

Φυσικός Φωτισμός Κτιρίων: Η Απόδοση των Ραφιών Φωτισμού στην Ελλάδα

Αικ. Μερέση

Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο

Κ. Αξαρλή

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο πλαίσιο των αρχών της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής, ο φυσικός φωτισμός των κτιρίων στοχεύει τόσο στην επίτευξη οπτικής άνεσης, όσο και στην εξοικονόμηση ενέργειας. Ο όρος «οπτική άνεση» αναφέρεται στην επαρκή ποσότητα και ποιότητα φυσικού φωτισμού σε ένα χώρο, ενώ η εξοικονόμηση ενέργειας σχετίζεται κυρίως με την αντικατάσταση τμήματος του τεχνητού φωτισμού από φυσικό.

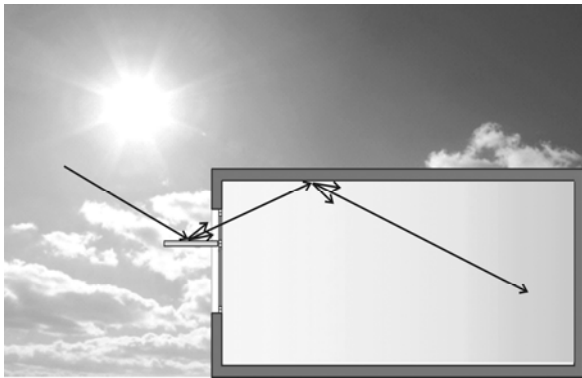
Η μεγάλη ποσότητα διαθέσιμου φυσικού φωτός στην Ελλάδα μπορεί να αξιοποιηθεί μέσω κατάλληλων αρχιτεκτονικών χειρισμών. Μία διεθνής πρακτική στον τομέα αυτό είναι και τα ράφια φωτισμού (*lightshelves*), τα οποία αποτελούν οριζόντιες ή ελαφρώς κεκλιμένες διατάξεις που αντανακλούν φυσικό φως στο βάθος των χώρων.

Η παρούσα εργασία ασχολείται με την απόδοση των ραφιών φωτισμού στα κλιματικά δεδομένα της Αθήνας. Μελετά τις διατάξεις αυτές, μέσω του λογισμικού RADIANCE, σε όλους τους προσανατολισμούς και με διάφορα χαρακτηριστικά, με σκοπό να διερευνηθεί η βέλτιστη απόδοσή τους. Η λειτουργία των ραφιών φωτισμού εξετάζεται σε διαφορετικές ημερομηνίες του έτους και ώρες της ημέρας. Επίσης μελετώνται οι συνθήκες νεφοσκεπούς ουρανού, καθώς και ουρανού με ήλιο, η οποία αποτελεί τη συνηθέστερη περίπτωση για τη συγκεκριμένη πόλη. Βασικός στόχος της μελέτης είναι η εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για τους αρχιτέκτονες και μηχανικούς που επιδιώκουν την αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού στα κτίρια που σχεδιάζουν.

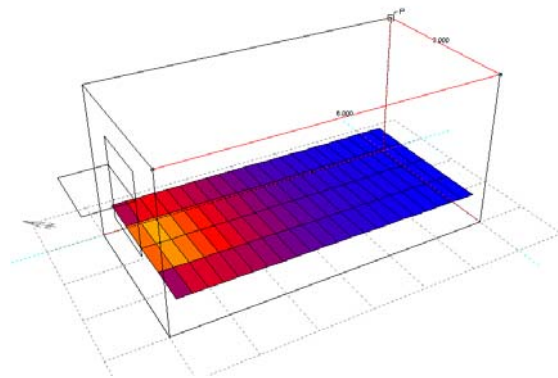
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού στα κτίρια είναι γνωστό πως αποτελεί μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους του βιοκλιματικού σχεδιασμού κτιρίων και στοχεύει τόσο στην επίτευξη οπτικής άνεσης για τους χρήστες, όσο και στην εξοικονόμηση ενέργειας. Στην Ελλάδα υπάρχει μεγάλη ποσότητα διαθέσιμου φυσικού φωτός. Ειδικότερα στην Αθήνα, ο κυρίαρχος τύπος ουρανού είναι, ακόμα και το χειμώνα, ο ηλιόλουστος ουρανός (Darula et al, 2000), (Kambezidis et al, 2002). Η μεγάλη αυτή ποσότητα φωτός μπορεί να αξιοποιηθεί με διάφορους τρόπους, ένας από τους οποίους είναι και τα ράφια φωτισμού (*lightshelves*), τα οποία αποτελούν ανακλαστικές διατάξεις που τοποθετούνται στα υαλοστάσια των κτιρίων, με σκοπό να μεταφέρουν, μέσω ανάκλασης, φως στο βάθος των χώρων. Οι διατάξεις αυτές μπορούν να είναι είτε εξωτερικές, είτε εσωτερικές, είτε συνδυασμός των δύο.

Μέχρι σήμερα, ράφια φωτισμού έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε διάφορους κτιριακούς τύπους (σχολεία, βιβλιοθήκες, κτίρια γραφείων κ.ο.κ.) σε χώρους με μεγάλο σχετικά βάθος, όπου υπάρχει ανάγκη μεταφοράς φυσικού φωτός μέσω ανάκλασης. Αξίζει να τονιστεί πως εκτός από φωτο-ενίσχυση, τα ράφια φωτισμού προσφέρουν και σκίασμό, συνήθως, όμως, απαιτείται κάποιο πρόσθετο σύστημα σκίασης.



Σχήμα 1. Σχηματική απεικόνιση της λειτουργίας ενός ραφιού φωτισμού.



Σχήμα 2. Ο τυπικός χώρος γραφείου που μελετήθηκε, διαστάσεων 3,00 μ. * 6,00 μ. Το μοντέλο δημιουργήθηκε στο λογισμικό Ecotect v5.6, ενώ τα επίπεδα φωτισμού υπολογίστηκαν στο λογισμικό RADIANCE.

Τα ράφια φωτισμού έχουν μελετηθεί, εδώ και χρόνια, από πλήθος ερευνητών (Hopkinson et al, 1951), (Moore, 1991), (Bouberki, 1992), (Aizlewood, 1993), (Littlefair, 1995), (Soler & Oteiza, 1996), (Assaf, 1997), (Claros & Soler, 2001, 2002), (Μερέση, 2010) κ.ά. Κάποια από τα σημαντικότερα κοινά συμπεράσματα των ερευνών αυτών είναι τα εξής:

- Τα ράφια φωτισμού βελτιώνουν αισθητά την ομοιομορφία του φυσικού φωτισμού μειώνοντας τις τιμές κοντά στο παράθυρο και αυξομειώνοντάς αυτές στο βάθος των χώρων.
- Τα ράφια φωτισμού προσφέρουν σκίαση στα παράθυρα κυρίως όταν το ηλιακό ύψος είναι μεγάλο. Σε κάθε περίπτωση απαιτείται επιπρόσθετο σύστημα σκίασης, το οποίο δεν θα πρέπει να χρησιμοποιείται όταν δεν είναι αναγκαίο.
- Όσο μεγαλύτερη η απόσταση του ραφιού φωτισμού από την οροφή, τόσο καλύτερη η απόδοσή του.
- Όσο μεγαλύτερο είναι το εσωτερικό τμήμα ραφιών φωτισμού, τόσο περισσότερο μειώνονται τα επίπεδα φωτισμού στο βάθος του χώρου.
- Τα ράφια φωτισμού (είτε εξωτερικά είτε εσωτερικά) πρέπει να έχουν το μεγαλύτερο δυνατό συντελεστή ανακλαστικότητας.
- Για τα ράφια φωτισμού που τοποθετούνται στο νότο προτείνεται κλίση $= 40^\circ - (0,5 \times \Gamma.Π.^\circ)$.

Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν να διερευνηθεί η απόδοση των ραφιών φωτισμού σε διάφορους προσανατολισμούς καθώς και σε συνθήκες πυκνού αστικού ιστού, ώστε να γνωρίζει ένας μελετητής εάν αξίζει, και κάτω από ποιες προϋποθέσεις, να προτείνει ράφια φωτισμού σε ένα κτίριο.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Επιλέχθηκε να μελετηθεί ένας τυπικός χώρος γραφείου, διαστάσεων 3,00 μ.* 6,00 μ. (Σχήμα 2), όπου υπολογίστηκε ο φυσικός φωτισμός στο επίπεδο εργασίας (0,70 μ. από το δάπεδο) με τη βοήθεια του λογισμικού RADIANCE. Εξετάστηκαν οι συνθήκες νεφοσκεπούς ουρανού, καθώς και καθαρού ουρανού με ήλιο που αποτελεί και τη συνηθέστερη περίπτωση, ενώ χρησιμοποιήθηκαν τα κλιματικά δεδομένα της Αθήνας από το δικτυακό τόπο του U.S.Department of Energy (αρχείο IWEC - International Weather for Energy Calculation).

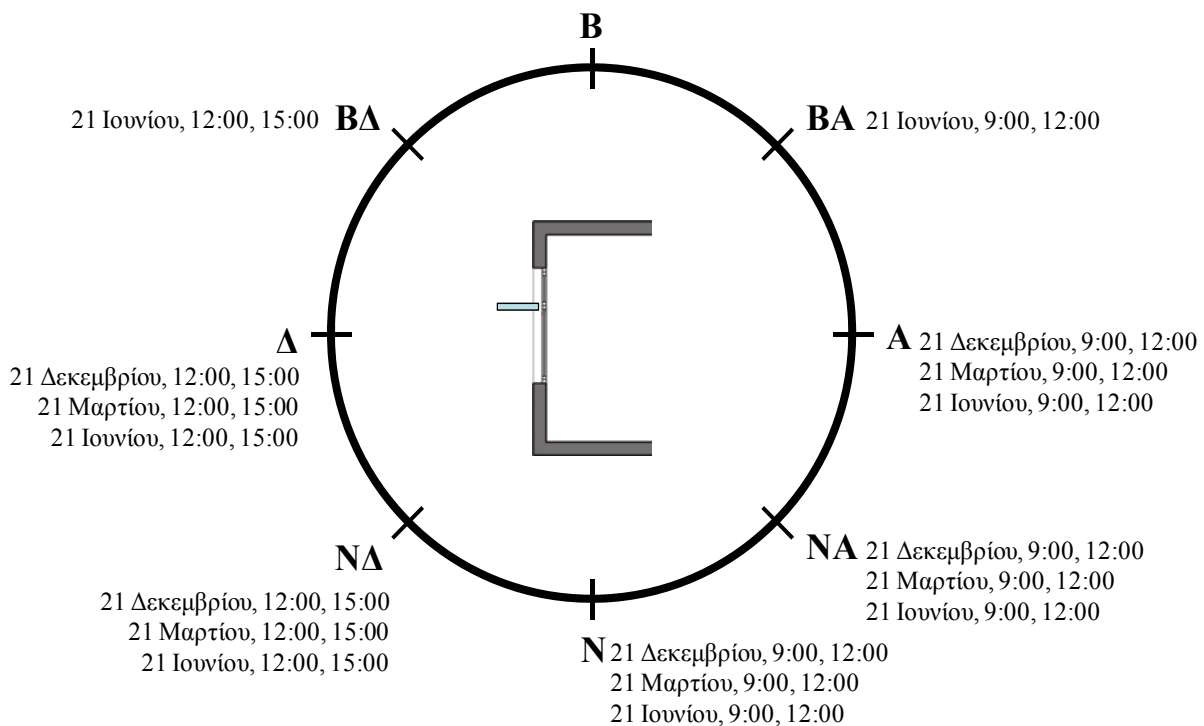
Το ράφι φωτισμού που μελετήθηκε έχει πλάτος 0,80 μ., κατοπτρικότητα 50% και είναι τοποθετημένο σε ύψος 2,00 μ. από το δάπεδο. Τα χαρακτηριστικά αυτά έχει αποδειχθεί πως εξασφαλίζουν καλή απόδοση σε ένα ράφι φωτισμού που τοποθετείται σε νότιο άνοιγμα, για τα κλιματικά δεδομένα της Αθήνας (Μερέση, 2010). Η διάταξη αυτή μελετήθηκε σε δύο κλίσεις, ως οριζόντια και ως κεκλιμένη κατά 20°.

Οι ανακλαστικότητες των εσωτερικών επιφανειών ορίστηκαν ως εξής:

- Ανακλαστικότητα οροφής: 85%
- Ανακλαστικότητα πλαϊνών τοίχων: 60%
- Ανακλαστικότητα δαπέδου: 20%
- Ανακλαστικότητα διπλού τζαμιού: 11%

Η διαπερατότητα του διπλού τζαμιού ορίστηκε 70%. Τέλος, οι παράμετροι που λήφθηκαν υπόψη στο λογισμικό RADIANCE ήταν:

- Model Detail: Medium
- Lighting Variability: High
- Image Quality: Medium
- Internal Reflections: 4

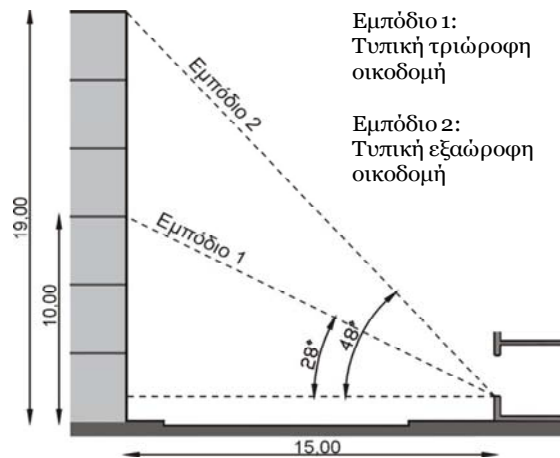


Σχήμα 3. Οι προσανατολισμοί, ημερομηνίες και ώρες που μελετήθηκαν.

Οι προσανατολισμοί που εξετάστηκαν φαίνονται στο Σχήμα 3. Λόγω της συμμετρίας της κίνησης του ήλιου ως προς τον άξονα βορρά - νότου, παρατηρήθηκαν ομοιότητες μεταξύ των περιπτώσεων ανατολικά και δυτικά (π.χ. μεταξύ της περίπτωσης του ανατολικού ανοίγματος στις 21 Δεκεμβρίου στις 9:00 και του δυτικού την ίδια ημερομηνία στις 15:00). Για το λόγο αυτό παρουσιάζονται εδώ μόνο οι περιπτώσεις από τη μεριά της ανατολής.

Τέλος, εξετάστηκαν και δύο περιπτώσεις εξωτερικών εμποδίων, όπως φαίνονται στο Σχήμα 4, με σκοπό να διερευνηθεί η απόδοση των ραφιών φωτισμού σε συνθήκες πυκνού αστικού ιστού, όπως αυτές των μεγάλων ελληνικών πόλεων.

Βασικό κριτήριο αξιολόγησης των περιπτώσεων που αναφέρθηκαν υπήρξε η ομοιομορφία της κατανομής του φωτισμού στο χώρο, διότι, σύμφωνα με έρευνες, *ένας χώρος φαίνεται στους χρήστες φωτεινότερος όταν είναι ομοιόμορφα φωτισμένος, ακόμα κι όταν ποσοτικά το φως είναι λιγότερο* (Aizlewood, 1993), (Iwata et al, 1997).



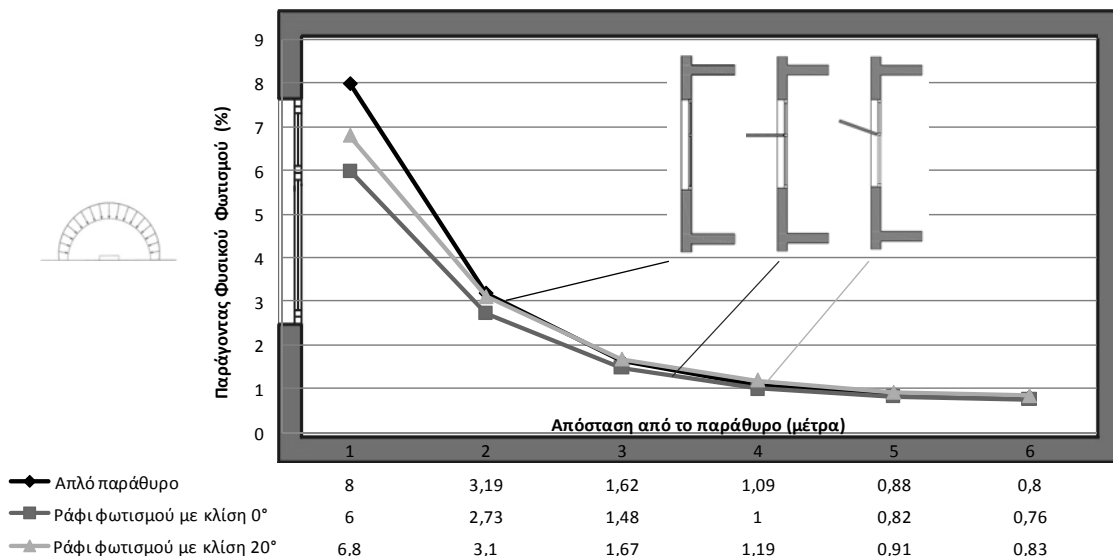
Σχήμα 4. Οι δύο περιπτώσεις εξωτερικών εμποδίων που μελετήθηκαν.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

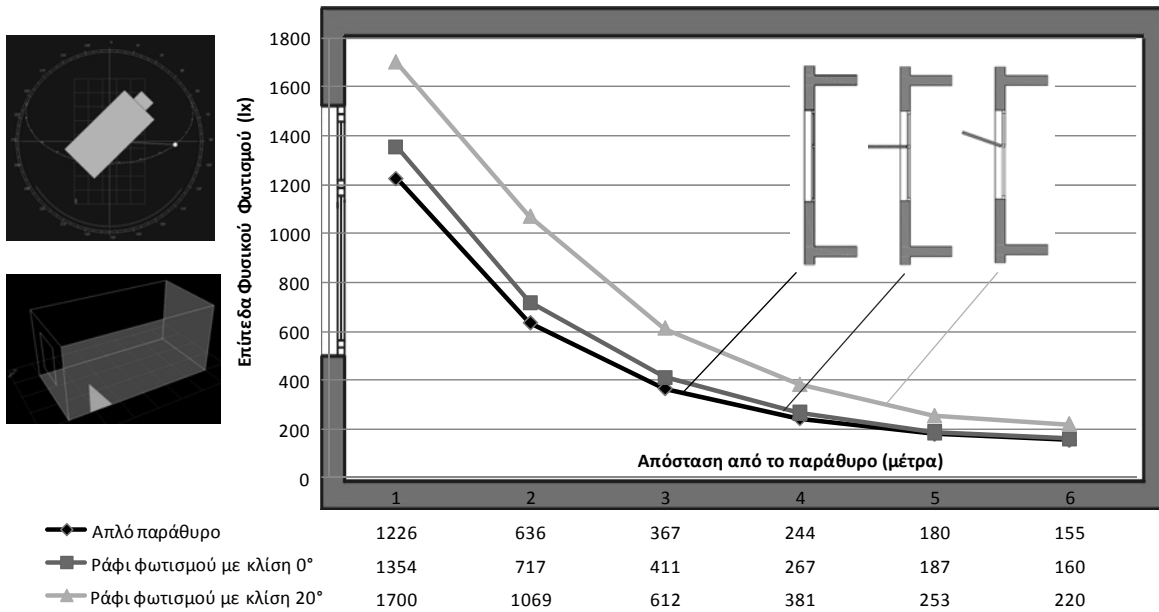
Αρχικά εξετάστηκε η περίπτωση του νεφосκεπούς ουρανού, η οποία είναι ανεξάρτητη από τον προσανατολισμό του ανοίγματος. Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 1, και τα δύο ράφια φωτισμού βελτίωσαν την ομοιομορφία της κατανομής του φυσικού φωτισμού στο χώρο, μειώνοντας τις τιμές κοντά στο παράθυρο και ελαφρώς αυξομειώνοντάς αυτές στο βάθος του χώρου.

Όσον αφορά στις περιπτώσεις με ήλιο, λόγω του μεγάλου αριθμού των διαγραμμάτων επιλέγεται να παρουσιαστούν μόνο κάποιες χαρακτηριστικές περιπτώσεις. Ξεκινώντας από τον βορειοανατολικό προσανατολισμό, στις 21 Ιουνίου στις 09:00 (Διάγραμμα 2) τα ράφια φωτισμού μειώνουν την ομοιομορφία της κατανομής του φυσικού φωτισμού, ενώ ταυτόχρονα η κεκλιμένη διάταξη αυξάνει το φωτισμό στο βάθος του χώρου κατά περίπου 42%. Την ίδια ημερομηνία στις 12:00 η διαφοροποίηση μεταξύ των αποτελεσμάτων είναι πολύ μικρή.

Διάγραμμα 1. Συνθήκες νεφосκεπούς ουρανού (όλοι οι προσανατολισμοί, συμπεριλαμβανομένου και του βόρειου)

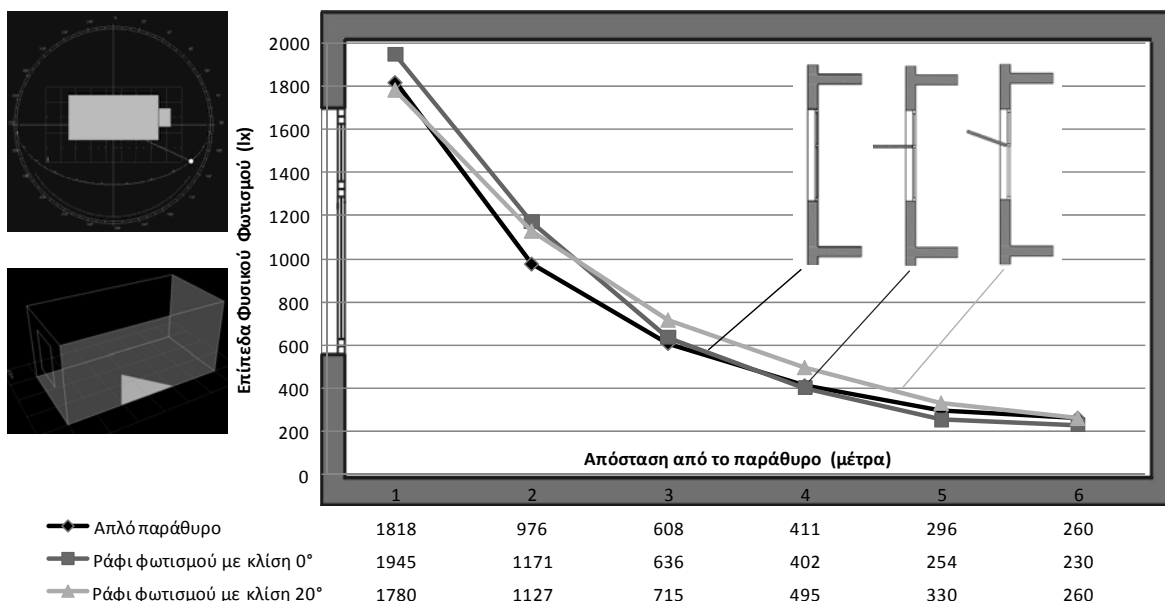


Διάγραμμα 2. Βορειοανατολικός προσανατολισμός
21 Ιουνίου, 09:00

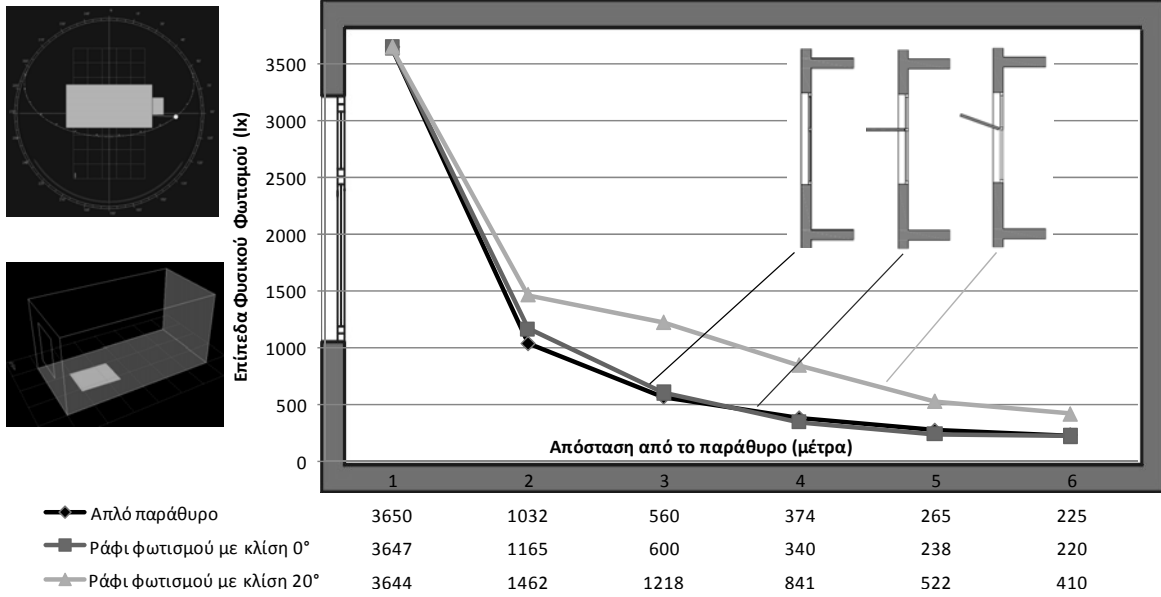


Στον ανατολικό προσανατολισμό και την ημερομηνία 21 Δεκεμβρίου παρατηρήθηκαν μικρές διαφορές στην κατανομή του φωτισμού στο χώρο, τόσο στις 09:00 όσο και στις 12:00. Στις 21 Μαρτίου στις 09:00 (Διάγραμμα 3) η περίπτωση του κεκλιμένου ραφίου φωτισμού υπερέχει ξεκάθαρα, αφού αφενός βελτιώνει την ομοιομορφία της κατανομής και αφετέρου αυξάνει τις τιμές φωτισμού από τα 2,00 μ. και προς το βάθος του χώρου. Την ίδια ημερομηνία στις 12:00 η διαφοροποίηση μεταξύ των αποτελεσμάτων είναι μικρή. Αντίθετα, τον Ιούνιο στις 09:00 (Διάγραμμα 4), το κεκλιμένο ράφι προσφέρει και πάλι βελτιωμένο φυσικό φωτισμό στο χώρο, τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά (πιο ομοιόμορφη κατανομή). Λίγο αργότερα, στις 12:00, οι διαφορές μεταξύ των περιπτώσεων είναι μικρές.

Διάγραμμα 3. Ανατολικός προσανατολισμός
21 Μαρτίου, 09:00

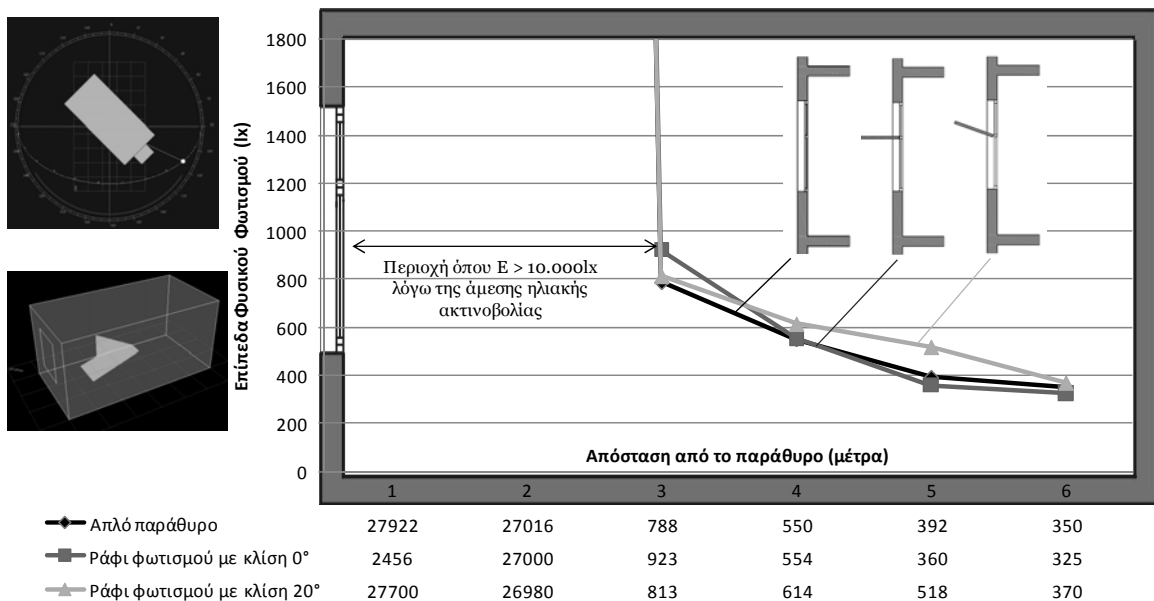


Διάγραμμα 4. Ανατολικός προσανατολισμός
21 Ιουνίου, 09:00

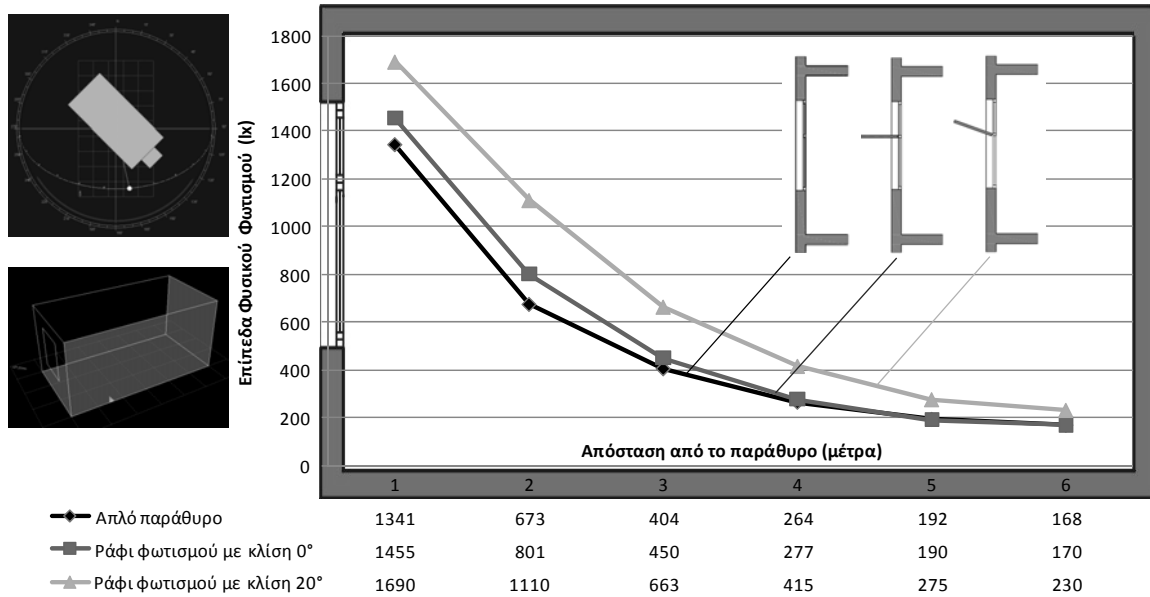


Συνεχίζοντας με τον νοτιοανατολικό προσανατολισμό, τον Δεκέμβριο στις 09:00 το κεκλιμένο ράφι φωτισμού προσφέρει ελαφρώς αυξημένα επίπεδα φωτισμού σε βάθος 6,00 μ. (σε σχέση με την απλή περίπτωση), ενώ το οριζόντιο μειώνει τις τιμές στο ίδιο βάθος κατά περίπου 41%. Την ίδια ημερομηνία στις 12:00 δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των περιπτώσεων. Τον Μάρτιο στις 09:00 (Διάγραμμα 5) η κεκλιμένη διάταξη προσφέρει ελαφρώς περισσότερο φως στο βάθος του χώρου, ενώ στις 12:00 (Διάγραμμα 6) η ίδια διάταξη αυξάνει συνολικά το φυσικό φωτισμό, μειώνοντας ελάχιστα την ομοιομορφία της κατανομής του.

Διάγραμμα 5. Νοτιοανατολικός προσανατολισμός
21 Μαρτίου, 09:00



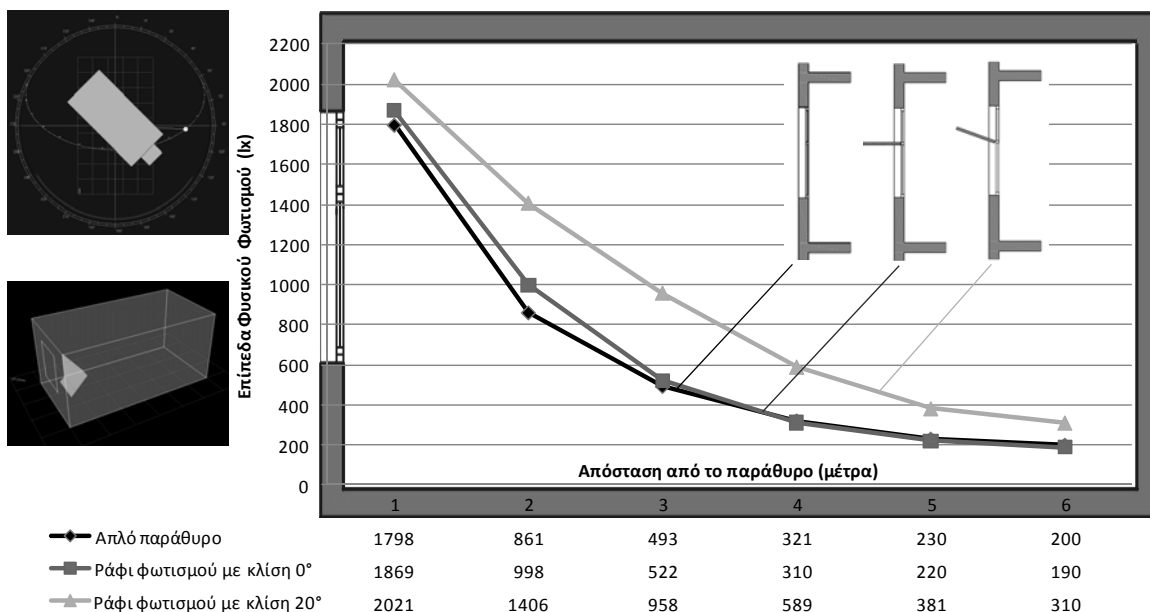
Διάγραμμα 6. Νοτιοανατολικός προσανατολισμός
21 Μαρτίου, 12:00



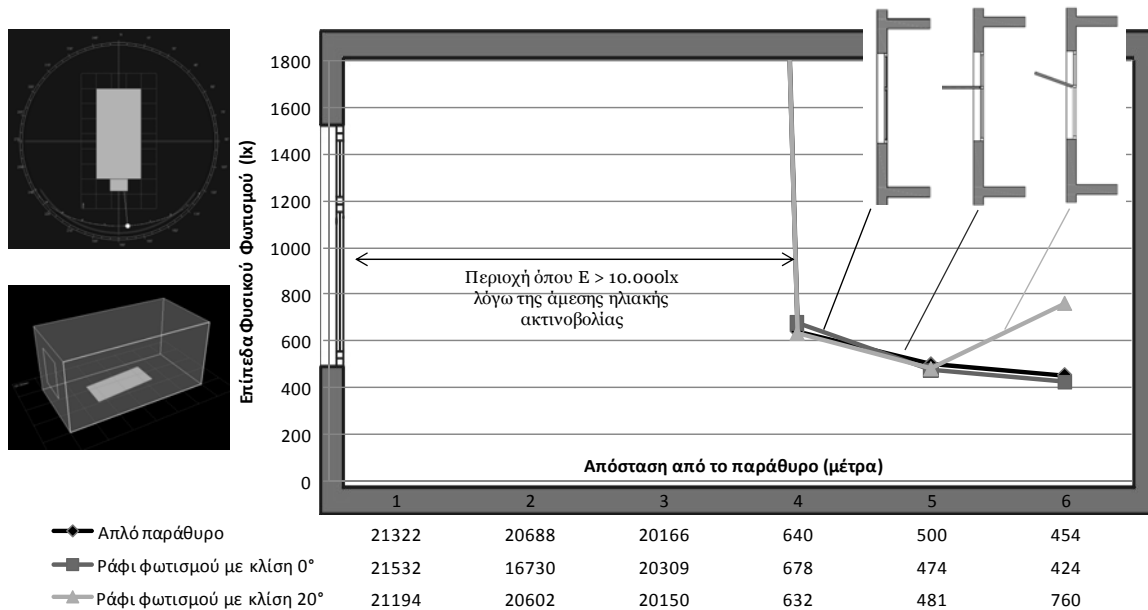
Τον Ιούνιο το πρωί, το κεκλιμένο ράφι φωτισμού αποτελεί αναμφισβήτητα την καλύτερη περίπτωση αφού βελτιώνει το φωτισμό του χώρου (Διάγραμμα 7). Στις 12:00 παρατηρείται μια παρόμοια εικόνα, με λιγότερη ομοιομορφία στην κατανομή του φωτισμού στις δυο περιπτώσεις των ανακλαστικών διατάξεων.

Τέλος, στο νότιο προσανατολισμό, το Δεκέμβριο στις 09:00 δεν παρατηρούνται αξιοσημείωτες διαφορές στα αποτελέσματα, ενώ στις 12:00 το κεκλιμένο ράφι φωτισμού προσφέρει περισσότερο φως στα 6,00 μ. (Διάγραμμα 8).

Διάγραμμα 7. Νοτιοανατολικός προσανατολισμός
21 Ιουνίου, 09:00



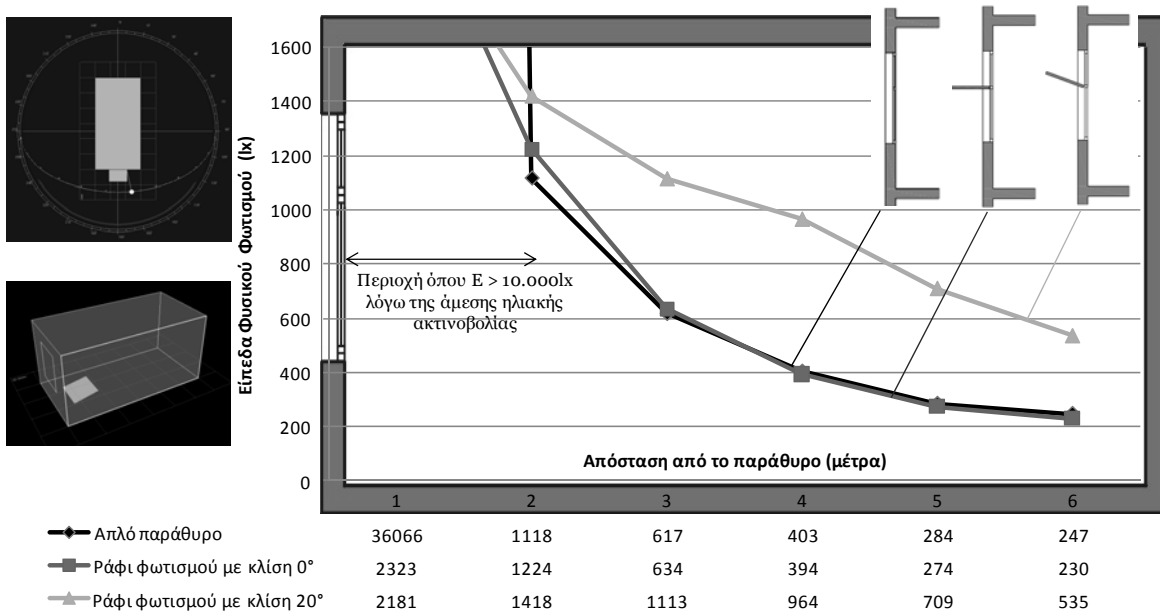
Διάγραμμα 8. Νότιος προσανατολισμός
21 Δεκεμβρίου, 12:00



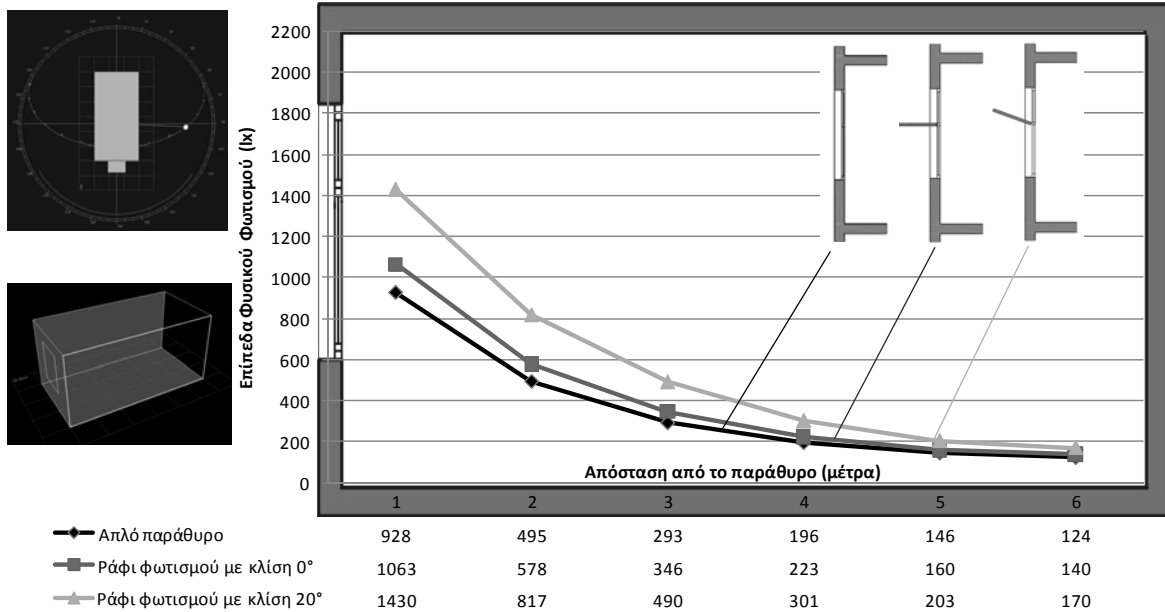
Τον Μάρτιο στις 09:00 οι διαφοροποιήσεις μεταξύ των περιπτώσεων είναι ακόμα μια φορά ασήμαντες, σε αντίθεση με ό,τι συμβαίνει στις 12:00 (Διάγραμμα 9) που η κεκλιμένη διάταξη αυξάνει το φωτισμό σε ποσοστά έως και 150%. Η περίπτωση αυτή έχει ιδιαίτερη βαρύτητα, διότι ως ισημερία αντιστοιχεί και στην 21^η Σεπτεμβρίου, με αποτέλεσμα να αντιπροσωπεύει πολύ μεγαλύτερο διάστημα του έτους από ό,τι το χειμερινό και θερινό ηλιοστάσιο.

Στο Διάγραμμα 10 παρουσιάζεται η περίπτωση της 21^{ης} Ιουνίου στις 09:00. Το κεκλιμένο ράφι φωτισμού προσφέρει περισσότερο φως σε όλο το χώρο, με μικρή μείωση της ομοιομορφίας της κατανομής του. Μια παρόμοια εικόνα έχουμε λίγες ώρες αργότερα, στις 12:00 (Διάγραμμα 11).

Διάγραμμα 9. Νότιος προσανατολισμός
21 Μαρτίου, 12:00

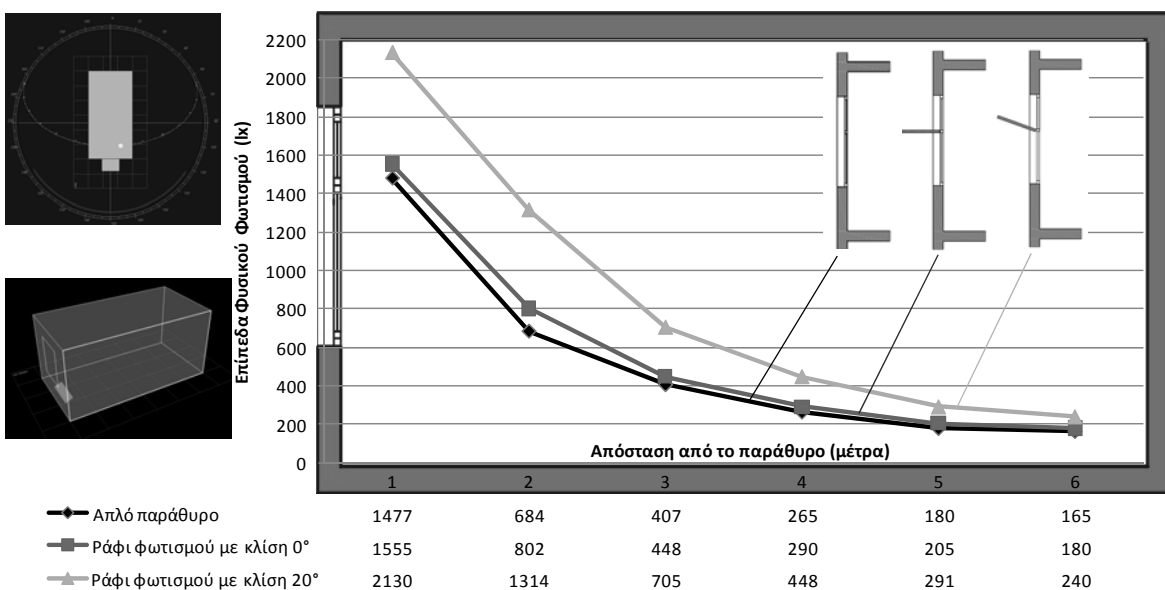


Διάγραμμα 10. Νότιος προσανατολισμός
21 Ιουνίου, 09:00

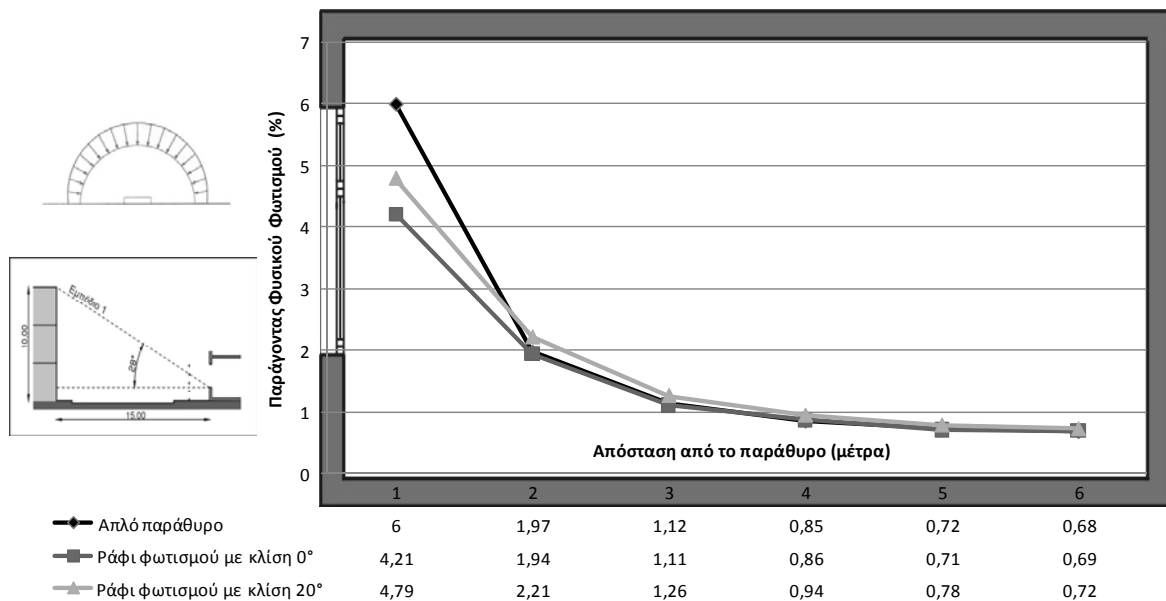


Όσον αφορά στις συνθήκες με εξωτερικά εμπόδια, στο Διάγραμμα 12 φαίνεται πως στην περίπτωση του χαμηλότερου όγκου και οι δύο διατάξεις βελτιώνουν την ομοιομορφία της κατανομής του φωτισμού, αυξάνοντας, μάλιστα, τις τιμές στο βάθος του χώρου. Στην περίπτωση του ψηλότερου εμποδίου (Διάγραμμα 13) το κεκλιμένο ράφι φωτισμού αυξάνει ελάχιστα τις τιμές Παράγοντα Φυσικού Φωτισμού σε όλο το χώρο, αν και γενικά η διαφοροποίηση μεταξύ των αποτελεσμάτων είναι μικρή.

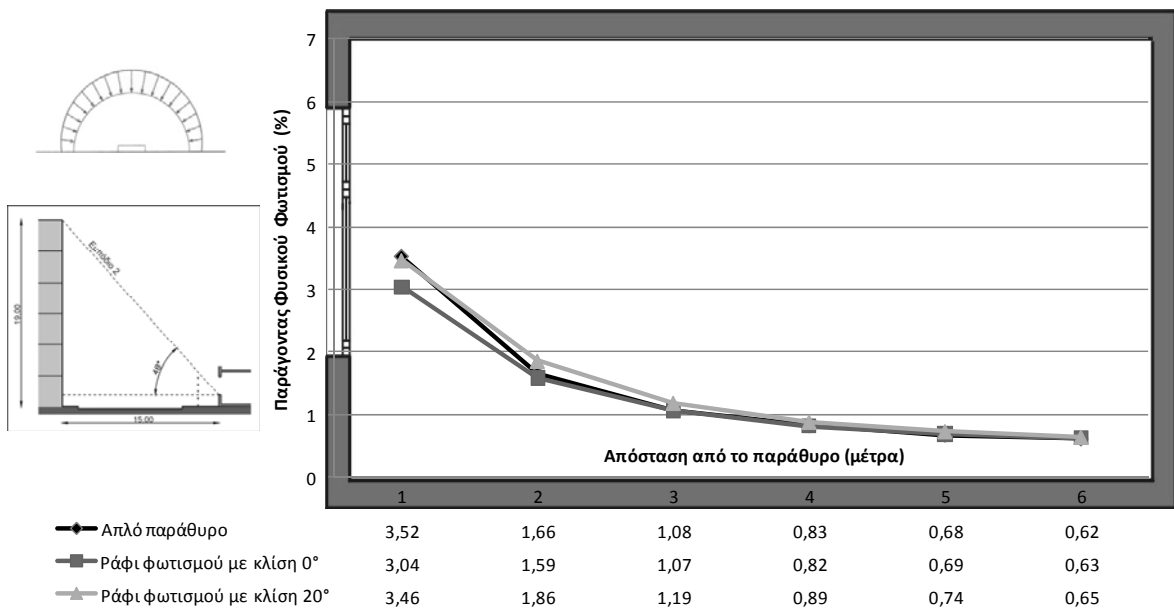
Διάγραμμα 11. Νότιος προσανατολισμός
21 Ιουνίου, 12:00



Διάγραμμα 12. Περίπτωση με εμπόδιο 10 μ.



Διάγραμμα 13. Περίπτωση με εμπόδιο 19 μ.



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Πρέπει να τονιστεί πως τα συμπεράσματα που ακολουθούν δεν αντιστοιχούν σε οποιαδήποτε γεωμετρία, θέση ή εν γένει χαρακτηριστικά ραφιών φωτισμού, αλλά μόνο στα βέλτιστα χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν και που προτείνονται από την ελληνική και διεθνή βιβλιογραφία. Διαφορετικής μορφής ράφια φωτισμού είναι πολύ πιθανό να παρουσιάσουν χειρότερη συμπεριφορά ως προς τη διαχείριση του φυσικού φωτός.

Τα γενικά συμπεράσματα που προκύπτουν από την μελέτη που προηγήθηκε είναι τα εξής:

- Σε όλες τις περιπτώσεις, το κεκλιμένο ράφι φωτισμού είτε αύξησε τα επίπεδα φωτισμού στο βάθος του χώρου είτε τα διατήρησε ίδια με την περίπτωση του απλού παραθύρου και γενικά ήταν αποδοτικότερο από το οριζόντιο.
- Το κεκλιμένο ράφι φωτισμού είναι σε θέση να αυξήσει σημαντικά το φως στο βάθος του χώρου μόνο τις ώρες που το αζιμούθιο του ήλιου είναι κοντά στον προσανατολισμό του ανοίγματος. Μέσα στην ίδια μέρα, όσο απομακρύνεται ο ήλιος από το παράθυρο, τόσο η κατάσταση τείνει σε αυτή του νεφοσκεπούς ουρανού, δηλαδή χωρίς μεγάλη διαφοροποίηση στα αποτελέσματα.
- Ως καλύτερη περίπτωση αποδείχθηκε η απόδοση του κεκλιμένου ραφιού φωτισμού κατά την ημερομηνία 21 Μαρτίου στις 12:00, στον νότιο προσανατολισμό. Λόγω του ότι η ημερομηνία αυτή αντιπροσωπεύει μεγαλύτερο τμήμα του έτους, θα μπορούσε να υποστηριχθεί πως σε συνθήκες ουρανού με ήλιο τα ράφια φωτισμού είναι αποδοτικότερα στο νότο. Ένα ακόμα πλεονέκτημα του νότιου προσανατολισμού, είναι ότι σε αυτόν τα ράφια φωτισμού αποδίδουν ταυτόχρονα και ως σκιάστρα. Ειδικά τη θερινή περίοδο (Απρίλιο - Σεπτέμβριο) δεν απαιτείται πρόσθετο σύστημα σκιασμού.
- Στις περιπτώσεις με εξωτερικά εμπόδια, η απόδοση των ραφιών φωτισμού είναι καλή και για αυτό προτείνεται να χρησιμοποιούνται σε όλους τους προσανατολισμούς.

Συμπερασματικά, μπορεί να ειπωθεί πως για τα κλιματικά δεδομένα της Αθήνας, ισχύει ο γενικός κανόνας ότι τα ράφια φωτισμού είναι πιο αποδοτικά σε προσανατολισμούς κοντά στο νότιο, ενώ στις περιπτώσεις εξωτερικών εμποδίων που σκιάζουν τα ανοίγματα ένα ράφι φωτισμού μπορεί να βελτιώσει την ομοιομορφία της κατανομής του φυσικού φωτισμού ανεξαρτήτως προσανατολισμού.

ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ / ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aizlewood, M.E., (1993). Innovative Daylighting Systems: An Experimental Evaluation. *Lighting Research and Technology*, 25(1):141-152.
- Assaf, L., (1997). Glare and Illuminance Uniformity as Components of Innovative Glazing Performance. *Right Light 4. Proceedings of the 4th European Conference on Energy-Efficient Lighting*, Copenhagen, Denmark 19-21 November 1997, Vol.1:207-210.
- Bouberki, M., (1992). Impact of Position on the Performance of a Combined Light-Shelf. In S. Burley and M.E. Arden eds. *Conference Proceedings, 17th National Passive Solar Conference*, Cocoa Beach, Florida, 15-18 June 1992.
- Claros, S.T., Soler, A., (2001). Indoor Daylight Climate – comparison between light shelves and overhang performances in Madrid for hours with unit sunshine fraction and realistic values of model reflectance. *Solar Energy*, 71(4):233-239.
- Claros, S.T., Soler, A., (2002). Indoor Daylight Climate – influence of lightshelf and model reflectance on lightshelf performance in Madrid for hours with unit sunshine fraction. *Building and Environment*, 37:589-598.
- Darula, S., Kittler, R., Kambezidis, H.D., Bartzokas, A. (2000). Guidelines for more realistic daylight exterior conditions in energy conscious designs, Slovak-Greek project, Bratislava – Athens.
http://www.efc.gr/GUIDSKGR_V97.pdf
- Hopkinson, R.G., Longmore, J., Perry, D. J., (1951). A Study of Hospital Lighting by Natural Daylighting, *Proc. Bldg. Res. Cong. Div. 3, Part IVA*, Garston: BRE:152-156.
- Iwata, T., Miyake, T., Sakamoto, S., Yoshimura, K., Kimura, K., (1997). Experimental Study on the Integrated Lighting System with Daylight and Artificial Light Based on the Subjective Response and Energy Saving. *IAEEL Right Light 4 Proceedings*, Copenhagen, Denmark, 1997:255-259.
- Kambezidis, H.D., Oikonomou, Thl, Zevgolis, D. (2002). Daylight Climatology in the Athens Urban Environment: Guidance for Building Designers. *Lighting Research and Technology*, 34(4):297-312.
- Littlefair, P.J., (1995). Light Shelves: Computer Assessment of Daylighting Performance. *Lighting Research and Technology*, 27(2):79-91.
- Μερέση Αικ., (2010). *Εξοικονόμηση Ενέργειας στη Σχολική Αίθουσα μέσω του Φυσικού Φωτισμού*, Διδακτορική Διατριβή στο Τμήμα Αρχιτεκτόνων του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.
- Moore, F., (1991). *Concepts and Practice of Architectural Daylighting*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Soler, A., Oteiza, P., (1997). Light Shelf Performance in Madrid, Spain. *Building and Environment*, 32(2):87-93.