιωάννινα που είναι η πλέον νεφοσκεπής περιοχή της Ελλάδος (Matzarakis et al., 2005) κρίνεται σημαντικό να επιλεγθεί ένα σύστημα που να αποδίδει τα υψηλότερα επίπεδα φυσικού φωτισμού. Ειδικά για την τυπική αίθουσα διδασκαλίας του Ο.Σ.Κ. και σε σχέση με τη διαχείριση του φυσικού φωτισμού σε αίθουσα στη κλιματική ζώνη Γ, προτείνεται ως αποτελεσματικότερο το σύστημα οριζόντιων εξωτερικών περσίδων (Νικολάου, 2019: 101).

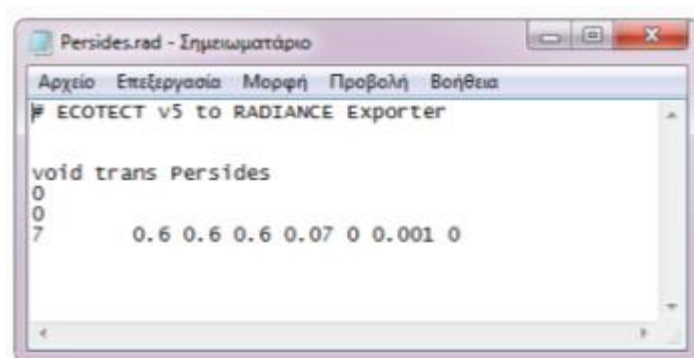
Στην παρούσα διπλωματική εργασία τα κριτήρια για την επιλογή του καταλληλότερου συστήματος ηλιοπροστασίας περιλαμβάνουν την καλύτερη διαχείριση του φυσικού φωτισμού αλλά και τον περιορισμό του φαινομένου της θάμβωσης. Για τον λόγο αυτό θα εξεταστεί η περίπτωση συστήματος οριζόντιων κινητών εξωτερικών περσίδων με διαφορετικούς συντελεστές διαπερατότητας 0, 0,20, 0,30, 0,40. Οι κινητές οριζόντιες περσίδες μειώνουν την θάμβωση στον χώρο αλλά και αντίστοιχα μειώνουν τα επίπεδα φυσικού φωτισμού.

Η αύξηση της διαπερατότητας του υλικού των περσίδων συμβάλλει στην αύξηση των επιπέδων φυσικού φωτισμούς στο χώρο αλλά αντίστοιχα αύξηση της διαπερατότητας οδηγεί σε αύξηση της θάμβωσης. Η παρούσα εργασία μελετάει το μεταίχμιο αυτό, την επιθυμητή τιμή δηλαδή της διαπερατότητας του υλικού των περσίδων που ισορροπεί τα δύο αντιφατικά μεγέθη, του φωτισμού και της θάμβωσης.

### 9.1. Περίπτωση τυπικής αίθουσας με σύστημα σκίασης κινητών οριζόντιων εξωτερικών περσίδων διαπερατότητας 0.

Στην τυπική αίθουσα διδασκαλίας μελετάται σύστημα σκίασης κινητών οριζόντιων περσίδων διαπερατότητας 0 (αδιαφανής) σε δύο βασικές κλίσεις  $0^\circ$  και  $45^\circ$ . Οι περσίδες έχουν μήκος όσο το κούφωμα, πλάτος 0,33m, και είναι πέντε στον αριθμό ώστε να καλύπτουν το ύψος του ανοίγματος όταν είναι κλειστές (1,65m).

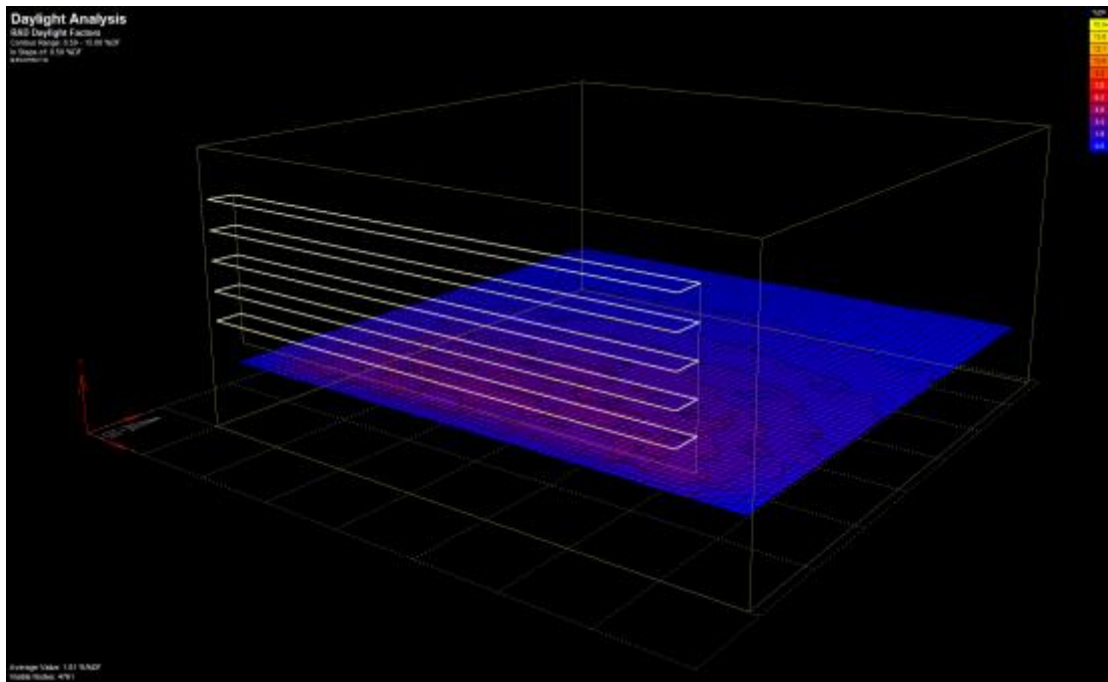
Για τον ακριβή μετατροπή δεδομένων από το λογισμικό Autodesk Ecotect© στο Radiance©, δημιουργήθηκε ένα νέο αρχείο που περικλείει τις ιδιότητες του υλικού περσίδων σε αρχείο .rad όπως περιγράφεται παρακάτω.



Εικόνα 9.1 Δημιουργία υλικού περσίδων για εξαγωγή αποτελεσμάτων στο Radiance©. Διαπερατότητα 0 (αδιαφανής). Πηγή: Επεξεργασία από (Μερέση, 2010).

#### 1. Περσίδες σε κλίση $0^\circ$ .

Στην αίθουσα με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης  $0^\circ$ , διαπερατότητας 0 προκύπτουν τιμές που κυμαίνονται από (min) 0,52% στο βάθος της αίθουσας και (max) 3,88% σχετικά κοντά στο παράθυρο. Η μέση τιμή του DF στην αίθουσα είναι  $DF_{Average} = 1,69\%$ , τιμή που υπολείπεται αρκετά του ορίου του 2%.

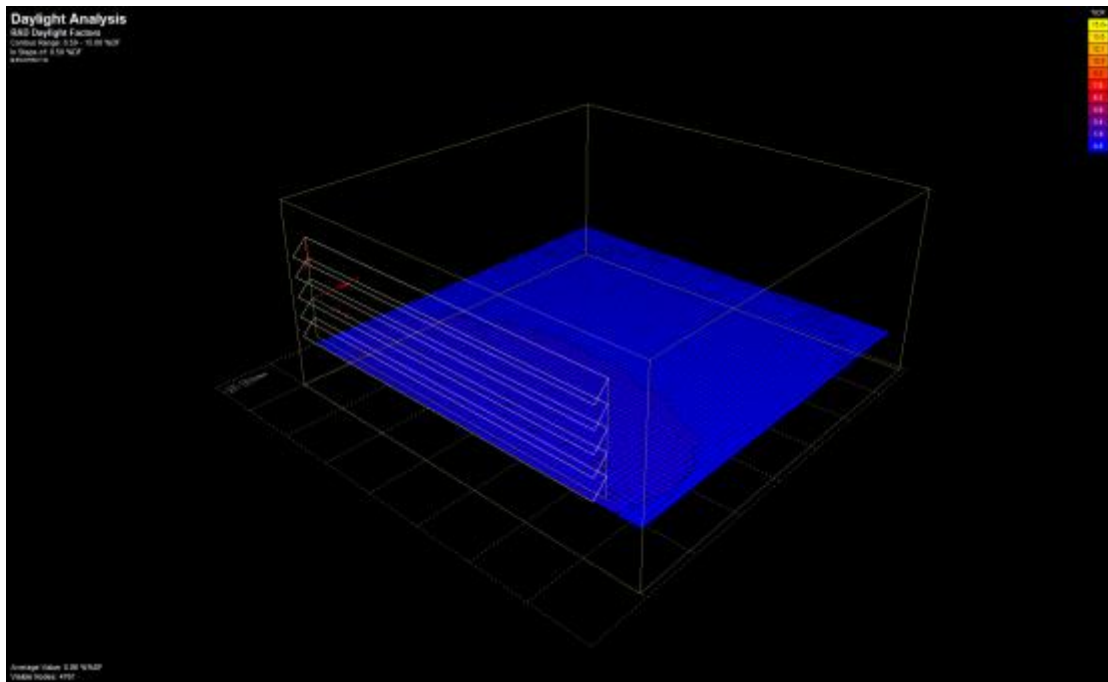


Εικόνα 9.2 Κάνναβος τιμών DF (Σ.Φ.Φ.) στην τυπική αίθουσα με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 0ο, διαπερατότητας 0, Scale 0,50 – 15,00+, Step 0,50. Πηγή: Ecotect© V5.5.

## 2. Περσίδες σε κλίση 45°.

Με το σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 45°, διαπερατότητας 0 προκύπτουν τιμές του DF που κυμαίνονται από (min) 0,43% στο βάθος της αίθουσας και (max) 1,59% σε απόσταση 0,30m από το παράθυρο. Η μέση τιμή του DF στην αίθουσα είναι  $DF_{Average} = 0,86\%$ , τιμή που υπολείπεται πολύ του ορίου του 2%.

Στην τυπική αίθουσα σχολικής μονάδος που εξετάζεται, η μέση τιμή του DF είναι και στις δύο περιπτώσεις κάτω από το όριο ώστε να απαιτείται η ενίσχυση με τεχνητό φωτισμό.

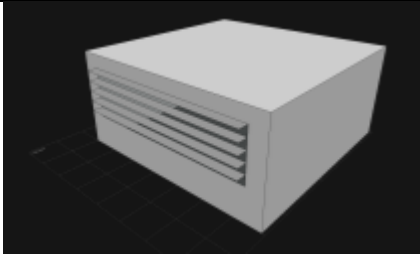






Εικόνα 9.3 Κάνναβος τιμών  $DF$  (Σ.Φ.Φ.) στην τυπική αίθουσα με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης  $45^\circ$ , διαπερατότητας 0, Scale 0,50 – 15,00+, Step 0,50. Πηγή: Ecotect© V5.5.

## Έλεγχος θάμβωσης μέσω του δείκτη DGI.

### 1. Περσίδες σε κλίση $0^\circ$ .

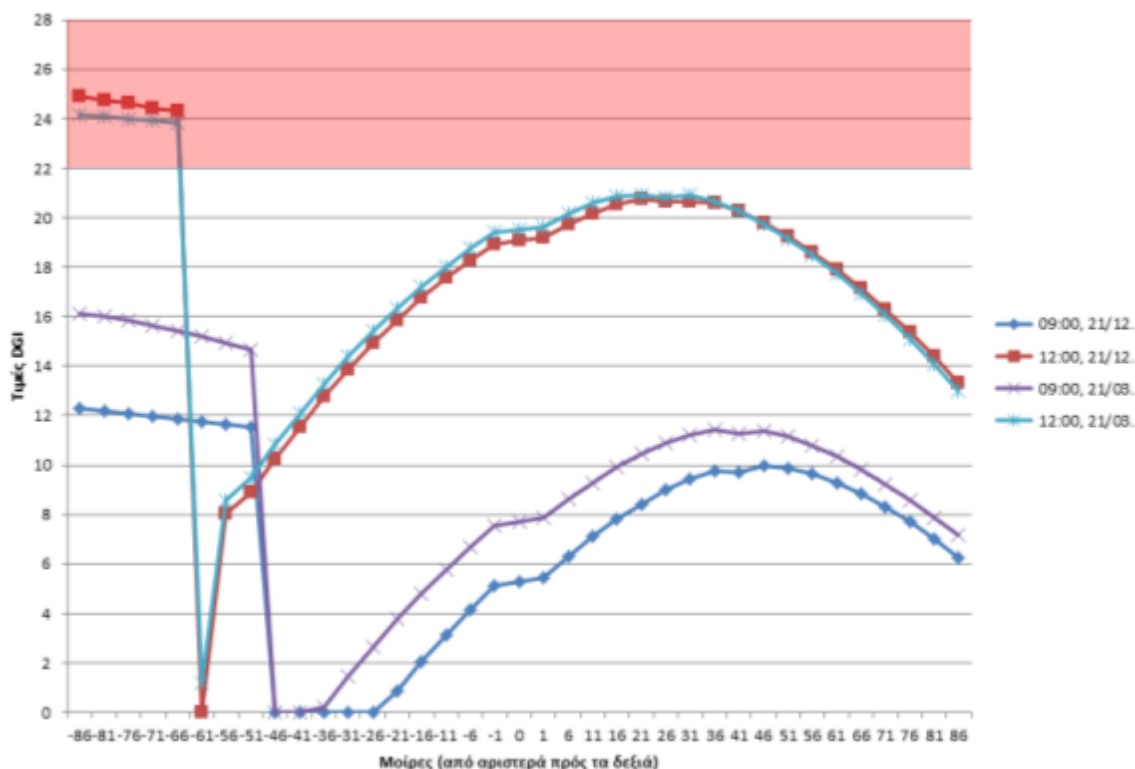
Η τυπική αίθουσα διδασκαλίας μελετάται, το χειμερινό ηλιοστάσιο και την εαρινή/χειμερινή ισημερία (21<sup>η</sup> Μαρτίου/21<sup>η</sup> Σεπτεμβρίου). Ο έλεγχος γίνεται σε δύο διαφορετικές χρονικές στιγμές της ημέρας 09:00, 12:00.

Αίθουσα με σύστημα σκίασης κινητών οριζόντιων περσίδων διαπερατότητας 0 κλίσης 0°.					
Ημερομηνία	Ώρα	Min/max τιμή DGI	Μέση τιμή DGI	Φωτορεαλιστική απεικόνιση εσωτερικού αίθουσας (fish eye view)	
21/12	09:00	0	7,18		
		12,30			
	12:00	0	17,42		
		24,88			
21/03	09:00	0	9,24		
		16,11			

		0		
	12:00		17,55	
		24,18		
				

Πίνακας 9-1 Τυπική σχολική αίθουσα, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 0°, διαπερατότητας 0. Τιμές DGI και φωτορεαλιστική απεικόνιση εσωτερικού στο λογισμικό Radiance©. Πηγή: Προσωπικό αρχείο.

Από τον πίνακα 9-1 και σε συνδυασμό με το γράφημα 9-1 παρατηρούμε ότι η αίθουσα με σύστημα σκίασης κινητών οριζόντιων περσίδων διαπερατότητας 0 κλίσης 0°, παρουσιάζει σε ένα μικρό φάσμα την εαρινή ισημερία και ώρα 12:00, πιθανά έντονα φαινόμενα θάμβωσης σε μικρό φάσμα του οπτικού πεδίου (-86° έως 66°). Οι τιμές συνολικά είναι αρκετά μικρότερες από τη περίπτωση αίθουσας χωρίς εξωτερικό σύστημα σκίασης.

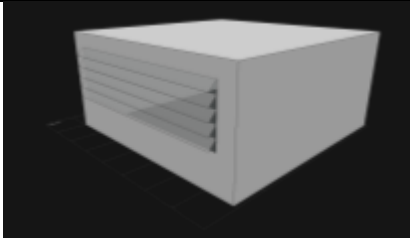






Γράφημα 9-1 Τιμές DGI σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 0°, διαπερατότητας 0, στο χειμερινό ηλιοστάσιο και την εαρινή/χειμερινή ισημερία στις ώρες 9:00 και 12:00. Πηγή: Προσωπικό αρχείο επεξεργασία δεδομένων σε Microsoft Excel.

## 2. Περσίδες σε κλίση 45°.

Η τυπική αίθουσα διδασκαλίας μελετάται, το χειμερινό ηλιοστάσιο και την εαρινή/χειμερινή ισημερία (21<sup>η</sup> Μαρτίου/21<sup>η</sup> Σεπτεμβρίου). Ο έλεγχος γίνεται σε δύο διαφορετικές χρονικές στιγμές της ημέρας 09:00 & 12:00, καθώς όπως φάνηκε στο παράδειγμα της τυπικής αίθουσας χωρίς σύστημα σκίασης στις 15:00 τα πιθανά φαινόμενα θάμβωσης μειώνονται.

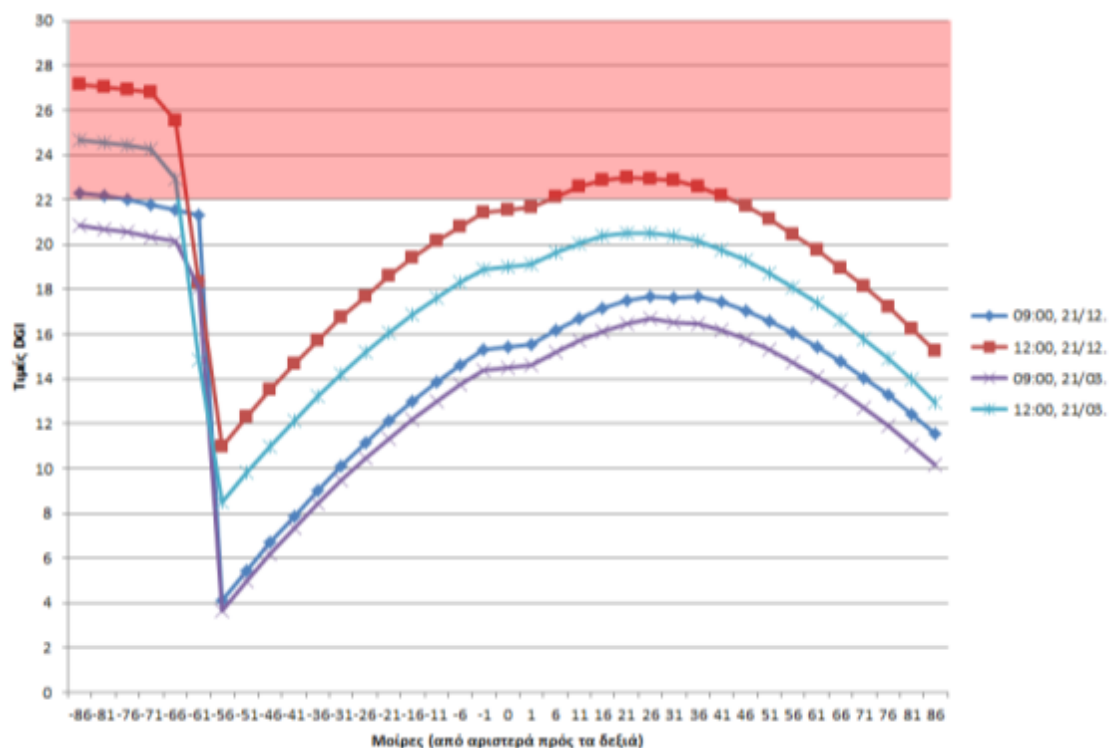


Αίθουσα με σύστημα σκίασης κινητών οριζόντιων περσίδων διαπερατότητας 0 κλίσης 45°.					
Ημερομηνία	Ώρα	Min/max τιμή DGI	Μέση τιμή DGI	Φωτορεαλιστική απεικόνιση εσωτερικού αίθουσας (fish eye view)	
21/12	09:00	4,08	14,98		
		22,30			
	12:00	10,99	20,18		
		27,12			
21/03	09:00	3,64	13,87		
		20,83			

		8,49			
	12:00	24,65	17,70		

Πίνακας 9-2 Τυπική σχολική αίθουσα, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 45ο, διαπερατότητας 0. Τιμές DGI και φωτορεαλιστική απεικόνιση εσωτερικού στο λογισμικό Radiance®. Πηγή: Προσωπικό αρχείο.

Παρατηρούμε από τον πίνακα 9-2 και σε συνδυασμό με το γράφημα 9-2 ότι η αίθουσα τυπική αίθουσα με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 45°, διαπερατότητας 0, παρουσιάζει αρκετές φορές σε διάφορες ημερομηνίες και ώρες, πιθανά έντονα φαινόμενα θάμβωσης.



Γράφημα 9-2 Τιμές DGI σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 45°, διαπερατότητας 0. στο χειμερινό ηλιοστάσιο και την εαρινή/χειμερινή ισημερία στις ώρες 9:00, 12:00. Πηγή: Προσωπικό αρχείο επεξεργασία δεδομένων σε MS Excel

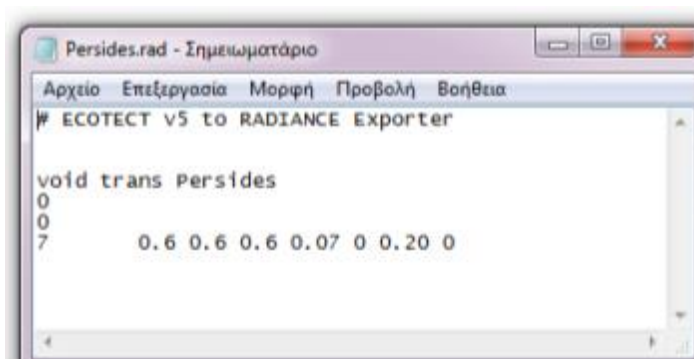
Συγκεκριμένα πιθανά έντονα φαινόμενα θάμβωσης παρατηρούνται την 21<sup>η</sup> Δεκεμβρίου στις ώρες 9:00 και 12:00 και την 21<sup>η</sup> Μαρτίου στις 12:00 με τιμές του DGI που ξεπερνούν κατά πολύ το αποδεκτό όριο 22. Παρόλα ταύτα τα φαινόμενα θάμβωσης έχουν σαφή μειωμένη πιθανότητα εμφάνισης σε σύγκριση με την απροστάτευτη αίθουσα.

Από τα παραπάνω συμπεράνουμε ότι στη τυπική αίθουσα διδασκαλίας που βρίσκεται στα Ιωάννινα και έχει νότιο προσανατολισμό με σύστημα σκίασης κινητών οριζόντιων περσίδων διαπερατότητας 0, δηλαδή με αδιαφανής περσίδες, τα πιθανά φαινόμενα θάμβωσης είναι πολύ μειωμένα σε σχέση με την περίπτωση του πλήρη ηλιασμού. Ειδικότερα η κλίση 45° μειώνει την πιθανότητα εμφάνισης του φαινομένου της θάμβωσης και τα περιορίζει σε ένα μικρό πεδίο όρασης που μπορεί να εξαλείφει με απλές διατάξεις, οικονομικά προσιτές όπως είναι οι ημιδιαφανής κουρτίνες.

Αντίθετα τα επίπεδα φυσικού φωτισμού είναι σε εξαιρετικά χαμηλά επίπεδα ώστε να απαιτείται η ενίσχυση με τεχνητό φωτισμό ειδικότερα στην κλίση 45°.

## 9.2. Περίπτωση τυπικής αίθουσας με σύστημα σκίασης κινητών οριζόντιων εξωτερικών περσίδων διαπερατότητας 0,2.

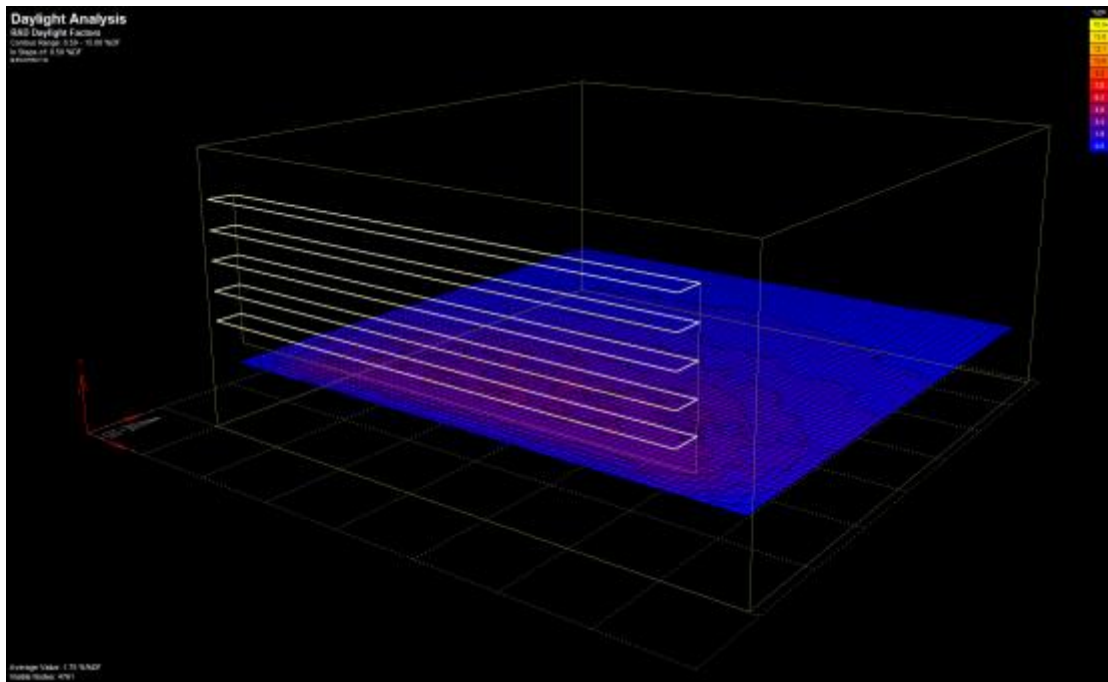
Όπως και προηγουμένως στην τυπική αίθουσα διδασκαλίας μελετάται σύστημα σκίασης κινητών οριζόντιων περσίδων διαπερατότητας 0,2 σε δύο βασικές κλίσεις 0° και 45°. Κατά παρόμοιο τρόπο δημιουργήθηκε ένα νέο αρχείο που περιλαμβάνει τις ιδιότητες του υλικού περσίδων σε αρχείο .rad όπως περιγράφεται παρακάτω:



Εικόνα 9.4 Δημιουργία υλικού περσίδων για εξαγωγή αποτελεσμάτων στο Radiance©. Διαπερατότητα 0,20. Πηγή: Επεξεργασία από (Μερέση, 2010).

## 1. Περσίδες σε κλίση 0°.

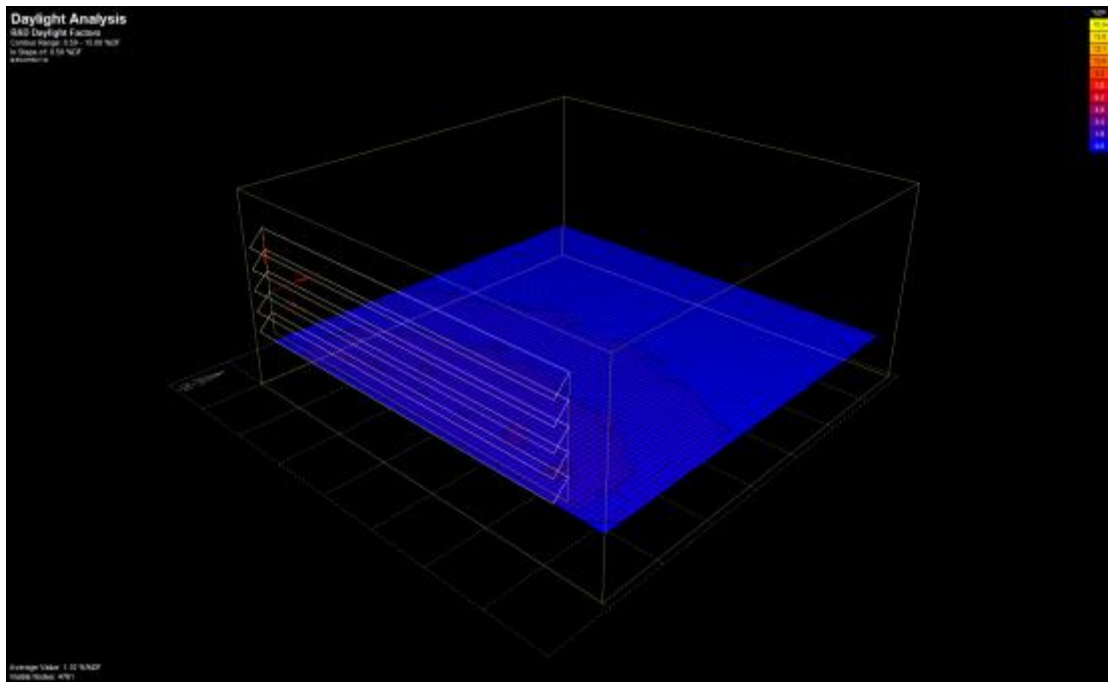
Στην αίθουσα με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 0°, διαπερατότητας 0,20 προκύπτουν τιμές του DF που κυμαίνονται από (min) 0,62% στο βάθος της αίθουσας και (max) 4,01%. Η μέση τιμή του DF στην αίθουσα είναι **DF<sub>Average</sub> = 1,75%**, τιμή που υπολείπεται του ορίου του 2%. (βλ. εικόνα 9.1)



Εικόνα 9.5 Κάνναβος τιμών DF (Σ.Φ.Φ.) στην τυπική αίθουσα με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 0°, διαπερατότητας 0,20, Scale 0,50 – 15,00+, Step 0,50. Πηγή: Ecotect© V5.5.

## 2. Περσίδες σε κλίση 45°.

Με το σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 45°, διαπερατότητας 0,20 προκύπτουν τιμές του DF που κυμαίνονται από (min) 0,53% στο βάθος της αίθουσας και (max) 2,10% σε απόσταση 0,80m από το παράθυρο. Η μέση τιμή του DF στην αίθουσα είναι **DF<sub>Average</sub> = 1,10%**, τιμή που υπολείπεται του ορίου του 2%.



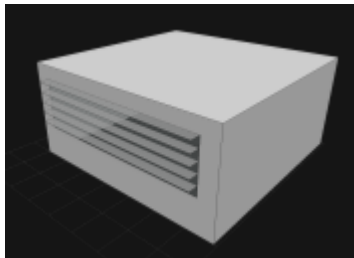



Εικόνα 9.6 Κάνναβος τιμών DF (Σ.Φ.Φ.) στην τυπική αίθουσα με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 45ο, διαπερατότητας 0,20, Scale 0,50 – 15,00+, Step 0,50. Πηγή: Ecotect© V5.5.

Στην τυπική αίθουσα σχολικής μονάδος που εξετάζεται, η μέση τιμή του DF είναι και στις δύο περιπτώσεις κάτω από το όριο ώστε να απαιτείται η ενίσχυση με τεχνητό φωτισμό.

### **Έλεγχος θάμβωσης μέσω του δείκτη DGI.**

#### 1. Περσίδες σε κλίση 0°.

Η τυπική αίθουσα διδασκαλίας μελετάται, το χειμερινό ηλιοστάσιο και την εαρινή/χειμερινή ισημερία (21<sup>η</sup> Μαρτίου/21<sup>η</sup> Σεπτεμβρίου). Ο έλεγχος γίνεται σε δύο διαφορετικές χρονικές στιγμές της ημέρας 09:00, 12:00.

Αίθουσα με σύστημα σκίασης κινητών οριζόντιων περσίδων διαπερατότητας 0,20 κλίσης 0°.					
Ημερομηνία	Ώρα	Min/max τιμή DGI	Μέση τιμή DGI	Φωτορεαλιστική απεικόνιση εσωτερικού αίθουσας (fish eye view)	
21/12	09:00	0	7,28		
		12,47			
	12:00	0	17,48		
		24,96			
21/03	09:00	0	8,69		
		15,74			

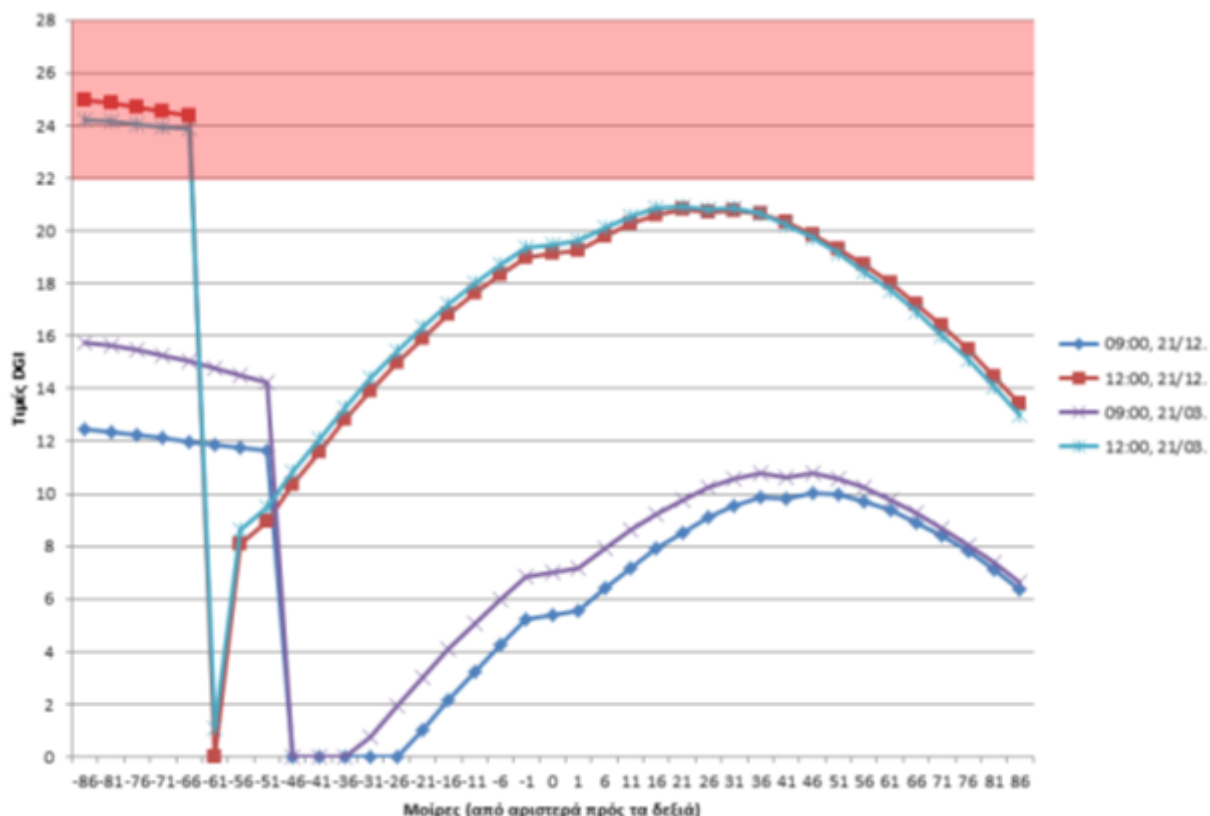
		1,06		
	12:00		17,55	
		24,22		



Πίνακας 9-3 Τυπική σχολική αίθουσα, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης  $0^\circ$ , διαπερατότητας 0,20. Τιμές DGI και φωτορεαλιστική απεικόνιση εσωτερικού στο λογισμικό Radiance©. Πηγή: Προσωπικό αρχείο.

Από τον πίνακα 9-3 και σε συνδυασμό με το γράφημα 9-3 παρατηρούμε ότι η αίθουσα με σύστημα σκίασης κινητών οριζόντιων περσίδων διαπερατότητας 0,20 κλίσης  $0^\circ$  παρουσιάζει υψηλές τιμές του DGI σε μικρό φάσμα του οπτικού πεδίου από  $-86^\circ$  ως  $-66^\circ$  στις 12:00 σε διάφορες ημερομηνίες.

Συγκεκριμένα έντονα φαινόμενα θάμβωσης παρατηρούνται την 21<sup>η</sup> Δεκεμβρίου και 21<sup>η</sup> Μαρτίου στις 12:00 με τιμές του DGI που ξεπερνούν κατά πολύ το αποδεκτό όριο 22 και φτάνουν έως 24,96. Οι τιμές συνολικά είναι μικρότερες από την περίπτωση αίθουσας χωρίς εξωτερικό σύστημα σκίασης και σε πολύ περιορισμένο σημείο αριστερά του πεδίου.

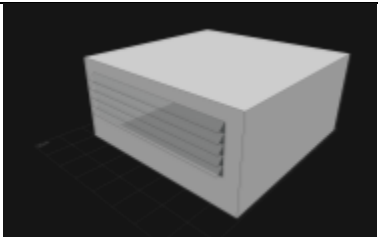






Γράφημα 9-3 Τιμές DGI σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας , με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 0ο, διαπερατότητας 0,20. στο χειμερινό ηλιοστάσιο και την εαρινή/χειμερινή ισημερία στις ώρες 9:00,12:00. Πηγή: Προσωπικό αρχείο επεξεργασία δεδομένων σε MS Excel

## 2. Περσίδες σε κλίση 45°.

Η τυπική αίθουσα διδασκαλίας μελετάται, το χειμερινό ηλιοστάσιο και την εαρινή/χειμερινή ισημερία (21<sup>η</sup> Μαρτίου/21<sup>η</sup> Σεπτεμβρίου). Ο έλεγχος γίνεται σε δύο διαφορετικές χρονικές στιγμές της ημέρας 09:00, 12:00.



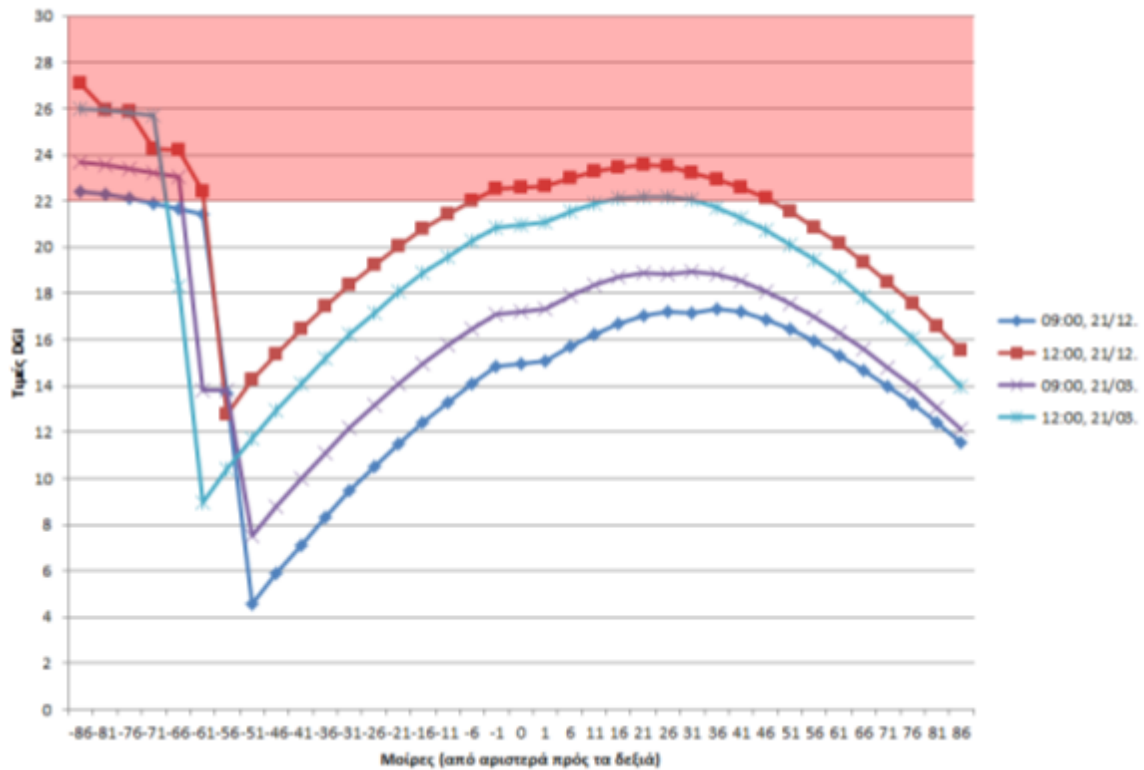
Αίθουσα με σύστημα σκίασης κινητών οριζόντιων περσίδων διαπερατότητας 0,20 κλίσης 45°.					
Ημερομηνία	Ώρα	Min/max τιμή DGI	Μέση τιμή DGI	Φωτορεαλιστική απεικόνιση εσωτερικού αίθουσας (fish eye view)	
21/12	09:00	4,56	14,94		
		22,39			
	12:00	12,79	20,90		
		27,11			
21/03	09:00	7,52	16,43		
		23,67			

	12:00	8,97	18,97	
		25,98		

Πίνακας 9-4 Τυπική σχολική αίθουσα, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 45°, διαπερατότητας 0,20. Τιμές DGI και φωτορεαλιστική απεικόνιση εσωτερικού στο λογισμικό Radiance©. Πηγή: Προσωπικό αρχείο.

Παρατηρούμε από τον πίνακα 9-4 και σε συνδυασμό με το γράφημα 9-4 ότι η αίθουσα τυπική αίθουσα με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 45°, διαπερατότητας 0,20, παρουσιάζει ορισμένες πολύ υψηλές τιμές του δείκτη DGI στις 12:00 στο χειμερινό ηλιοστάσιο και την εαρινή ισημερία που περιορίζονται σε μικρό φάσμα του οπτικού πεδίου ειδικά στις 21/03.

Από τα παραπάνω συμπεράνουμε ότι στη τυπική αίθουσα διδασκαλίας που βρίσκεται στα Ιωάννινα και έχει νότιο προσανατολισμό με σύστημα σκίασης κινητών οριζόντιων περσίδων διαπερατότητας 0,30, τα πιθανά φαινόμενα θάμβωσης είναι αρκετά μειωμένα σε σχέση με την περίπτωση του πλήρη ηλιασμού. Ειδικότερα η κλίση 45° μειώνει αρκετά τα πιθανά φαινόμενα της θάμβωσης χωρίς όμως να τα εξαλείφει. Αντίθετα τα επίπεδα φυσικού είναι σε σχετικά χαμηλά επίπεδα ώστε να απαιτείται η χρήση τεχνητού φωτισμού ή φωτοενισχυτικών διατάξεων.

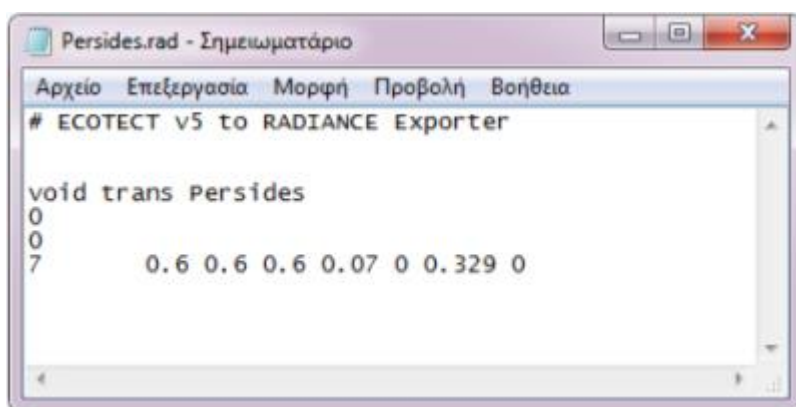


Γράφημα 9-4 Τιμές DGI σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας , με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης  $45^\circ$ , διαπερατότητας 0,20, στο χειμερινό ηλιοστάσιο και την εαρινή/χειμερινή ισημερία στις ώρες 9:00,12:00. Πηγή: Προσωπικό αρχείο επεξεργασία δεδομένων σε MS Excel

### **9.3. Περίπτωση τυπικής αίθουσας με σύστημα σκίασης κινητών οριζόντιων εξωτερικών περσίδων διαπερατότητας 0,30.**

Στην τυπική αίθουσα διδασκαλίας μελετάται σύστημα σκίασης κινητών οριζόντιων περσίδων διαπερατότητας 0,30 σε δύο βασικές κλίσεις  $0^{\circ}$  και  $45^{\circ}$ . Οι περσίδες έχουν μήκος όσο το κούφωμα, πλάτος 0,33m, και είναι πέντε στον αριθμό ώστε να καλύπτουν το ύψος του ανοίγματος όταν είναι κλειστές (1,65m).

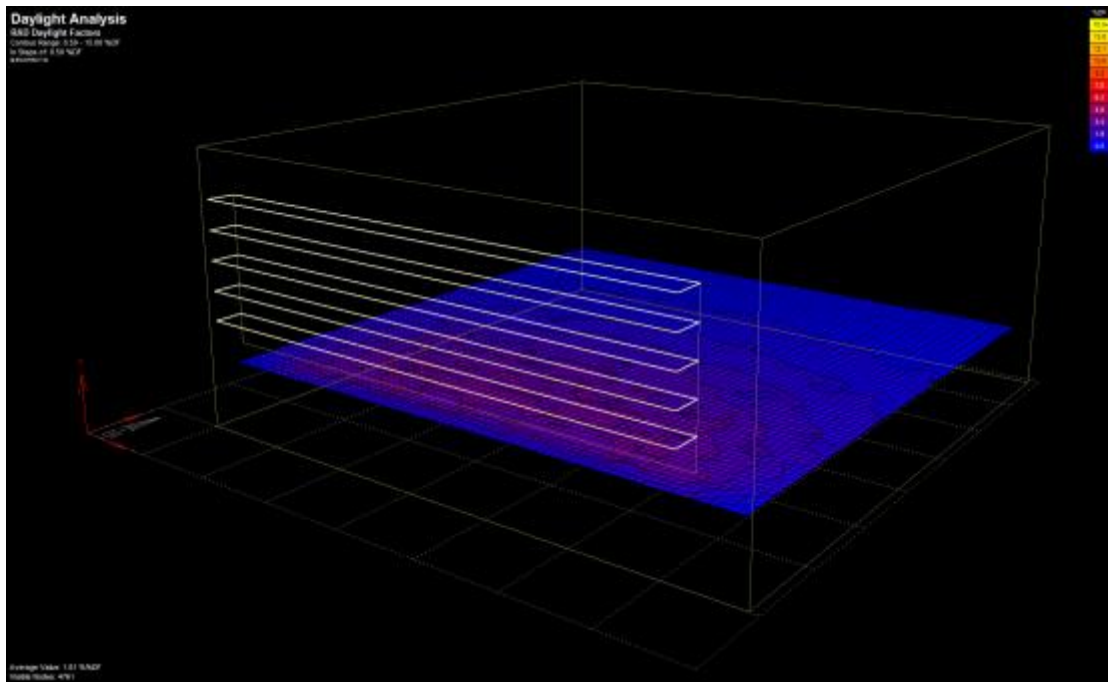
Για τον ακριβή μετατροπή δεδομένων από το λογισμικό Autodesk Ecotect© στο Radiance©, δημιουργήθηκε ένα νέο αρχείο που περιλαμβάνει τις ιδιότητες του υλικού περσίδων σε αρχείο .rad όπως περιγράφεται παρακάτω:



*Εικόνα 9.7 Δημιουργία υλικού περσίδων για εξαγωγή αποτελεσμάτων στο Radiance©. Διαπερατότητα 0,30. Πηγή: Μερέση, 2010.*

#### 1. Περσίδες σε κλίση $0^{\circ}$ .

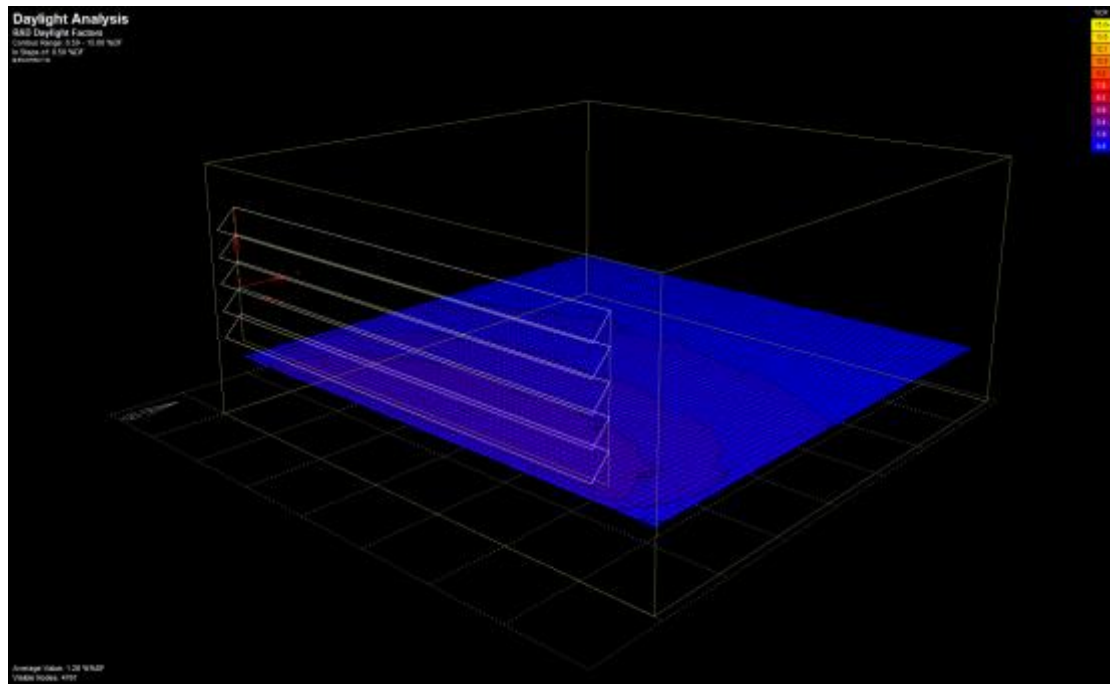
Στην αίθουσα με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης  $0^{\circ}$ , διαπερατότητας 0,30 προκύπτουν τιμές του DF που κυμαίνονται από (min) 0,52% στο βάθος της αίθουσας και (max) 4,04% σε απόσταση 0,80m από το παράθυρο. Η μέση τιμή του DF στην αίθουσα είναι **DF<sub>Average</sub> = 1,81%**, τιμή που υπολείπεται του ορίου του 2%. (βλ. εικόνα 9.1)



Εικόνα 9.8 Κάνναβος τιμών DF (Σ.Φ.Φ.) στην τυπική αίθουσα με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 0ο, διαπερατότητας 0,30, Scale 0,50 – 15,00+, Step 0,50. Πηγή: Ecotect© V5.5.

## 2. Περσίδες σε κλίση 45°.

Με το σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 45ο, διαπερατότητας 0,30 προκύπτουν τιμές του DF που κυμαίνονται από (min) 0,52% στο βάθος της αίθουσας και (max) 2,45% σε απόσταση 0,80m από το παράθυρο. Η μέση τιμή του DF στην αίθουσα είναι  $DF_{Average} = 1,28\%$ , τιμή που υπολείπεται του ορίου του 2%.



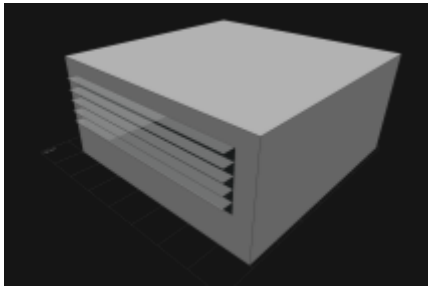
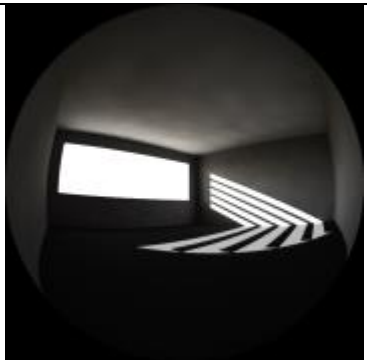

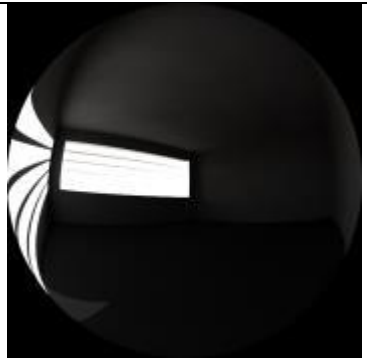
Εικόνα 9.9 Κάνναβος τιμών DF (Σ.Φ.Φ.) στην τυπική αίθουσα με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 45ο, διαπερατότητας 0,30, Scale 0,50 – 15,00+, Step 0,50. Πηγή: Ecotect© V5.5.


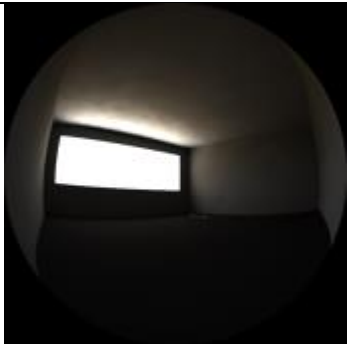
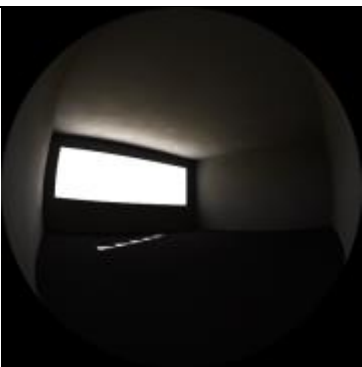
Στην τυπική αίθουσα σχολικής μονάδος που εξετάζεται, η μέση τιμή του DF είναι και στις δύο περιπτώσεις κάτω από το όριο ώστε να απαιτείται η ενίσχυση με τεχνητό φωτισμό.

## Έλεγχος θάμβωσης μέσω του δείκτη DGI.

### 1. Περσίδες σε κλίση 0°.

Η τυπική αίθουσα διδασκαλίας μελετάται, το χειμερινό ηλιοστάσιο και την εαρινή/χειμερινή ισημερία (21<sup>η</sup> Μαρτίου/21<sup>η</sup> Σεπτεμβρίου). Ο έλεγχος γίνεται σε τρεις διαφορετικές χρονικές στιγμές της ημέρας 09:00, 12:00, 15:00.

<b>Αίθουσα με σύστημα σκίασης κινητών οριζόντιων περσίδων διαπερατότητας 0,30 κλίσης 0°.</b>					
Ημερομηνία	Ώρα	Min/max τιμή DGI	Μέση τιμή DGI	Φωτορεαλιστική απεικόνιση εσωτερικού αίθουσας (fish eye view)	
21/12	09:00	2,49	15,64		
		22,15			
	12:00	4,04	20,42		
		20,42			
	15:00	4,99	17,41		
		26,21			

21/03	09:00	7,00	17,43	
		24,91		
	12:00	2,99	19,88	
		26,17		
	15:00	4,76	18,15	
		25,73		

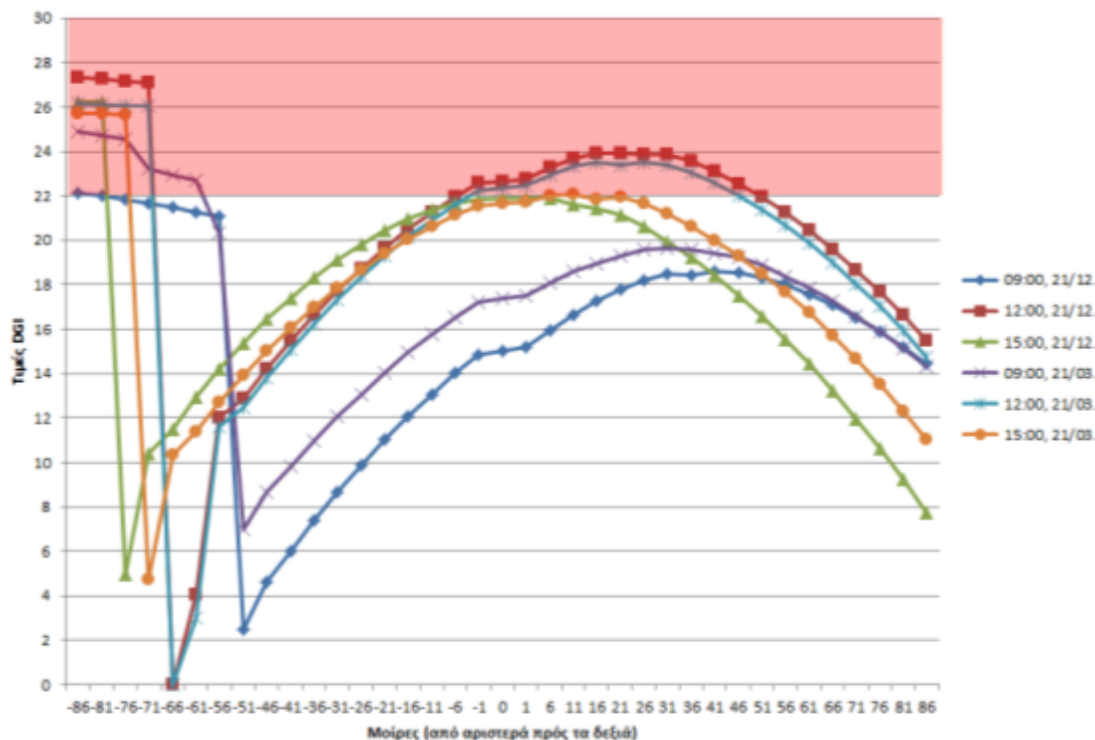
Πίνακας 9-5 Τυπική σχολική αίθουσα, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης  $0^\circ$ , διαπερατότητας 0,30. Τιμές DGI και φωτορεαλιστική απεικόνιση εσωτερικού στο λογισμικό Radiance©. Πηγή: Προσωπικό αρχείο.

Από τον πίνακα 9-5 και σε συνδυασμό με το γράφημα 9-5 παρατηρούμε ότι η αίθουσα με σύστημα σκίασης κινητών οριζόντιων περσίδων διαπερατότητας 0,30 κλίσης  $0^\circ$  παρουσιάζει αρκετές φορές σε διάφορες ημερομηνίες και ώρες, πιθανά έντονα φαινόμενα θάμβωσης λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές του δείκτη θάμβωσης DGI από τη προσομοίωση.

Συγκεκριμένα έντονα φαινόμενα θάμβωσης παρατηρούνται την 21<sup>η</sup> Δεκεμβρίου στις 15:00 και όλες τις ώρες στις 21/03 με τιμές του DGI που ξεπερνούν



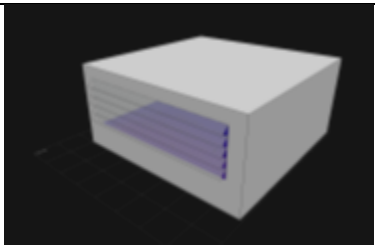



κατά πολύ το αποδεκτό όριο 22. Οι τιμές συνολικά είναι μικρότερες από την περίπτωση αίθουσας χωρίς εξωτερικό σύστημα σκίασης.




Γράφημα 9-5 Τιμές DGI σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας , με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης  $0^\circ$ , διαπερατότητας 0,30, στο χειμερινό ηλιοστάσιο και την εαρινή/χειμερινή ισημερία στις ώρες 9:00,12:00, 15:00. Πηγή: Προσωπικό αρχείο επεξεργασία δεδομένων σε MS Excel

## 2. Περσίδες σε κλίση $45^\circ$ .

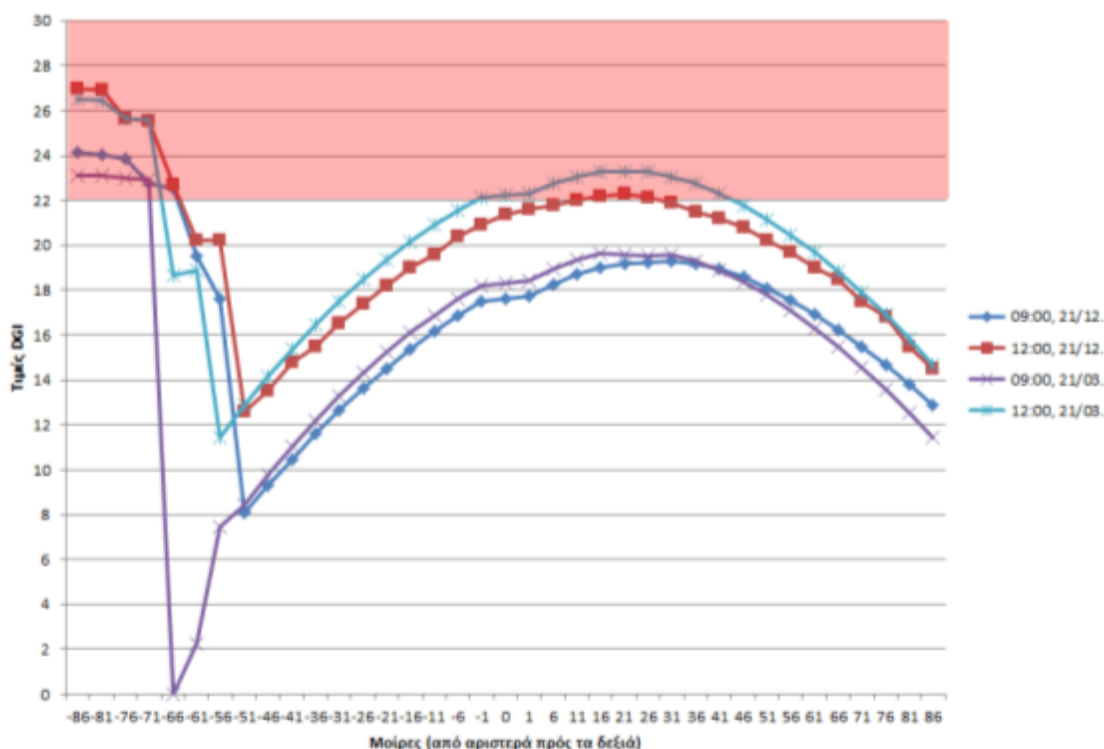
Η τυπική αίθουσα διδασκαλίας μελετάται, το χειμερινό ηλιοστάσιο και την εαρινή/χειμερινή ισημερία (21<sup>η</sup> Μαρτίου/21<sup>η</sup> Σεπτεμβρίου). Ο έλεγχος γίνεται σε δύο διαφορετικές χρονικές στιγμές της ημέρας 09:00, 12:00, καθώς όπως φάνηκε στο παράδειγμα της τυπικής αίθουσας χωρίς σύστημα σκίασης στις 15:00 τα πιθανά φαινόμενα θάμβωσης μειώνονται.

Αίθουσα με σύστημα σκίασης κινητών οριζόντιων περσίδων διαπερατότητας 0,30 κλίσης 45°.					
Ημερομηνία	Ωρα	Min/max τιμή DGI	Μέση τιμή DGI	Φωτορεαλιστική απεικόνιση εσωτερικού αίθουσας (fish eye view)	
21/12	09:00	8,10	17,08		
		24,13			
	12:00	12,60	19,92		
		26,97			
21/03	09:00	0,00	15,78		
		23,13			

	12:00	11,45	20,20	
		26,49		

Πίνακας 9-6 Τυπική σχολική αίθουσα, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 45°, διαπερατότητας 0,30. Τιμές DGI και φωτορεαλιστική απεικόνιση εσωτερικού στο λογισμικό Radiance©. Πηγή: Προσωπικό αρχείο.

Παρατηρούμε από τον πίνακα 9-6 και σε συνδυασμό με το γράφημα 9-6 ότι η αίθουσα τυπική αίθουσα με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 45°, διαπερατότητας 0,30, παρουσιάζει αρκετές φορές σε διάφορες ημερομηνίες και ώρες, πιθανά έντονα φαινόμενα θάμβωσης λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές του δείκτη θάμβωσης DGI από τη προσομοίωση.



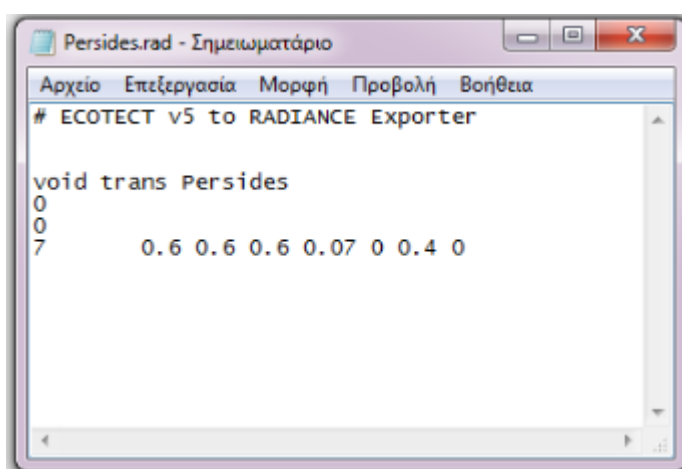
Γράφημα 9-6 Τιμές DGI σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης  $45^\circ$ , διαπερατότητας 0,30, στο χειμερινό ηλιοστάσιο και την εαρινή/χειμερινή ισημερία στις ώρες 9:00, 12:00. Πηγή: Προσωπικό αρχείο επεξεργασία δεδομένων σε MS Excel.

Συγκεκριμένα πιθανά έντονα φαινόμενα θάμβωσης παρατηρούνται την 21<sup>η</sup> Δεκεμβρίου και την 21<sup>η</sup> Μαρτίου στις 12:00 με τιμές του DGI που ξεπερνούν κατά πολύ το αποδεκτό όριο 22 αλλά μόνο σε πολύ περιορισμένο φάσμα πεδίου όρασης. Αντίστοιχα τις ίδιες ημερομηνίες στις 09:00 παρατηρούνται χαμηλές τιμές του δείκτη DGI και μόνο ένα μικρό πεδίο από  $-86^\circ$  έως  $-66^\circ$  παρουσιάζει υψηλές τιμές.

Από τα παραπάνω συμπεράνουμε ότι στη τυπική αίθουσα διδασκαλίας που βρίσκεται στα Ιωάννινα και έχει νότιο προσανατολισμό με σύστημα σκίασης κινητών οριζόντιων περσίδων διαπερατότητας 0,30, τα πιθανά φαινόμενα θάμβωσης είναι αρκετά μειωμένα σε σχέση με την περίπτωση του πλήρη ηλιασμού. Ειδικότερα η κλίση  $45^\circ$  μειώνει αρκετά τα πιθανά φαινόμενα της θάμβωσης χωρίς όμως να τα εξαλείφει. Αντίθετα τα επίπεδα φυσικού είναι σε χαμηλά επίπεδα ώστε να απαιτείται η χρήση τεχνητού φωτισμού.

#### **9.4. Περίπτωση τυπικής αίθουσας με σύστημα σκίασης κινητών οριζόντιων εξωτερικών περσίδων διαπερατότητας 0,40.**

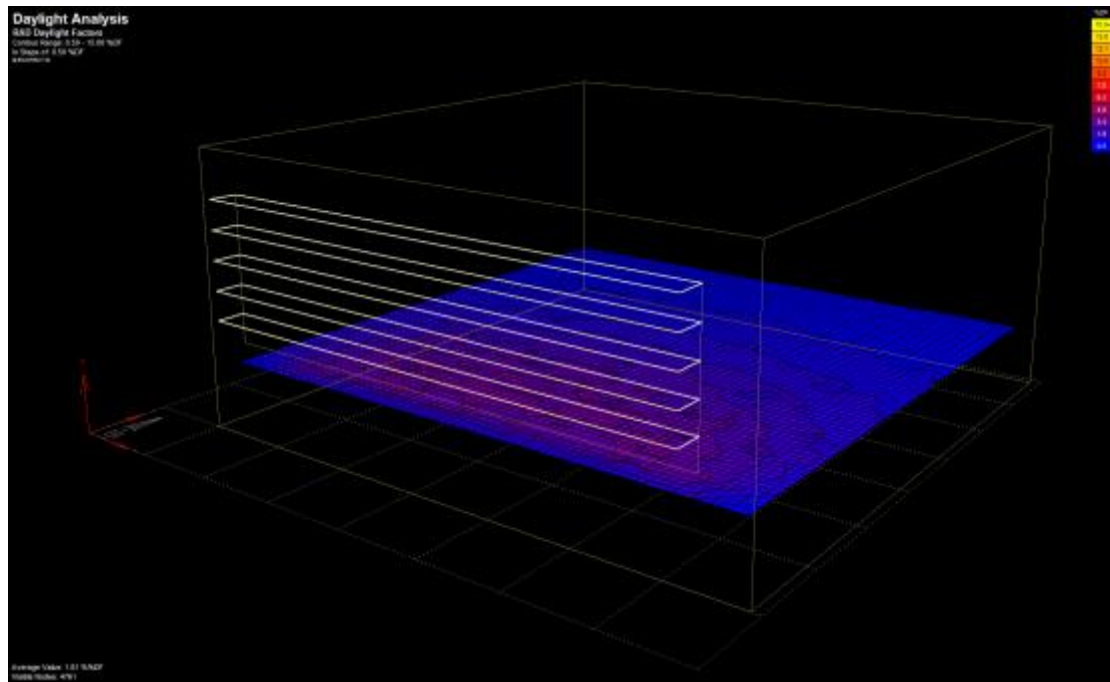
Στην τυπική αίθουσα διδασκαλίας μελετάται σύστημα σκίασης κινητών οριζόντιων περσίδων διαπερατότητας 0,40 σε δύο βασικές κλίσεις  $0^{\circ}$  και  $45^{\circ}$ . Για τον ακριβή μετατροπή δεδομένων από το λογισμικό Autodesk Ecotect© στο Radiance©, δημιουργήθηκε ένα νέο αρχείο που περιλαμβάνει τις ιδιότητες του υλικού περσίδων σε αρχείο .rad όπως περιγράφεται παρακάτω:



*Εικόνα 9.10 Δημιουργία υλικού περσίδων για εξαγωγή αποτελεσμάτων στο Radiance©. Διαπερατότητα 0,40. Πηγή: Μερέση, 2010.*

##### 1. Περσίδες σε κλίση $0^{\circ}$ .

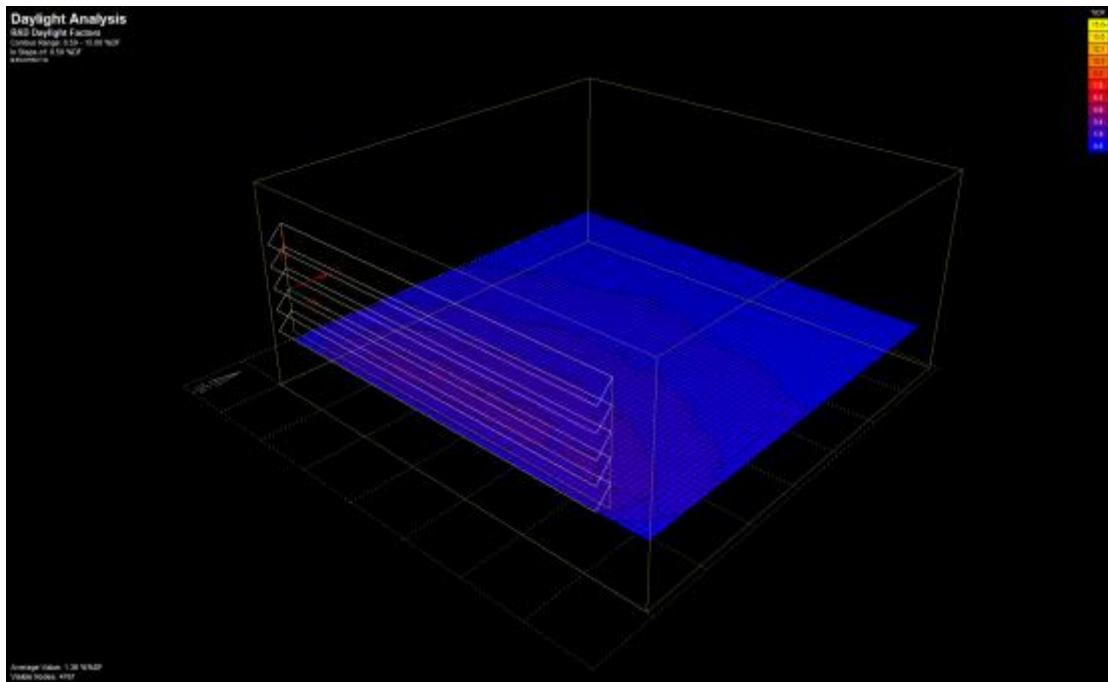
Στην αίθουσα με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης  $0^{\circ}$ , διαπερατότητας 0,40 προκύπτουν τιμές του DF που κυμαίνονται από (min) 0,53% στο βάθος της αίθουσας και (max) 4,18% κοντά στο παράθυρο. Η μέση τιμή του DF στο εσωτερικό της αίθουσας διδασκαλίας είναι **DF<sub>Average</sub> = 1,84%**, τιμή που υπολείπεται αλλά εγγυτέρα του ορίου του 2% από τις άλλες περιπτώσεις συστημάτων σκίασης που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία. (βλ. εικόνα 9-11)



Εικόνα 9.11 Κάνναβος τιμών DF (Σ.Φ.Φ.) στην τυπική αίθουσα με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 0°, διαπερατότητας 0,40, Scale 0,50 – 15,00+, Step 0,50. Πηγή: Ecotect© V5.5.

## 2. Περσίδες σε κλίση 45°.

Με το σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 45°, διαπερατότητας 0,40 προκύπτουν τιμές του DF που κυμαίνονται από (min) 0,52% στο βάθος της αίθουσας και (max) 2,70% σε απόσταση 0,80m από το παράθυρο. Η μέση τιμή του DF στην αίθουσα είναι  $DF_{Average} = 1,36\%$ , τιμή που υπολείπεται του ορίου του 2%.



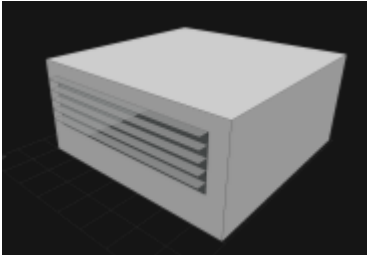



Εικόνα 9.12 Κάνναβος τιμών DF (Σ.Φ.Φ.) στην τυπική αίθουσα με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 45ο, διαπερατότητας 0,40, Scale 0,50 – 15,00+, Step 0,50. Πηγή: Ecotect© V5.5.

Στην τυπική αίθουσα σχολικής μονάδος που εξετάζεται, η μέση τιμή του DF είναι και στις δύο περιπτώσεις κάτω από το όριο ώστε να απαιτείται η ενίσχυση με τεχνητό φωτισμό.


## Έλεγχος θάμβωσης μέσω του δείκτη DGI.

### 1. Περσίδες σε κλίση 0°.

Η τυπική αίθουσα διδασκαλίας μελετάται, το χειμερινό ηλιοστάσιο και την εαρινή/χειμερινή ισημερία (21<sup>η</sup> Μαρτίου/21<sup>η</sup> Σεπτεμβρίου). Ο έλεγχος γίνεται σε τρεις διαφορετικές χρονικές στιγμές της ημέρας 09:00, 12:00, 15:00.

Αίθουσα με σύστημα σκίασης κινητών οριζόντιων περσίδων διαπερατότητας 0,40 κλίσης 0°.					
Ημερομηνία	Ώρα	Min/max τιμή DGI	Μέση τιμή DGI	Φωτορεαλιστική απεικόνιση εσωτερικού αίθουσας (fish eye view)	
21/12	09:00	0	7,33		
		12,54			
	12:00	0	17,29		
		24,92			
21/03	09:00	2,51	12,19		
		19,53			

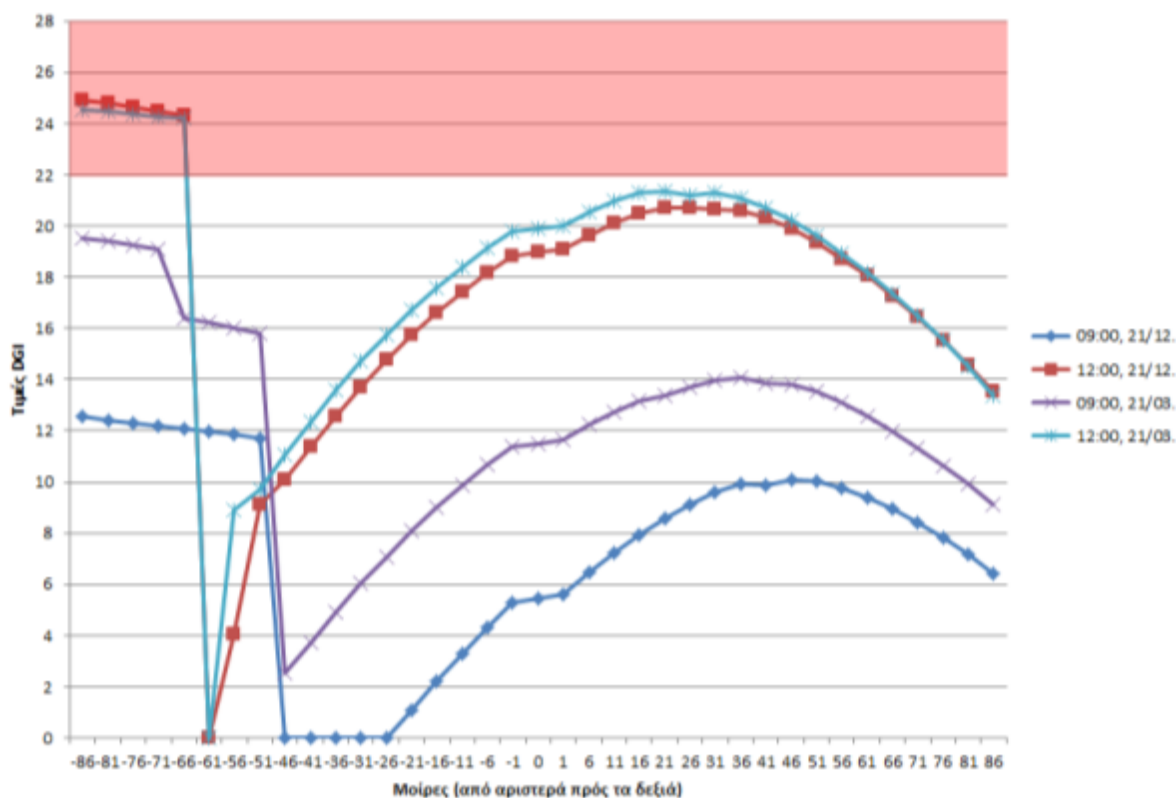


	12:00	0	17,89	
		24,53		

Πίνακας 9-7 Τυπική σχολική αίθουσα, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 0°, διαπερατότητας 0,40. Τιμές DGI και φωτορεαλιστική απεικόνιση εσωτερικού στο λογισμικό Radiance©. Πηγή: Προσωπικό αρχείο.

Από τον πίνακα 9-7 και σε συνδυασμό με το γράφημα 9-7 παρατηρούμε ότι η αίθουσα με σύστημα σκίασης κινητών οριζόντιων περσίδων διαπερατότητας 0,40 κλίσης 0° μπορεί να εμφανίσει πιθανά έντονα φαινόμενα θάμβωσης σε περιορισμένη θέση του οπτικού πεδίου.

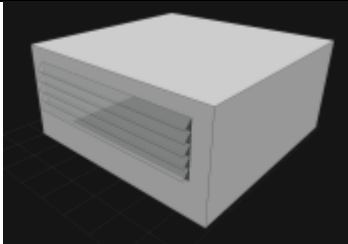



Συγκεκριμένα έντονα φαινόμενα θάμβωσης παρατηρούνται την 21<sup>η</sup> Δεκεμβρίου στις 12:00 και αντίστοιχα την 21<sup>η</sup> Μαρτίου στις 12:00 με τιμές του DGI που ξεπερνούν κατά πολύ το αποδεκτό όριο 22 αλλά υπολείπονται πολύ των τιμών αίθουσας χωρίς σύστημα σκίασης.




Γράφημα 9-7 Τιμές DGI σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας , με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 0ο, διαπερατότητας 0,40, στο χειμερινό ηλιοστάσιο και την εαρινή/χειμερινή ισημερία στις ώρες 9:00,12:00, 15:00. Πηγή: Προσωπικό αρχείο επεξεργασία δεδομένων σε MS Excel

## 2. Περσίδες σε κλίση 45°.

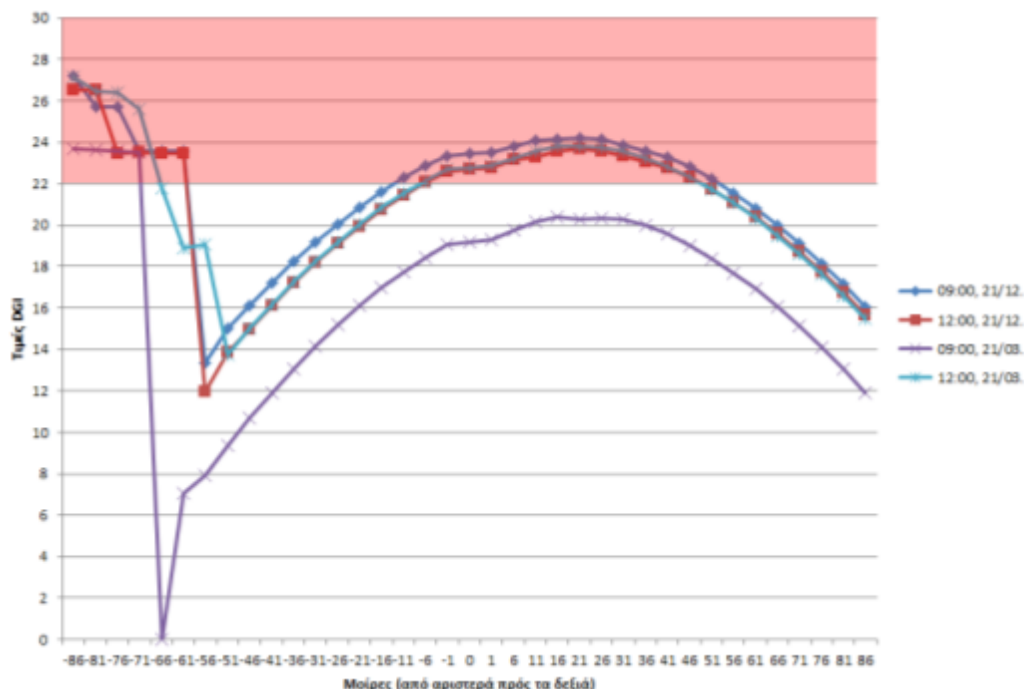
Η τυπική αίθουσα διδασκαλίας μελετάται, το χειμερινό ηλιοστάσιο και την εαρινή/χειμερινή ισημερία (21<sup>η</sup> Μαρτίου/21<sup>η</sup> Σεπτεμβρίου). Ο έλεγχος γίνεται σε δύο διαφορετικές χρονικές στιγμές της ημέρας 09:00, 12:00.

<b>Αίθουσα με σύστημα σκίασης κινητών οριζόντιων περσίδων διαπερατότητας 0,40 κλίσης 45°. αρχείο T40_45.eco</b>					
Ημερομηνία	Ώρα	Min/max τιμή DGI	Μέση τιμή DGI	Φωτορεαλιστική απεικόνιση εσωτερικού αίθουσας (fish eye view)	
21/12	09:00	13,50	21,50		
		27,18			
	12:00	11,94	20,84		
		26,53			
21/03	09:00	0	16,58		
		23,68			

	12:00	13,76	21,05	
		27,15		

Πίνακας 9-8 Τυπική σχολική αίθουσα, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 45ο, διαπερατότητας 0,40. Τιμές DGI και φωτορεαλιστική απεικόνιση εσωτερικού στο λογισμικό Radiance©. Πηγή: Προσωπικό αρχείο.

Παρατηρούμε από τον πίνακα 9-8 και σε συνδυασμό με το γράφημα 9-8 ότι η αίθουσα τυπική αίθουσα με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 45°, διαπερατότητας 0,40, παρουσιάζει σε διάφορες ημερομηνίες και ώρες, πιθανά έντονα φαινόμενα θάμβωσης.



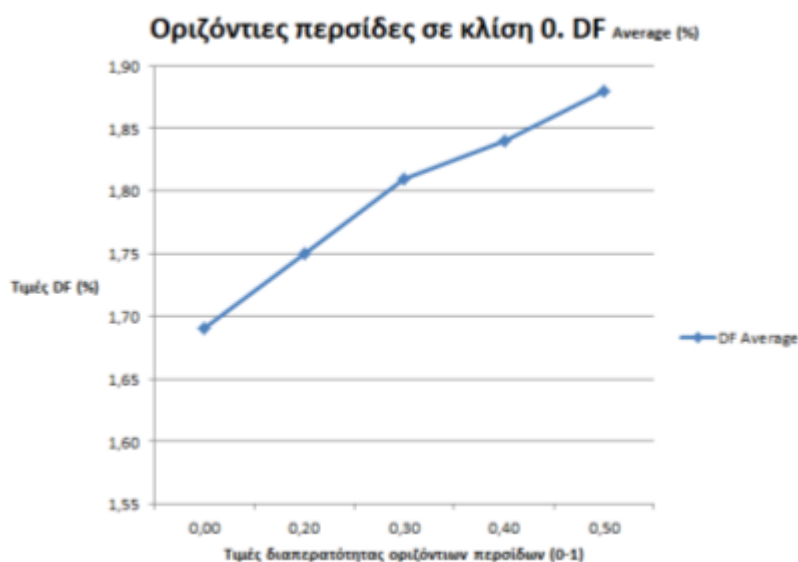
Γράφημα 9-8 Τιμές DGI σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 45ο, διαπερατότητας 0,40, στο χειμερινό ηλιοστάσιο και την εαρινή/χειμερινή ισημερία στις ώρες 9:00,12:00. Πηγή: Προσωπικό αρχείο επεξεργασία δεδομένων σε MS Excel.

Συγκεκριμένα πιθανά έντονα φαινόμενα θάμβωσης παρατηρούνται όλες τις ημέρες και ώρες που εξετάζονται με τιμές του DGI που ξεπερνούν κατά πολύ το αποδεκτό όριο 22 σε μεγάλο φάσμα του πεδίου όρασης.

Συμπερασματικά για τη τυπική αίθουσα διδασκαλίας που βρίσκεται στα Ιωάννινα και έχει νότιο προσανατολισμό με σύστημα σκίασης κινητών οριζόντιων περσίδων διαπερατότητας 0,40, τα πιθανά φαινόμενα θάμβωσης είναι αρκετά πιθανά. Ειδικότερα η κλίση  $45^\circ$  αυξάνει αρκετά τα πιθανά φαινόμενα της θάμβωσης χωρίς ενώ και στην περίπτωση της μηδενικής κλίσης υπάρχουν τιμές του δείκτη DGI άνω του 22, αλλά σε περιορισμένο φάσμα. Αντίθετα τα επίπεδα φυσικού είναι στα υψηλότερα επίπεδα χωρίς όμως να αποκλείεται η χρήση τεχνητού φωτισμού

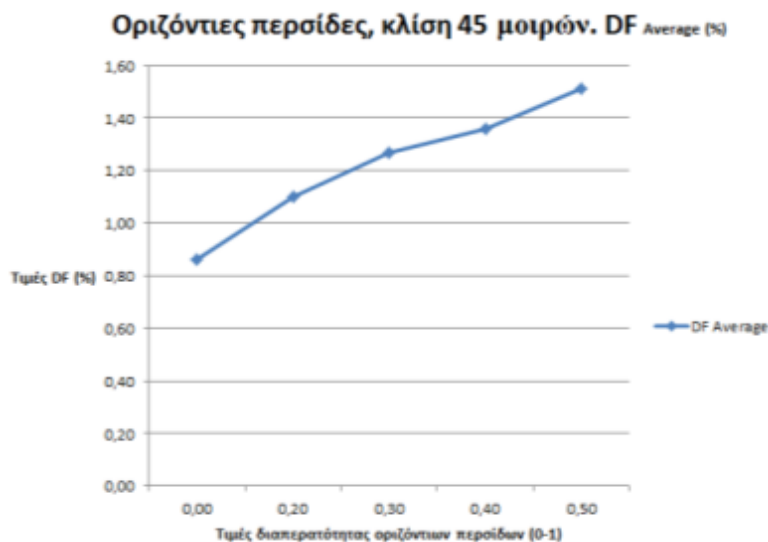
### 9.5. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα.

Όσον αφορά τα επίπεδα φυσικού φωτισμού, από τα παρακάτω διαγράμματα 9-9 και 9-10, παρατηρούνται γραμμικά αυξανόμενες τιμές του φυσικού φωτισμού όσο αυξάνεται η διαπερατότητα των περσίδων. Συγκεκριμένα οι τιμές του συντελεστή φυσικού φωτισμού DF κυμαίνονται από **1,69%** για αδιαφανείς περσίδες έως **1,84%** σε περσίδες με διαπερατότητα 0,40.



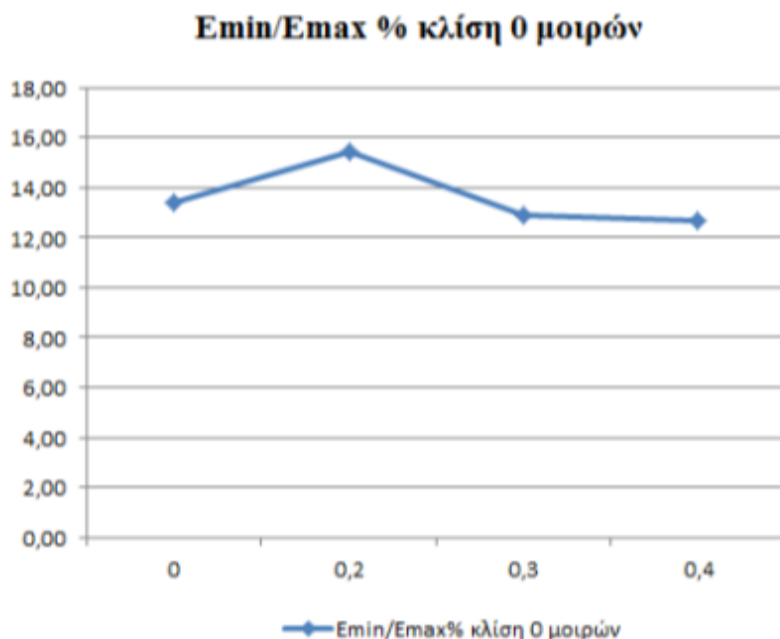
*Γράφημα 9-9 Τιμές DF (Σ.Φ.Φ.) σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης  $0^\circ$ , διαφορετικών διαπερατοτήτων. Πηγή: Προσωπικό αρχείο επεξεργασία δεδομένων σε Microsoft Excel©.*

Όταν οι οριζόντιες περσίδες ρυθμίζονται σε κλίση  $45^\circ$  οι τιμές του DF μειώνονται συνολικά ως αναμένεται, ακολουθώντας πάλι γραμμική αύξηση όσο αυξάνεται η διαπερατότητα. Συγκεκριμένα οι τιμές του συντελεστή φυσικού φωτισμού DF κυμαίνονται από **0,86%** για αδιαφανείς περσίδες έως **1,51%** σε περσίδες με διαπερατότητα 0,40.

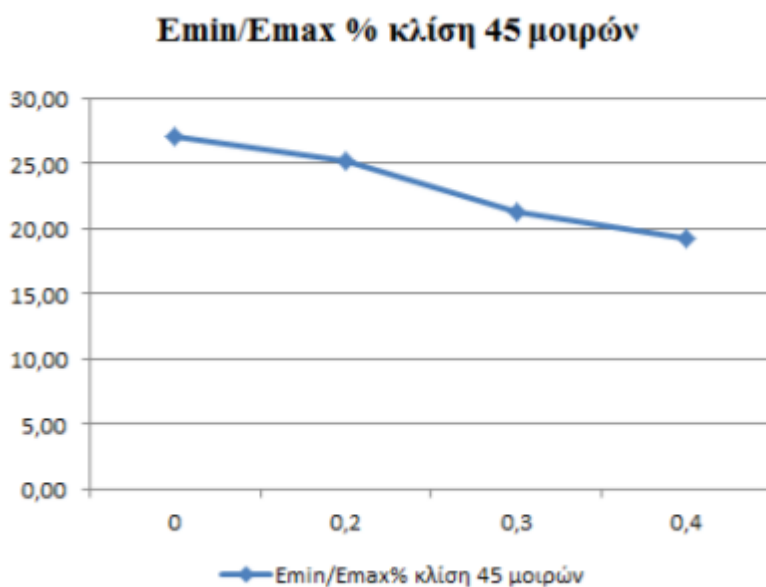


*Γράφημα 9-10 Τιμές DF (Σ.Φ.Φ.) σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης  $45^\circ$ , διαφορετικών διαπερατοτήτων. Πηγή: Προσωπικό αρχείο επεξεργασία δεδομένων σε Microsoft Excel©.*

Σημαντική παράμετρος είναι η ομοιομορφία του φυσικού φωτισμού στην αίθουσα (Aizlewood, 1993: 152), όσο μεταβάλλεται η διαπερατότητα. Από τα διαγράμματα 9-11 & 9-12 και συγκρίνοντας τον λόγο της ελάχιστης τιμής του Σ.Φ.Φ. προς την μέγιστη τιμή του  $E_{min}/E_{max}$  συμπεραίνεται ότι στις περιπτώσεις σκίασης με οριζόντιες περσίδες με μηδενική κλίση, ο λόγος αυτός είναι κοντά στο 13% εκτός από την διαπερατότητα 0,20 που προκύπτει τιμή του λόγου 15%. Οι τιμές αυτές δείχνουν μια ανομοιόμορφη κατανομή του φυσικού φωτισμού οι οποία είναι οριακά κάτω του 0,16 ενώ αντίθετα στις περιπτώσεις με κλίση  $45^\circ$  η ομοιομορφία αυξάνεται με τιμές του λόγου  $E_{min}/E_{max}$  που ξεκινούν από 0,27 για αδιαφανείς περσίδες και όσο αυξάνεται η διαπερατότητα μειώνονται με 0,19 για διαπερατότητα 0,40.

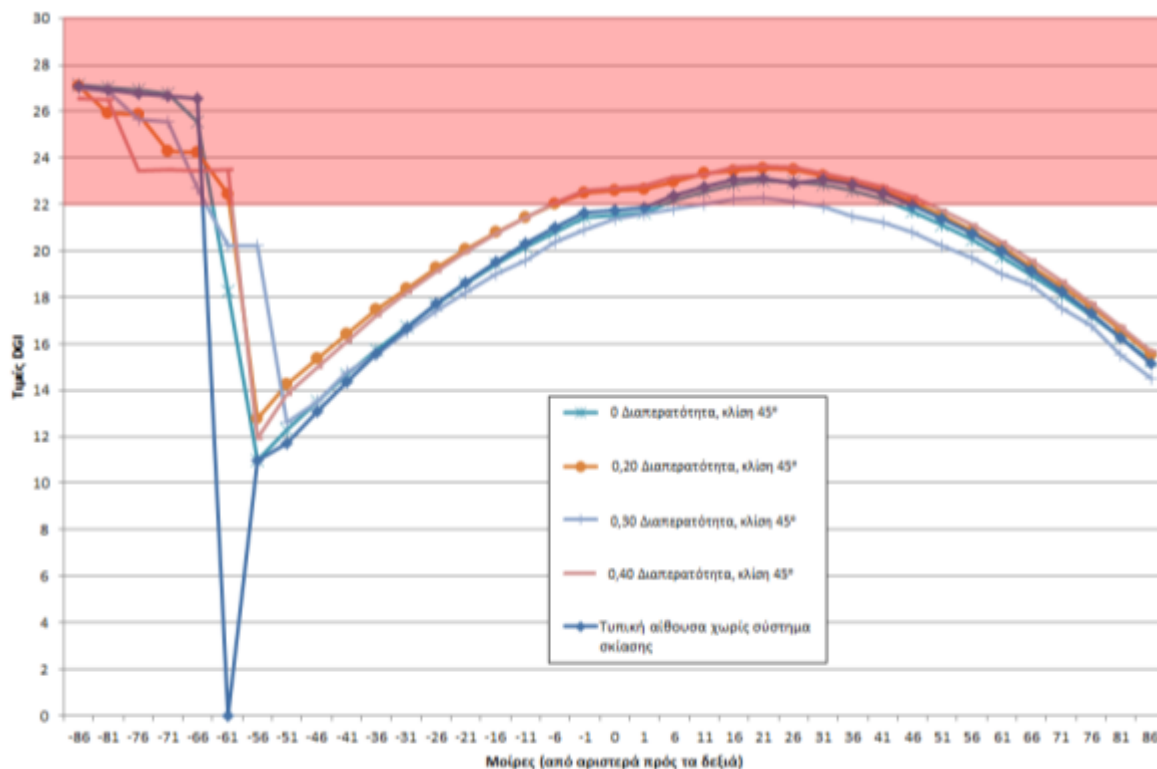


Γράφημα 9-11 Τιμές λόγου  $E_{min}/E_{max}$  σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης  $0^\circ$ , διαφορετικών διαπερατοτήτων. Πηγή: Προσωπικό αρχείο επεξεργασία δεδομένων σε Microsoft Excel©.



Γράφημα 9-12 Τιμές λόγου  $E_{min}/E_{max}$  σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης  $45^\circ$ , διαφορετικών διαπερατοτήτων. Πηγή: Προσωπικό αρχείο επεξεργασία δεδομένων σε Microsoft Excel©.

Σε ότι αφορά τα φαινόμενα θάμβωσης το διάγραμμα 9-13 παρακάτω δείχνει συγκεντρωτικά τις τιμές του δείκτη DGI σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας σε διαφορετικές διαπερατότητες την δυσμενέστερη από άποψη θάμβωσης ημερομηνία που είναι το χειμερινό ηλιοστάσιο, την 21<sup>η</sup> Δεκεμβρίου και ώρα 12:00. Από το διάγραμμα αυτό είναι προφανές ότι το σύστημα σκίασης οριζόντιων κινητών περσίδων έχει την καλύτερη απόδοση, από την άποψη της αποφυγής των φαινομένων θάμβωσης, όταν η διαπερατότητα ορίζεται στο 0,30. Ακολουθεί το σύστημα με αδιαφανείς περσίδες το οποίο όμως παρουσιάζει τιμές του δείκτη DGI πάνω από 22 σε αρκετές περιπτώσεις.



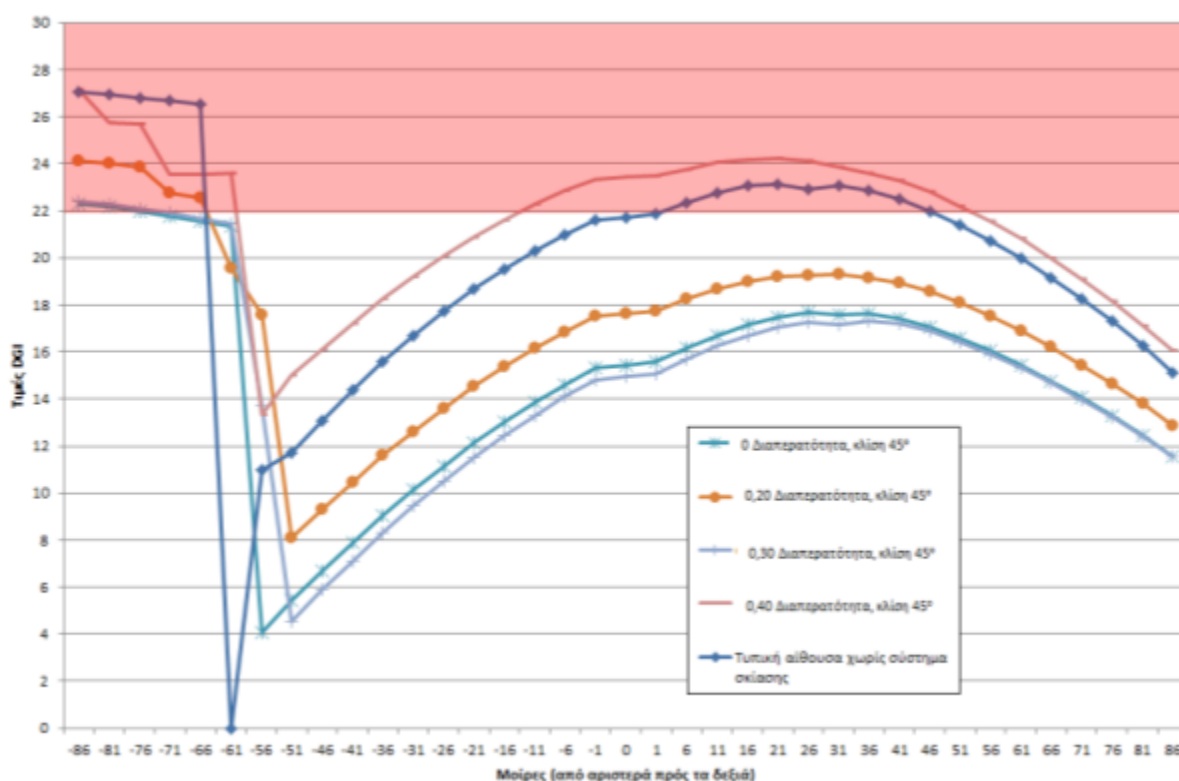
*Γράφημα 9-13 Τιμές DGI σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 45°, διαφόρων διαπερατοτήτων στο χειμερινό ηλιοστάσιο (21/12) και ώρα 12:00. Πηγή: Προσωπικό αρχείο επεξεργασία δεδομένων σε Microsoft Excel©.*

Περαιτέρω ανάλυση των καμπυλών DGI σε διάφορες τιμές διαπερατότητας, δείχνει παρόμοια αποτελέσματα την ίδια μέρα στις 09:00. Αντίστοιχα την εαρινή

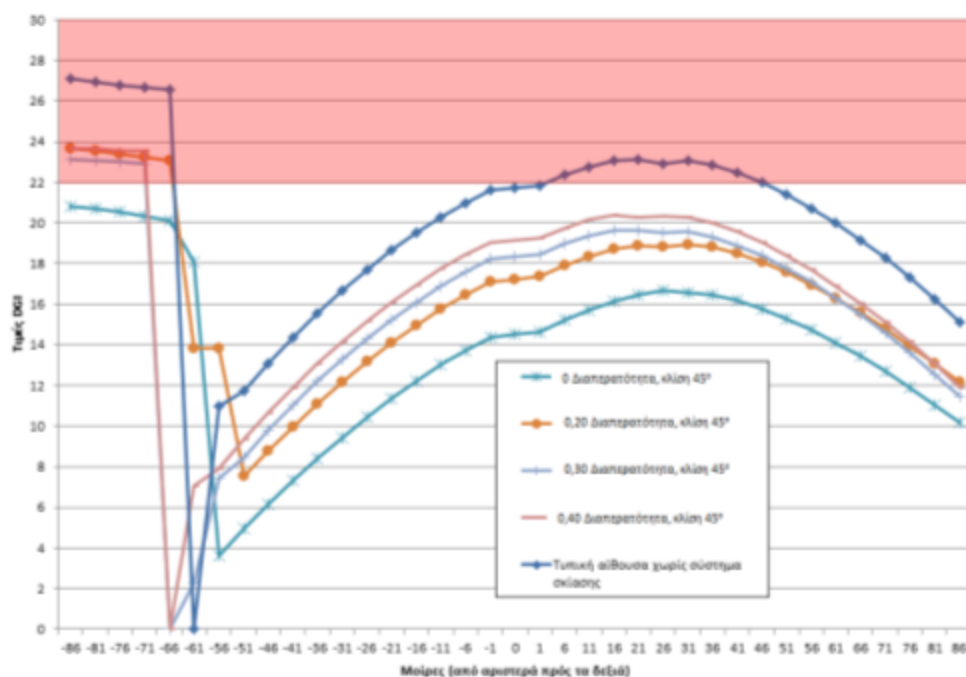


ισημερία το σύστημα με διαπερατότητα 0,30 έχει πολύ καλή συμπεριφορά με μικρή πιθανότητα θάμβωσης μόνο σε πολύ μικρό περιορισμένο φάσμα του οπτικού πεδίου.

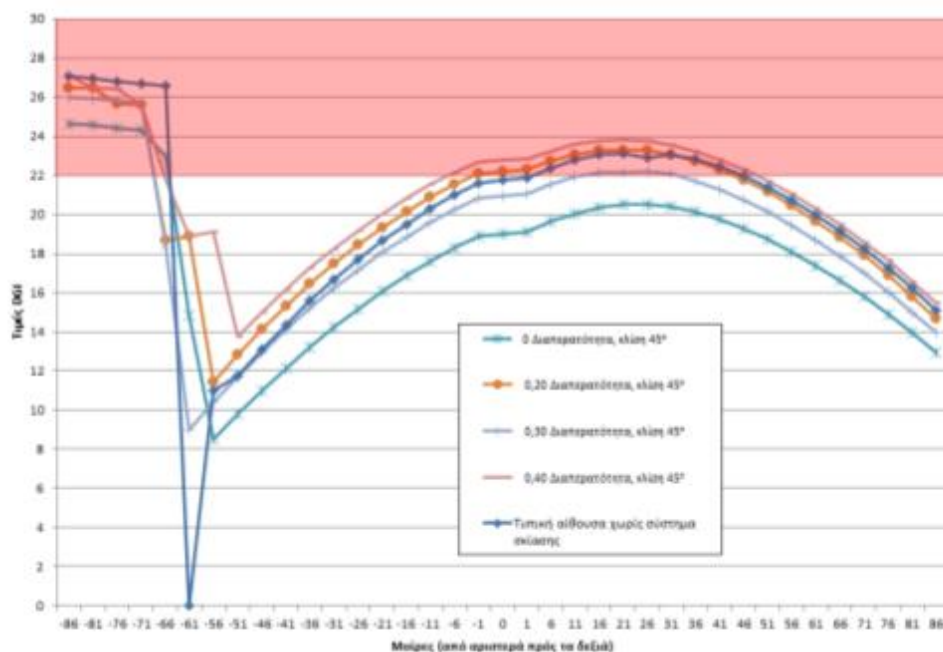
Την εαρινή/φθινοπωρινή ισημερία με σύγκριση των καμπυλών του δείκτη DGI και μόνο, υπερिशχύει το σύστημα με μηδενική διαφάνεια (διαγράμματα 9-15,9-16). Ο δείκτης DGI από μόνος του όμως δεν είναι επαρκής για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Όταν συνεκτιμηθούν τα επίπεδα του συντελεστή φυσικού φωτισμού (DF) τα οποία είναι τα χαμηλότερα από όλα τα συστήματα και η ομοιομορφία φωτισμού, το σύστημα με αδιαφανείς περσίδες παρουσιάζει ανεπαρκή αποτελεσματικότητα ως προς τη διαχείριση του φυσικού φωτισμού.



*Γράφημα 9-14 Τιμές DGI σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης 45°, διαφόρων διαπερατοτήτων στο χειμερινό ηλιοστάσιο (21/12) και ώρα 09:00. Πηγή: Προσωπικό αρχείο επεξεργασία δεδομένων σε Microsoft Excel®.*



Γράφημα 9-15 Τιμές DGI σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης  $45^\circ$ , διαφόρων διαπερατοτήτων στην εαρινή ισημερία (21/09) και ώρα 09:00. Πηγή: Προσωπικό αρχείο επεξεργασία δεδομένων σε Microsoft Excel©.



Γράφημα 9-16 Τιμές DGI σε τυπική αίθουσα διδασκαλίας, με σύστημα σκίασης οριζόντιων περσίδων κλίσης  $45^\circ$ , διαφόρων διαπερατοτήτων στην εαρινή ισημερία (21/09) και ώρα 12:00. Πηγή: Προσωπικό αρχείο επεξεργασία δεδομένων σε Microsoft Excel©.

## 10. Συμπεράσματα

Η ανάλυση που προηγήθηκε με προσομοίωση όλων των παραπάνω, σκοπό είχε να μελετήσει την καταλληλότερη τιμή της διαπερατότητας συστημάτων σκίασης οριζόντιων κινητών περσίδων σε νότια προσανατολισμένη αίθουσα διδασκαλίας στα Ιωάννινα. Αφενός το σύστημα έπρεπε να εξασφαλίζει όσο το δυνατό υψηλότερα επίπεδα φυσικού φωτισμού και αντίστοιχα αποτρέπει ή να μειώνει όσο το δυνατόν την πιθανότητα εμφάνισης θάμβωσης στους μαθητές και διδάσκοντες.

Για τον σκοπό αυτό μελετήθηκαν συστήματα σκίασης διαφορετικών διαπερατοτήτων (0,0.20,0.30,0.40) σε διαφορετικές ώρες και ημέρες, προσομοιώνοντας την συμπεριφορά τους σε ειδικά λογισμικά. Από την ανάλυση προέκυψε ότι όλα τα συστήματα παρέχουν καλύτερες συνθήκες οπτικής άνεσης στην αίθουσα από αυτές χωρίς σύστημα σκίασης.

Στις προσομοιώσεις με σύστημα σκίασης παρατηρήθηκε ότι όσο αυξάνει η διαπερατότητα αυξάνεται γραμμικά και η διείσδυση φυσικού φωτισμού στην αίθουσα που σχετίζεται με αύξηση των επιπέδων του δείκτη DF στα επιθυμητά επίπεδα. Οι τιμές διαπερατοτήτων 0,30 και 0,40 πλησιάζουν το όριο  $DF=2\%$ . Η σύγκριση των τιμών του δείκτη DGI σε διάφορες τιμές διαπερατότητας των περσίδων δείχνει ότι το σύστημα σκίασης που προτείνεται είναι αυτό με διαπερατότητα 0,30. Η τιμή της διαπερατότητας αυτής έχει την καλύτερη απόδοση στην αποφυγή των φαινομένων της θάμβωσης με βάση τις εκτιμήσεις του δείκτη DGI. Παράλληλα η διαπερατότητα αυξάνει τα επίπεδα φυσικού φωτισμού στην αίθουσα και εξασφαλίζει ομοιόμορφη κατανομή φωτισμού με βάση τις τιμές του DF που αφορά νεφосκεπή ουρανό.

### **Αναπάντητα ερωτήματα - Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.**

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε η βελτίωση ενός ήδη αποδεδειγμένα αποτελεσματικού τρόπου σκίασης ως προς την αύξηση των επιπέδων φυσικού φωτισμού με παράλληλη προστασία από φαινόμενα θάμβωσης. Δεν πραγματοποιήθηκε έλεγχος των θερμικών και ψυκτικών φορτίων και οικονομοτεχνική ανάλυση όλων των επιμέρους λύσεων ώστε να προκύψει μια ευρύτερη εικόνα για την επιλογή του καταλληλότερου τύπου.



Ειδικότερα και με δεδομένο ότι η αίθουσα μελετάται στα Ιωάννινα, μία από τις πιο νεφοσκεπής περιοχές της Ελλάδος, συμπεραίνεται ότι μία περαιτέρω ανάλυση θα μπορούσε να οδηγήσει σε έναν λόγο διαπερατότητας που να συνδυάζεται με το καταλληλότερο σύστημα φωτοενίσχυσης ώστε να αυξάνει τα επίπεδα φυσικού φωτισμού χωρίς όμως να αυξάνει όμως την πιθανότητα θάμβωσης και τα θερμικά φορτία που προκύπτουν από την διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας στην αίθουσα. Περαιτέρω μελέτη μπορεί να επεκταθεί σε αντίστοιχα συστήματα στην ίδια τυπική αίθουσα με διαφορετικό προσανατολισμό ή και στην επίδραση του περιβάλλοντος χώρου.

## Βιβλιογραφία

Antoniadis D, Katsoulas N, Papanastasiou D, Christidou V, Kittas C (2016) Evaluation of thermal perception in schoolyards under Mediterranean climate conditions. Int J Biometeorol 60:319–334.

Aizelwood, M. (1993) Innovative daylighting systems. An experimental evaluation. Lighting Research Technology, 25(4), 141–52

ASHRAE (2013) Standard 55 – Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.

ASHRAE Handbook fundamentals. (2005). Retrieved from: [https://www.ashrae.org/File\\_Library/Technical\\_Resources/ASHRAE\\_Handbook/I-P\\_F2017-IndexIX.pdf](https://www.ashrae.org/File_Library/Technical_Resources/ASHRAE_Handbook/I-P_F2017-IndexIX.pdf)

Baker, N., Fanchiotti, A., Steemers, K. (eds), 1993. Daylighting in Architecture – European Reference Book, Commission of the European Communities Directorate - General XII for Science Research and Development, Brussels: James & James Ltd.

Baker, N., Steemers, K., (2002). Daylight Design of Buildings, London James & James Ltd.

P. Barrett, F. Davies, Y. Zhang, L. Bartett (2015). The impact of classroom design on pupils learning, final results of a holistic, multilevel analysis, Building Environment 89 118-133.

Boubekri M, Ph.D.,<sup>1</sup> Ivy N. Cheung, B.A.,<sup>2</sup> Kathryn J. Reid, Ph.D.,<sup>2</sup> Chia-Hui Wang,<sup>1,3</sup> and Phyllis C. Zee, M.D., Ph.D., F.A.A.S.M., 2014. Impact of Windows and Daylight Exposure on Overall Health and Sleep Quality of Office Workers: A Case-Control Pilot Study

Boyce, P., Hunter, C., Howlett, O., 2003. The Benefits of Daylight through Windows. Sponsored by “Capturing the Daylight Dividend” program, Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, New York.

Branz Ltd, (2007). Designing Quality Learning Spaces: Lighting, Ministry of Education UK.

BREEAM UK. New Construction, Non-Domestic Buildings, Technical Manual BRE Global Ltd., Watford, UK, 2014

Budde Ferdinand, Theil Hans Wolfram, Schulen. Handbuch für die Planung und Durchführung von Schulbauten Verlag G D.W. Callwey, München, 1969.

P. Chauvel, J.B. Collins, R. Dogniaux, J. Longmore, 1982,. Glare from windows: current views of the problem. Lighting Research & Technology, vol. 14, 1: pp. 31-46

Costanzo Vincenzo, Evola G., Marletta L, (2017). A Review of Daylighting Strategies in Schools: State of the Art and Expected Future Trends

Dounis, A. I., & Caraiscos, C. (2009). Advanced control systems engineering for energy and comfort management in a building environment-A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13(6-7), 1246-1261. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.09.015>

Dounis, A. I., Santamouris, M. J., & Lefas, C. C. (1993). Building visual comfort control with fuzzy reasoning. Energy Conversion and Management, 34(1), 17-28. [https://doi.org/10.1016/0196-8904\(93\)90004-TEI-Bardisy WM, Fahmy M, El-Gohary GF \(2016\) Climatic sensitive landscape design: towards a better microclimate through plantation in public schools, Cairo, Egypt. Procedia Social Behav Sci 216:206-216.](https://doi.org/10.1016/0196-8904(93)90004-TEI-Bardisy WM, Fahmy M, El-Gohary GF (2016) Climatic sensitive landscape design: towards a better microclimate through plantation in public schools, Cairo, Egypt. Procedia Social Behav Sci 216:206-216.)

Dunn, R., Dunn, K., & Price, G.E. 1985. Learning styles inventory LSI: An inventory for the identification of how individuals in grades 3 through 12 prefer to learn. Lawrence, KS: Price Systems.

Figueiro, M. G., Rea, M. S., Stevens, R. G., and Rea, A.C., 2002. Daylight and Productivity—A Possible Link to Circadian Regulation. Light and Human Health, 5<sup>th</sup> International Lighting Research Symposium, The Lighting Research Office of the Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA, pp. 185-193. <http://www.lrc.rpi.edu/programs/lightHealth/pdf/daylightProductivity.pdf>

Gamson Danks S (2010) Asphalt to ecosystems: design ideas for schoolyard transformation. New Village Press, Oakland ISBN-13: 978-0-9766054-8-

Habraken, N. J., & Valkenburg, B. (1999). Supports, an alternative to mass housing. Urban International Press.

IEA (International Energy Agency), 2000. Daylight in Buildings: A Source Book on Daylighting Systems and Components, A report of the IEA Task 21.

ISO (1994). 7730:2005 (en), Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Retrieved from <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:7730:ed-3:v1:en>

Iwata, O. (1997). Attitudinal and behavioral correlates of voluntary simplicity lifestyles. Social Behavior and Personality: An International Journal, 25(3), 233-240.

CrossRefGoogle Scholar

Knippers, J., Jungjohann, H., Scheible, F., & Oppe, M. (2013). Bio-inspirierte kinetische Fassade für den Themenpavillon “One Ocean” EXPO 2012 in Yeosu, Korea. Bautechnik, 90(6), 341–347. <https://doi.org/10.1002/bate.201300034>

Lechner, N., 2015. Heating, Cooling, Lighting: Sustainable Methods for Architects, Canada :John Wiley and Sons.

Matzarakis Andreas, & Katsoulis Vasileios. (2005). Πρακτικά 7ου Διεθνούς Συνεδρίου Μετεωρολογίας, Κλιματολογίας και Φυσικής της Ατμόσφαιρας. Retrieved from:

[http://www.urbanclimate.net/matzarakis/papers/matzarakis\\_katsoulis\\_2005\\_cyprus.pdf](http://www.urbanclimate.net/matzarakis/papers/matzarakis_katsoulis_2005_cyprus.pdf)

Mark Goulthorpe | MIT Architecture.(n.d.). Retrieved May 21, 2018, from <http://architecture.mit.edu/faculty/mark-goulthorpe>

Moogk Soulis C (2002) Schoolyard heat islands: a case study in waterloo. 5th Can Urban For Conf, Ontario, pp 24–27

Moogk Soulis C (2010) Schoolyard and public space heat islands: a study in Windsor-Essex, Sarnia-Lambton and Chatham-Kent. Ontario Riverside Optimist Club, Windsor; and the Public Health Units of Windsor-Essex, Sarnia-Lambton, and Chatham-Kent October 5–6, 2010, Windsor, Sarnia, Chatham

Nabil, A., Mardaljevic, J., 2006. Useful Daylight Illuminances: A Replacement for Daylight Factors, Energy and Buildings, 38, pp. 905-913.

Oliveria SA, Saraiya M, Geller AC, Heneghan MK, Jorgensen C (2006) Sun exposure and risk of melanoma. Arch Dis Child 91(2):131–138

Robbins, C.L., 1986. Daylighting Design and Analysis, New York : Van Nostrand Reinhold.

Schulman A, Peters CA (2008) GIS analysis of urban schoolyard landcover in three U.S. cities. Urban Ecosyst 11:65–80

Shih WM, Lin TP, Tan NX, Liu MH (2017) Long-term perceptions of outdoor thermal environments in an elementary school in a hothumid climate. Int J Biometeorol 61:1657–1666.

Steffy, G., R., 2008. Architectural lighting design, Hoboken, NJ. John Wiley & Sons.

Tsangrassoulis, A., Synnefa, A., Jacobs, A., Wilson, M., Solomon, J., Fontoynt, M., Pohl, W., Zimmermann, A., 2004. SynthLight Handbook: European Educational Infrastructure on Energy Efficient Lighting Technologies, Assisted by 3D Environments.



Vanos JK, McKercher GR, Naughton K, Lochbaum M (2017) Schoolyard shade and sun exposure: assessment of personal monitoring during children's physical activity. *Photochem Photobiol* 93(4):1123–1132.

Wienold, J., Christoffersen, J., 2006. Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras. *Energy and Buildings* 38, 743–757.

Zhang A, Bokel R, van den Dobbelsteen A, Sun Y, Huang Q, Zhang Q 2017 An integrated school and schoolyard design method for summer thermal comfort and energy efficiency in Northern China. *BuildEnviron* 124:369–387

Αλεξανδρή, Ε., Αξαρχή, Κ., Γράψας, Κ., Δημούδη, Α., Λαμπροπούλου, Ε., Χρονάκη, Ε., 2011. Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων, Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, Τ.Ο.ΤΕΕ 20702-5/2010, Αθήνα.

Αξαρχή Κ., 1995. Ο Ενεργειακός Σχεδιασμός του Κελύφους και η Αξιοποίηση του απευθείας κέρδους στα σχολικά κτίρια – Καθοριστικές παράμετροι Σχεδιασμού για τον Ελληνικό Χώρο. Διδακτορική Διατριβή στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.

Αξαρχή Κ., Γιαννάς Σ., Ευαγγελινός Ε., Ζαχαρόπουλος Η., Μαρδα Ν. 2001. Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων και Περιβάλλοντος Χώρου Τόμος Α. Ε.Α.Π. Πάτρα.

Καλαφάτη, Παπαλεξοπουλος, & Κρητικά. (2006). Τάκης Χ. Ζενέτος : Ψηφιακά οράματα και αρχιτεκτονική. Libro.

Κωσταρέλα Π. και Δημούδη Α.. Ενεργειακή συμπεριφορά των σχολικών κτιρίων με έμφαση στη γ' κλιματική ζώνη, Εργασία στο Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο (Ε.Α.Π.), στο Μεταπτυχιακό Δίπλωμα Ειδίκευσης Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός Πόλεων και Κτιρίων, Πάτρα.

Μερέση, Α. 2010. Εξοικονόμηση ενέργειας στη σχολική αίθουσα μέσω του φυσικού φωτισμού (Διδακτορική Διατριβή). Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

Οργανισμός Σχολικών Κτιρίων Α.Ε, (1982). Κτιριολογικά προγράμματα γενικής εκπαίδευσης, Τμήμα έρευνας, Αθήνα.

Οργανισμός Σχολικών Κτιρίων Α.Ε., (2008). Οδηγός Μελετών για Διδακτήρια όλων των βαθμίδων εκπαίδευσης, Γενική Διεύθυνση Έργων Διεύθυνση Μελετών Συμβατικών Έργων, Αθήνα.



Οργανισμός Σχολικών Κτιρίων Α.Ε., (2008). Οδηγίες Βιοκλιματικού σχεδιασμού Σχολικών Κτιρίων, Γενική Διεύθυνση Έργων Διεύθυνση Μελετών Συμβατικών Έργων, Αθήνα

Τσαγκρασούλης Α., (2008). Φυσικός Φωτισμός, Ελληνικά Ακαδημαϊκά Συγγράμματα και Βοηθήματα, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

<http://www.fsec.ucf.edu>

[www.fosterandpartners.com](http://www.fosterandpartners.com)

Περιοδικό Κτίριο, Σχεδιασμός βιοκλιματικών όψεων & στεγών, σχολείο "Bailly" στο Παρίσι, Ανακτήθηκε από ιστότοπο: <http://www.ktirio.gr/κτιρια/ξενα-κτιρια/σχεδιασμος-βιοκλιματικων-οψεων-σχολειο-bailly-στο-παρισι>