



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΚΑΙ  
ΒΙΩΣΙΜΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

# ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΩΝ ΗΜΙΠΕΡΑΤΩΝ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΕ ΣΚΙΑΣΤΡΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΤΟΥ ΣΤΑΜΑΤΑΚΗ ΑΝΤΩΝΙΟΥ

**ΧΑΝΙΑ, 2017**

**ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:**

**Καθηγητής ΘΕΟΧΑΡΗΣ ΤΣΟΥΤΣΟΣ (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)**

**Καθηγήτρια ΜΑΡΙΑ ΜΑΝΔΑΛΑΚΗ**

**Καθηγήτρια ΔΙΟΝΥΣΙΑ ΚΟΛΟΚΟΤΣΑ**



Copyright © Αντώνιος Σταματάκης 2017

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

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

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....</b>	<b>5</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>7</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ .....</b>	<b>9</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....</b>	<b>10</b>
<b>1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>11</b>
<b>2 ΒΑΣΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ – ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....</b>	<b>16</b>
2.1 ΥΠΟΒΑΘΡΟ .....	16
2.2 ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ.....	19
<b>3 ΔΙΕΘΝΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ .....</b>	<b>23</b>
<b>4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....</b>	<b>31</b>
4.1 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ .....	31
4.2 ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ.....	33
4.3 ΣΚΙΑΣΤΡΑ .....	37
4.4 ΗΜΙΠΕΡΑΤΑ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΑ .....	41
4.5 ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ .....	42
<b>5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>43</b>
5.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ .....	43
5.1.1 Ανάγκες θέρμανσης .....	43
5.1.2 Ανάγκες ψύξης.....	46
5.1.3 Ανάγκες τεχνητού φωτισμού .....	49
5.1.4 Παραγωγή Φ/Β ενέργειας .....	53
5.1.5 Συνολική ενεργειακή απόδοση.....	57
5.2 ΟΠΤΙΚΗ ΑΝΕΣΗ.....	61
5.2.1 Φυσικός φωτισμός .....	61
5.2.2 Θάμβωση.....	65
<b>6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>68</b>

7	ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ .....	94
8	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	97

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα σκίαστρα διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ενεργειακή απόδοση των κτιρίων γραφείων προσαρμόζοντας την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία. Το σχήμα των σκιάστρων επηρεάζει σε τέτοιο βαθμό που οδηγεί σε κυμαινόμενα αποτελέσματα όσον αφορά στις ανάγκες θέρμανσης, ψύξης, τεχνητού φωτισμού ή οπτικής άνεσης. Στο πλαίσιο των ενσωματωμένων φωτοβολταϊκών (Φ/Β) τεχνολογιών (BIPV), τα σκίαστρα μπορούν να ενσωματώσουν ημιπερατά Φ/Β στοιχεία για να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια καθώς και να εκμεταλλεύονται τη διαφάνειά τους, βελτιώνοντας έτσι την απόδοση των απλών σκιάστρων.

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει μια συνδυασμένη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης και της οπτικής άνεσης που παρέχεται από ημιπερατά Φ/Β στοιχεία ενσωματωμένα σε σκίαστρα. Στόχος είναι να διερευνηθούν οι ενεργειακές ανάγκες του χώρου για θέρμανση, ψύξη και η ενέργεια που χρησιμοποιείται για τον τεχνητό φωτισμό, μαζί με την ενέργεια που μπορεί να παράγει το Φ/Β σύστημα. Επιπλέον, η ποιότητα του οπτικού εσωτερικού περιβάλλοντος βρίσκεται υπό διερεύνηση.

Δεκατέσσερις διαμορφώσεις σταθερών σκιάστρων με νότιο προσανατολισμό έχουν μελετηθεί και κατηγοριοποιηθεί για ένα χώρο γραφείου, που βρίσκεται στη Μεσογειακή παράκτια πόλη των Χανίων, στην Κρήτη. Η απόδοση και η περατότητα των Φ/Β στοιχείων ορίστηκαν σε 6% και 10% αντιστοίχως. Κάθε μοντελοποιημένο σύστημα ενσωματώνεται στο Energy Plus για τη διεξαγωγή αναλύσεων συνολικής κατανάλωσης ενέργειας, παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ημιπερατά Φ/Β στοιχεία καθώς και αναλύσεων οπτικής άνεσης.

Τα αποτελέσματα αποκαλύπτουν ότι στη συνολική ενεργειακή απόδοση, ο τύπος «Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο πλήρους πρόσοψης» εμφανίζει την καλύτερη ενεργειακή απόδοση, μειώνοντας κατά 128,16% τις ενεργειακές ανάγκες σε σχέση με το «Απλό παράθυρο». Αντίθετα, ο τύπος «Οριζόντιες περσίδες με κλίση προς τα μέσα» εμφανίζει την χειρότερη ενεργειακή απόδοση, μειώνοντας κατά 50,32% τις ενεργειακές ανάγκες σε σχέση με το «Απλό παράθυρο». Η μελέτη δείχνει επίσης ότι όλα τα σκίαστρα με ενσωματωμένα ημιπερατά Φ/Β συστήματα με νότιο προσανατολισμό μπορούν να παράγουν αποτελεσματικά ηλεκτρική ενέργεια (από 178,25kWh/έτος έως 970,60kWh/έτος) η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις ανάγκες τεχνητού φωτισμού (από 6,48kWh/έτος έως 258,10kWh/έτος). Τα ετήσια επίπεδα φυσικού φωτισμού σε όλα τα σκίαστρα φαίνεται να είναι χαμηλότερα από τα επίπεδα του «Απλού παραθύρου» (896,80lux) και κυμαίνονται από 89,29lux έως 727,98lux, καθώς επίσης εμφανίζουν πτωτική τάση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, ανεξάρτητα από το άφθονο φως της περιόδου. Σχετικά με την θάμβωση, όλα τα σκίαστρα φαίνεται να παρέχουν τιμές μεγαλύτερες από το κατώτατο όριο για χώρους γραφείων που είναι 22.

## ABSTRACT

Shading devices (SDs) play an important role in the energy efficiency of office buildings by adjusting solar influx radiation. Influenced by the shape of the SD, this leads in ranging results regarding heating, cooling, artificial lighting demands or visual comfort. As part of BIPV technologies, SDs can integrate semi-transparent photovoltaics (STPV) in order to produce electricity as well as exploit PV modules transparency, thus improving the performance of simple SDs.

This paper presents a combined study of building energy consumption, electricity production and visual comfort of STPV system integrated into SDs. The aim is to investigate space's energy needs for heating and cooling energy and the energy that is used for artificial lighting, along with the energy that the STPV can produce. Moreover, quality of the visual interior environment is under investigation.

Fourteen south-facing configurations of fixed SDs have been studied and categorized for a single office room, located in Mediterranean coastal city of Chania, Crete, Greece. A PV efficiency and visual transparency of 6% and 10% were attributed respectively to STPV systems mounted on SDs. Each model is incorporated into Energy Plus to carry out overall energy consumption, PV electricity production and visual comfort analyses.

The results reveal that in overall energy performance, the SD “Brise soleil full façade” contributes to the best energy performance, reducing overall energy demand by 128,16% according to “Simple window”. By contrast, the SD “Horizontal louvers inwards inclined” contributes to the worst energy performance,

reducing overall energy demand by 50,32% according to “Simple window”. The study also shows that all SDs with integrated south facing PV systems can efficiently produce PV electricity (178,25kWh/year up to 970,60kWh/year) which may be used for artificial lighting needs (6,48kWh/year up to 258,10kWh/year). Annual daylight levels seem to be lower than “Simple window’s” levels (896,80lux), ranging from 89,29lux to 727,98lux, as well as they appear a downward trend during summer time regardless of the abundant sky’s daylight. According to glare, all SDs seem to provide values greater than office’s threshold of 22.



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1 – Διάγραμμα ροής .....	32
Σχήμα 2 – Τύποι εξεταζόμενων σκιάστρων .....	38
Σχήμα 3 – Επανάληψη σκιάστρων καθ' ύψος και κατά μήκος .....	39
Σχήμα 4 – Ετήσιες ανάγκες θέρμανσης .....	44
Σχήμα 5 – Μηνιαίες ανάγκες θέρμανσης .....	45
Σχήμα 6 – Ετήσιες ανάγκες ψύξης .....	47
Σχήμα 7 – Μηνιαίες ανάγκες ψύξης .....	48
Σχήμα 8 – Ετήσιες ανάγκες τεχνητού φωτισμού .....	51
Σχήμα 9 – Μηνιαίες ανάγκες τεχνητού φωτισμού .....	52
Σχήμα 10 – Ετήσια ηλιακή τροχιά .....	53
Σχήμα 11 – Ετήσια παραγωγή Φ/Β ενέργειας .....	55
Σχήμα 12 – Μηνιαία παραγωγή Φ/Β ενέργειας .....	56
Σχήμα 13 – Ετήσιες συνολικές ενεργειακές ανάγκες .....	59
Σχήμα 14 – Ετήσια συνολική ενεργειακή απόδοση .....	60
Σχήμα 15 – Ετήσια ένταση εσωτερικού φυσικού φωτισμού .....	63
Σχήμα 16 – Μηνιαία ένταση εσωτερικού φωτισμού .....	64
Σχήμα 17 – Δείκτης DGI την 21η Δεκεμβρίου .....	67

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 – Ομαδοποίηση εξεταζόμενων Φ/Β σκιάστρων .....	40
Πίνακας 2 – Ετήσιες ανάγκες θέρμανσης .....	70
Πίνακας 3 – Ετήσιες ανάγκες ψύξης.....	73
Πίνακας 4 – Ετήσιες ανάγκες τεχνητού φωτισμού .....	76
Πίνακας 5 – Ετήσια παραγωγή ενέργειας ημιπερατών Φ/Β.....	79
Πίνακας 6 – Ετήσιες συνολικές ενεργειακές ανάγκες.....	81
Πίνακας 7 – Ετήσια συνολική ενεργειακή απόδοση.....	84
Πίνακας 8 – Ετήσια ένταση φυσικού φωτισμού .....	87
Πίνακας 9 – Δείκτης DGI την 21 <sup>η</sup> Δεκεμβρίου .....	89
Πίνακας 10 – Συγκεντρωτικός πίνακας απόδοσης σκιάστρων Ομάδας Α .....	92
Πίνακας 11 – Συγκεντρωτικός πίνακας απόδοσης σκιάστρων Ομάδας Β .....	93

## 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εξοικονόμηση ενέργειας είναι ζωτικής σημασίας, περισσότερο από ποτέ, λόγω της εξαιρετικά ραγδαίας αύξησης των τιμών της ενέργειας, της σταδιακής εξάντλησης των ορυκτών καυσίμων και του αυξημένου ενδιαφέροντος γύρω από τα περιβαλλοντικά ζητήματα [Cuce and Cuse, 2013]. Ως αποτέλεσμα των παραπάνω, δημιουργήθηκε αξιοσημείωτη ανάπτυξη στη βιομηχανία ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επιπλέον, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν γίνει ένα πολύ σημαντικό πεδίο έρευνας για πολλούς ερευνητές καθώς και για τις κυβερνήσεις πολλών χωρών στην προσπάθειά τους να εξασφαλίσουν ασφάλεια, μακροπρόθεσμη δυνατότητα και βιωσιμότητα στη χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας [Jager-Waldau, 2007; Stoppato, 2008]. Ωστόσο, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προμηθεύουν προς το παρόν μόνο το 14% της συνολικής παγκόσμιας ζήτησης ενέργειας [Cuce et al., 2014]. Σε αυτό το πλαίσιο, απαιτούνται επιπλέον αποφασιστικά μέτρα για τον περιορισμό της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας παγκοσμίως και έτσι να περιοριστούν οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, οι οποίες έχουν σχεδόν διπλασιαστεί κατά τις τρεις τελευταίες δεκαετίες [Pérez-Lombard et al., 2008].

Εξυπηρετώντας το σκοπό αυτό, ο ολοκληρωμένος ενεργειακός σχεδιασμός έχει κερδίσει έδαφος κατά τη διάρκεια των τελευταίων δύο δεκαετιών περίπου τόσο στην αρχιτεκτονική και τις σχεδιαστικές αρχές του τομέα αυτού, όσο και στο χώρο της εκπαίδευσης και έρευνας έχοντας γίνει μέρος της διδασκαλίας σε πολλά πανεπιστήμια ή δημιουργώντας ανεξάρτητα προγράμματα διδασκαλίας που σχετίζονται με το βέλτιστο σχεδιασμό και κατασκευή ολοκληρωμένων ενεργειακών συστημάτων. Μία πρόκληση που ο ολοκληρωμένος ενεργειακός σχεδιασμός

πρέπει να αντιμετωπιστεί είναι η φυσική εφαρμογή των νέων τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, δηλαδή η ενσωμάτωσή τους σε μελλοντικά ή υφιστάμενα συστήματα κτιρίων, μέλη κτιρίων, κατασκευαστικά υλικά ή τελειώματα κτιρίων [Ibraheem et al., 2017].

Από την μία πλευρά, οι προσόψεις των κτιρίων αποτελούν ένα φυσικό εμπόδιο μεταξύ του εσωτερικού περιβάλλοντος των κτιρίων και του εξωτερικού περιβάλλοντος, καθώς και ένα μέσο για να εκδηλωθούν διάφορες αρχιτεκτονικές τάσεις όσον αφορά το ύψος και την προσωπική υπογραφή των σχεδιαστών [Ibraheem et al., 2017]. Επιπλέον, λειτουργούν ως ενεργό κέλυφος του κτιρίου το οποίο χρησιμοποιείται για την εκτέλεση πολλαπλών (και μερικές φορές αντικρουόμενων) απαιτήσεων όπως: σκίαση το καλοκαίρι για να αποφευχθεί η υπερθέρμανση και να μειωθούν οι ανάγκες ψύξης, αξιοποίηση της ηλιακής θερμότητας και θερμομόνωση το χειμώνα για να μειωθούν οι ανάγκες θέρμανσης, παροχή φυσικού φωτισμού για τη μείωση των αναγκών τεχνητού φωτισμού, ανεμπόδιστη οπτική θέα προς τα έξω για τους χρήστες και μεγιστοποίηση της απόδοσης των τεχνολογιών εναλλακτικών μορφών ενέργειας [Olivieri et al., 2014]. Συνεπώς, οι προσόψεις των κτιρίων επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας και την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος και απαιτούν προσεκτική βελτιστοποίηση του σχεδιασμού τους [Lee et al., 2009].

Από την άλλη πλευρά, η ηλιακή ενέργεια συνήθως θεωρείται ένας αποτελεσματικός τρόπος για να αντιμετωπιστούν οι προαναφερθείσες ενεργειακή εξάντληση και ρύπανση του περιβάλλοντος λόγω των ιδιοτήτων της ως καθαρή, άφθονη και ανεξάντλητη. Τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) στοιχεία χρησιμοποιούν το φως

του ήλιου για να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Όταν Φ/Β συστήματα ενσωματωθούν στο περίβλημα του κτιρίου, η φράση "Building Integrated Photovoltaics" (BIPVs) χρησιμοποιείται. Τέτοια συστήματα μπορούν να αντικαταστήσουν μέρος από στέγες ή όψεις κτιρίων, υαλοστάσια ή ακόμα και συσκευές σκίασης [Nobert, 2001]. Η ενσωμάτωση Φ/Β συστημάτων σε κτίρια είναι ένα πολύ σημαντικό θέμα που μπορεί να βοηθήσει στη μείωση των ενεργειακών αναγκών του οικοδομικού τομέα, λαμβάνοντας υπόψη την αισθητική και περιβαλλοντικούς παράγοντες [Mandalaki, et al., 2012]. Ο συνδυασμός αυτός αναφέρεται στην αντικατάσταση συμβατικών δομικών υλικών της πρόσοψης από Φ/Β στοιχεία επιτυγχάνοντας εξοικονόμηση ενέργειας [Parida et al., 2011; Peng et al., 2011; Jelle et al., 2012], λιγότερη περιβαλλοντική ρύπανση από τα συμβατικά καύσιμα (12) και εκτελώντας ταυτόχρονα μία ή πολλές αρχιτεκτονικές λειτουργίες [Oliver and Jackson, 2001; Pagliaro et al., 2010; Jelle et al., 2012; Ban-Weiss et al., 2013].

Με τις πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία των υλικών, οι προσόψεις των κτιρίων παρουσιάζονται όλο και περισσότερο ως ένας «καμβάς» για να τεθεί η παραπάνω ιδέα της ενσωμάτωσης νέων τεχνολογιών στην πράξη. Ακολουθώντας αυτή την αρχή, μια καινοτόμος και αναδυόμενη τεχνολογία που αποτελείται από τη χρήση ημιπερατών Φ/Β στοιχείων ενσωματωμένων σε σκίαστρα ενδεχομένως να είναι μια αποτελεσματική λύση, η οποία συνδυάζει την παροχή φυσικού φωτισμού, αξιοποίηση ηλιακής θερμότητας και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ταυτόχρονα [Ibraheem et al., 2017].

Η χρήση ημιπερατών Φ/Β στοιχείων ενσωματωμένων σε σκίαστρα δημιουργούν μία εξωτερική επιφάνεια στο κέλυφος του κτιρίου που μπορεί να εφαρμοστεί ανεξάρτητα τόσο στα νέα όσο και στα υπάρχοντα κτίρια. Αυτή η τεχνολογία έχει το διπλό πλεονέκτημα να παράγει ηλεκτρική ενέργεια απευθείας από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία ενώ λειτουργεί σαν σκίαστρο για την προστασία του κτιρίου από την υπερθέρμανση, παρέχοντας οπτικά άνετο εσωτερικό χώρο και εξοικονομώντας ενέργεια [Zhang, 2014; Kang et al., 2012]. Έχουν αποδεδειγμένα τεχνικά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλους τύπους Φ/Β εγκαταστάσεων όπως σε οροφές κτιρίων [Mandalaki et al., 2014], τα οποία περιλαμβάνουν ευκολία ελέγχου, ευκολία συντήρησης, απελευθέρωση του χώρου οροφής για άλλες χρήσεις και υψηλότερες δυνατότητες ενσωμάτωσης κινητικών τεχνολογιών για την παρακολούθηση του ήλιου, ενώ ενεργεί ως μια διαδραστική λύση για τη αξιοποίηση της ηλιακής θερμότητας καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Προκειμένου να εφαρμοστεί κατάλληλα αυτή η τεχνολογία σε ένα κτίριο, είναι σημαντικό να επισημανθούν οι κύριες παράμετροι που επηρεάζουν την απόδοση των κτιρίων με Φ/Β συστήματα, όπως η βέλτιστη γωνία κλίσης των Φ/Β στοιχείων, το σωστό μέγεθος και η σωστή απόσταση από άλλα δομικά υλικά κ.ά. [Deutsche Gesellschaft fur Sonnenenergie, 2008].

Για την εν γένει παρατήρηση της αποτελεσματικότητας ενσωματωμένων Φ/Β συστημάτων σε κτίρια μπορούν να χρησιμοποιηθούν προσομοιώσεις ενεργειακής απόδοσης. Λογισμικά ενεργειακής προσομοίωσης χρησιμοποιούνται ευρέως για την ανάλυση ή την πρόβλεψη κατανάλωσης ενέργειας σε κτίρια, προκειμένου να διευκολύνουν τον ορθό ενεργειακό σχεδιασμό και λειτουργίας των κτιρίων. Η πράξη μάλιστα έχει δείξει ότι τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων συχνά

αντικατοπτρίζουν με ακρίβεια τις πραγματικές μετρήσεις [Tsanas and Xifara, 2012]. Διάφορα προγράμματα λογισμικού παρέχουν προσομοιώσεις που ικανοποιούν διαφορετικές απαιτήσεις. Μέσω των προσομοιώσεων υπολογίζονται και αναλύονται διάφορες παράμετροι, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν για τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού. Ευρέως διαδεδομένα προγράμματα προσομοίωσης της ενεργειακής απόδοσης αποτελούν το EnergyPlus, Ecotect, κλπ. [Shi and Yang, 2013].

## 2 ΒΑΣΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ – ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

### 2.1 ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Οι ενεργειακές ανάγκες παγκοσμίως το 2015 ανήλθαν σε 168.516TWh [International Energy Agency, 2017] ενώ μόνο στην Ε.Ε ανήλθαν σε 18.928TWh [European Commission, 2017]. Ο κτιριακός τομέας είναι υπεύθυνος για το 21% των παγκόσμιων ενεργειακών αναγκών το 2015 [International Energy Agency, 2017]. Η συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παγκόσμια ζήτηση ενέργειας το 2015 ανήλθε σε 19,3% [REN21, 2017]. Μόνο η Φ/Β τεχνολογία διέθετε το 2015 εγκατεστημένη ισχύ 227 GW, καλύπτοντας το 1,3% της παγκόσμιας ηλεκτρική ζήτησης παγκοσμίως [REN21, 2017]. Οι Defaix et al., 2012 ανέδειξαν ότι στην Ε.Ε. υπάρχει ένα μεγάλο δυναμικό στον τομέα των ενσωματωμένων Φ/Β συστημάτων σε κτίρια, ίσο με 951GWp, παρέχοντας ένα σημαντικό μερίδιο της μελλοντικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το δυναμικό αυτό μπορεί να δώσει 840TWh ετησίως, ποσό που ισοδυναμεί με περισσότερο από το 22% της αναμενόμενης Ευρωπαϊκής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας το 2030 [Defaix, et al., 2012]. Συνεπώς, η συνέχιση της έρευνας στον τομέα της ενσωμάτωσης Φ/Β συστημάτων στα κτίρια είναι καίριας σημασίας στην πορεία απεξάρτησης από τις συμβατικές πηγές ενέργειας και δημιουργίας αειφόρα ενεργειακά συστήματα και δομές.

Όπως τεκμηριώνεται από την διεθνή έρευνα, η χρήση σκιάστρων στις προσόψεις των κτιρίων είναι απαραίτητη, αφού ρυθμίζουν την εισροή ηλιακής ακτινοβολίας εντός του χώρου, οδηγώντας σε βελτίωση των ενεργειακών και οπτικών αποδόσεων του χώρου (μειώνουν δραστικά τις ανάγκες σε ψύξη κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου, μειώνουν της ανάγκες χρήσης τεχνητού φωτισμού,



μειώνουν την θάμβωση κλπ.). Επιπλέον η τεχνολογική εξέλιξη αλλά και η φαντασία των μελετητών έχει οδηγήσει στην εφαρμογή πληθώρας διαφορετικών τύπων σκιάστρων, τα οποία κυμαίνονται από προεξοχές επάνω ή και γύρω από την πρόσοψη ή τα ανοίγματα της πρόσοψης, περσίδες σε οριζόντια (κεκλιμένες ή μη) ή κατακόρυφη διάταξη κλπ.. Ωστόσο κάθε τύπος σκιάστρου που χρησιμοποιείται παρέχει διαφορετικά αποτελέσματα σε ενεργειακό και οπτικό επίπεδο, αναλόγως πόσο επηρεάζει την απρόσκοπτη είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας στο χώρο. Συνεπώς, η επιλογή του κατάλληλου κάθε φορά και για κάθε απαίτηση τύπου σκιάστρου είναι βαρύνουσας σημασίας, καθώς ελλοχεύει ο κίνδυνος να αναιρεθούν πλήρως τα παραπάνω οφέλη από την χρήση λανθασμένου τύπου σκιάστρου. Για δεδομένη κατάσταση, λοιπόν, κάποιοι τύποι σκιάστρων ενδεχομένως να εμποδίζουν σε τέτοιο βαθμό την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία, ειδικά την χειμερινή περίοδο, με αποτέλεσμα να οδηγούν σε αυξημένες ανάγκες τεχνητού φωτισμού ή και χρήσης θέρμανσης.

Ένα δεύτερο γεγονός από την διεθνή έρευνα είναι πως στην προσπάθεια εξοικονόμησης ενέργειας στον κατασκευαστικό κλάδο, η μείωση των ενεργειακών αναγκών ενός κτιρίου μέσω «έξυπνων» κατασκευαστικών τεχνικών (χρήση σκιάστρων στις όψεις, αποδοτική μορφή κτιρίου, προσανατολισμός και διάταξη προσόψεων, καλή θερμική μόνωση κ.ά.) μπορεί παράλληλα να ενισχυθεί μέσω της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για κάλυψης μέρους των ενεργειακών αναγκών, αφήνοντας τις υπόλοιπες ανάγκες στη χρήση συμβατικών πηγών ενέργειας. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται ένας ολοκληρωμένος ενεργειακός σχεδιασμός [Stamatakis et al., 2016]. Ανάμεσα στις διαθέσιμες επιλογές χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η ηλιακή ενέργεια είναι η περισσότερο άφθονη,

ανεξάντλητη και περιβαλλοντικά «καθαρή». Η πρόκληση ωστόσο έγκειται στην συλλογή αυτής της ενέργειας σε λογικές τιμές. Η τεχνολογία που «υπόσχεται» να εκπληρώσει την πρόκληση αυτή είναι τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) συστήματα. Τα Φ/Β συστήματα αποτελούν ένα μέσο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιώντας την ηλιακή, μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου, χωρίς να απαιτούν εισροή ενέργειας για την λειτουργία τους και δίχως να επιβαρύνουν το περιβάλλον [Jelle et al., 2012].

Η ενσωμάτωση Φ/Β συστημάτων συνοδεύεται από μια σειρά πλεονεκτημάτων: δεν απαιτείται πρόσθετος χώρος επειδή τα Φ/Β πλαίσια τοποθετούνται σε υφιστάμενες δομές (σκίαστρα) [Defaix et al., 2012; Jelle et al., 2012], τα σκίαστρα μπορούν να σχεδιαστούν υπό κλίση στη βέλτιστη γωνία [Defaix et al., 2012], συνδυάζεται η μείωση των συνεπειών της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας διαθέσιμης για τη λειτουργία συστημάτων ψύξης, θέρμανσης και φωτισμού [Mandalaki et al., 2014], το αρχικό κόστος εγκατάστασης μπορεί να αντισταθμιστεί από τη μείωση οικοδομικών υλικών [Peng et al., 2011]. Τα πλεονεκτήματα αυτά καθιστούν την τεχνολογία ενσωμάτωσης Φ/Β συστημάτων σε μέρη του κτιρίου έναν από τους ανταγωνιστικότερους και ταχύτερα αναπτυσσόμενους τομείς της βιομηχανίας Φ/Β [Mandalaki et al., 2012].

Η έρευνα πάνω στην ενσωμάτωση συμβατικών, αδιαφανών Φ/Β στοιχείων σε σκίαστρα για την αξιολόγηση των ενεργειακών δυνατοτήτων τους όσο και για τα επίπεδα οπτικής άνεσης που προσφέρουν είναι εκτενής, ιδιαίτερα μέσα από την έρευνα των Mandalaki et al. 2012, Mandalaki et al. 2014, Mandalaki et al. 2014,

Stamatakis et al. 2016. Τα ημιπερατά Φ/Β διαφέρουν από τα συμβατικά Φ/Β στο γεγονός ότι διευκολύνουν τη διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα από το ημιδιαφανές σώμα τους. Εκτός από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η ημιπερατότητα ενθαρρύνει τη χρήση του φυσικού φωτισμού στο χώρο. Επί του παρόντος, τα ημιπερατά Φ/Β στοιχεία χρησιμοποιούνται ευρέως στις προσόψεις κτιρίων, σε στέγες ή σε συσκευές σκίασης σε γραφεία και εμπορικά κτίρια [Wong et al., 2008]. Κτίρια λοιπόν με ενσωματωμένα ημιπερατά Φ/Β στοιχεία μπορεί να ωφεληθούν από τα πλεονεκτήματα της φυσικής θέρμανσης του χώρου κατά τη διάρκεια του χειμώνα και της αυξημένης εσωτερικής φωτεινότητας από το φως της ημέρας. Ωστόσο, προβλήματα όπως η υπερθέρμανση κατά την διάρκεια της θερινής περιόδου αλλά και η θάμβωση θα εμφανιστούν αν το σύστημα δεν είναι σωστά σχεδιασμένο.

Τέλος, εκτός από την ενεργειακή απόδοση, ο έλεγχος της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται σε ένα χώρο είναι καίριος και για την ποιότητα των εσωτερικών οπτικών συνθηκών. Σε χώρο γραφείου, η άνεση των χρηστών είναι υψίστης σημασίας για τη μεγιστοποίηση της παραγωγικότητας και οι συνθήκες φωτισμού επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την ικανοποίηση χρηστών. Επιπλέον, οι χρήστες χώρων γραφείου προτιμούν το φως της ημέρας έναντι του τεχνητού φωτισμού γι' αυτό επιθυμούν και προτιμούν συστήματα σκίασης που επιτρέπουν τη φυσική μετάδοση του φωτός [Galasiu and Veitch, 2006].

## **2.2 ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ**

Ο κύριος στόχος αυτής της εργασίας είναι η αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης και της οπτικής άνεσης ενσωματωμένων ημιπερατών Φ/Β στοιχείων σε

σκίαστρα σε Μεσογειακό τύπο κλίματος. Επειδή το Φ/Β σκίαστρο είναι συνδυασμός ημιπερατών Φ/Β στοιχείων και συσκευής σκίασης, συνδυάζει τα πλεονεκτήματα αυτών των δύο συστημάτων. Η μεγιστοποίηση αυτών των ωφελειών συνδυαστικά είναι ο στόχος του βέλτιστου τύπου σκιάστρου.

Οι ερευνητικές ερωτήσεις που επιχειρεί η εργασία να απαντήσει είναι οι εξής:

- 1. Μπορούν τα ημιπερατά Φ/Β σκίαστρα να εξοικονομήσουν ενέργεια;*
- 2. Μπορούν τα ημιπερατά Φ/Β σκίαστρα να παράγουν ενέργεια;*
- 3. Ποιος τύπος ημιπερατών Φ/Β σκιάστρων αποκομίζει τα μέγιστα ενεργειακά οφέλη;*
- 4. Μπορούν τα ημιπερατά Φ/Β σκίαστρα να παρέχουν ένα άνετο οπτικό περιβάλλον για τους χρήστες;*
- 5. Ποιος τύπος ημιπερατών Φ/Β σκιάστρων παρέχει βέλτιστες συνθήκες οπτικής άνεσης;*

Για να απαντηθούν οι παραπάνω ερωτήσεις, επινοήθηκαν και εφαρμόστηκαν οι παρακάτω ερευνητικοί στόχοι:

- 1. Εύρεση λογισμικού προσομοίωσης ικανού και κατάλληλου για τις απαιτούμενες αναλύσεις.*
- 2. Σχηματοποίηση διαγράμματος ροής με εμφανή ορισμό των απαιτούμενων δεδομένων εισόδου και επιθυμητών αποτελεσμάτων.*
- 3. Ορισμός εξαρτημένων και ανεξάρτητων μεταβλητών ανάλυσης.*
- 4. Μοντελοποίηση κτιρίου αναφοράς (θέση, προσανατολισμός, γεωμετρία, υλικά κατασκευής).*

5. Μοντελοποίηση ημιπερατών  $\Phi/B$  σκιάστρων (γεωμετρία, απόδοση  $\Phi/B$ , περατότητα  $\Phi/B$ ).
6. Εύρεση κλιματικών δεδομένων της γεωγραφικής θέσης αναφοράς.
7. Εισαγωγή όλων των μοντελοποιημένων παραμέτρων στο λογισμικό προσομοίωσης.
8. Διεξαγωγή αναλύσεων μέσω του λογισμικού προσομοίωσης.
9. Εξαγωγή ενεργειακών αποτελεσμάτων (ανάγκες θέρμανσης, ψύξης, τεχνητού φωτισμού, παραγόμενης  $\Phi/B$  ενέργειας) και κατάλληλη μορφοποίηση αυτών για χρήση στην παρούσα εργασία (Ερώτηση 1, 2, 3).
10. Εξαγωγή αποτελεσμάτων οπτικής άνεσης (επίπεδα φυσικού φωτισμού, θάμβωση) και κατάλληλη μορφοποίηση αυτών για χρήση στην παρούσα εργασία (Ερώτηση 4, 5).

Οι δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση των επιμέρους ημιπερατών  $\Phi/B$  σκιάστρων είναι:

- 1α. Ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια θέρμανσης (kWh/έτος).
- 1β. Μηνιαία καταναλισκόμενη ενέργεια θέρμανσης (kWh).
- 2α. Ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια ψύξης (kWh/έτος).
- 2β. Μηνιαία καταναλισκόμενη ενέργεια ψύξης (kWh).
- 3α. Ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια τεχνητού φωτισμού (kWh/έτος).
- 3β. Μηνιαία καταναλισκόμενη ενέργεια τεχνητού φωτισμού (kWh).
- 4α. Ετήσια παραγόμενη ενέργεια ημιπερατών  $\Phi/B$  στοιχείων (kWh/έτος).
- 4β. Μηνιαία παραγόμενη ενέργεια ημιπερατών  $\Phi/B$  στοιχείων (kWh).
- 5α. Ετήσια παραγόμενη ενέργεια ημιπερατών  $\Phi/B$  στοιχείων (kWh/έτος).
- 5β. Μηνιαία παραγόμενη ενέργεια ημιπερατών  $\Phi/B$  στοιχείων (kWh).

- 6. Ετήσια συνολική ενεργειακή απόδοση (kWh/έτος).
- 7α. Ετήσια ένταση εσωτερικού φυσικού φωτισμού (kWh/έτος).
- 7β. Μηνιαία ένταση εσωτερικού φυσικού φωτισμού (kWh).
- 8. Δείκτης θάμβωσης DGI.

### 3 ΔΙΕΘΝΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ

Τα Φ/Β στοιχεία μπορούν να ενσωματωθούν σε οποιοδήποτε μέρος του κτιρίου το οποίο μπορεί να δέχεται σημαντικές ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας, όπως παράθυρα, επενδύσεις προσόψεων, φεγγίτες ή σκιάστρα [Building and Construction Authority of Singapore, 2008]. Ως μέρος των στοιχείων της πρόσοψης, τα σκιάστρα παίζουν σημαντικό ρόλο στη μείωση του θερμικού ηλιακού οφέλους στο κτίριο και στην παροχή αποδεκτών εσωτερικών συνθηκών [Alzoubi and Al-Zoubi, 2010]. Παρόλο που η εφαρμογή Φ/Β στοιχείων στα κτίρια εισήχθη στα τέλη της δεκαετίας του 1970, χαρακτηρίστηκε για πρώτη φορά ως ενσωματωμένο δομικό στοιχείο στα τέλη της δεκαετίας του 1990 [<http://www.solarenergyexplorer.com/>, accessed 22-04-2017] και μόνο το 1998 προτάθηκε, πιθανότατα για πρώτη φορά, η ενσωμάτωση Φ/Β στοιχείων ως σκιάστρα, καταλήγοντας ότι η χρήση ημιπερατών Φ/Β σκιάστρων είναι πολύ χρήσιμη αφού αξιοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία παράλληλα με άλλες λειτουργίες [Yoo et al., 1998].

Σε επίπεδο γεωγραφικής θέσης του κτιρίου, το γεωγραφικό πλάτος επηρεάζει μερικές βασικές μεταβλητές όπως η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας, η θερμοκρασία, οι συνθήκες του ουρανού και άλλες κλιματολογικές παραμέτρους [Ibraheem et al., 2017]. Σύμφωνα με τον Bahr, 2009; Bahr, 2013 μέσα από την εξέταση του γεωγραφικού πλάτους, εκτός από άλλες μεταβλητές, μπορούν να προσδιοριστούν οι διαστάσεις και ο τύπος σκίασης και η βέλτιστη επιλογή σχεδιασμού για κάθε γεωγραφική θέση. Άλλες μελέτες έχουν επικεντρωθεί στην επίδραση του πολεοδομικού ιστού στην απόδοση των Φ/Β συστημάτων. Σύμφωνα με τους Di Vincenzo et al., 2011 η ενεργειακή απόδοση των κτιρίων επηρεάζεται

από τη διάταξη των οδών στο χώρο μέχρι το σχήμα του κτιρίου σε τέτοιο βαθμό που είναι δυνατή μια μείωση στην καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια από 4.5% – 35%. Οι Tongtuam et al 2011 έδειξαν ότι σε αστικό ιστό με πυκνή δόμηση όπου η απευθείας ηλιακή ακτινοβολία εμποδίζεται από τα κτίρια, η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να μειώσει κατά 82% τις θερμικές ανάγκες του κτιρίου όταν εγκαθίστανται Φ/Β στοιχεία σε σκιάστρα. Οι Karteris et al., 2014 χρησιμοποίησαν σύστημα GIS για να ερευνήσουν την επίδραση των αρχιτεκτονικών και τεχνικών πτυχών των Φ/Β σκιάστρων και να προβλέψουν τις επιδόσεις τους σε αστική κλίμακα.

Σε επίπεδο κτιρίου, ο προσανατολισμός του κτιρίου θεωρείται ένας από τους βασικούς παράγοντες για τη βελτιστοποίηση των Φ/Β συστημάτων για διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη [Bahr, 2009]. Σύμφωνα ορισμένους ερευνητές [Kang et al., 2012; Bahr, 2013] ο νότιος προσανατολισμός μεγιστοποιεί την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια των Φ/Β στοιχείων. Ωστόσο είναι ενδιαφέρον ότι αρκετοί άλλοι έχουν προτείνει ελαφρώς διαφορετικούς προσανατολισμούς για τη μεγιστοποίηση της παραγωγής ηλιακής ενέργειας από Φ/Β στοιχεία, οι οποίες περιλαμβάνουν το νοτιοανατολικό ή το νοτιοδυτικό προσανατολισμό [Yoo, 2011]. Σύμφωνα με τους Vassiliades et al., 2014 εκτός από την παραγόμενη ενέργεια, η εφαρμογή των Φ/Β συστημάτων επηρεάζει πολλαπλές αρχιτεκτονικές λειτουργίες της πρόσοψης όπως προστασία του κτιρίου από καιρικές συνθήκες, μείωση θορύβου, σκίαση, διαφάνεια, χρώμα και υφή. Προκειμένου να καθοριστεί ο κατάλληλος τύπος συσκευών σκίασης που είναι κατάλληλοι για την ενσωμάτωση, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι διαστάσεις, η θέση και ο προσανατολισμός καθώς και ο συντελεστής σκίασης και ο συντελεστής φωτός ημέρας [Bahr, 2009; Mandalaki et



al., 2012]. Η πιθανή αρχιτεκτονικά κατάλληλη επιφάνεια μιας πρόσοψης πρέπει να εξεταστεί ανάλογα με τον τύπο κτιρίου και τα προτεινόμενα Φ/Β στοιχεία [Karteris et al., 2014]. Αυτή η αναζήτηση τις βέλτιστης θέσης μπορεί να ενισχυθεί όταν χρησιμοποιηθούν τρισδιάστατα σχέδια στα αρχικά στάδια [Sampatakos, 2014].

Σε επίπεδο της πρόσοψης του κτιρίου, διάφορες παραλλαγές προσόψεων μελετήθηκαν από τους Youssef et al., 2015. Μια από τις πιο σημαντικές παραμέτρους που καθορίζουν την απόδοση του Φ/Β σκιάστρου είναι η γωνία κλίσης, η οποία συμβάλλει στην εξασφάλιση της βέλτιστης τιμής τόσο για τον έλεγχο του θερμικού ηλιακού οφέλους όσο και για την ηλεκτρική παραγωγή [Kang et al., 2012; Bahr, 2013; Hwang et al., 2012; Kim et al., 2014]. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι επηρεάζεται εξαιρετικά από την γεωγραφική θέση και τον προσανατολισμό του κτιρίου αλλά ακόμη και από τον τύπο του σκιάστρου. Για παράδειγμα ορισμένοι ερευνητές προτείνουν ότι η οριζόντια εγκατάσταση ( $0^\circ$  γωνία κλίσης) μειώνει την σκίαση των περσίδων και ότι γωνία κλίσης ίση με το γεωγραφικό πλάτος μεγιστοποιεί τη συλλεγόμενη ηλιακή ενέργεια ειδικά για οριζόντιες περσίδες [Bahr, 2009; Bahr, 2014]. Ορισμένοι άλλοι πρότειναν ότι μια οριζόντια γωνία κλίσης  $60^\circ$  και μια γωνία κάθετης κλίσης μικρότερη από  $15^\circ$  αποτελούν τις βέλτιστες πρακτικές, σχεδόν εντελώς ανεξάρτητα από τον προσανατολισμό του κτιρίου [Hwang et al., 2012].

Μια άλλη πτυχή των διαφόρων επιπτώσεων της αλλαγής της γωνίας κλίσης των Φ/Β σκιάστρων είναι η διαμόρφωση επιθυμητού εσωτερικού περιβάλλοντος σε σχέση με τις εξωτερικές συνθήκες (40). Ο Jung, 2014 πρότεινε ότι ο έλεγχος της γωνίας κλίσης ήταν αποτελεσματικός όσον αφορά την οπτική άνεση και τη μείωση

των ψυκτικών φορτίων, αλλά επίσης διαπίστωσε ότι η γωνία κλίσης δεν έκανε καμία διαφορά στην θάμβωση. Πειράματα με χρήση μοτέρ για την βελτιστοποίηση των μεθόδων ελέγχου της γωνίας κλίσης για την παρακολούθηση του ήλιου έχουν διεξαχθεί για δύο διαφορετικά κλίματα από τους Kim et al., 2009 και Kim et al., 2014. Διάφοροι τύποι συγκρίθηκαν και αξιολογήθηκαν υπό διαφορετικές γωνίες κλίσης και προσανατολισμούς των Φ/Β συστημάτων από τους Tongtuam et al., 2011. Διαπίστωσαν ότι η μέγιστη παραγωγή ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί όταν η γωνία κλίσης είναι περίπου  $120^\circ$  σε νότια, νοτιοανατολική ή νοτιοδυτική κατεύθυνση.

Η διάσταση των Φ/Β στοιχείων είναι μία από τις παραμέτρους που αποτέλεσαν το επίκεντρο αρκετών μελετών [Yoo et al., 1998; Mandalaki et al., 2014; Sun and Yang, 2010]. Ανεξάρτητα από το εμβαδό της επιφάνειας πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας, διαφορετικές διαστάσεις έδειξαν διαφορετικές αποκρίσεις Kang et al., 2012. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το μήκος των Φ/Β στοιχείων είναι λιγότερο αποτελεσματικό από το πλάτος όσον αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι Mandalaki et al., 2012 συμφωνούν ότι η απόδοση διαφορετικών Φ/Β σκιάστρων διαφέρει ανάλογα με τις διαμορφώσεις τους και κατά επέκταση ανάλογα με τις διαστάσεις τους. Η σχέση μεταξύ του βάθους των προεξοχών ενός ανοίγματος κτιρίου και του ύψους του ανοίγματος είναι σημαντική. Έχει αποδειχθεί ότι ο λόγος αυτός έχει σημαντική επίδραση στην απόδοση τέτοιων συστημάτων [Bahr, 2009; Hwang et al., 2012; Bahr, 2014]. Ο λόγος αυτός μάλιστα χρησιμοποιήθηκε ως μέθοδος για την εκτίμηση του ποσοστού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς καθορίζει την επίδραση της σκίασης στα Φ/Β στοιχεία [Hwang et al., 2012]. Ανεξάρτητα πάντως από τα μεγέθη και τις διαστάσεις,

συνιστάται η τοποθέτηση Φ/Β σκιάστρων να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην σκιάζονται τα υποκείμενα Φ/Β στοιχεία από τα υπερκείμενα [Yoo and Lee, 2002]. Αυτό σημαίνει ότι το εμβαδό της επιφάνειας πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας δεν είναι η μόνη παράμετρος που επηρεάζει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αλλά πρέπει να ληφθούν υπόψη και άλλες παράμετροι, όπως το διάστημα μεταξύ των Φ/Β σκιάστρων ή γωνία κλίσης [Kang et al., 2012; Hwang et al., 2012] λόγω της σκίασης που προκαλούν μεταξύ τους.

Η αξιολόγηση της απόδοσης των Φ/Β σκιάστρων αποτελεί καθοριστικό παράγοντα, διότι κάθε απόφαση λαμβάνεται με βάση έναν καθορισμένο στόχο που υποτίθεται ότι πρέπει να τηρηθεί. Για παράδειγμα, όταν σχεδιάζεται η εφαρμογή μιας τεχνολογίας ανανεώσιμης πηγής ενέργειας, ορισμένα Φ/Β σκιάστρα μπορούν να αποδειχθούν αποδοτικά για ένα συγκεκριμένο σκοπό αλλά λιγότερο αποτελεσματικά όσον αφορά έναν άλλο [Mandalaki et al., 2012]. Διάφορα ερευνητικά προγράμματα έχουν αναπτύξει διάφορα κριτήρια αξιολόγησης της απόδοσης των Φ/Β σκιάστρων. Για την ενεργειακή απόδοση και την οπτική άνεση, οι βέλτιστες παράμετροι σχεδιασμού είναι η ετήσια συνολική ηλιακή ακτινοβολία επιφάνεια του Φ/Β στοιχείου, η μείωση του φορτίου ψύξης κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού ανά επιφάνεια δαπέδου, ο μέσος ημερήσιος φωτισμός μέσα στο χώρο και ο συντελεστής σκίασης στην πρόσοψη [Bahr, 2013]. Άλλοι ερευνητές υποδεικνύουν ότι η εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να υπολογιστεί με την εκτίμηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και τη μείωση του φορτίου ψύξης ανά μονάδα επιφάνειας του Φ/Β στοιχείου για να επιτευχθεί βέλτιστος σχεδιασμός των Φ/Β σκιάστρων [Sun and Yang, 2010; Sun et al., 2012]. Για αναλύσεις κόστους – οφέλους, μπορούν να αξιολογηθούν διαφορετικές επιλογές

σχεδιασμού με βάση την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ετησίως σε συσχετισμό με την εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας για ψύξη, την πρόσθετη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τεχνητό φωτισμό και το κόστος συντήρησης και καθαρισμού των Φ/Β στοιχείων [Bahr, 2014].

Η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος Φ/Β σκιάστρων έχει ερευνηθεί από τους Hwang et al., 2012, Kang et al. 2012 και Di Vincenzo et al., 2011. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί αξιόπιστο δείκτη, ιδίως όταν συνδυάζεται με άλλα κριτήρια όπως η οπτική άνεση [Mandalaki et al., 2012]. Σε ορισμένες μάλιστα περιπτώσεις, όλη η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα Φ/Β στοιχεία μπορεί να καλύψει τις ανάγκες τεχνητού φωτισμού [Mandalaki et al., 2014]. Είναι ακόμα πιο χρήσιμο όταν χρησιμοποιούνται κριτήρια αξιολόγησης πολλαπλών κριτηρίων, όπως φορτία ψύξης και θέρμανσης του εσωτερικού χώρου, ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για την εξασφάλιση της οπτικής άνεσης, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας των Φ/Β στοιχείων και ο συντελεστής οπτικής άνεσης π.χ. ο λόγος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας προς την ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για την οπτική άνεση [Mandalaki et al., 2012]. Οι Karteris et al., 2014 αξιολόγησαν την κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου χωρίς να ληφθεί υπόψη η παραγωγή ηλεκτρισμού για να δοθεί έμφαση στην επίδραση των Φ/Β στοιχείων στα φορτία θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου. Η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας έχει μελετηθεί από τους Yoo, 2011; Yoo and Lee, 2002; Yoo and Manz, 2011. Αυτός ήταν ένας δείκτης της μονωτικής ικανότητας των συστημάτων που μελετήθηκαν, αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις έπρεπε να μελετηθούν και άλλα κριτήρια για να μπορέσει να εξαχθεί μια τεκμηριωμένη απόφαση σχετικά με το σχεδιασμό του συστήματος. Η ετήσια ενεργειακή απόδοση ανά επιφάνεια των Φ/Β στοιχείων

εκτιμήθηκε επίσης από τους Tongtuam et al., 2011. Είναι ένας έγκυρος δείκτης της αποτελεσματικότητας του συστήματος, αλλά δεν μπορεί να αναφερθεί ως το μόνο κριτήριο που βοηθά στη λήψη απόφασης για τον βέλτιστο σχεδιασμό του συστήματος.

Οι μέθοδοι αξιολόγησης ποικίλλουν με βάση τα διαθέσιμα εργαλεία ή τον τύπο της μελέτης και τις μεταβλητές που επιλέγονται να εξεταστούν. Στη βιβλιογραφία που εξετάστηκε εδώ, εντοπίστηκαν τρεις κύριες μέθοδοι: εργαλεία προσομοίωσης σε Η/Υ, μαθηματικά μοντέλα και πειραματικά μοντέλα είτε σε πραγματικά κτίρια είτε σε ελεγχόμενες εργαστηριακές συνθήκες. Όσο αφορά στα εργαλεία προσομοίωσης σε Η/Υ, δημοφιλή λογισμικά προσομοίωσης αποτελούν το Ecotect [Bahr, 2009; Bahr, 2013; Mandalaki et al., 2014; Bahr, 2014], το EnergyPlus [Mandalaki et al., 2012; Mandalaki et al., 2014; Mandalaki et al., 2014], το SolCel [Yoo and Lee, 2002; Yoo, 2011; Yoo and Manz, 2011] τα οποία χρησιμοποιούνται για απευθείας ενεργειακές προσομοιώσεις ενώ λογισμικά προσομοίωσης όπως το GIS [Karteris et al., 2014] χρησιμοποιούνται ως εργαλείο πληροφόρησης για την βελτιστοποίηση του εξεταζόμενου συστήματος σε διαφορετικές γεωγραφικές τοποθεσίες. Οι πειραματικές μελέτες περιλαμβάνουν μοντέλα κλίμακας είτε σε εργαστηριακές συνθήκες είτε σε συνθήκες πραγματικής ζωής και σε πραγματικές κατασκευαστικές δομές. Κατά τη βελτιστοποίηση των μεθόδων λειτουργίας και ελέγχου μηχανοκίνητων συστημάτων, μπορεί να κατασκευαστεί ένα μοντέλο φυσικής κλίμακας για να διερευνηθεί η απόδοση αυτών των συσκευών υπό πραγματικές συνθήκες [Kim et al., 2009; Kim et al., 2009]. Οι μελέτες που χρησιμοποιούν μαθηματικά μοντέλα είναι εκείνες που έχουν χρησιμοποιήσει ενιαία φόρμουλα ή πλήθος τύπων ανάλογα με το σκοπό, την εφαρμογή και το βάθος της

μελέτης. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να υιοθετηθεί για τη θεωρητική ανάλυση ολοκληρωμένων Φ/Β συστημάτων [Kang et al., 2012]. Παραλλαγές παραμέτρων έχουν εφαρμοστεί για να διαπιστωθούν οι βέλτιστες τιμές όπως η αζιμούθια ή η γωνία κλίσης των Φ/Β στοιχείων σε διαφορετικούς προσανατολισμούς [Sun et al., 2012] ή να περιγραφούν οι επιπτώσεις των ενσωματωμένων Φ/Β στοιχείων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και στις ανάγκες ψύξης [Sun and Yang, 2010]. Άλλες μελέτες έχουν χρησιμοποιήσει μαθηματικά μοντέλα για να μελετήσουν τη δυναμική απόδοση Φ/Β συστημάτων [Sun et al., 2015].

## 4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

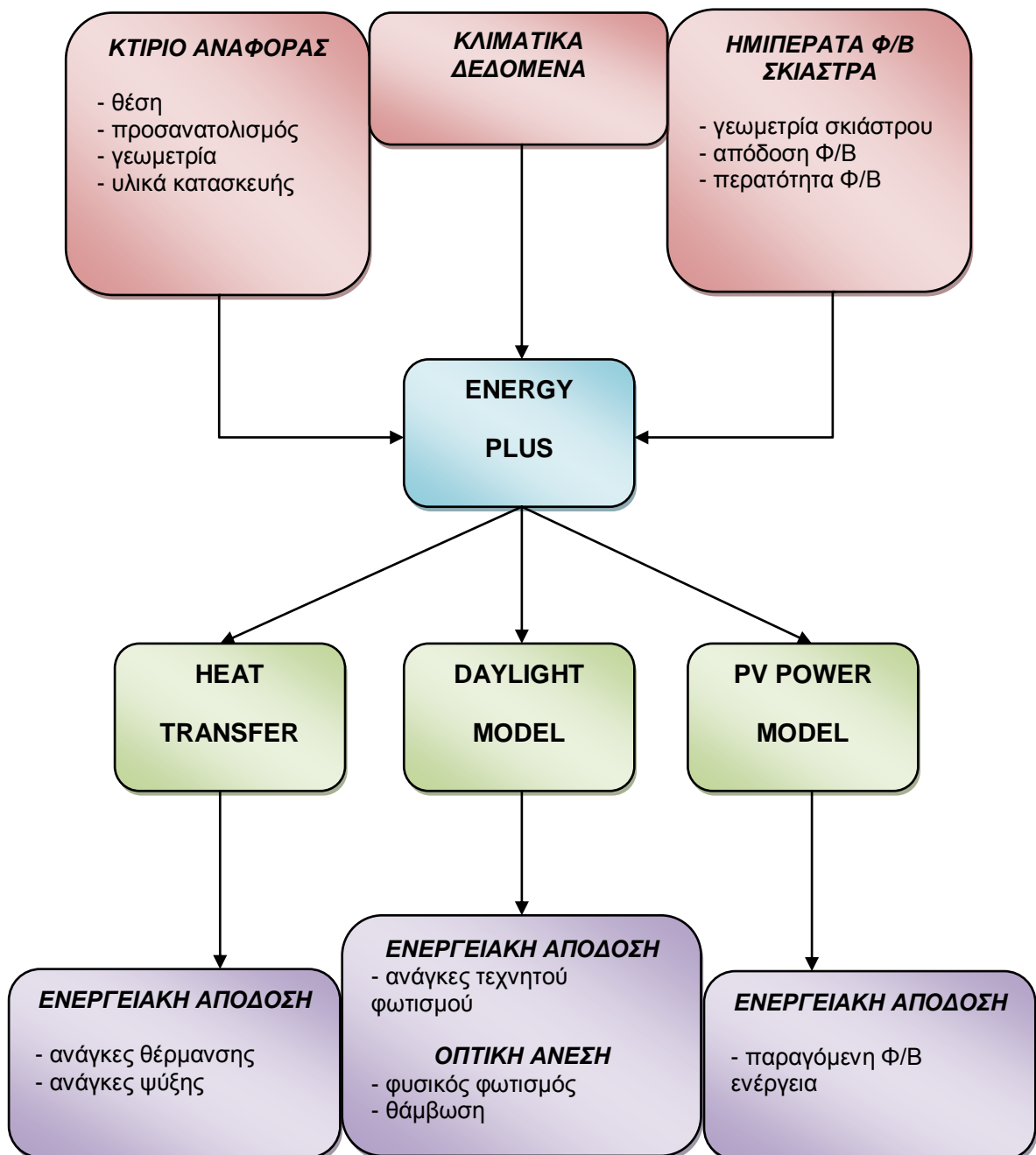
### 4.1 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Όλες οι προσομοιώσεις έγιναν με την χρήση του EnergyPlus v.8.6 [<https://energyplus.net/> accessed 11-11-2016]. Το EnergyPlus είναι ένα λογισμικού ανοικτού κώδικα κατάλληλο για ενεργειακές προσομοιώσεις κτιρίων, το οποίο αναπτύχθηκε από το U.S. Department of Energy. Περιλαμβάνει διάφορα υπολογιστικά μοντέλα που επιτρέπουν την προσομοίωση των αναγκών ψύξης και θέρμανσης, των αναγκών τεχνητού φωτισμού αλλά και προσομοίωση της κατανομής φυσικού ηλιακού φωτισμού, πρόβλεψη της παραγόμενης ενέργεια Φ/B συστημάτων κλπ.. Έχει αποδειχθεί ότι το πρόγραμμα εξάγει επαναλαμβανόμενα ακριβή αποτελέσματα τα οποία έχουν επικυρωθεί μέσω αναλυτικών, συγκριτικών και εμπειρικών δοκιμασιών [Mandalaki et al., 2014; Miyazaki et al., 2005; Wang et al., 2016; Witte et al., 2001; Olsen and Chen, 2003].

Για τις προσομοιώσεις η μόνη παράμετρος που μεταβαλλόταν ήταν ο τύπος του Φ/B σκιάστρου. Δημιουργήθηκε ένα μοντέλο για κάθε τύπο Φ/B σκιάστρου. Συνολικά δεκατέσσερα μοντέλα προσομοίωσης αναπτύχθηκαν, τα οποία συμπεριλάμβαναν δεκατρείς τύπους σκιάστρων και επιπλέον το μοντέλο του απλού παραθύρου χωρίς καθόλου σκιάστρο. Όλες οι υπόλοιπες μεταβλητές του συστήματος παρέμειναν αμετάβλητες. Τέτοιες σταθερές μεταβλητές ήταν το γεωγραφικό μήκος και πλάτος του κτιρίου, το κλίμα της περιοχής, ο νότιος προσανατολισμός των σκιάστρων, η γεωμετρία, οι διαστάσεις και τα υλικά κατασκευής και μόνωσης του χώρου του γραφείου, οι διαστάσεις και τα υλικά κατασκευής του παραθύρου, τα θερμικά και οπτικά όρια άνεσης για τον εσωτερικό χώρο.

Τέλος, όπως φαίνεται στο διάγραμμα ροής (Σχήμα 1), η αξιολόγηση των σκιάστρων γίνεται μέσω πολλαπλών αποτελεσμάτων. Όσο αφορά στα ενεργειακά αποτελέσματα, αυτά περιλαμβάνουν τις ετήσιες ανάγκες σε θέρμανση, ψύξη και τεχνητού φωτισμού καθώς και την ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα Φ/Β σκιάστρα. Όσο αφορά στην οπτική άνεση, τα αποτελέσματα που εξάγονται είναι ο διαθέσιμος φυσικός φωτισμός εντός του χώρου και η θάμβωση.

**Σχήμα 1 – Διάγραμμα ροής**





## 4.2 ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

Ως κτίριο αναφοράς επιλέχτηκε ένα κτίριο που στεγάζει γραφεία. Το κτίριο αναφοράς είναι ένα μεσαίου μεγέθους, τα γραφεία είναι ευθυγραμμισμένα σε δύο όψεις, χωρίζονται από ένα κεντρικό διάδρομο, με σκάλα και βοηθητικούς χώρους στα δύο άκρα του κτιρίου. Το κτίριο αναφοράς βρίσκεται σε επίπεδο έδαφος χωρίς σκίαση γειτονικών λόφων, κτιρίων ή δέντρων. Κάθε εξεταζόμενο σκίαστρο τοποθετείται μπροστά από ένα παράθυρο ενός γραφείου. Η θέση αυτή μπορεί να επαναληφθεί για κάθε παράθυρο του κτιρίου και για κάθε όροφο. Οι διαστάσεις του είναι 5,0m X 3,5m X 3,0m (μήκος X πλάτος X ύψος). Η νότια όψη του γραφείου έχει διαστάσεις 3,5m X 3,0m (πλάτος X ύψος) και φέρει παράθυρο διαστάσεων 2,5m X 1,9m (πλάτος X ύψος). Ο λόγος της επιφάνειας του παραθύρου προς την επιφάνεια της νότιας όψης είναι:  $\frac{4,75 \text{ m}^2}{10,50 \text{ m}^2} = 45,24 \%$ .

Το κτίριο αναφοράς βρίσκεται στα Χανιά της Κρήτης (35,30° N). Η παραθαλάσσια πόλη των Χανίων είναι ένα τυπικό παράδειγμα μεσογειακού κλίματος: η χειμερινή περίοδος είναι σχετικά μικρής διάρκειας, με ήπιες και υγρές συνθήκες, ενώ η θερινή περίοδος είναι μακρύτερη, με ζεστές και ξηρές συνθήκες [Faggianelli et al., 2014; Evola et al., 2014]. Επίσης, η μεγάλη διάρκεια της ημέρας και η υψηλή ηλιακή ακτινοβολία είναι σταθερές συνθήκες καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, γεγονός που ενθαρρύνει την εγκατάσταση Φ/Β συστημάτων [Guardo et al., 2011]. Οι ακραίες θέσεις του ήλιου είναι περίπου 77° το καλοκαίρι και περίπου 30° το χειμώνα στις 12 το μεσημέρι για νότιο προσανατολισμό.

Τα θερμικά και οπτικά όρια άνεσης για τον εσωτερικό χώρο, βάσει των οποίων διεξάχθηκε η αξιολόγηση των Φ/Β σκιάστρων, περιλάμβαναν την διασφάλιση

θερμοκρασίας εντός του χώρου μεταξύ 18°C και 26°C και επίπεδα έντασης φωτισμού 500lux και άνω κατά τη διάρκεια των ωρών εργασίας του γραφείου. Ως εργάσιμες ώρες θεωρήθηκαν οι 09:00 – 17:00 για 5 ημέρες την εβδομάδα [Boyce και Raynham, 2009; Grandjean, 1984]. Κατά τις μη εργάσιμες ημέρες και ώρες, θεωρήθηκε ότι δεν υπάρχει στο χώρο καμία λειτουργία ελέγχου κλίματος ή ελέγχου επιπέδων φωτισμού. Ως εκ τούτου, οι ανάγκες ενέργειας για θέρμανση ή ψύξη εκτιμώνται όταν η εσωτερική θερμοκρασία του χώρου υπολείπεται τους 18°C ή υπερβαίνει τους 26°C αντίστοιχα, ενώ οι ενεργειακές ανάγκες για τεχνητό φωτισμό εκτιμώνται όταν ο διαθέσιμος εσωτερικός φωτισμός λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας είναι κάτω από 500lux. Η σχετική υγρασία θεωρείται ότι κυμαίνεται μεταξύ 20% και 80%, η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας υποτίθεται ότι είναι κοντά στη θερμοκρασία του αέρα και η κίνηση του αέρα θεωρείται ότι είναι μέτρια. Οι παραπάνω συνδυασμοί σχεδιαζόμενοι σε ένα ψυχομετρικό διάγραμμα ορίζουν μια περιοχή γνωστή ως ζώνη άνεσης [Lechner, 2001].

Για τον υπολογισμό των θερμικών αναγκών σε θέρμανση και ψύξη του χώρου δεν έγινε μοντελοποίηση κάποιας συσκευής θέρμανσης ή ψύξης. Αξιοποιήθηκε η επιλογή των «ιδεατών φορτίων» που προσφέρει το λογισμικό προσομοίωσης EnergyPlus v.8.6, η οποία προσφέρει την δυνατότητα να μελετηθεί η απόδοση ενός χώρου χωρίς να διαμορφωθεί ένα πλήρες σύστημα ρύθμισης του κλίματος (HVAC). Αυτό το σύστημα των «ιδεατών φορτίων» μπορεί να θεωρηθεί ως μια ιδανική μονάδα που αναμιγνύει τον εσωτερικό αέρα του χώρου με καθορισμένη ποσότητα εξωτερικού αέρα και στη συνέχεια προσθέτει ή αφαιρεί θερμότητα και υγρασία με σκοπό την παραγωγή ρεύματος αέρα εντός του χώρου με τις προαναφερθείσες καθορισμένες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας. Στην

παρούσα εργασία θεωρήθηκε ότι το σύστημα των «ιδεατών φορτίων» διαθέτει άπειρη ικανότητα θέρμανσης και ψύξης του χώρου. Τέλος, δεν υπολογίστηκαν θερμικά ενεργειακά οφέλη από την χρήση τεχνητού φωτισμού, συσκευών ή ατόμων.

Για το σύστημα τεχνητού φωτισμού θεωρήθηκε ότι ο χώρος εσωτερικά είναι εφοδιασμένος με σύστημα τεχνητού φωτισμού ισχύος 200W. Μάλιστα, έχει υιοθετηθεί μια στρατηγική γραμμικής αυξομείωσης της παρεχόμενης έντασής του. Όποτε η φωτεινότητα της ημέρας υπερβαίνει το όριο ο τεχνητός φωτισμός είναι απενεργοποιημένος. Αντίστοιχα, όποτε η φωτεινότητα της ημέρας πέφτει κάτω από το απαιτούμενο επίπεδο κατά τη διάρκεια της περιόδου ζήτησης φωτισμού, το έλλειμμα παρέχεται με τεχνητό φωτισμό αναλογικά με το ποσοστό που υπολείπεται. Εάν είχε χρησιμοποιηθεί μόνο ο έλεγχος ενεργοποίησης / απενεργοποίησης του τεχνητού φωτισμού χωρίς την γραμμική αυξομείωση της έντασης, οι ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό θα ήταν πολύ υψηλότερες [Vartiainen, 1998].

Όλες οι επιφάνειες του χώρου αναφοράς θεωρούνται αδιαβατικές λόγω του γεγονότος ότι κάθε μονάδα γραφείου είναι μέρος ενός κτιρίου γραφείων όπου οι μονάδες γραφείων επαναλαμβάνονται σε ύψος και μήκος με αποτέλεσμα να μην υπάρχει θερμοκρασιακή μεταβολή μεταξύ τους συνεπώς δεν υφίσταται ανταλλαγή θερμότητας. Μόνο ο νότιος τοίχος στην πρόσοψη, οποίος φέρει και το παράθυρο είναι θερμικά αγωγίμος και μέσω αυτού του τοίχου υπάρχει ανταλλαγή θερμότητας με το εξωτερικό περιβάλλον. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι τα παρακάτω: δάπεδο από σκυρόδεμα με επικάλυψη από χαλί, οροφή από σκυρόδεμα και

επένδυση γυψοσανίδας, εσωτερικά διαχωριστικά τοιχώματα από γυψοσανίδες, εξωτερικός τοίχος αποτελούμενος από διπλό τούβλο και επένδυση γυψοσανίδας δίνοντας του συντελεστή θερμοπερατότητας  $U = 2.013 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Το παράθυρο που χρησιμοποιείται για όλα τα Φ/Β σκιάστρα που εξετάστηκαν, αποτελείται από ένα τυπικό πλαίσιο διπλού υαλοπίνακα συνολικού πάχους  $0,012 + 0,013 + 0,012 = 0,042 \text{ m}$  (γυαλί, κενό, γυαλί) με συντελεστή θερμοπερατότητας  $U = 2.575 \text{ W/m}^2\text{K}$ , διαπερατότητα ολικού φάσματος 0,653 και διαπερατότητα οπτικού φάσματος 0,841.

### 4.3 ΣΚΙΑΣΤΡΑ

Δεκατέσσερις τύποι σκιάστρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κτίρια γραφείων εξετάστηκαν στην παρούσα μελέτη [Neufert et al., 2002; Olgay, 1957]. Τα υπό εξέταση σκιάστρα είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να αποκλείουν για το γεωγραφικό πλάτος των Χανίων το άμεσο ηλιακό φως κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου και να το επιτρέπουν κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου, συμβάλλοντας θετικά στο ενεργειακό αποτύπωμα του κτιρίου.

Οι τύποι των σκιάστρων που εξετάστηκαν είναι (Σχήμα 2):

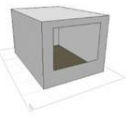
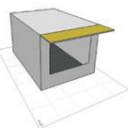
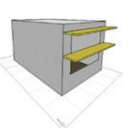
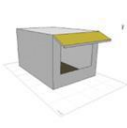
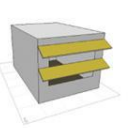
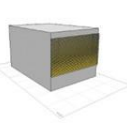
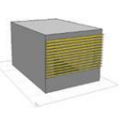
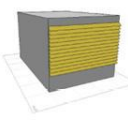
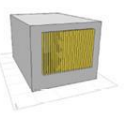
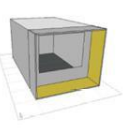
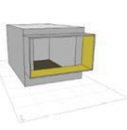
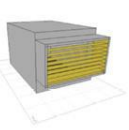
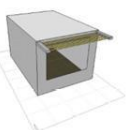
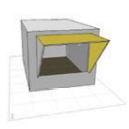
1. Απλό παράθυρο (Simple window)
2. Οριζόντιο σκίαστρο μονό (Horizontal canopy single)
3. Οριζόντιο σκίαστρο διπλό (Horizontal canopy double)
4. Κεκλιμένο σκίαστρο μονό (Canopy single inclined)
5. Κεκλιμένο σκίαστρο διπλό (Canopy double inclined)
6. Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο πλήρους πρόσοψης (Brise soleil full façade)
7. Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης  
(Brise soleil semi facade)
8. Οριζόντιο & τριγωνικό κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης  
(Surrounding shading)
9. Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης με περσίδες  
(Brise soleil semi façade with louvres)
10. Οριζόντιες περσίδες (Horizontal louvers)
11. Οριζόντιες περσίδες κεκλιμένες προς τα μέσα  
(Horizontal louvres inwards inclined)
12. Οριζόντιες περσίδες κεκλιμένες προς τα έξω

(Horizontal louvres outwards inclined)

13. Οριζόντιο σκίαστρο από περσίδες (Canopy with louvers)

14. Κατακόρυφες περσίδες (Vertical louvers)

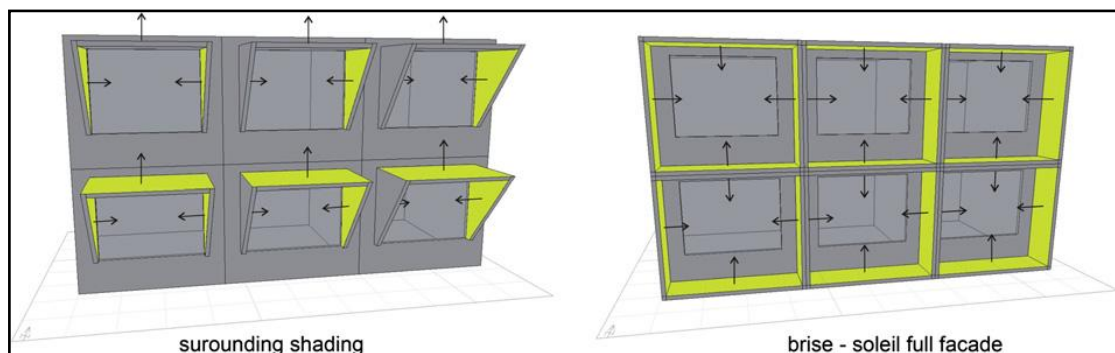
***Σχήμα 2 – Τύποι εξεταζόμενων σκιάστρων [Mandalaki et al., 2012]***

Simple window	Horizontal canopy single	Horizontal canopy double	Canopy inclined single	Canopy inclined double	Louvers horizontal	Louvers horizontal inwards inclined
						
Louvers horizontal outwards inclined	Vertical louvers	Brise-soleil full facade	Brise - soleil semi facade	Brise - soleil semi facade with louvers	Canopy with louvers	Surrounding shading
						

Κάθε σκίαστρο θεωρήθηκε ότι τοποθετείται εξωτερικά στην νότια πρόσοψη του κτιρίου, μπροστά από το παράθυρο. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τα σκιάστρα επαναλαμβάνονται σε ύψος και μήκος στην πρόσοψη του κτιρίου. Αυτό σημαίνει ότι τα Φ/Β στοιχεία σε κάθε σκίαστρο δεν μπορούν να εγκατασταθούν προς τα πάνω, όπως θα περίμενε κανείς. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το σκίαστρο του επόμενου ορόφου είναι εγκατεστημένο με τέτοιο τρόπο ώστε εφάπτεται στην εξωτερική πλευρά του υποκείμενου σκιάστρου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου σκιάστρου είναι το Brise soleil full facade, Brise soleil semi facade κ.α.. Ομοίως το ίδιο μοτίβο ακολουθείται και κατά μήκος των σκιάστρων του ίδιου ορόφου, όπου γειτονικά σκιάστρα παρεμποδίζουν την εξωτερική τοποθέτηση των Φ/Β στοιχείων επί του σκιάστρου. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις τα Φ/Β στοιχεία είναι στραμμένα προς το εσωτερικό μέρος του σκιάστρου, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3. Προκειμένου ωστόσο να απλουστευθεί η διαδικασία της

προσομοίωσης, αναλύθηκε ένα μεμονωμένο σκιάστρο, παρόλο που τα σκιάστρα συνήθως επαναλαμβάνονται για τα παράθυρα του κτιρίου. Ως αποτέλεσμα, δεν λήφθηκε υπόψη σκίαση από γειτονικά σκιάστρα, συνεπώς και δεν συνυπολογίστηκαν τυχούσες απώλειες στην απόδοση και την παραγωγή ενέργειας από τα Φ/Β στοιχεία.

**Σχήμα 3 – Επανάληψη σκιάστρων καθ' ύψος και κατά μήκος [Mandalaki et al., 2012]**



Τα εξεταζόμενα σκιάστρα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε 2 ομάδες, ανάλογα με την εμπόδιση ή μη της οπτικής θέας των χρηστών του χώρου προς το εξωτερικό περιβάλλον. Η Ομάδα Α περιλαμβάνει σκιάστρα που δεν εμποδίζουν την οπτική θέα, ενώ στην Ομάδα Β περιλαμβάνονται τα σκιάστρα που την εμποδίζουν (Πίνακας 1).

**Πίνακας 1 – Ομαδοποίηση εξεταζόμενων Φ/Β σκιάστρων**

<b>Ομάδα Α</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Οριζόντιο σκίαστρο μονό (Horizontal canopy single)</li><li>• Οριζόντιο σκίαστρο διπλό (Horizontal canopy double)</li><li>• Κεκλιμένο σκίαστρο μονό (Canopy single inclined)</li><li>• Οριζόντιο &amp; κατακόρυφο σκίαστρο πλήρους πρόσοψης (Brise soleil full façade)</li><li>• Οριζόντιο &amp; κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης (Brise soleil semi façade)</li><li>• Οριζόντιο &amp; τριγωνικό κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης (Surrounding shading)</li><li>• Οριζόντιο σκίαστρο από περσίδες (Canopy with louvers)</li></ul>
<b>Ομάδα Β</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Κεκλιμένο σκίαστρο διπλό (Canopy double inclined)</li><li>• Οριζόντιο &amp; κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης με περσίδες (Brise soleil semi façade with louvers)</li><li>• Οριζόντιες περσίδες (Horizontal louvers)</li><li>• Οριζόντιες περσίδες κεκλιμένες προς τα μέσα (Horizontal louveres inwards inclined)</li><li>• Οριζόντιες περσίδες κεκλιμένες προς τα έξω (Horizontal louveres outwards inclined)</li><li>• Κατακόρυφες περσίδες (Vertical louvers)</li></ul>



#### 4.4 ΗΜΙΠΕΡΑΤΑ Φ/B ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Τα Φ/B στοιχεία παράγουν ηλεκτρική ενέργεια μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας. Προκειμένου να μειωθεί η ενεργειακή ζήτηση ενός κτιρίου και να μεγιστοποιηθεί η παραγωγή ενέργειας που από τα Φ/B στοιχεία, οι ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου πρέπει να περιορίζονται κατά τη διάρκεια της ημέρας. Οι εργάσιμες ώρες των κτιρίων γραφείων είναι γενικά κατάλληλες για τη λειτουργία Φ/B συστημάτων, λόγω του ότι τα κτίρια γραφείων λειτουργούν ως επί το πλείστον κατά τη διάρκεια της ημέρας όταν η παραγωγή ενέργειας από τα Φ/B στοιχεία είναι υψηλή. Επιπλέον, συστήματα σκίασης με ενσωματωμένα Φ/B στοιχεία μπορούν να αυξήσουν τα ενεργειακά οφέλη, επειδή μειώνουν τα θερμικά ηλιακά οφέλη συμβάλλοντας στην μείωση των αναγκών σε ψύξη του χώρου ενώ ταυτόχρονα παράγουν ηλεκτρισμό για την υποστήριξη των ενεργειακών αναγκών.

Η ονομαστική απόδοση των Φ/B στοιχείων είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την ενεργειακή απόδοσή τους. Αν και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες (προδιαγραφές κυψελών, θερμοκρασία και άλλες κλιματολογικές συνθήκες, κλπ.), επιλέχτηκε μια σταθερή θεωρητική τιμή απόδοσης που είναι 6%. Η περατότητα του φωτός μέσα από το ημιπερατό Φ/B στοιχείο θεωρήθηκε 10%. Οι τιμές αυτές αποτελούν χαρακτηριστικές μέσες τιμές που έχουν συστηματικά χρησιμοποιηθεί σε ανάλογες μελέτες προσομοίωσης ημιπερατών Φ/B στοιχείων [Chow et al., 2008; Chae et al., 2014; Peng et al., 2015; Khai Ng et al., 2013; Liao and Xu, 2015; Peng et al., 2016; Chow et al., 2009; Song et al., 2008; Oshiro et al., 1997].

Τέλος, θεωρήθηκε ότι όλη η παραγόμενη ενέργεια από τα Φ/Β στοιχεία αξιοποιείται στιγμιαία από τα συστήματα μέσα στο κτίριο ή πωλείται στο δίκτυο, επομένως δεν απαιτείται αποθήκευση [Vartiainen, 2001].

#### **4.5 ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ**

Απαραίτητα στοιχεία για την διεξαγωγή των προσομοιώσεων είναι τα κλιματικά δεδομένα της εξεταζόμενης περιοχής. Κλιματικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται στη προσομοίωση είναι η θερμοκρασία, υγρασία, ηλιακή ακτινοβολία, ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου, ηλιοφάνεια ή συννεφιά κλπ.. Τα δεδομένα καιρού για την πόλη των Χανίων που χρησιμοποιήθηκαν για τις προσομοιώσεις και η ενσωμάτωσή τους στο λογισμικό αποτελεί εργασία που πραγματοποίησε το Εργαστήριο Ανανεώσιμων και Βιώσιμων Ενεργειακών Συστημάτων της Σχολής Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης [Zervas, 2009; Papantoniou and Tsoutsos, 2008; <http://www.resel.tuc.gr/> accessed 11-11-2016].

## 5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

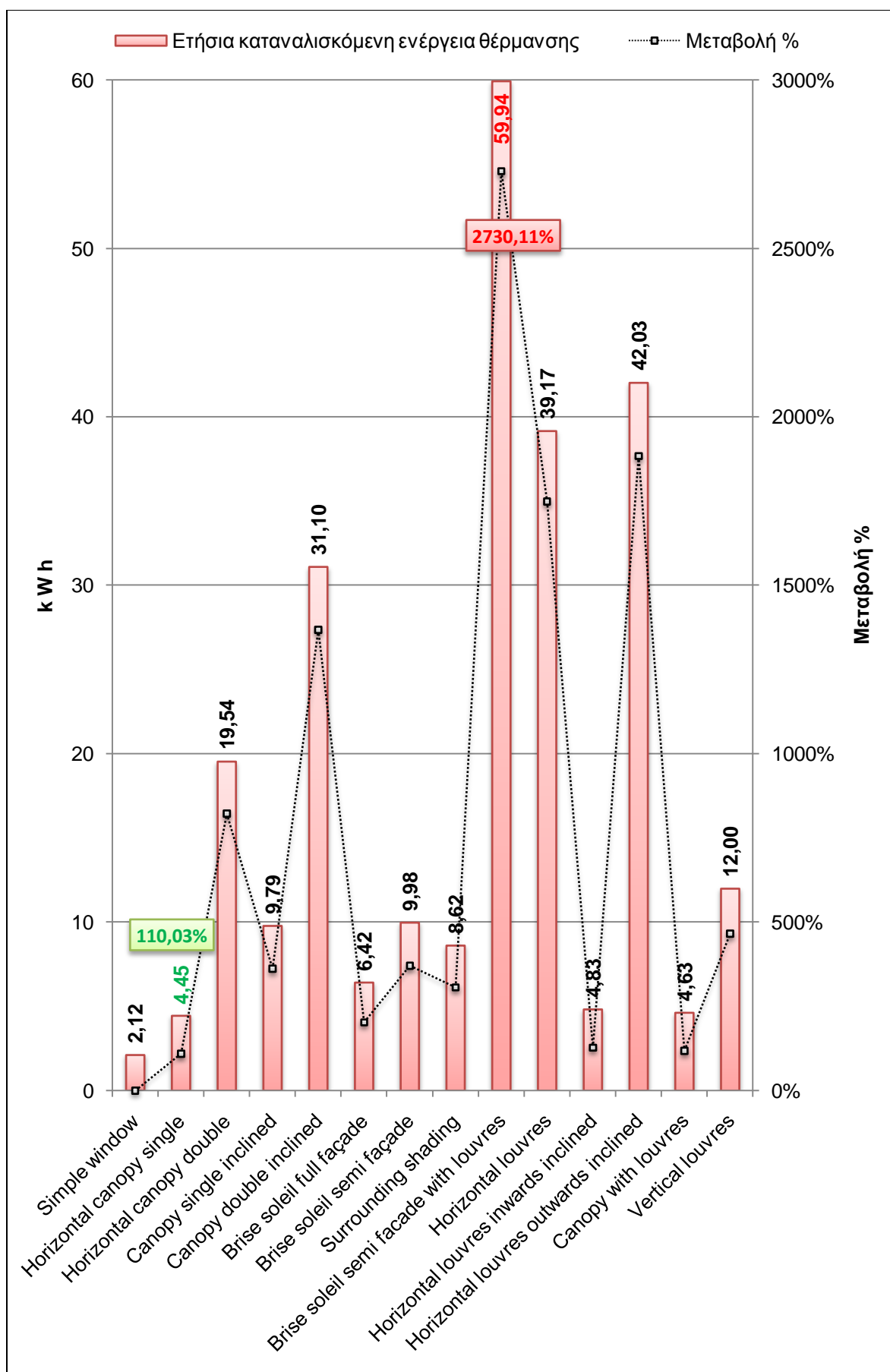
### 5.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ

#### 5.1.1 Ανάγκες θέρμανσης

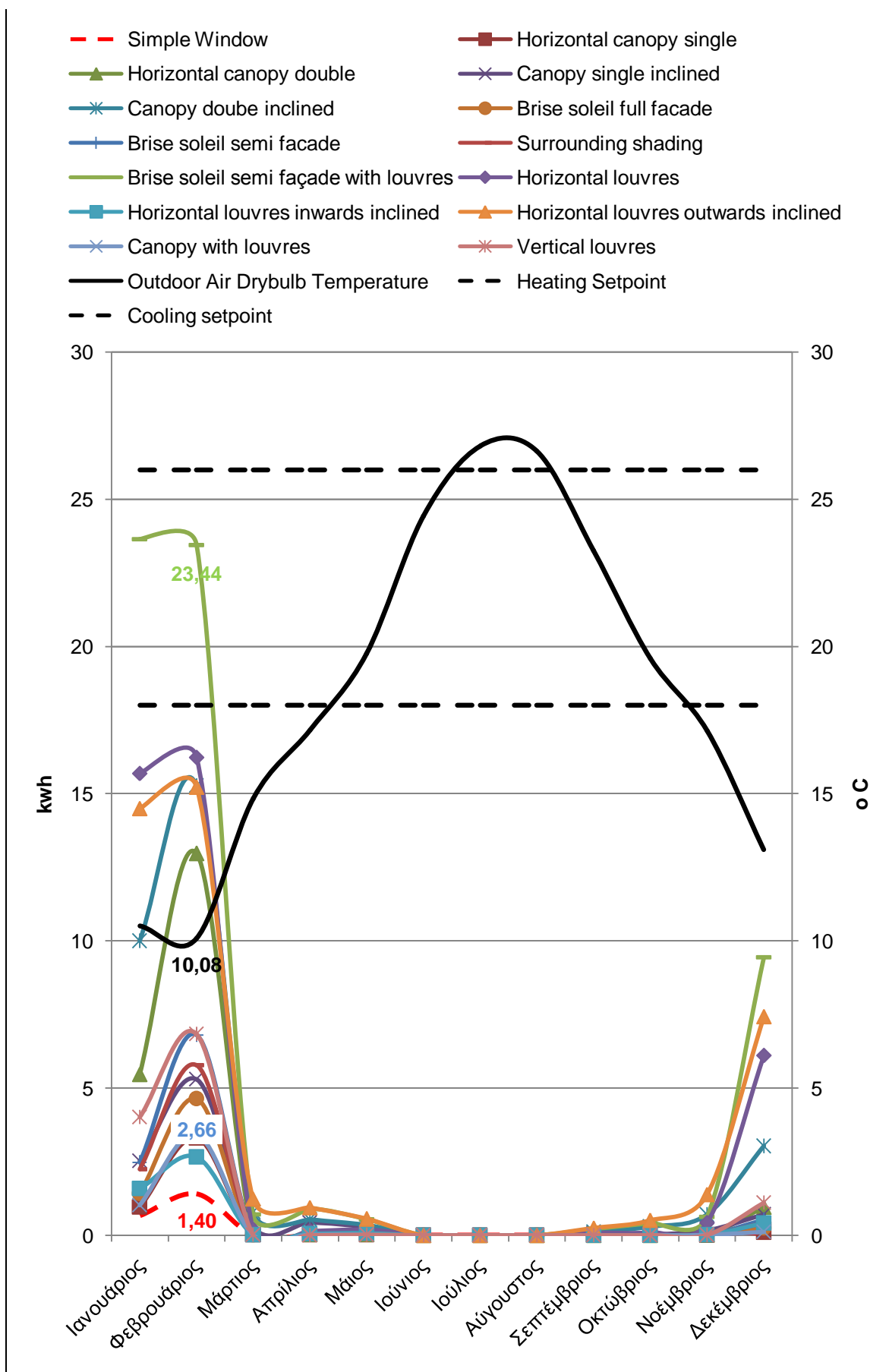
Όσο αφορά στις ανάγκες θέρμανσης του χώρου, όλοι οι τύποι σκιάστρων προσθέτουν ποσά ενέργειας για θέρμανση όπως φαίνεται στο Σχήμα 4 αφού σε κάθε περίπτωση εμποδίζουν περισσότερο ή λιγότερο την είσοδο της ηλιακής ενέργειας στο χώρο. Σε σχέση με το απλό παράθυρο (Simple window 2,12kWh/έτος), όλοι οι τύποι σκιάστρων εμφανίζουν αύξηση στις ετήσιες ανάγκες θέρμανσης από +110,03% (Horizontal canopy single 4,45kWh/έτος) έως +2.730,11% (Brise soleil semi façade with louvers 59,94kWh/έτος). Σε επίπεδο ομάδων σκιάστρων, τα σκίαστρα της Ομάδας Α εμφανίζουν σαφώς χαμηλότερες ανάγκες θέρμανσης (μέση αύξηση αναγκών ομάδας +327,79%) σε σχέση με τα σκίαστρα της Ομάδας Β (μέση αύξηση αναγκών ομάδας +1387,81%), γεγονός που οφείλεται στην ευκολία πρόσβασης της ηλιακής ακτινοβολίας στο χώρο στα πρώτα από τα δεύτερα σκίαστρα.

Επίσης οι αιχμές των αναγκών θέρμανσης εμφανίζουν αύξηση όπως φαίνεται στο Σχήμα 5. Κατά το μήνα Φεβρουάριο όπου εμφανίζεται η μικρότερη μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος (10,08°C), απαιτούνται οι μεγαλύτερες ανάγκες θέρμανσης του έτους. Σε σχέση με το απλό παράθυρο (Simple window 1,40 kWh), εμφανίζεται αύξηση από +89,42% (Horizontal lounvres inwards inclined 2,66kWh) έως +1.568,67% (Brise soleil semi facade with lounvres 23,44kWh) στις ανάγκες θέρμανσης. Σε επίπεδο ομάδων σκιάστρων, ομοίως τα σκίαστρα της Ομάδας Α εμφανίζουν σαφώς μειωμένες αιχμές σε σχέση με τα σκίαστρα της Ομάδας Β.

**Σχήμα 4 – Ετήσιες ανάγκες θέρμανσης**



**Σχήμα 5 – Μηνιαίες ανάγκες θέρμανσης**

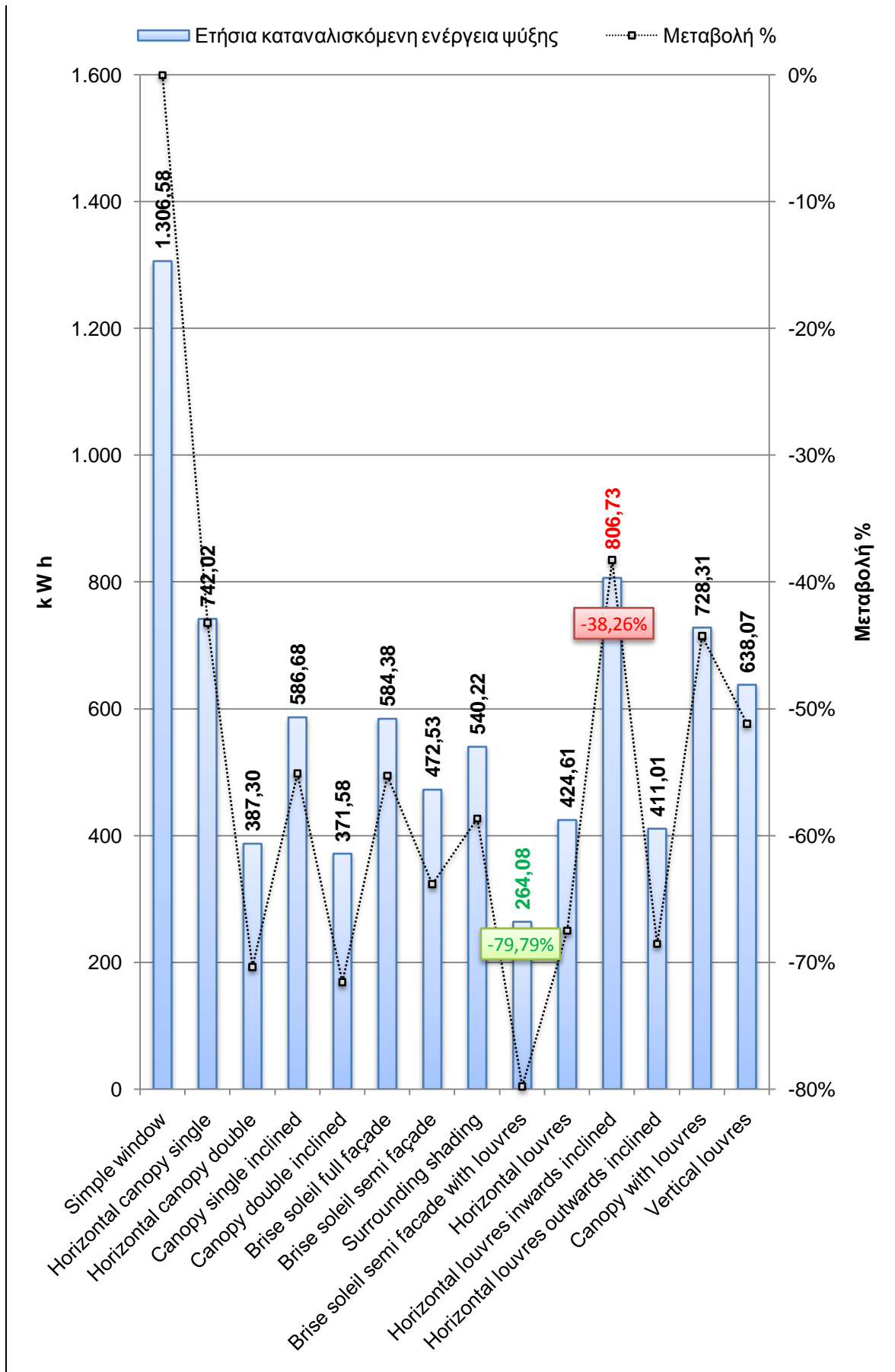


### 5.1.2 Ανάγκες ψύξης

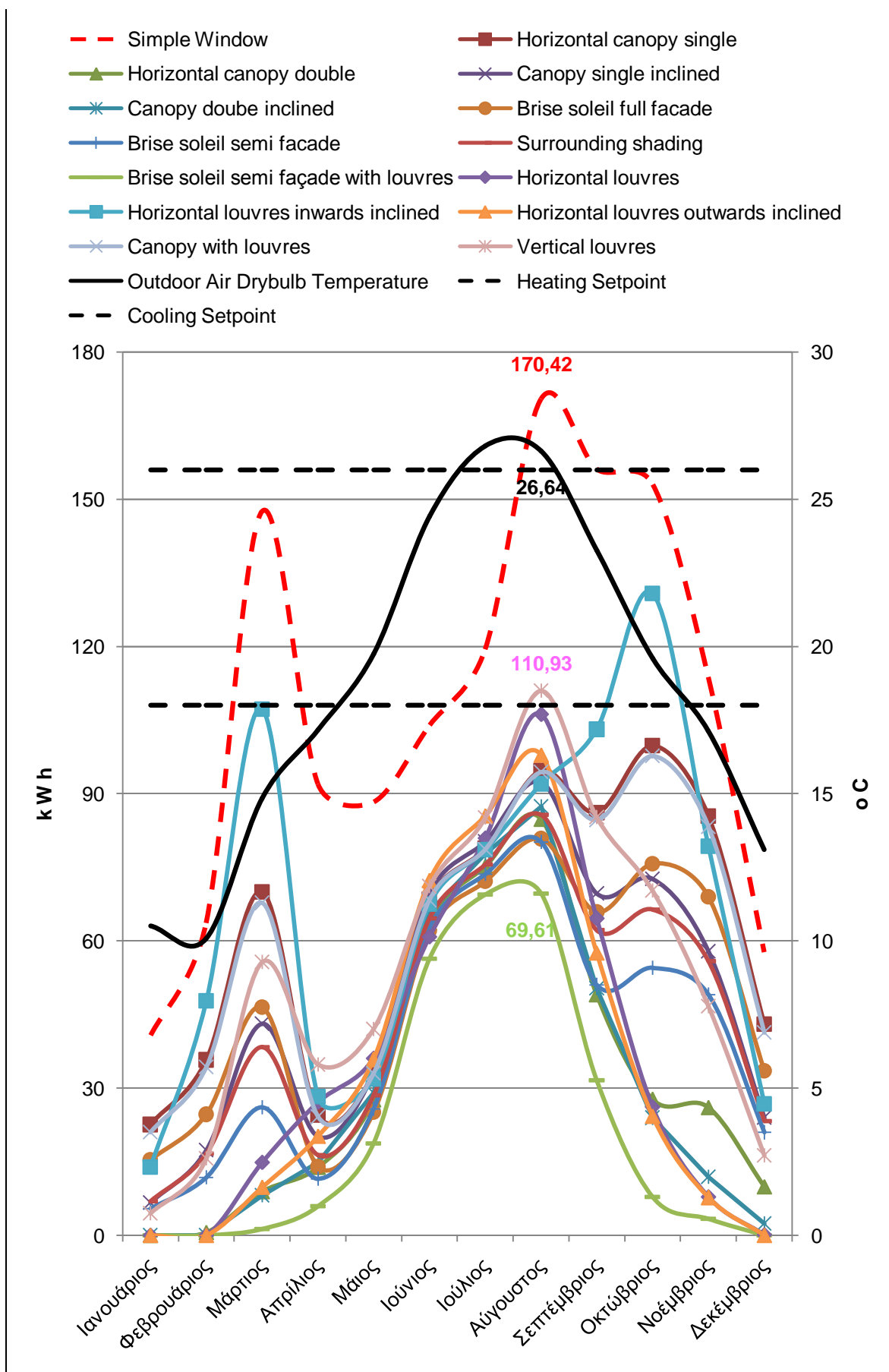
Όσο αφορά στις ανάγκες ψύξης του χώρου, όλοι οι τύποι σκιάστρων εξοικονομούν σημαντικά ποσά ενέργειας για ψύξη όπως φαίνεται στο Σχήμα 6 αφού σε κάθε περίπτωση εμποδίζουν περισσότερο ή λιγότερο την είσοδο της ηλιακής ενέργειας στο χώρο. Σε σχέση με το απλό παράθυρο (1.306,58kWh/έτος), όλοι οι τύποι σκιάστρων εμφανίζουν μείωση στις ετήσιες ανάγκες ψύξης από -38,26% (Horizontal louvers inwards inclined 806,73kWh/έτος) έως -79,79% (Brise soleil semi façade with lounvres 264,08kWh/έτος). Σε επίπεδο ομάδων σκιάστρων, τα σκίαστρα της Ομάδας Α εμφανίζουν οριακά υψηλότερες ανάγκες ψύξης (μέση μείωση αναγκών ομάδας -55,81%) σε σχέση με τα σκίαστρα της Ομάδας Β (μέση μείωση αναγκών ομάδας -62,80%). Σε σχέση με τις ανάγκες θέρμανσης (Σχήμα 4), παρατηρείται αντίστροφη αναλογικότητα με τις ανάγκες ψύξης καθώς σκίαστρα που εμφανίζουν υψηλότερες τιμές αναγκών θέρμανσης, στην ψύξη εμφανίζουν χαμηλότερες τιμές και αντίστροφα.

Επίσης οι αιχμές των αναγκών ψύξης εμφανίζουν μείωση όπως φαίνεται στο Σχήμα 7. Κατά το μήνα Αύγουστο όπου εμφανίζεται η μέγιστη μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος (26,64°C), απαιτούνται οι μεγαλύτερες ανάγκες ψύξης του έτους. Σε σχέση με το απλό παράθυρο (Simple window 170,42kWh), εμφανίζεται μείωση από -34,91% (Vertical lounvres 110,93kWh) έως -59,16% (Brise soleil semi facade with lounvres 69,61kWh) στις ανάγκες ψύξης. Σε επίπεδο ομάδων σκιάστρων, συνεχίζεται η ισχυρή υπεροχή στη μείωση των αιχμών αναγκών ψύξης των σκιάστρων της Ομάδας Β σε σχέση με εκείνα της Ομάδας Α.

**Σχήμα 6 – Ετήσιες ανάγκες ψύξης**



**Σχήμα 7 – Μηνιαίες ανάγκες ψύξης**





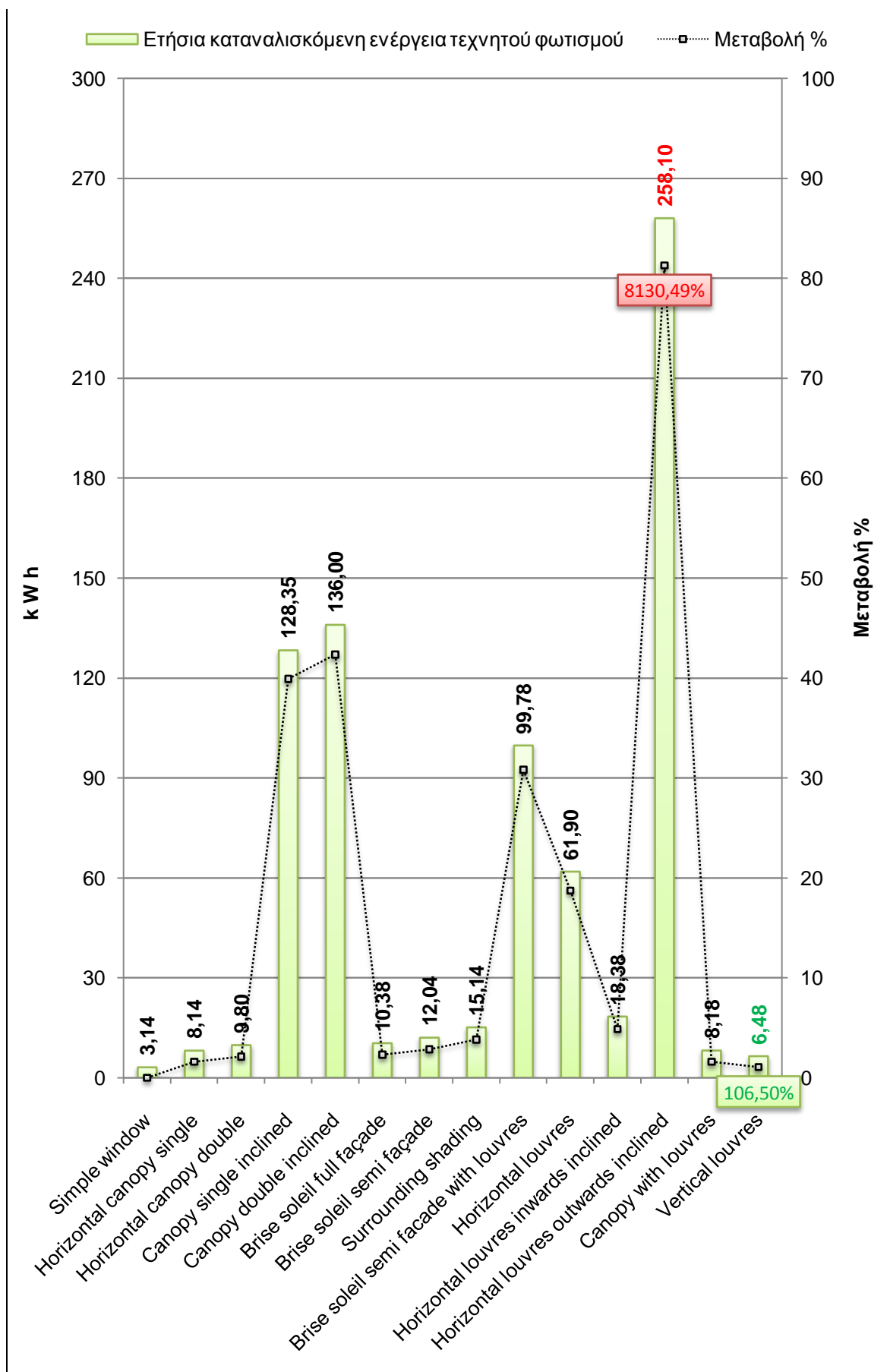
### 5.1.3 Ανάγκες τεχνητού φωτισμού

Στο Σχήμα 8 εμφανίζονται οι ενεργειακές ανάγκες σε τεχνητό φωτισμό. Όπως παρουσιάστηκε και παραπάνω, αφού όλοι οι τύποι σκιάστρων εμποδίζουν περισσότερο ή λιγότερο την είσοδο της ηλιακής ενέργειας στο χώρο (αυξάνοντας ή μειώνονται τις ανάγκες θέρμανσης και ψύξης αντίστοιχα), εμφανίζεται αντίστοιχα μείωση στην ένταση του διαθέσιμου φυσικού φωτισμού στο χώρο, με αποτέλεσμα την αύξηση των αναγκών σε τεχνητό φωτισμό. Σε σχέση με το απλό παράθυρο (Simple window 3,14kWh/έτος), όλοι οι τύποι σκιάστρων εμφανίζουν αύξηση στις ανάγκες για τεχνητό φωτισμό από +106,50% (Vertical lounvres 6,48kWh/έτος) έως +8130,49% (Horizontal lounvres outwards inclined 258,10kWh/έτος). Σε επίπεδο ομάδων σκιάστρων, τα σκίαστρα της Ομάδας Α εμφανίζουν σαφώς χαμηλότερες ανάγκες τεχνητού φωτισμού (μέση αύξηση αναγκών ομάδας +774,87%) σε σχέση με τα σκίαστρα της Ομάδας Β (μέση αύξηση αναγκών ομάδας +2.985,99%), γεγονός που οφείλεται στην ευκολία πρόσβασης της ηλιακής ακτινοβολίας στο χώρο στα πρώτα από τα δεύτερα σκίαστρα. Σε σχέση με τις ανάγκες θέρμανσης (Σχήμα 4), παρατηρείται αναλογικότητα με τις ανάγκες τεχνητού φωτισμού, καθώς σκίαστρα που εμφανίζουν υψηλότερες τιμές αναγκών θέρμανσης, εμφανίζουν αντίστοιχα υψηλότερες τιμές στις ανάγκες για τεχνητό φωτισμό.

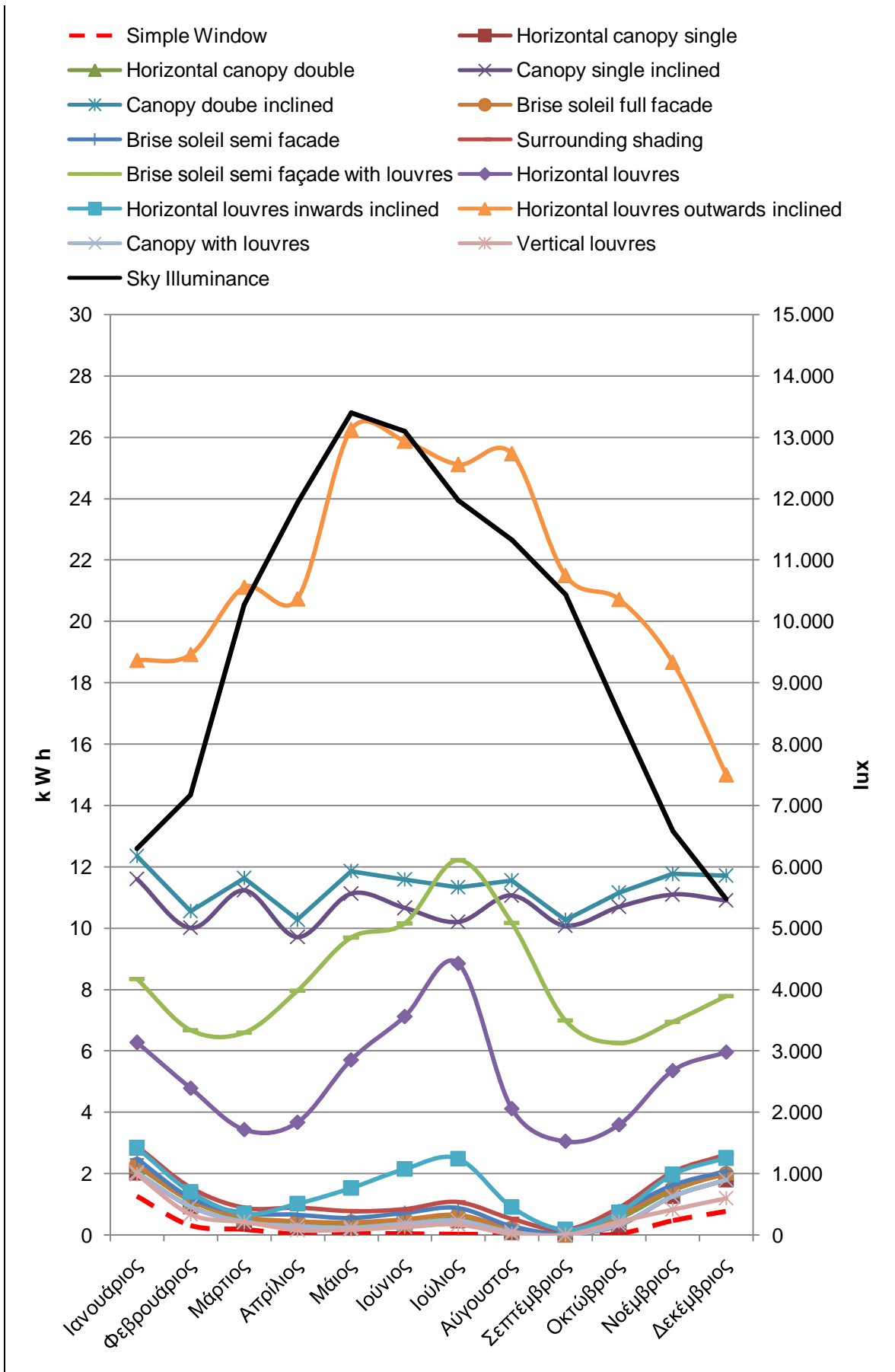
Όσο αφορά στην μηνιαία κατανομή των αναγκών σε τεχνητό φωτισμό (Σχήμα 9), εμφανίζεται μια ανοδική τάση στις ανάγκες την θερινή περίοδο παρόλη την αυξημένη διαθεσιμότητα σε φυσικό φωτισμό στο περιβάλλον. Αφενός, η ανοδική αυτή τάση οφείλεται στην γωνιά πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών (Σχήμα 10), η οποία κατά την θερινή περίοδο (από την εαρινή ισημερία έως το θερινό ηλιοστάσιο) είναι μεγαλύτερη (ο ήλιος βρίσκεται υψηλότερα στον ουράνιο θόλο) σε

σχέση με την χειμερινή περίοδο (από την φθινοπωρινή ισημερία έως το χειμερινό ηλιοστάσιο) όπου η γωνία πρόσπτωσης είναι μικρότερη και η ηλιακή ακτινοβολία εισέρχεται εντός του χώρου. Αφετέρου, ο τύπος του σκιάστρου παίζει σημαντικό ρόλο στα εσωτερικά επίπεδα φωτισμού και στη χρήση τεχνητού φωτισμού αφού εμποδίζουν άμεσα ή όχι την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία. Έτσι λοιπόν, στα σκιάστρα που εμποδίζουν άμεσα την ηλιακή ακτινοβολία (Ομάδα Β) η αύξηση του μέσου όρου αναγκών σε τεχνητό φωτισμό είναι σημαντικά μεγαλύτερη και φτάνει έως το +376,96% τους μήνες Μάιο, Ιούνιο, Ιούλιο σε σχέση με το μέσο όρο των αναγκών Μαρτίου, Σεπτεμβρίου. Αντιθέτως, στα σκιάστρα που δεν εμποδίζουν άμεσα την ηλιακή ακτινοβολία (Ομάδα Α) η αύξηση στη ζήτηση ανέρχεται έως +81,80%. Αξίζει να σημειωθεί ότι στις ίδιες περιόδους το επίπεδο ηλιακού φωτός στο εξωτερικό περιβάλλον εμφανίζει αύξηση +23,85%.

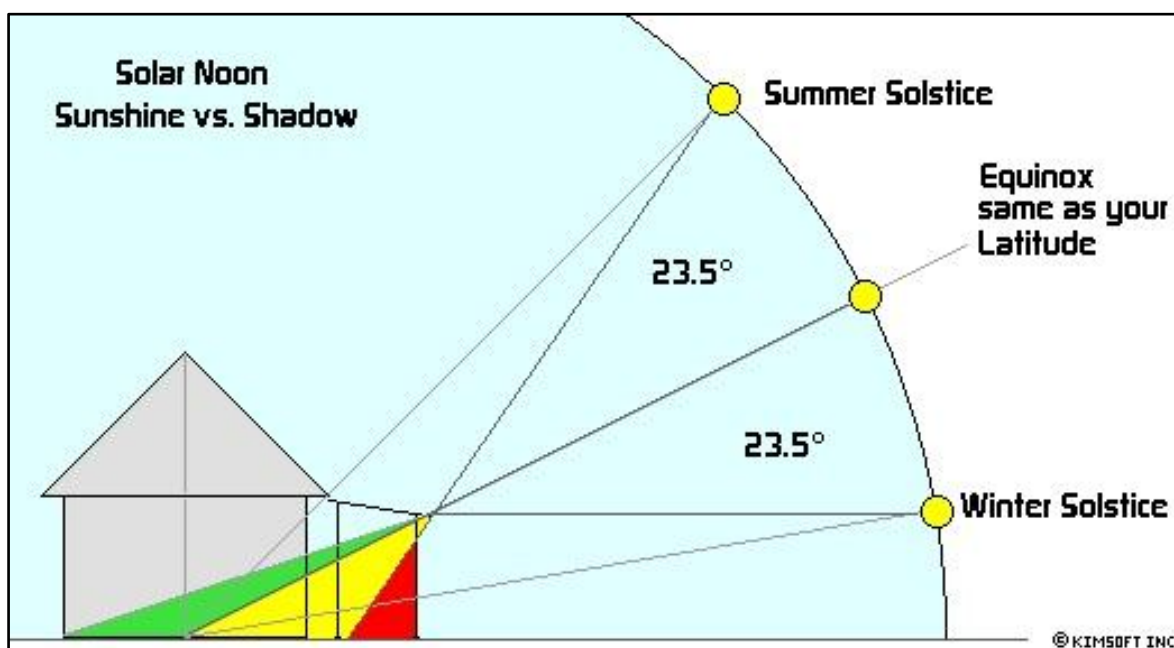
**Σχήμα 8 – Ετήσιες ανάγκες τεχνητού φωτισμού**



**Σχήμα 9 – Μηνιαίες ανάγκες τεχνητού φωτισμού**



**Σχήμα 10 – Ετήσια ηλιακή τροχιά**



#### **5.1.4 Παραγωγή Φ/Β ενέργειας**

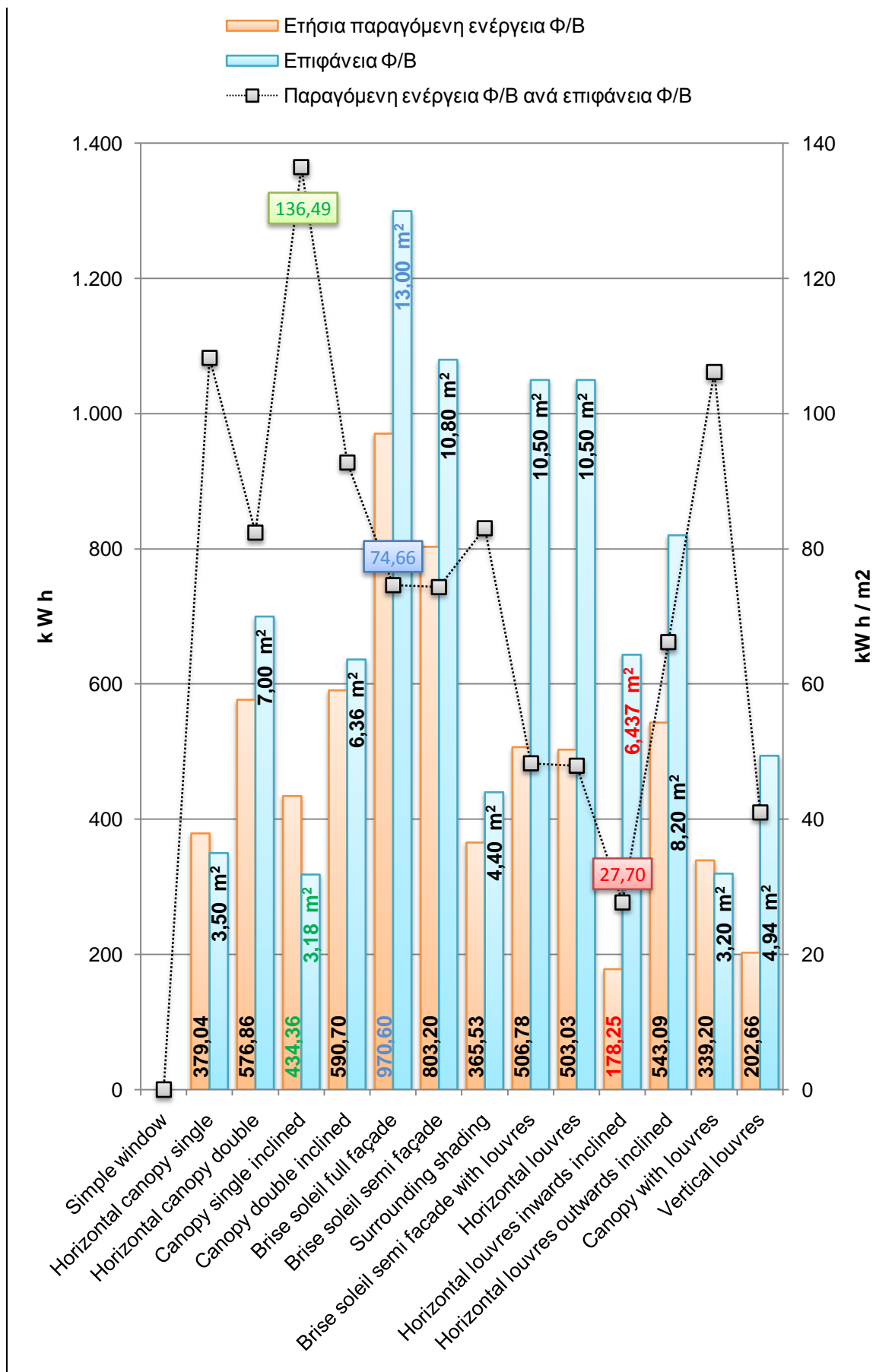
Στο Σχήμα 11 παρουσιάζεται η παραγόμενη ενέργεια από τα ημιπερατά Φ/Β στοιχεία κάθε τύπου σκιάστρου. Σε σχέση με το απλό παράθυρο που δεν παράγει καθόλου ενέργεια (Simple window 0,00kWh/έτος), υπάρχει παραγωγή ενέργειας που κυμαίνεται από 178,25kWh/έτος (Horizontal louvers inwards inclined) έως 970,60kWh/έτος (Brise soleil full façade).

Στην απόδοση των Φ/Β στοιχείων, η παραγόμενη ενέργεια ανά επιφάνεια Φ/Β στοιχείου κυμαίνεται από 27,70kWh/m<sup>2</sup> (Horizontal louvers inwards inclined) έως 136,49kWh/m<sup>2</sup> (Canopy single inclined). Αυτό που παρατηρείται είναι ότι υψηλές τιμές στην παραγόμενη ενέργεια ανά επιφάνεια Φ/Β (82,41 – 136,49kWh/m<sup>2</sup>) εμφανίζονται στα σκιάστρα τα οποία δεν σκιάζονται από την ίδια τους τη δομή (Horizontal canopy single, Horizontal canopy double, Canopy single inclined, Canopy double inclined, Canopy with lounres), με βέλτιστη επιλογή ανάμεσά τους

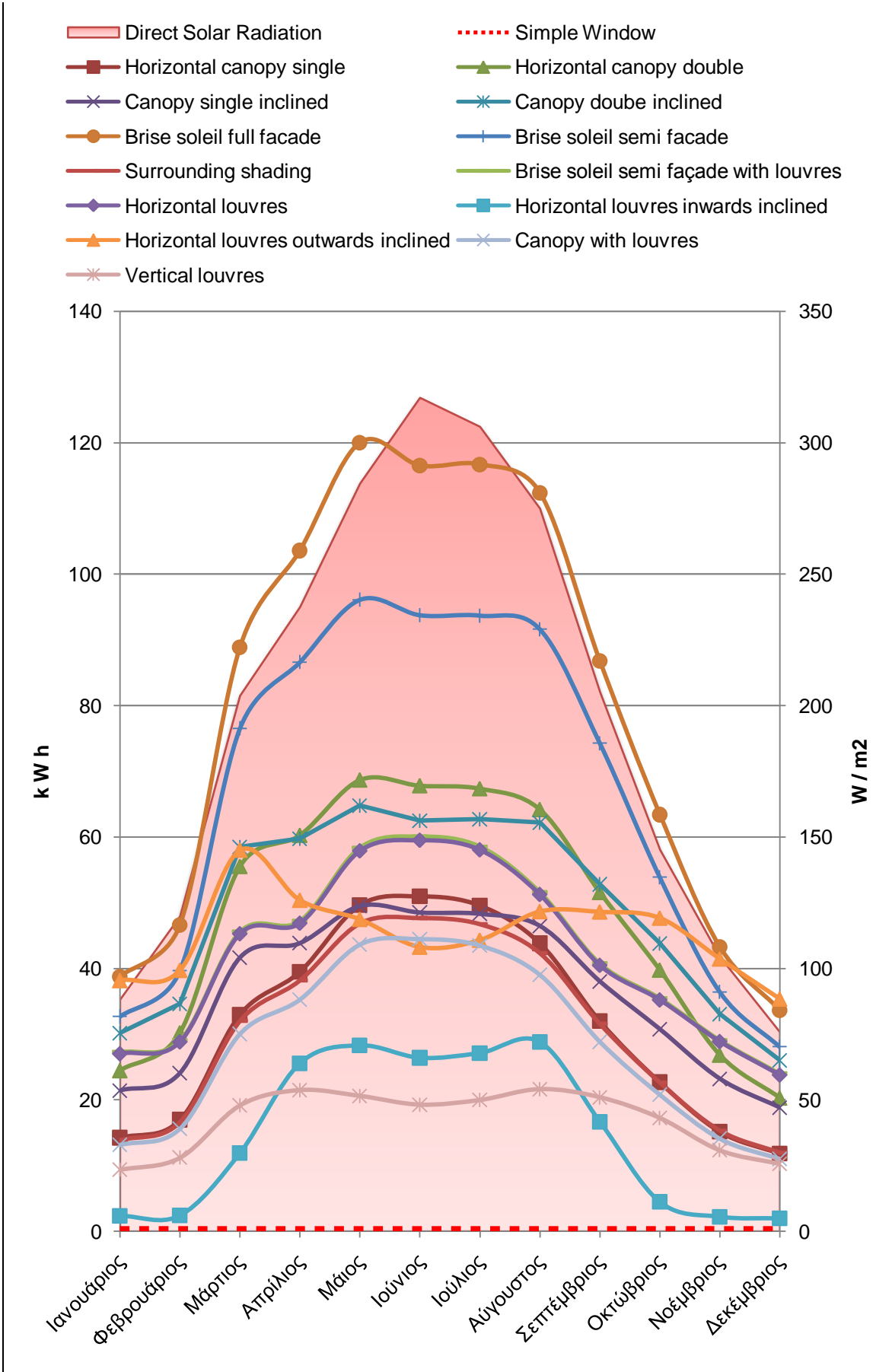
αυτή των κεκλιμένων. Αντιθέτως, τύποι σκιάστρων οι οποίοι σκιάζονται λόγω της δομής τους (Brise soleil semi facade with louveres, Horizontal louveres, Horizontal louveres inwards inclined, Horizontal louveres outwards inclined, Vertical louveres) και παρόλο που η δομή τους επιτρέπει την ενσωμάτωση Φ/Β στοιχείων σε μεγαλύτερη επιφάνεια, εντούτοις εμφανίζουν σαφώς μειωμένη παραγωγικότητα ενέργειας ανά επιφάνεια Φ/Β στοιχείου ( $27,70 - 66,21 \text{ kWh/m}^2$ ). Δηλαδή η σκίαση ή μη των ημιπερατών Φ/Β στοιχείων επηρεάζει την παραγόμενη ενέργεια περισσότερο από την διαθέσιμη επιφάνειά τους. Επίσης, τα αποτελέσματα δείχνουν μία αύξηση της τάξης του 40,18% ανάμεσα στα κεκλιμένα και οριζόντια σκιάστρα, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από άλλους ερευνητές [Hwang et al., 2012; Mandalaki et al., 2014] οι οποίοι κατέληξαν σε αύξηση απόδοσης ανάμεσα στα ίδια σκιάστρα 42% και 44,12% αντίστοιχα.

Στην μηνιαία κατανομή της παραγόμενης ενέργειας (Σχήμα 12) η παραγωγή ενέργειας ακολουθεί αναλογικά τα επίπεδα της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, μεγιστοποιώντας την παραγωγή ενέργειας κατά την θερινή περίοδο. Σε δύο τύπους σκιάστρων εμφανίζεται μείωση της παραγόμενης ενέργειας των ημιπερατών Φ/Β στοιχείων (Horizontal louveres inwards inclined, Horizontal louveres outwards inclined) η οποία αποδίδεται στην γωνιά πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως (Σχήμα 10) η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την θερινή περίοδο (από την εαρινή ισημερία έως το θερινό ηλιοστάσιο) είναι μεγαλύτερη (ο ήλιος βρίσκεται υψηλότερα στον ουράνιο θόλο), συνεπώς στους εν λόγω τύπους σκιάστρων η σκίαση μεγιστοποιείται με αποτέλεσμα την μείωση της απόδοσης του Φ/Β στοιχείου.

**Σχήμα 11 – Ετήσια παραγωγή Φ/Β ενέργειας**



**Σχήμα 12 – Μηνιαία παραγωγή Φ/Β ενέργειας**





### 5.1.5 Συνολική ενεργειακή απόδοση

Οι ετήσιες καταναλώσεις ενέργειας για θέρμανση, ψύξη και τεχνητό φωτισμό και η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των Φ/Β σκιάστρων συμβάλλουν θετικά ή αρνητικά στην συνολική ενεργειακή απόδοση των κτιρίων. Είναι λοιπόν χρήσιμο να συγκριθούν οι συνεισφορές κάθε ενεργειακής κατηγορίας και να αξιολογηθούν από ενεργειακή άποψη οι διάφοροι τύποι Φ/Β σκιάστρων. Στο Σχήμα 13 παρουσιάζονται οι ετήσιες ενεργειακές ανάγκες κάθε εξεταζόμενου Φ/Β σκιάστρου.

Όσον αφορά στις ετήσιες ανάγκες θέρμανσης, μπορεί να σημειωθεί ότι οι τιμές που υπολογίστηκαν, στην συγκεκριμένη περίπτωση που αναλύθηκε (κτίριο που βρίσκεται στα Χανιά ( $35,30^{\circ}$  N), με νότιο προσανατολισμό και με αδιαβατικό κέλυφος με εξαίρεση την πρόσοψη) είναι ελάχιστα ορατές στο διάγραμμα και μπορούν να θεωρηθούν αμελητέες. Στην ίδια άποψη κατέληξαν και οι Olivieri et al., 2014, για το γεωγραφικό πλάτος της Μεσογειακής πόλης Μαδρίτης ( $40,45^{\circ}$  N) με παρόμοια χαρακτηριστικά κτιρίου.

Όσο αφορά στην ετήσια παραγόμενη ενέργεια από τα Φ/Β σκιάστρα, παρατηρείται από τη μία ότι δεν επαρκεί για όλους τους τύπους σκιάστρων να υπερκαλύψει την ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια για θέρμανση – ψύξη – τεχνητό φωτισμό. Από την άλλη όμως παρατηρείται ότι σε όλους τους τύπους Φ/Β σκιάστρων επαρκεί τουλάχιστον για την κάλυψη των ετήσιων αναγκών τεχνητού φωτισμού.

Η συνολική ενεργειακή απόδοση εξετάζεται εδώ αθροίζοντας όλη την κατανάλωση ενέργειας και αφαιρώντας την ποσότητα Φ/Β ενέργειας που παράγεται ως εξής:

$$E_{\text{ΚΑΘΑΡΗ}} = E_{\text{ΘΕΡΜΑΝΣΗ}} + E_{\text{ΨΥΞΗ}} + E_{\text{ΤΕΧΝΗΤΟ ΦΩΤΙΣΜΟ}} - E_{\text{Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ}}$$

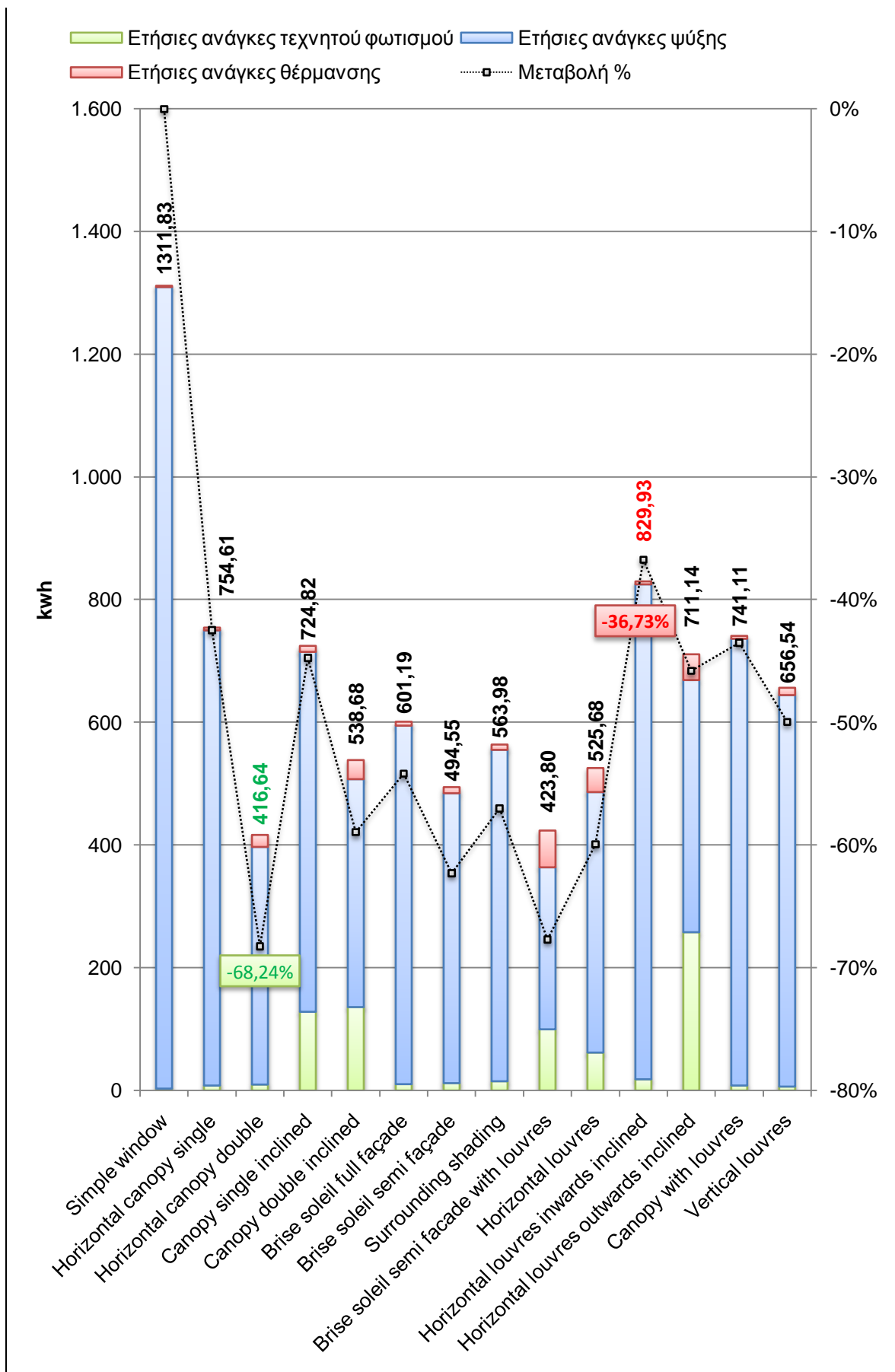
Αξίζει να σημειωθεί ότι οι ανάγκες σε τεχνητό φωτισμό καθώς και η παραγόμενη Φ/Β ενέργεια αναφέρεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Αντιθέτως, οι ανάγκες σε θέρμανση και ψύξη αναφέρονται σε θερμική ενέργεια. Για να είναι συγκρίσιμες οι δύο αυτές μορφές ενέργειας, απαιτείται ο μετασχηματισμός της μίας στην άλλη. Στην παρούσα εργασία ο μετασχηματισμός αφορούσε την μετατροπή της θερμικής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια, με συντελεστή απόδοσης (coefficient of performance) COP = 1.

Στο Σχήμα 14, παρουσιάζονται οι συνολικές ενεργειακές αποδόσεις κάθε Φ/Β σκιάστρου. Είναι σαφές από το διάγραμμα ότι η ύπαρξη Φ/Β σκιάστρου εξοικονομεί ετησίως από -50,32% (Horizontal louvers inwards inclined 651,68kWh/έτος) έως -128,16% (Brise soleil full façade -369,41kWh/έτος<sup>1</sup>), σε σχέση με το απλό παράθυρο (Simple window 1.311,83kWh/έτος). Σε επίπεδο ομάδων σκιάστρων, τα σκίαστρα της Ομάδας Α εμφανίζουν οριακά υψηλότερες συνολικές ενεργειακές αποδόσεις (μέση μείωση συνολικής ενεργειακής απόδοσης ομάδας -95,34%) σε σχέση με τα σκίαστρα της Ομάδας Β (μέση μείωση συνολικής ενεργειακής απόδοσης ομάδας -85,25%).

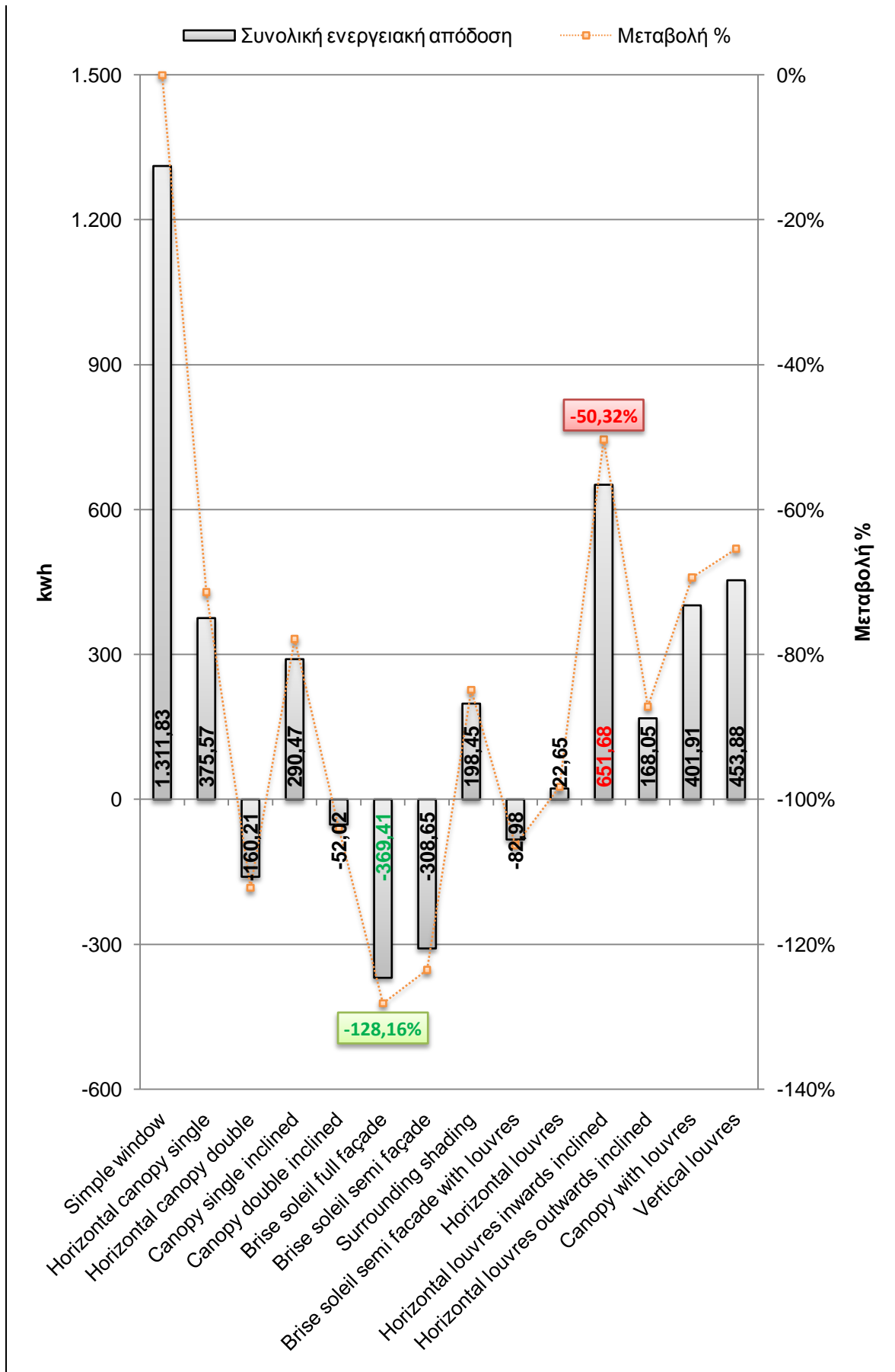
---

<sup>1</sup> Η αρνητική τιμή της συνολικής ενεργειακής απόδοσης ισοδυναμεί με ενεργειακή περίσσεια.

**Σχήμα 13 – Ετήσιες συνολικές ενεργειακές ανάγκες**



**Σχήμα 14 – Ετήσια συνολική ενεργειακή απόδοση**



## 5.2 ΟΠΤΙΚΗ ΑΝΕΣΗ

### 5.2.1 Φυσικός φωτισμός

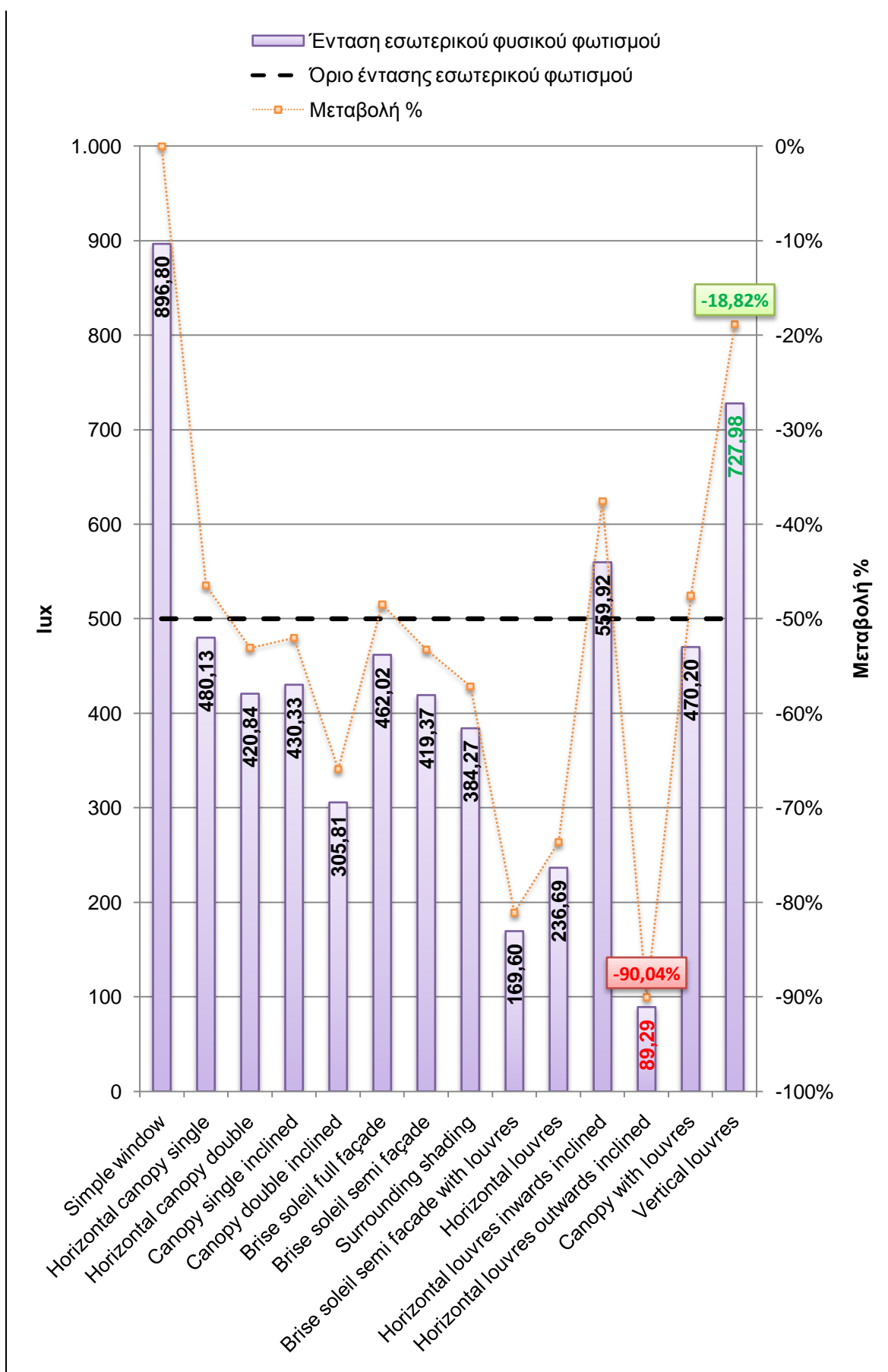
Στο Σχήμα 15 εμφανίζονται η ένταση του εσωτερικού φυσικού φωτισμού και το όριο έντασης εσωτερικού φωτισμού. Μάλιστα, όσο τα επίπεδα του εσωτερικού φυσικού φωτισμού μειώνονται, τόσο αυξάνονται οι ανάγκες για τεχνητό φωτισμό έως να επιτευχθεί το όριο της έντασης φωτισμού. Σε σχέση με το απλό παράθυρο (Simple window 896,80lux), υπάρχει μείωση στην μέση ετήσια ένταση του φυσικού φωτισμού εντός του χώρου που κυμαίνεται από  $-18,82\%$  (Vertical louvers 727,98lux) έως  $-90,04\%$  (Horizontal louvers outwards inclined 89,29lux). Όπως υπογραμμίζουν και άλλοι ερευνητές [Alzoubi και Al-zoubi, 2010], σε σύγκριση με τα οριζόντια ή κεκλιμένα Φ/Β σκίαστρα, η κατακόρυφη διάταξη των Φ/Β σκιάστρων οδηγεί σε μεγαλύτερη φωτεινότητα εντός του χώρου. Σε επίπεδο ομάδων σκιάστρων, τα σκίαστρα της Ομάδας Α εμφανίζουν οριακά υψηλότερες τιμές φωτεινότητας εντός του χώρου (μέση μείωση έντασης φυσικού φωτισμού ομάδας  $-51,14\%$ ) σε σχέση με τα σκίαστρα της Ομάδας Β (μέση μείωση έντασης φυσικού φωτισμού ομάδας  $-61,17\%$ ).

Όσο αφορά στην μηνιαία ένταση φυσικού φωτισμού (Σχήμα 16), εμφανίζεται μια πτωτική τάση στις ανάγκες την θερινή περίοδο παρόλη την αυξημένη διαθεσιμότητα σε φυσικό φωτισμό στο περιβάλλον, η οποία συνάδει με την αυξητική τάσης στις ανάγκες τεχνητού φωτισμού που παρατηρήθηκε στο Σχήμα 9. Όπως εξηγήθηκε και παραπάνω, η πτωτική αυτή τάση οφείλεται αφενός στην γωνιά πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών (Σχήμα 10), η οποία κατά την θερινή περίοδο (από την εαρινή ισημερία έως το θερινό ηλιοστάσιο) είναι μεγαλύτερη (ο ήλιος βρίσκεται υψηλότερα στον ουράνιο θόλο) σε σχέση με την χειμερινή περίοδο

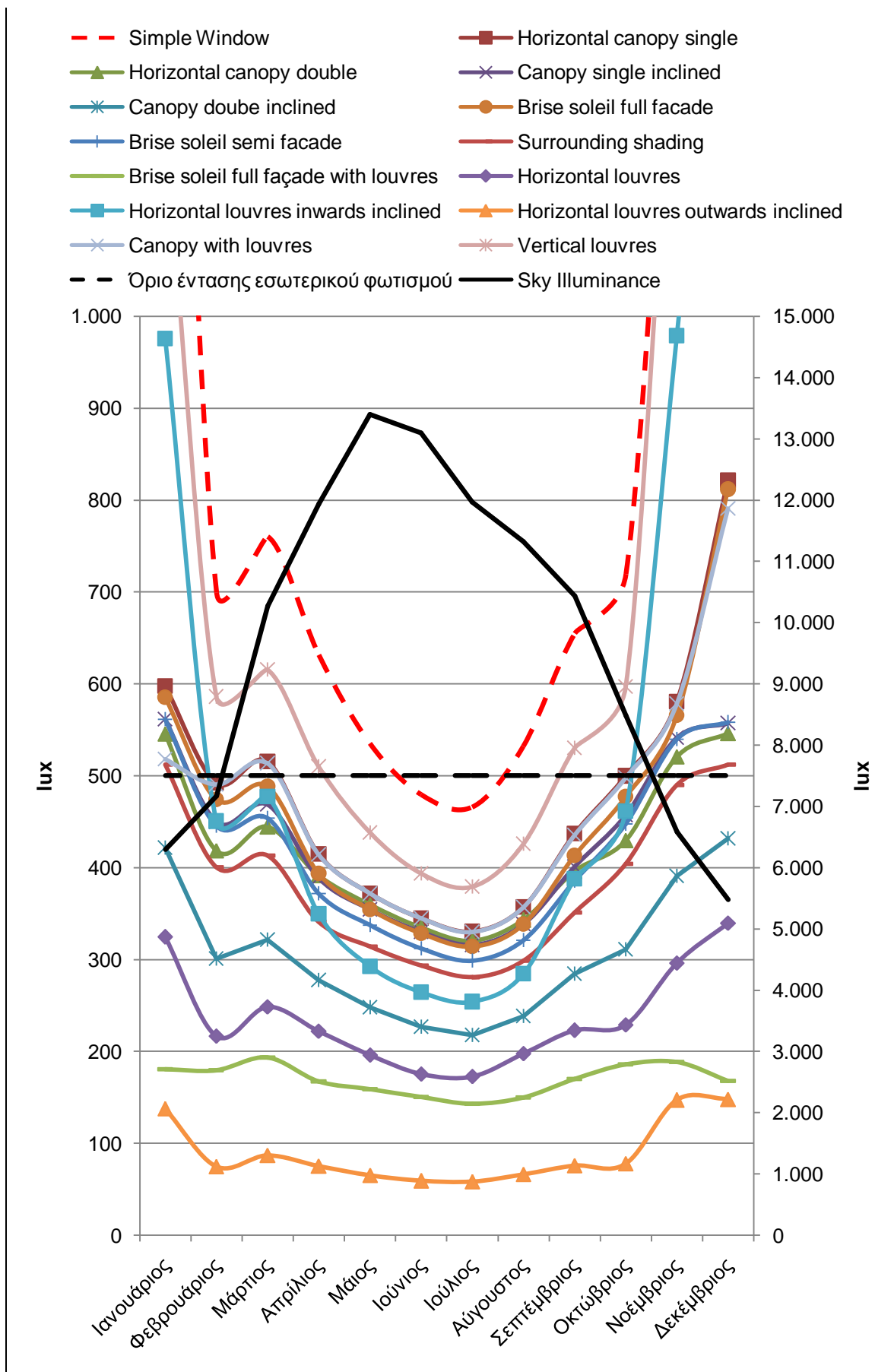
(από την φθινοπωρινή ισημερία έως το χειμερινό ηλιοστάσιο) όπου η γωνία πρόσπτωσης είναι μικρότερη και η ηλιακή ακτινοβολία εισέρχεται εντός του χώρου. Αφετέρου, ο τύπος του σκιάστρου παίζει σημαντικό ρόλο στα εσωτερικά επίπεδα φωτισμού και στη χρήση τεχνητού φωτισμού αφού εμποδίζουν άμεσα ή όχι την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία. Έτσι λοιπόν, τα σκίαστρα που εμποδίζουν άμεσα την ηλιακή ακτινοβολία (Ομάδα Β) η μείωση στην μηνιαία ένταση φυσικού φωτισμού είναι σημαντικά μεγαλύτερη σε σχέση με τα σκίαστρα που δεν εμποδίζουν άμεσα την ηλιακή ακτινοβολία (Ομάδα Α).

Για τον υπολογισμό της έντασης φυσικού φωτισμού επιλέξαμε το σημείο στο μέσο του χώρου αναφοράς 5,0m X 3,5m X 3,0m (μήκος X πλάτος X ύψος). Το ύψος του σημείου αναφοράς από το δάπεδο είναι 1,0m, όσο περίπου οι επιφάνειες εργασίας σε χώρους γραφείων.

**Σχήμα 15 – Ετήσια ένταση εσωτερικού φυσικού φωτισμού**



**Σχήμα 16 – Μηνιαία ένταση εσωτερικού φωτισμού**





### 5.2.2 Θάμβωση

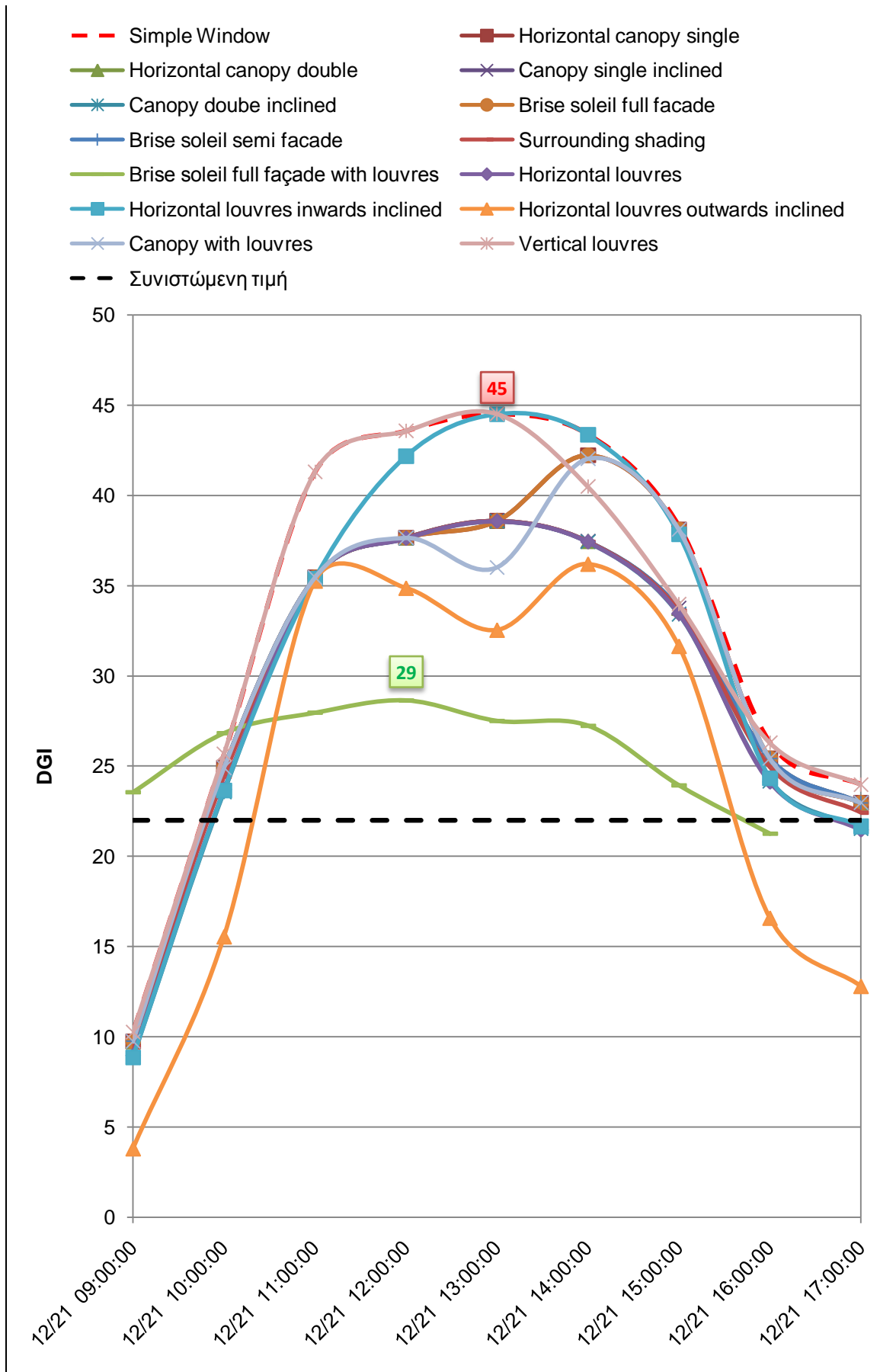
Χαρακτηρίζεται από μείωση της οπτικής ικανότητας και δημιουργείται όταν υπάρχουν περιοχές με υψηλή λαμπρότητα μέσα στο οπτικό πεδίο του ατόμου. Μπορεί να προκαλέσει καταπόνηση των οπτικών μηχανισμών με αποτέλεσμα τη μείωση της οπτικής αντίληψης, ερεθισμός των οφθαλμών κ.ά. [ΕΛΙΝΥΑΕ, 2008]. Η οπτική άνεση των χρηστών αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την αποδοχή ενός χώρου εργασίας [Hans, 2006]. Για την αξιολόγησή της χρησιμοποιείται ο δείκτης DGI. Ένας βασικός πίνακας των οριακών τιμών DGI δίνεται από τους Baker et al., 2003. Οι τιμές κάτω από 16 θεωρούνται ότι έχουν ως αποτέλεσμα ένα ανεπαίσθητο οπτικό περιβάλλον. Σύμφωνα με το EnergyPlus [<https://energyplus.net/> accessed 11-11-2016], για χώρους γραφείων η προτεινόμενη τιμή για τον δείκτη DGI είναι 22. Για την μέτρηση του δείκτη θάμβωσης επιλέξαμε τη «χειρότερη θέση θέασης». Θεωρητικά, η χειρότερη θέση θέασης είναι αυτή που έχει την υψηλότερη κατακόρυφη γωνία θέασης προς το παράθυρο από το οποίο εισέρχεται η κύρια πηγή φωτός του εν λόγω χώρου και εκείνη που έχει την ευρύτερη γωνία θέασης στην επιφάνεια του παραθύρου [Meresi, 2010].

Για τον υπολογισμό της έντασης φυσικού φωτισμού επιλέξαμε το σημείο στο μέσο του χώρου αναφοράς 5,0m X 3,5m X 3,0m (μήκος X πλάτος X ύψος). Το ύψος του σημείου αναφοράς από το δάπεδο είναι 1,0m, όσο περίπου οι επιφάνειες εργασίας σε χώρους γραφείων, με προσανατολισμό προς το παράθυρο (γωνιά 180°). Οι τιμές είναι για την 21<sup>η</sup> Δεκεμβρίου οπότε ο ήλιος είναι στην κατώτερη θέση του πράγμα που μπορεί να οδηγήσει σε δυσάρεστο οπτικό περιβάλλον.

Στο Σχήμα 17 παρατηρούμε ότι όλοι οι τύποι σκιάστρων εμφανίζουν τιμές του δείκτη DGI μεγαλύτερες του 22, εκτός από την πρώτη πρωινή ώρα και τις δύο τελευταίες απογευματινές ώρες των εργάσιμων ωρών. Σε επίπεδο ημερήσιας αιχμής του δείκτη θάμβωσης, εμφανίζεται είτε σταθερότητα είτε μείωση των αιχμών που κυμαίνεται από  $DGI_{max} = 45$  (Horizontal louvres inwards inclined, Vertical louvres) έως  $DGI_{max} = 29$  (Brise soleil semi facade with louvres), σε σχέση με το απλό παράθυρο (Simple window  $DGI_{max} = 45$ ).

Ένα άλλο χαρακτηριστικό του δείκτη DGI είναι η μεγάλη του διακύμανση μέσα στη μέρα. Σε σχέση με το απλό παράθυρο (Simple window  $DGI_{max} - DGI_{min} = 35$ ), η διαφορά μέγιστης με ελάχιστη τιμή του δείκτη DGI κυμαίνεται από  $DGI_{max} - DGI_{min} = 36$  (Horizontal louvres inwards inclined) έως  $DGI_{max} - DGI_{min} = 20$  (Brise soleil semi facade with louvres).

**Σχήμα 17 – Δείκτης DGI την 21η Δεκεμβρίου**



## 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία αξιολογήθηκαν η ενεργειακή απόδοση και η οπτική άνεση ενσωματωμένων ημιπερατών Φ/Β στοιχείων σε σκίαστρα νότιου προσανατολισμού, τοποθετημένα σε κτίριο γραφείων σε Μεσογειακό τύπο κλίματος.

Από την ανάλυση των ετήσιων αναγκών θέρμανσης του χώρου, τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι (Πίνακας 2):

- Όλοι οι τύποι σκιάστρων προσθέτουν ποσά ενέργειας για θέρμανση αφού σε κάθε περίπτωση εμποδίζουν περισσότερο ή λιγότερο την είσοδο της ηλιακής ενέργειας στο χώρο.
- Εν γένει τα σκίαστρα της Ομάδας Α (Μ.Ο. = 9,06kWh/έτος) εμφανίζουν σαφώς χαμηλότερες ανάγκες και αιχμές θέρμανσης, από τα σκίαστρα της Ομάδας Β (Μ.Ο. = 31,51kWh/έτος), γεγονός που οφείλεται στην ευκολία πρόσβασης της ηλιακής ακτινοβολίας στο χώρο στα πρώτα από τα δεύτερα σκίαστρα.
- Η βέλτιστη τριάδα σκιάστρων συμπληρώνεται από τα σκίαστρα:
  1. **Οριζόντιο σκίαστρο μονό (Horizontal canopy single)**  
με ετήσια κατανάλωση 4,45kWh/έτος (+110,03% από το Απλό παράθυρο)
  2. **Οριζόντιο σκίαστρο από περσίδες (Canopy with louvers)**  
με ετήσια κατανάλωση 4,63kWh/έτος (+118,51% από το Απλό παράθυρο)
  3. **Οριζόντιες περσίδες κεκλιμένες προς τα μέσα (Horizontal louvres inwards inclined)**

με ετήσια κατανάλωση 4,83kWh/έτος (+127,89% από το Απλό παράθυρο)

- Αντιθέτως, η χείριστη τριάδα σκιάστρων συμπληρώνεται από τα σκίαστρα:

**1. Οριζόντιες περσίδες (Horizontal lounres)**

με ετήσια κατανάλωση 39,17kWh/έτος (+1749,33% από το Απλό παράθυρο)

**2. Οριζόντιες περσίδες κεκλιμένες προς τα έξω (Horizontal lounres outwards inclined)**

με ετήσια κατανάλωση 42,03kWh/έτος (+1884,56% από το Απλό παράθυρο)

**3. Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης με περσίδες (Brise soleil semi façade with lounvers)**

με ετήσια κατανάλωση 59,94kWh/έτος (+2730,11% από το Απλό παράθυρο)

- Οι ετήσιες καταναλώσεις θέρμανσης μπορούν να θεωρηθούν αμελητέες, σε σχέση με τις υπόλοιπες ενεργειακές καταναλώσεις του κτιρίου.

Πίνακας 2 – Ετήσιες ανάγκες θέρμανσης

Απλό παράθυρο (Simple window): 2,12 kWh		Ανάγκες θέρμανσης	Μεταβολή %
Ομάδα Α M.O. = 9,06 kWh	Οριζόντιο σκίαστρο μονό (Horizontal canopy single)	4,45 kWh	110,03%
	Οριζόντιο σκίαστρο διπλό (Horizontal canopy double)	19,54 kWh	822,69%
	Κεκλιμένο σκίαστρο μονό (Canopy single inclined)	9,79 kWh	362,05%
	Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο πλήρους πρόσοψης (Brise soleil full façade)	6,42 kWh	203,22%
	Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης (Brise soleil semi façade)	9,98 kWh	371,18%
	Οριζόντιο & τριγωνικό κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης (Surrounding shading)	8,62 kWh	306,86%
	Οριζόντιο σκίαστρο από περσίδες (Canopy with louvers)	4,63 kWh	118,51%
Ομάδα Β M.O. = 31,51 kWh	Κεκλιμένο σκίαστρο διπλό (Canopy double inclined)	31,30 kWh	1368,59%
	Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης με περσίδες (Brise soleil semi façade with louvers)	59,94 kWh	2730,11%
	Οριζόντιες περσίδες (Horizontal louvers)	39,17 kWh	1749,33%
	Οριζόντιες περσίδες κεκλιμένες προς τα μέσα (Horizontal louvres inwards inclined)	4,83 kWh	127,89%
	Οριζόντιες περσίδες κεκλιμένες προς τα έξω (Horizontal louvres outwards inclined)	42,03 kWh	1884,56%
	Κατακόρυφες περσίδες (Vertical louvers )	12,00 kWh	466,40%

Από την ανάλυση των ετήσιων αναγκών ψύξης του χώρου, τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι (Πίνακας 3):

- Όλοι οι τύποι σκιάστρων εξοικονομούν σημαντικά ποσά ενέργειας για ψύξη αφού σε κάθε περίπτωση εμποδίζουν περισσότερο ή λιγότερο την είσοδο της ηλιακής ενέργειας στο χώρο.
- Σε σχέση με τις ανάγκες θέρμανσης, παρατηρείται αντίστροφη αναλογικότητα με τις ανάγκες ψύξης καθώς σκιάστρα που εμφανίζουν υψηλότερες τιμές αναγκών θέρμανσης, στην ψύξη εμφανίζουν χαμηλότερες τιμές και αντίστροφα.
- Εν γένει τα σκιάστρα της Ομάδας Β (Μ.Ο. = 486,01kWh/έτος) εμφανίζουν οριακά χαμηλότερες ανάγκες και αιχμές ψύξης, από τα σκιάστρα της Ομάδας Α (Μ.Ο. = 577,35 kWh/έτος), γεγονός που οφείλεται στην ευκολία πρόσβασης της ηλιακής ακτινοβολίας στο χώρο στα δεύτερα από τα πρώτα σκιάστρα.
- Η βέλτιστη τριάδα σκιάστρων συμπληρώνεται από τα σκιάστρα:
  1. **Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης με περσίδες (Brise soleil semi façade with louvers)**  
με ετήσια κατανάλωση 264,08kWh/έτος (-79,79% από το Απλό παράθυρο)
  2. **Κεκλιμένο σκίαστρο διπλό (Canopy double inclined)**  
με ετήσια κατανάλωση 371,58kWh/έτος (-71,56% από το Απλό παράθυρο)
  3. **Οριζόντιο σκίαστρο διπλό (Horizontal canopy double)**  
με ετήσια κατανάλωση 387,30kWh/έτος (-70,36% από το Απλό παράθυρο)

- Αντιθέτως, η χείριστη τριάδα σκιάστρων συμπληρώνεται από τα σκίαστρα:

- 1. Οριζόντιο σκίαστρο από περσίδες (Canopy with lounvres)**

με ετήσια κατανάλωση 728,31kWh/έτος (-44,26% από το Απλό παράθυρο)

- 2. Οριζόντιο σκίαστρο μονό (Horizontal canopy single)**

με ετήσια κατανάλωση 742,02kWh/έτος (-43,21% από το Απλό παράθυρο)

- 3. Οριζόντιες περσίδες κεκλιμένες προς τα μέσα (Horizontal lounvres inwards inclined)**

με ετήσια κατανάλωση 806,73kWh/έτος (-38,26% από το Απλό παράθυρο)

- Σε σχέση με τις ανάγκες θέρμανσης, παρατηρείται αντίστροφη αναλογικότητα με τις ανάγκες ψύξης καθώς σκίαστρα που εμφανίζουν υψηλότερες τιμές αναγκών θέρμανσης, στην ψύξη εμφανίζουν χαμηλότερες τιμές και αντίστροφα.



**Πίνακας 3 – Ετήσιες ανάγκες ψύξης**

<b>Απλό παράθυρο (Simple window):</b>		<b>Ανάγκες</b>	<b>Μεταβολή</b>
<b>1.306,58 kWh</b>		<b>ψύξης</b>	<b>%</b>
<b>Ομάδα Α</b>  <b>M.O. = 577,35 kWh</b>	Οριζόντιο σκίαστρο μονό (Horizontal canopy single)	742,02 kWh	-43,21%
	Οριζόντιο σκίαστρο διπλό (Horizontal canopy double)	387,30 kWh	-70,36%
	Κεκλιμένο σκίαστρο μονό (Canopy single inclined)	586,68 kWh	-55,10%
	Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο πλήρους πρόσοψης (Brise soleil full façade)	584,38 kWh	-55,27%
	Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης (Brise soleil semi façade)	472,53 kWh	-63,83%
	Οριζόντιο & τριγωνικό κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης (Surrounding shading)	540,22 kWh	-58,65%
	Οριζόντιο σκίαστρο από περσίδες (Canopy with louvers)	728,31 kWh	-44,26%
<b>Ομάδα Β</b>  <b>M.O. = 486,01 kWh</b>	Κεκλιμένο σκίαστρο διπλό (Canopy double inclined)	371,58 kWh	-71,56%
	Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης με περσίδες (Brise soleil semi façade with louvers)	264,08 kWh	-79,79%
	Οριζόντιες περσίδες (Horizontal louvers)	424,61 kWh	-67,50%
	Οριζόντιες περσίδες κεκλιμένες προς τα μέσα (Horizontal louvres inwards inclined)	806,73 kWh	-38,26%
	Οριζόντιες περσίδες κεκλιμένες προς τα έξω (Horizontal louvres outwards inclined)	411,01 kWh	-68,54%
	Κατακόρυφες περσίδες (Vertical louvers )	638,07 kWh	-51,16%

Από την ανάλυση των ετήσιων αναγκών τεχνητού φωτισμού του χώρου, τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι (Πίνακας 4):

- Όπως παρουσιάστηκε και παραπάνω, αφού όλοι οι τύποι σκιάστρων εμποδίζουν περισσότερο ή λιγότερο την είσοδο της ηλιακής ενέργειας στο χώρο (αυξάνοντας ή μειώνονται τις ανάγκες θέρμανσης και ψύξης αντίστοιχα), εμφανίζεται αντίστοιχα μείωση στην ένταση του διαθέσιμου φυσικού φωτισμού στο χώρο, με αποτέλεσμα την αύξηση των αναγκών σε τεχνητό φωτισμό.
- Εν γένει τα σκίαστρα της Ομάδας Α (Μ.Ο. = 27,43kWh/έτος) εμφανίζουν σαφώς χαμηλότερες ανάγκες και αιχμές τεχνητού φωτισμού, από τα σκίαστρα της Ομάδας Β (Μ.Ο. = 96,77kWh/έτος), γεγονός που οφείλεται στην ευκολία πρόσβασης της ηλιακής ακτινοβολίας στο χώρο στα πρώτα από τα δεύτερα σκίαστρα.
- Η βέλτιστη τριάδα σκιάστρων συμπληρώνεται από τα σκίαστρα:
  - 1. Κατακόρυφες περσίδες (Vertical louvers)**  
με ετήσια κατανάλωση 6,48kWh/έτος (+106,50% από το Απλό παράθυρο)
  - 2. Οριζόντιο σκίαστρο μονό (Horizontal canopy single)**  
με ετήσια κατανάλωση 8,14kWh/έτος (+159,58% από το Απλό παράθυρο)
  - 3. Οριζόντιο σκίαστρο από περσίδες (Canopy with louvers)**  
με ετήσια κατανάλωση 8,18kWh/έτος (+160,87% από το Απλό παράθυρο)

- Αντιθέτως, η χείριστη τριάδα σκιάστρων συμπληρώνεται από τα σκιάστρα:

**1. Κεκλιμένο σκίαστρο μονό (Canopy single inclined)**

με ετήσια κατανάλωση 128,35kWh/έτος(+3993,11% από το Απλό παράθυρο)

**2. Κεκλιμένο σκίαστρο διπλό (Canopy double inclined)**

με ετήσια κατανάλωση 136,00kWh/έτος(+4237,03% από το Απλό παράθυρο)

**3. Οριζόντιες περσίδες κεκλιμένες προς τα έξω (Horizontal lounres outwards inclined)**

με ετήσια κατανάλωση 258,10kWh/έτος(+8130,49% από το Απλό παράθυρο)

- Εμφανίζεται εν γένει μια ανοδική τάση στις ανάγκες τεχνητού φωτισμού την θερινή περίοδο παρόλη την αυξημένη διαθεσιμότητα σε φυσικό φωτισμό στο περιβάλλον, λόγω της γωνίας πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών.

**Πίνακας 4 – Ετήσιες ανάγκες τεχνητού φωτισμού**

Απλό παράθυρο (Simple window) 3,14 kWh		Ανάγκες τεχνητού φωτισμού	Μεταβολή %
Ομάδα Α M.O. = 27,43 kWh	Οριζόντιο σκίαστρο μονό (Horizontal canopy single)	8,14 kWh	159,58%
	Οριζόντιο σκίαστρο διπλό (Horizontal canopy double)	9,80 kWh	212,53%
	Κεκλιμένο σκίαστρο μονό (Canopy single inclined)	128,35 kWh	3993,11%
	Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο πλήρους πρόσοψης (Brise soleil full façade)	10,38 kWh	231,15%
	Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης (Brise soleil semi façade)	12,04 kWh	283,97%
	Οριζόντιο & τριγωνικό κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης (Surrounding shading)	15,14 kWh	382,88%
	Οριζόντιο σκίαστρο από περσίδες (Canopy with louvers)	8,18 kWh	160,87%
Ομάδα Β M.O. = 96,77 kWh	Κεκλιμένο σκίαστρο διπλό (Canopy double inclined)	136,00 kWh	4237,03%
	Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης με περσίδες (Brise soleil semi façade with louvers)	99,78 kWh	3081,82%
	Οριζόντιες περσίδες (Horizontal louvers)	61,90 kWh	1874,02%
	Οριζόντιες περσίδες κεκλιμένες προς τα μέσα (Horizontal louvres inwards inclined)	18,38 kWh	486,07%
	Οριζόντιες περσίδες κεκλιμένες προς τα έξω (Horizontal louvres outwards inclined)	258,10 kWh	8130,49%
	Κατακόρυφες περσίδες (Vertical louvers )	6,48 kWh	106,50%

Από την ανάλυση της ετήσιας παραγωγής Φ/Β ενέργειας, τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι (Πίνακας 5):

- Στην παραγωγή ενέργειας, τα σκίαστρα της Ομάδας Α (Μ.Ο. = 552,68kWh/έτος) εμφανίζουν οριακά μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας, από τα σκίαστρα της Ομάδας Β (Μ.Ο. = 420,75kWh/έτος).
- Στην μέση απόδοση, τα σκίαστρα της Ομάδας Α (Μ.Ο. = 95,07 kWh/m<sup>2</sup>) εμφανίζουν σημαντικά μεγαλύτερη απόδοση ανά επιφάνεια Φ/Β στοιχείου, από τα σκίαστρα της Ομάδας Β (Μ.Ο. = 53,99kWh/m<sup>2</sup>), γεγονός που οφείλεται στη μεγαλύτερη σκίαση από την ίδια τους τη δομή στα δεύτερα σκίαστρα.
- Η βέλτιστη τριάδα σκιάστρων συμπληρώνεται από τα σκίαστρα:
  - 1. Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο πλήρους πρόσοψης (Brise soleil full façade)**  
με ετήσια παραγωγή 970,60kWh/έτος (μέση απόδοση 74,66kWh/m<sup>2</sup>)
  - 2. Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης (Brise soleil semi façade)**  
με ετήσια παραγωγή 803,20kWh/έτος (μέση απόδοση 74,37kWh/m<sup>2</sup>)
  - 3. Κεκλιμένο σκίαστρο διπλό (Canopy double inclined)**  
με ετήσια παραγωγή 590,70kWh/έτος (μέση απόδοση 92,81kWh/m<sup>2</sup>)
- Αντιθέτως, η χειρίστη τριάδα σκιάστρων συμπληρώνεται από τα σκίαστρα:
  - 1. Οριζόντιο σκίαστρο από περσίδες (Canopy with louvers)**  
με ετήσια παραγωγή 339,20kWh/έτος (μέση απόδοση 106,15kWh/m<sup>2</sup>)

## 2. Κατακόρυφες περσίδες (Vertical louvers)

με ετήσια παραγωγή 202,66kWh/έτος (μέση απόδοση 41,02kWh/m<sup>2</sup>)

## 3. Οριζόντιες περσίδες κεκλιμένες προς τα μέσα (Horizontal louvres inwards inclined)

με ετήσια παραγωγή 178,25kWh/έτος (μέση απόδοση 27,70kWh/m<sup>2</sup>)

- Σε όλους τους τύπους Φ/Β σκιάστρων, η ετήσια παραγόμενη ενέργεια επαρκεί τουλάχιστον για την κάλυψη των ετήσιων αναγκών τεχνητού φωτισμού.
- Η σκίαση ή μη των ημιπερατών Φ/Β στοιχείων επηρεάζει την παραγόμενη ενέργεια περισσότερο από την διαθέσιμη επιφάνειά τους.
- Αναδείχθηκε επίσης η θετική συμβολή της κλίσης των Φ/Β στοιχείων στην μεγιστοποίηση της απόδοσής τους, όπως αποδείχθηκε και από άλλους ερευνητές [Hwang et al., 2012; Sun et al., 2012]. Πιο συγκεκριμένα:

➤ Οριζόντιο σκίαστρο μονό (Horizontal canopy single)	27,70 kWh/m <sup>2</sup>
➤ Κεκλιμένο σκίαστρο μονό (Canopy single inclined)	136,49kWh/m <sup>2</sup>
➤ Οριζόντιο σκίαστρο διπλό (Horizontal canopy double)	82,41 kWh/m <sup>2</sup>
➤ Κεκλιμένο σκίαστρο διπλό (Canopy double inclined)	92,81 kWh/m <sup>2</sup>
➤ Οριζόντιες περσίδες (Horizontal louvers)	47,91 kWh/m <sup>2</sup>
➤ Οριζόντιες περσίδες κεκλιμένες προς τα έξω (Horizontal louvres outwards inclined)	66,21 kWh/m <sup>2</sup>

**Πίνακας 5 – Ετήσια παραγωγή ενέργειας ημιπερατών Φ/Β**

Απλό παράθυρο (Simple window): 0,00 kWh		Παραγωγή Φ/Β ενέργειας	Απόδοση ανά επιφάνεια
Ομάδα Α M.O. = 552,68 kWh M.O. = 95,07 kWh/m <sup>2</sup>	Οριζόντιο σκίαστρο μονό (Horizontal canopy single)	379,04 kWh	108,30 kWh/m <sup>2</sup>
	Οριζόντιο σκίαστρο διπλό (Horizontal canopy double)	576,86 kWh	82,41 kWh/m <sup>2</sup>
	Κεκλιμένο σκίαστρο μονό (Canopy single inclined)	434,36 kWh	136,49 kWh/m <sup>2</sup>
	Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο πλήρους πρόσοψης (Brise soleil full façade)	970,60 kWh	74,66 kWh/m <sup>2</sup>
	Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης (Brise soleil semi façade)	803,20 kWh	74,37 kWh/m <sup>2</sup>
	Οριζόντιο & τριγωνικό κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης (Surrounding shading)	365,53 kWh	83,08 kWh/m <sup>2</sup>
	Οριζόντιο σκίαστρο από περσίδες (Canopy with louvers)	339,20 kWh	106,15 kWh/m <sup>2</sup>
	Κεκλιμένο σκίαστρο διπλό (Canopy double inclined)	590,70 kWh	92,81 kWh/m <sup>2</sup>
Ομάδα Β M.O. = 420,75 kWh M.O. = 53,99 kWh/m <sup>2</sup>	Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης με περσίδες (Brise soleil semi façade with louvers)	506,78 kWh	48,27 kWh/m <sup>2</sup>
	Οριζόντιες περσίδες (Horizontal louvers)	503,03 kWh	47,91 kWh/m <sup>2</sup>
	Οριζόντιες περσίδες κεκλιμένες προς τα μέσα (Horizontal louvres inwards inclined)	178,25 kWh	27,70 kWh/m <sup>2</sup>
	Οριζόντιες περσίδες κεκλιμένες προς τα έξω (Horizontal louvres outwards inclined)	543,09 kWh	66,21 kWh/m <sup>2</sup>
	Κατακόρυφες περσίδες (Vertical louvers )	202,66 kWh	41,02 kWh/m <sup>2</sup>

Από την ανάλυση των ετήσιων συνολικών ενεργειακών αναγκών, τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι (Πίνακας 6):

- Εν γένει τα σκίαστρα της Ομάδας Α (Μ.Ο. = 613,84kWh/έτος) και Ομάδας Β (Μ.Ο. = 614,30kWh/έτος) δεν εμφανίζουν σημαντικές διαφορές.
- Η βέλτιστη τριάδα σκιάστρων συμπληρώνεται από τα σκίαστρα:
  - 1. Οριζόντιο σκίαστρο διπλό (Horizontal canopy double)**  
με ετήσιες ανάγκες 416,64kWh/έτος (-68,24% από το Απλό παράθυρο)
  - 2. Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης με περσίδες (Brise soleil semi façade with louvers)**  
με ετήσιες ανάγκες 423,80kWh/έτος (-67,69% από το Απλό παράθυρο)
  - 3. Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης (Brise soleil semi façade)**  
με ετήσιες ανάγκες 494,55kWh/έτος (-62,30% από το Απλό παράθυρο)
- Αντιθέτως, η χειρίστη τριάδα σκιάστρων συμπληρώνεται από τα σκίαστρα:
  - 1. Οριζόντιο σκίαστρο από περσίδες (Canopy with louvers)**  
με ετήσιες ανάγκες 741,11kWh/έτος (-43,51% από το Απλό παράθυρο)
  - 2. Οριζόντιο σκίαστρο μονό (Horizontal canopy single)**  
με ετήσιες ανάγκες 754,61kWh/έτος (-42,48% από το Απλό παράθυρο)
  - 3. Οριζόντιες περσίδες κεκλιμένες προς τα μέσα (Horizontal louveres inwards inclined)**  
με ετήσιες ανάγκες 829,93kWh/έτος (-36,73% από το Απλό παράθυρο)



**Πίνακας 6 – Ετήσιες συνολικές ενεργειακές ανάγκες**

Απλό παράθυρο (Simple window): 1311,83 kWh		Συνολική ενεργειακή απόδοση	Μεταβολή %
<b>Ομάδα Α</b>  M.O. = 613,84 kWh	Οριζόντιο σκίαστρο μονό (Horizontal canopy single)	754,61 kWh	-42,48%
	Οριζόντιο σκίαστρο διπλό (Horizontal canopy double)	416,64 kWh	-68,24%
	Κεκλιμένο σκίαστρο μονό (Canopy single inclined)	724,82 kWh	-44,75%
	Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο πλήρους πρόσοψης (Brise soleil full façade)	601,19 kWh	-54,17%
	Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης (Brise soleil semi façade)	494,55 kWh	-62,30%
	Οριζόντιο & τριγωνικό κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης (Surrounding shading)	563,98 kWh	-57,01%
	Οριζόντιο σκίαστρο από περσίδες (Canopy with louvers)	741,11 kWh	-43,51%
<b>Ομάδα Β</b>  M.O. = 614,30 kWh	Κεκλιμένο σκίαστρο διπλό (Canopy double inclined)	538,68 kWh	-58,94%
	Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης με περσίδες (Brise soleil semi façade with louvers)	423,80 kWh	-67,69%
	Οριζόντιες περσίδες (Horizontal louvers)	525,68 kWh	-59,93%
	Οριζόντιες περσίδες κεκλιμένες προς τα μέσα (Horizontal louvres inwards inclined)	829,93 kWh	-36,73%
	Οριζόντιες περσίδες κεκλιμένες προς τα έξω (Horizontal louvres outwards inclined)	711,14 kWh	-45,79%
	Κατακόρυφες περσίδες (Vertical louvers )	656,54 kWh	-49,95%

Από την ανάλυση της ετήσιας συνολικής ενεργειακής απόδοσης, τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι (Πίνακας 7):

- Εν γένει τα σκίαστρα της Ομάδας Α (Μ.Ο. = 61,16 kWh/έτος) εμφανίζουν σαφώς υψηλότερες συνολικές ενεργειακές αποδόσεις, από τα σκίαστρα της Ομάδας Β (Μ.Ο. = 193,54 kWh/έτος).
- Η βέλτιστη τριάδα σκιάστρων συμπληρώνεται από τα σκίαστρα:
  - 1. Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο πλήρους πρόσοψης (Brise soleil full façade)**  
με ετήσια κατανάλωση -369,41kWh/έτος (-128,16% από το Απλό παράθυρο)
  - 2. Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης (Brise soleil semi façade)**  
με ετήσια κατανάλωση -308,65kWh/έτος (-123,53% από το Απλό παράθυρο)
  - 3. Οριζόντιο σκίαστρο διπλό (Horizontal canopy double)**  
με ετήσια κατανάλωση -160,21kWh/έτος (-112,21% από το Απλό παράθυρο)
- Αντιθέτως, η χειρίστη τριάδα σκιάστρων συμπληρώνεται από τα σκίαστρα:
  - 1. Οριζόντιο σκίαστρο από περσίδες (Canopy with louvers)**  
με ετήσια κατανάλωση 401,91kWh/έτος (-69,36% από το Απλό παράθυρο)
  - 2. Κατακόρυφες περσίδες (Vertical louvers)**  
με ετήσια κατανάλωση 453,88kWh/έτος (-65,40% από το Απλό παράθυρο)
  - 3. Οριζόντιες περσίδες κεκλιμένες προς τα μέσα (Horizontal lounres inwards inclined)**  
με ετήσια κατανάλωση 651,68kWh/έτος (-50,32% από το Απλό παράθυρο)

- Σε όλους τους τύπους Φ/Β σκιάστρων, η χρήση ημιπερατών Φ/Β σκιάστρων εξοικονομεί σημαντικά ποσά ενέργειας μέσω της συνδυαστικής συμβολής των ωφελειών του σκιάστρου και των Φ/Β στοιχείων, συνεπώς αποτελεί καλή πρακτική η εφαρμογή τους ακόμα και σε υφιστάμενα κτίρια γραφείων σε περιοχές με Μεσογειακό κλίμα.

**Πίνακας 7 – Ετήσια συνολική ενεργειακή απόδοση**

Απλό παράθυρο (Simple window): 1311,83 kWh		Συνολική ενεργειακή απόδοση <sup>2</sup>	Μεταβολή %
<b>Ομάδα Α</b>  M.O. = 61,16 kWh	Οριζόντιο σκίαστρο μονό (Horizontal canopy single)	375,57 kWh	-71,37%
	Οριζόντιο σκίαστρο διπλό (Horizontal canopy double)	-160,21 kWh	-112,21%
	Κεκλιμένο σκίαστρο μονό (Canopy single inclined)	290,47 kWh	-77,86%
	Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο πλήρους πρόσοψης (Brise soleil full façade)	-369,41 kWh	-128,16%
	Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης (Brise soleil semi façade)	-308,65 kWh	-123,53%
	Οριζόντιο & τριγωνικό κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης (Surrounding shading)	198,45 kWh	-84,87%
	Οριζόντιο σκίαστρο από περσίδες (Canopy with louvers)	401,91 kWh	-69,36%
<b>Ομάδα Β</b>  M.O. = 193,54 kWh	Κεκλιμένο σκίαστρο διπλό (Canopy double inclined)	-52,02 kWh	-103,97%
	Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης με περσίδες (Brise soleil semi façade with louvers)	-82,98 kWh	-106,33%
	Οριζόντιες περσίδες (Horizontal louvers)	22,65 kWh	-98,27%
	Οριζόντιες περσίδες κεκλιμένες προς τα μέσα (Horizontal louvres inwards inclined)	651,68 kWh	-50,32%
	Οριζόντιες περσίδες κεκλιμένες προς τα έξω (Horizontal louvres outwards inclined)	168,05 kWh	-87,19%
	Κατακόρυφες περσίδες (Vertical louvers )	453,88 kWh	-65,40%

<sup>2</sup> Η αρνητική τιμή της συνολικής ενεργειακής απόδοσης ισοδυναμεί με ενεργειακή περίσσεια.

Από την ανάλυση της ετήσιας έντασης του φυσικού φωτισμού εντός του χώρου, τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι (Πίνακας 8):

- Όλοι οι τύποι σκιάστρων μειώνουν την ένταση του φυσικού φωτισμού εντός του χώρου αφού σε κάθε περίπτωση εμποδίζουν περισσότερο ή λιγότερο την είσοδο της ηλιακής ενέργειας στο χώρο.
- Εν γένει τα σκίαστρα της Ομάδας Α (Μ.Ο. = 438,17lux) εμφανίζουν οριακά υψηλότερες τιμές στην ένταση του φυσικού φωτισμού εντός του χώρου, από τα σκίαστρα της Ομάδας Β (Μ.Ο. = 348,21lux), γεγονός που οφείλεται στην ευκολία πρόσβασης της ηλιακής ακτινοβολίας στο χώρο στα πρώτα από τα δεύτερα σκίαστρα.
- Η βέλτιστη τριάδα σκιάστρων συμπληρώνεται από τα σκίαστρα:
  - 1. Κατακόρυφες περσίδες (Vertical louvers)**  
με μέση ετήσια ένταση 727,98lux (-18,82% από το Απλό παράθυρο)
  - 2. Οριζόντιες περσίδες κεκλιμένες προς τα μέσα (Horizontal louvres inwards inclined)**  
με μέση ετήσια ένταση 559,92lux (-37,56% από το Απλό παράθυρο)
  - 3. Οριζόντιο σκίαστρο μονό (Horizontal canopy single)**  
με μέση ετήσια ένταση 480,13lux (-46,46% από το Απλό παράθυρο)
- Αντιθέτως, η χειρίστη τριάδα σκιάστρων συμπληρώνεται από τα σκίαστρα:
  - 1. Οριζόντιες περσίδες (Horizontal louvres)**  
με μέση ετήσια ένταση 236,69lux (-73,61% από το Απλό παράθυρο)

**2. Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης με περσίδες  
(Brise soleil semi façade with louvers)**

με μέση ετήσια ένταση 169,60lux (-81,09% από το Απλό παράθυρο)

**3. Οριζόντιες περσίδες κεκλιμένες προς τα έξω (Horizontal louvres  
outwards inclined)**

με μέση ετήσια ένταση 89,29lux (-90,04% από το Απλό παράθυρο)

- Εμφανίζεται μια πτωτική τάση στην ένταση του φυσικού φωτισμού εντός του χώρου την θερινή περίοδο παρόλη την αυξημένη διαθεσιμότητα σε φυσικό φωτισμό στο περιβάλλον, λόγω της γωνίας πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών.

**Πίνακας 8 – Ετήσια ένταση φυσικού φωτισμού**

Απλό παράθυρο (Simple window): 896,80 lux		Ένταση φυσικού φωτισμού	Μεταβολή %
Ομάδα Α M.O. = 438,17 lux	Οριζόντιο σκίαστρο μονό (Horizontal canopy single)	480,13 lux	-46,46%
	Οριζόντιο σκίαστρο διπλό (Horizontal canopy double)	420,84 lux	-53,07%
	Κεκλιμένο σκίαστρο μονό (Canopy single inclined)	430,33 lux	-52,01%
	Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο πλήρους πρόσοψης (Brise soleil full façade)	462,02 lux	-48,48%
	Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης (Brise soleil semi façade)	419,37 lux	-53,24%
	Οριζόντιο & τριγωνικό κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης (Surrounding shading)	384,27 lux	-57,15%
	Οριζόντιο σκίαστρο από περσίδες (Canopy with louvers)	470,20 lux	-47,57%
Ομάδα Β M.O. = 348,21 lux	Κεκλιμένο σκίαστρο διπλό (Canopy double inclined)	305,81 lux	-65,90%
	Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης με περσίδες (Brise soleil semi façade with louvers)	169,60 lux	-81,09%
	Οριζόντιες περσίδες (Horizontal louvers)	236,69 lux	-73,61%
	Οριζόντιες περσίδες κεκλιμένες προς τα μέσα (Horizontal louvres inwards inclined)	559,52 lux	-37,56%
	Οριζόντιες περσίδες κεκλιμένες προς τα έξω (Horizontal louvres outwards inclined)	89,29 lux	-90,04%
	Κατακόρυφες περσίδες (Vertical louvers )	727,98 lux	-18,82%

Από την ανάλυση της θάμβωσης εντός του χώρου, τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι (Πίνακας 9):

- Όλοι οι τύποι σκιάστρων εμφανίζουν τιμές του δείκτη DGI μεγαλύτερες του 22, που είναι η προτεινόμενη τιμή για τον δείκτη θάμβωσης.
- Εν γένει τα σκίαστρα της Ομάδας A ( $DGI_{max} - DGI_{min} = 30$ ) και Ομάδας B ( $DGI_{max} - DGI_{min} = 31$ ) δεν εμφανίζουν σημαντικές διαφορές.
- Η βέλτιστη δυάδα σκιάστρων συμπληρώνεται από τα σκίαστρα:
  1. **Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης με περσίδες (Brise soleil semi façade with louvers)**  
με δείκτες θάμβωσης  $DGI_{max} = 29$  και  $DGI_{min} = 9$  (διακύμανση = 20)
  2. **Οριζόντιες περσίδες κεκλιμένες προς τα έξω (Horizontal louvres outwards inclined)**  
με δείκτες θάμβωσης  $DGI_{max} = 36$  και  $DGI_{min} = 4$  (διακύμανση = 32)
- Αντιθέτως, η χειρίστη δυάδα σκιάστρων συμπληρώνεται από τα σκίαστρα:
  1. **Κατακόρυφες περσίδες (Vertical louvers)**  
με δείκτες θάμβωσης  $DGI_{max} = 45$  και  $DGI_{min} = 10$  (διακύμανση = 35)
  2. **Οριζόντιες περσίδες κεκλιμένες προς τα μέσα (Horizontal louvres inwards inclined)**  
με δείκτες θάμβωσης  $DGI_{max} = 45$  και  $DGI_{min} = 9$  (διακύμανση = 36)



**Πίνακας 9 – Δείκτης DGI την 21<sup>η</sup> Δεκεμβρίου**

<b>Απλό παράθυρο (Simple window):</b>		<b>DGI<sub>max</sub></b>	<b>DGI<sub>min</sub></b>
<b>DGI<sub>max</sub> = 45</b>	<b>DGI<sub>min</sub> = 34</b>		
<b>Ομάδα Α</b>  <b>DGI<sub>max</sub> = 40</b> <b>DGI<sub>main</sub> = 10</b>	Οριζόντιο σκίαστρο μονό (Horizontal canopy single)	42	10
	Οριζόντιο σκίαστρο διπλό (Horizontal canopy double)	39	10
	Κεκλιμένο σκίαστρο μονό (Canopy single inclined)	39	10
	Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο πλήρους πρόσοψης (Brise soleil full façade)	42	10
	Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης (Brise soleil semi façade)	39	10
	Οριζόντιο & τριγωνικό κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης (Surrounding shading)	39	9
	Οριζόντιο σκίαστρο από περσίδες (Canopy with louvers)	42	10
<b>Ομάδα Β</b>  <b>DGI<sub>max</sub> = 39</b> <b>DGI<sub>main</sub> = 8</b>	Κεκλιμένο σκίαστρο διπλό (Canopy double inclined)	39	9
	Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης με περσίδες (Brise soleil semi façade with louvers)	29	9
	Οριζόντιες περσίδες (Horizontal louvers)	39	9
	Οριζόντιες περσίδες κεκλιμένες προς τα μέσα (Horizontal louvres inwards inclined)	45	9
	Οριζόντιες περσίδες κεκλιμένες προς τα έξω (Horizontal louvres outwards inclined)	36	4
	Κατακόρυφες περσίδες (Vertical louvers )	45	10

Συνοψίζοντας στον Πίνακα 10 και Πίνακα 11, προσπαθήσαμε να συνδυάσουμε τα διαφορετικά και ορισμένες φορές αντιφατικά αποτελέσματα των διαφόρων συστημάτων σκίασης με ενσωματωμένα ημιπερατά Φ/Β στοιχεία σε σχέση με την ικανότητά τους να εξοικονομούν ενέργεια και να παρέχουν υψηλή οπτική άνεση. Έχουμε καταλήξει στο συμπέρασμα ότι τα σκίαστρα **«Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο πλήρους πρόσοψης (Brise soleil full façade)»** και **«Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης (Brise soleil semi façade)»** μπορούν να επιτύχουν τους δύο αυτούς στόχους. Στα ίδια αποτελέσματα κατέληξαν και οι Mandalaki et al., 2014 και Stamatakis et al., 2016. Συνεπώς, προτείνεται να δοθεί έμφαση στην χρήση των συγκεκριμένων τύπων σκιάστρων με ενσωματωμένα ημιπερατά Φ/Β στοιχεία.




























































Συμπληρωματικά, τα σκίαστρα **«Οριζόντιο σκίαστρο διπλό (Horizontal canopy double)»** και **«Κεκλιμένο σκίαστρο διπλό (Canopy double inclined)»** εμφανίζουν υψηλές επιδόσεις στις κατηγορίες εξοικονόμησης ενέργειας και παραγωγής Φ/Β ενέργειας αντίστοιχα, χωρίς να επιβαρύνουν την οπτική άνεση των χρηστών. Συνεπώς αποτελούν μία αποτελεσματική και οικονομική επιλογή όταν τα προαναφερθέντα σκίαστρα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

Είναι επίσης αξιοσημείωτο ότι συνήθεις τύποι σκιάστρων σε χώρους γραφείων όπως **«Οριζόντιες περσίδες κεκλιμένες προς τα μέσα (Horizontal louvres inwards inclined)»** και **«Κατακόρυφες περσίδες (Vertical louvers)»** και **«Οριζόντιο σκίαστρο από περσίδες (Canopy with louvers)»** εμφανίζουν χαμηλές ενεργειακές επιδόσεις τόσο στις συνολικές ενεργειακές ανάγκες που απαιτούν όσο και στην παραγωγή Φ/Β ενέργειας, συμπέρασμα στο οποίο


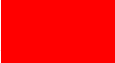

κατέληξαν και οι Mandalaki et al., 2012. Είναι συνεπώς ασύμφορο από ενεργειακή άποψης η ενσωμάτωση ημιπερατών Φ/Β στοιχείων σε τέτοια σκίαστρα. Επίσης, στο επίπεδο της οπτικής άνεσης, επίσης δεν προσφέρουν ποιοτικό περιβάλλον, αφού είτε παρέχουν επαρκή φυσικό φωτισμό αλλά υψηλά επίπεδα θάμβωσης είτε το αντίστροφο. Συνεπώς προτείνεται η χρήση τους με φειδώ σε μελλοντικά κτίρια γραφείων και η αναζήτηση εναλλακτικών τύπων σκιάστρων σε υφιστάμενα κτίρια.

Τέλος, όπως αποδείχτηκε και από την παρούσα εργασία, τα λογισμικά προσομοιώσεων θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για την καθοδήγηση της επιλογής των Φ/Β σκιάστρων, προκειμένου να βελτιστοποιηθούν και να συνδυαστούν η συνολική ενεργειακή απόδοση με την οπτική άνεση των χρηστών με στόχο την αντιμετώπιση παράλληλων αλλά και αντικρουόμενων απαιτήσεων. Ωστόσο, τα λογισμικά προσομοίωσης θα πρέπει να αναπτυχθούν περαιτέρω έτσι ώστε να ενσωματώσουν ευρέως διαδεδομένα υλικά, έτσι ώστε να βελτιωθούν οι προσομοιώσεις με στόχο την σύγκλισή τους με την πραγματική απόκριση των συστημάτων.

**Πίνακας 10 – Συγκεντρωτικός πίνακας απόδοσης σκιάστρων Ομάδας Α**

		Ανάγκες θέρμανσης	Ανάγκες ψύξης	Ανάγκες τεχνητού φωτισμού	Παραγωγή Φ/Β ενέργειας	Συνολικές ενεργειακές ανάγκες	Συνολική ενεργειακή απόδοση	Ένταση φυσικού φωτισμού	Θάμβωση
Ομάδα Α	 Βέλτιστη τριάδα								
	 Χείριστη τριάδα								
	 Ενδιάμεσες θέσεις								
	Οριζόντιο σκίαστρο μονό (Horizontal canopy single)								
	Οριζόντιο σκίαστρο διπλό (Horizontal canopy double)								
	Κεκλιμένο σκίαστρο μονό (Canopy single inclined)								
	Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο πλήρους πρόσοψης (Brise soleil full façade)								
	Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης (Brise soleil semi façade)								
	Οριζόντιο & τριγωνικό κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης (Surrounding shading)								
	Οριζόντιο σκίαστρο από περσίδες (Canopy with louvers)								

**Πίνακας 11 – Συγκεντρωτικός πίνακας απόδοσης σκιάστρων Ομάδας Β**

		Ανάγκες θέρμανσης	Ανάγκες ψύξης	Ανάγκες τεχνητού φωτισμού	Παραγωγή Φ/Β ενέργειας	Συνολικές ενεργειακές ανάγκες	Συνολική ενεργειακή απόδοση	Ένταση φυσικού φωτισμού	Θάμβωση
 <b>Βέλτιστη τριάδα</b>									
 <b>Χείριστη τριάδα</b>									
 <b>Ενδιάμεσες θέσεις</b>									
<b>Ομάδα Β</b>	Κεκλιμένο σκίαστρο διπλό (Canopy double inclined)								
	Οριζόντιο & κατακόρυφο σκίαστρο μέρους της πρόσοψης με περσίδες (Brise soleil semi façade with louvers)								
	Οριζόντιες περσίδες (Horizontal louvers)								
	Οριζόντιες περσίδες κεκλιμένες προς τα μέσα (Horizontal louveres inwards inclined)								
	Οριζόντιες περσίδες κεκλιμένες προς τα έξω (Horizontal louveres outwards inclined)								
	Κατακόρυφες περσίδες (Vertical louvers )								

## 7 ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Η έρευνα αυτή υπογραμμίζει το γεγονός ότι ο τρόπος σκέψης για την ενσωμάτωση Φ/Β στοιχείων σε σκίαστρα κτιρίων πρέπει να αλλάξουν. Σήμερα, οι ανάγκες για ενέργεια και για ελαχιστοποίηση της χρήσης συμβατικών πηγών ενέργειας στον κτιριακό τομέα είναι υψηλές. Τα σκίαστρα επομένως μπορούν να θεωρηθούν ως πολύτιμα εργαλεία επίτευξης ενεργειακής ισορροπίας και οπτικής άνεσης εντός των χώρων. Προκειμένου να καταλήξουμε σε ένα πιο οριστικό συμπέρασμα όσον αφορά στο βέλτιστο τύπο ημιπερατών Φ/Β σκιάστρων χρειάζεται περαιτέρω έρευνα, η οποία να περιλαμβάνει περισσότερα ποσοτικά και ποιοτικά στοιχεία. Προτείνεται η αξιολόγηση της αισθητικής, της οπτικής επαφής με το εξωτερικό περιβάλλον και της δυνατότητας φυσικού αερισμού του χώρου που προσφέρει κάθε τύπος Φ/Β σκιάστρου [Mandalaki et al., 2012]. Προτείνεται ακόμα και η αξιολόγηση της χρήσης εσωτερικών τύπων σκίασης παράλληλα με τα εξωτερικά ημιπερατά Φ/Β σκίαστρα [Mandalaki et al., 2014] στην προσπάθεια εύρεσης βιώσιμων ενεργειακών συστημάτων.

Επιπλέον, προτείνεται τα αποτελέσματα της ανάλυσης να διασταυρωθούν με πειραματικά αποτελέσματα σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας, κάτι που ενδεχομένως να αναδείξει περισσότερα χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματα. Η διεξαγωγή μάλιστα πειραμάτων το χειμώνα και το καλοκαίρι θα έδινε μεγαλύτερη ακρίβεια στα αποτελέσματα [Sampatakis, 2014; Kim et al., 2014]. Για παράδειγμα, η επιρροή της συσσωρευμένης σκόνης πάνω στα ημιπερατά Φ/Β στοιχεία, η καθ' ύψος διάταξη των σκιάστρων όροφο παρά όροφο για την αποφυγή φαινομένων σκίασης μεταξύ τους ή η θερμοκρασία των Φ/Β στοιχείων η οποία επηρεάζει την απόδοση πρέπει να ληφθούν υπόψη στη

βελτιστοποίηση τέτοιων συστημάτων, όπως επισημαίνουν και άλλοι ερευνητές [Yoo et al., 1998; Jung, 2014; Yoo and Lee, 2002].

Επιπρόσθετα, πολλές από τις μεταβλητές της παρούσας εργασίας ήταν ανεξάρτητες και παρέμειναν σταθερές σε όλες τις αναλύσεις κάθε τύπου ημιπερατού Φ/Β σκιάστρου. Προτείνεται λοιπόν η αξιολόγηση να επεκταθεί μεταβάλλοντας τις σταθερές μεταβλητές της παρούσας εργασίας όπως οι διαστάσεις των σκιάστρων, η τιμή της κλίσης των σκιάστρων, αν θα παραμένουν σταθερά ή θα είναι κινητά, ο λόγος της επιφάνειας του παραθύρου προς την επιφάνεια της όψης, η θέση και ο προσανατολισμός του κτιρίου κ.ά.. Σύμφωνα με τον Yoo, 2011 μία αποδοτική εφαρμογή ημιπερατού Φ/Β σκιάστρου ενδεχομένως να έχει πολλαπλάσια οφέλη από την βελτίωση της απόδοσης μονάχα του Φ/Β στοιχείου.

Παρόλο που δεν λήφθηκε υπόψη το οικονομικό κόστος, εντούτοις η έρευνα πρέπει να επεκταθεί και σε αυτό τον τομέα καθώς οι τεχνολογίες ενσωμάτωσης ημιπερατών Φ/Β συστημάτων σε δομικά υλικά για στέγες, παράθυρα και προσόψεις παρέχουν την ευκαιρία για μείωση του κόστους με την αντικατάσταση των κοινών δομικών υλικών με φωτοβολταϊκά υλικά σε οριακό κόστος [Motuzien and Bielskus, 2014]. Η ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών υλικών σε σύγκριση με το γυαλί, χάλυβα ή άλλα συμβατικά υλικά επένδυσης, προσθέτει μόνο ένα οριακό πρόσθετο κόστος (2–5%) στο συνολικό κόστος κατασκευής ενός εμπορικού κτιρίου. Καθώς τα χρόνια περνούν, θα επιτευχθεί χαμηλότερη τιμή ανά εγκατεστημένη ισχύ. Αυτό είναι σημαντικό καθώς η εν λόγω τεχνολογία μπορεί να καταστεί κερδοφόρα χωρίς επιδοτήσεις [Jelle, et al., 2012].

Ωστόσο, ο σχεδιασμός και η αξιολόγηση βιώσιμων ενεργειακών συστημάτων αποτελεί πολύπλοκη εργασία. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η διαδικασία λήψης αποφάσεων απαιτεί την ανάλυση και χειρισμό διαφόρων τύπων πληροφοριών: ενεργειακών, περιβαλλοντικών, τεχνικών, οικονομικών και κοινωνικών. Σε πολλές περιπτώσεις, λοιπόν, οι μεμονωμένες μέθοδοι αξιολόγησης, δεν είναι σε θέση να συμπεριλάβουν όλο το φάσμα των παραμέτρων που απαρτίζουν ένα ενεργειακό πρόβλημα. Οι Stamatakis et al., 2016 απέδειξαν ότι οι μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης (MCDA) αποδείχτηκαν ικανές να χειρίζονται ποικίλες πληροφορίες τόσο σε ποσοτικές όσο και σε ποιοτικές κλίμακες ταυτόχρονα. Επιπλέον, οι πολυάριθμοι παράγοντες που συμμετείχαν στην ανάλυση αυτής της μελέτης δεν έθεσαν θέμα στη μέθοδο. Από την άλλη πλευρά, η μέθοδος PROMETHEE παρείχε διάφορους δείκτες σε όλη την ανάλυση πολλαπλών κριτηρίων και τέλος πρότεινε τη βέλτιστη εναλλακτική λύση. Συνεπώς προτείνεται η εφαρμογή μεθόδων πολυκριτηριακής ανάλυσης για την αξιολόγηση ημιπερατών Φ/Β σκιάστρων και ανάδειξης του πλέον βέλτιστου τύπου με βάσει τα κριτήρια κάθε εμπλεκόμενης ομάδας.



## 8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Alzoubi, H., & Al-Zoubi, A. (2010). Assessment of building façade performance in terms of daylighting and the associated energy consumption in architectural spaces: Vertical and horizontal shading devices for southern exposure facades. *Energy Conversion and Management*(51), σσ. 1592–1599.
- Bahr, W. (2009). Integration of shading devices and photovoltaic panels into existing building facades. *Proceedings of Green Retrofit conference*. 15-16 December 2009. Dubai, UAE.
- Bahr, W. (2013). Optimal Design Parameters Of The Blinds Integrated Photovoltaic Modules Based On Energy Efficiency And Visual Comfort Assessments. *Proceedings of Central Europe towards Sustainable Building Prague 2013 (CESB13) conference*. 22-23 May 2014. Prague, Czech Republic.
- Bahr, W. (2014). A comprehensive assessment methodology of the building integrated photovoltaic blind system. *Energy and Buildings*(82), σσ. 703–708.
- Baker, N., Fanchiotti, A., & Steemers, K. (1993). *Daylighting In Architecture: A European Reference Book* (1st Edition). Brussels and Luxembourg: Earthscan.
- Ban-Weiss, G., Wray, C., Delp, W., Ly, P., Akbari, H., & Levinson, R. (2013). Electricity production and cooling energy savings from installation of a building-integrated photovoltaic roof on an office building. *Energy and Buildings*(56), σσ. 210–220.
- Boyce, P., & Raynham, P. (2009). *SLL Lighting Handbook*. London, England: The Society of Light and Lighting.

- Building and Construction Authority of Singapore. (2008). *Green Handbook: Photovoltaic (PV) systems in buildings*. Singapore.
- Cavallaro, F. (2005). An Integrated Multi-Criteria System to Assess Sustainable Energy Options: An Application of the Promethee Method. *FEEM Working Paper No. 22.05*.
- Chae, Y., Kim, J., Park, H., & Shin, B. (2014). Building energy performance evaluation of building integrated photovoltaic (BIPV) window with semi-transparent solar cells. *Applied Energy*(129), σσ. 217–227.
- Chow, T., Pei, G., Chan, L., Lin, Z., & Fong, K. (2009). A Comparative Study of PV Glazing Performance in Warm Climate. *Indoor and Built Environment*(18), σσ. 32–40.
- Chow, T., Qiu, Z., & Li, C. (2009). Potential application of “see-through” solar cells in ventilated glazing in Hong Kong. *Solar Energy Materials & Solar Cells*(93), σσ. 230–238.
- Cuce, E., & Cuce, P. (2013). A comprehensive review on solar cookers. *Applied Energy*(102), σσ. 1399–1421.
- Cuce, E., Cuce, P., Wood, C., & Riffat, S. (2014). Toward aerogel based thermal superinsulation in buildings: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*(34), σσ. 273–299.
- Defaix, P., van Sark, W., Worrell, E., & de Visser, E. (2012). Technical potential for photovoltaics on buildings in the EU-27. *Solar Energy*(86), σσ. 2644–2653.
- Deutsche Gesellschaft fur Sonnenenergie (DGS). (2008). *Planning and Installing Bioenergy Systems: A Guide for Installers, Architects and Engineers* (2nd Edition εκδ.). London: Earthscan.

- Di Vincenzo, M. C., Kesten, D., & Infield, D. (2010). Assessment of performance of building shading device with integrated photovoltaics in different urban scenarios. *Proceedings of International Conference on Sustainable Energy Technologies (ICSET)*. 6-9 December 2010. Kandy, Sri Lanka
- Didoné, E., & Wagner, A. (2013). Semi-transparent PV windows: A study for office buildings in Brazil. *Energy and Buildings*(67), σσ. 136–142.
- Erdem Cuce, P. M. (2013). A comprehensive review on solar cookers. *Applied Energy*(102), σσ. 1399–1421.
- European Commission (2017). *EU energy in figures*. Publications Office of the European Union, Luxembourg
- Evola, G., Margani, G., & Marletta, L. (2014). Cost-effective design solutions for low-rise residential Net ZEBs inMediterranean climate. *Energy and Buildings*(68), σσ. 7–18.
- Faggianelli, G., Brun, A., Wurtz, E., & Muselli, M. (2014). Natural cross ventilation in buildings on Mediterranean coastal zones. *Energy and Buildings*(77), σσ. 206–218.
- Galasiu, A., & Veitch, J. (2006). Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylit offices: a literature review. *Energy and Buildings*(38), σσ. 728–742.
- Grandjean, E. (1984). *Ergonomics and Health in Modern Offices*. London, England: Taylor & Francis.
- Guardo, A., Coussirat, M., Valero, C., Egusquiza, E., & Alavedra, P. (2011). CFD assessment of the performance of lateral ventilation in Double Glazed Facades in Mediterranean climates. *Energy and Buildings*(43), σσ. 2539–2547.

- Han, J., Lu, L., & Yang, H. (2009). Thermal behavior of a novel type see-through glazing system with integrated PV cells. *Building and Environment*(44), σσ. 2129–2136.
- Hans, O. (2006). *Static shading devices in office architecture - Theory, shape and potential*. MSc Thesis, Bergische Universität Wuppertal.
- Hwang, T., Kang, S., & Kim, J. T. (2012). Optimization of the building integrated photovoltaic system in office buildings—Focus on the orientation, inclined angle and installed area. *Energy and Buildings*(46), σσ. 92–104.
- Ibraheem, Y., Farr, E., & Piroozfar, P. (2017). Embedding passive intelligence into building envelopes: a review of the state-of-the-art in integrated photovoltaic shading devices. *Energy Procedia*(111), σσ. 964 – 973.
- International Energy Agency. (2017). *International Energy Outlook 2017*.
- Jager-Waldau, A. (2007). Photovoltaics and renewable energies in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*(11), σσ. 1414–1437.
- Jelle, B., Breivik, C., & Røkenes, H. (2012). Building integrated photovoltaic products: A state-of-the-art review and future research opportunities. *Solar Energy Materials & Solar Cells*(100), σσ. 69–96.
- Jung, S. (2014). Optimal Control Methods for PV-integrated Shading Devices. *University of Michigan*.
- Kang, S., Hwang, T., & Kim, J. (2012). Theoretical analysis of the blinds integrated photovoltaic modules. *Energy and Buildings*(46), σσ. 86–91.
- Karteris, M., Theodoridou, I., Mallinis, G., & Papadopoulos, A. M. (2014). Façade photovoltaic systems on multifamily buildings: An urban scale evaluation analysis using geographical information systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*(39), σσ. 912–933.

- Kim, J., Jung, S., Choi, Y., & Kim, J. (2009). Comfort-Driven Optimization of PV Integrated Shading Devices. *Proceedings of 2nd International Conference on Sustainable Healthy Buildings*. 9 October 2009. Seoul, Korea
- Kim, J., Jung, S., Choi, Y., & Kim, J. (2010). Optimization of Photovoltaic Integrated Shading Devices. *Indoor and Built Environment*(19), σσ. 114–122.
- Kim, S., Kim, I., Choi, A., & Sung, M. (2014). Evaluation of optimized PV power generation and electrical lighting energy savings from the PV blind-integrated daylight responsive dimming system using LED lighting. *Solar Energy*(107), σσ. 746–757.
- Lechner, N. (2001). *eating, Cooling, Lighting Design Methods for Architects*. New York, USA: John Wiley & Sons Ltd.
- Lee, E., Selkowitz, S., DiBartolomeo, D., Klems, J., Clear, R., Konis, K., . . . Konstantoglou, M. (2009). *High Performance Building Façade Solutions*. California Energy Commission, PIER.
- Liao, W., & Xu, S. (2015). Energy performance comparison among see-through amorphous silicon PV (photovoltaic) glazings and traditional glazings under different architectural conditions in China. *Energy*(83), σσ. 267-275.
- Mandalaki, M., Papantoniou, S., & Tsoutsos, T. (2014). Assessment of energy production from photovoltaic modules integrated in typical shading devices. *Sustainable Cities and Society*(10), σσ. 222–231.
- Mandalaki, M., Tsoutsos, T., & Papamanolis, N. (2014). Integrated PV in shading systems for Mediterranean countries: Balance between energy production and visual comfort. *Energy and Buildings*(77), σσ. 445–456.

- Mandalaki, M., Zervas, K., Tsoutsos, T., & Vasakas, A. (2012). Assessment of fixed shading devices with integrated PV for efficient energy use. *Solar Energy*(86), σσ. 2561–2575.
- Mariska de Wild-Scholten, M. (2013). Energy payback time and carbon footprint of commercial photovoltaic systems. *Solar Energy Materials & Solar Cells*(119), σσ. 296–305.
- Meresi, K. (2010). *Energy savings in schools through daylighting*. Polytechnic School of Thessaloniki, Thessaloniki.
- Miyazaki, T., Akisawa, A., & Kashiwagi, T. (2005). Energy savings of office buildings by the use of semi-transparent solar cells for windows. *Renewable Energy*(30), σσ. 281–304.
- Motuzien, V., & Bielskus, J. (2014). Assessment of Overall Performance of Building Integrated Photovoltaics. *Proceedings of 9th International conference “ENVIRONMENTAL ENGINEERING”*. 22-23 May 2014. Vilnius, Lithuania
- Neufert, E., Neufert, P., Baiche, B., & Walliman, N. (2002). *Architect's Data* (3rd Edition εκδ.). Oxford, England: Blackwell Science.
- Ng, P., Mithraratne, N., & Kua, H. (2013). Energy analysis of semi-transparent BIPV in Singapore buildings. *Energy and Buildings*(66), σσ. 274–281.
- Olgyay, A. (1957). *Solar Control and Shading Devices*. New Jersey, USA: Princeton University.
- Oliver, M., & Jackson, T. (2001). Energy and economic evaluation of building-integrated photovoltaics. *Energy*(26), σσ. 431–439.
- Olivieri, L., Caamano-Martin, E., Moralero-Vazquez, F., Martin-Chivelet, N., Olivieri, F., & Neila-Gonzales, F. (2014). Energy saving potential of semi-

- transparent photovoltaic elements for building integration. *Energy*(76), σ. 572e583.
- Olsen, E., & Chen, Q. (2003). Energy consumption and comfort analysis for different low-energy cooling systems in a mild climate. *Energy and Buildings*(35), σσ. 561–571.
- Oshiro, T., Nakamura, H., Imataki, M., Sakuta, K., & Kurokawa, K. (1997). Practical values of various parameters for PV system design. *Solar Energy Materials and Solar Cells*(47), σσ. 177-187.
- Pagliaro, M., Ciriminna, R., & Palmisano, G. (2010). BIPV: merging the photovoltaic with the construction industry. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*(18), σσ. 61–72.
- Papantoniou, S., & Tsoutsos, T. (2008). Building integrated PV application in the island of Crete. *Proceedings of 23rd European Photovoltaic Solar Energy conference*. 1-5 September 2008. Valencia, Spain
- Parida, B., Iniyar, S., & Goic, R. (2011). A review of solar photovoltaic technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*(15), σσ. 1625–1636.
- Peng, C., Huang, Y., & Wu, Z. (2011). Building-integrated photovoltaics (BIPV) in architectural design in China. *Energy and Buildings*(43), σσ. 3592–3598.
- Peng, J., Curcija, D., Lu, L., Selkowitz, S., Yang, H., & Zhang, W. (2016). Numerical investigation of the energy saving potential of a semi-transparent photovoltaic double-skin facade in a cool-summer Mediterranean climate. *Applied Energy* (165), σσ. 345–356.

- Peng, J., Lu, L., Yang, H., & Ma, T. (2015). Comparative study of the thermal and power performances of a semi-transparent photovoltaic façade under different ventilation modes. *Applied Energy*(138), σσ. 572–583.
- Perez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*(40), σσ. 394–398.
- REN21. (2017). Renewables 2017 Global Status Report. *Ren21 Secretariat*. Paris, France.
- Sampatakos, D. (2014, May). Development of three dimensional PV structures as shading devices for a Decentralized Facade Unit of the Future. *Delft University of Technology*.
- Shi, X., & Yang, W. (2013). Performance-driven architectural design and optimization technique from a perspective of architects. *Automation in Construction*(32), σσ. 125–135.
- Song, J., An, Y., Kim, S., Lee, S., Yoon, J., & Choung, Y. (2008). Power output analysis of transparent thin-film module in building integrated photovoltaic system (BIPV). *Energy and Buildings*(40), σσ. 2067–2075.
- Stamatakis, A., Mandalaki, M., & Tsoutsos, T. (2016). Multi-criteria analysis for PV integrated in shading devices for Mediterranean region. *Energy and Buildings*(117), σσ. 128–137.
- Stoppato, A. (2008). Life cycle assessment of photovoltaic electricity generation. *Energy*(33), σσ. 224–232.
- Sun, L., & Yang, H. (2010). Impacts of the shading-type building-integrated photovoltaic claddings on electricity generation and cooling load component through shaded windows. *Energy and Buildings*(42), σσ. 455–460.



- Sun, L., Hu, W., Yuan, Y., Cao, X., & Lei, B. (2015). Dynamic Performance of the Shading-Type Building-Integrated Photovoltaic Claddings. *Procedia Engineering*(121), σσ. 930–937.
- Sun, L., Lu, L., & Yang, H. (2012). Optimum design of shading-type building-integrated photovoltaic claddings with different surface azimuth angles. *Applied Energy*(90), σσ. 233–240.
- Tongtuam, Y., Ketjoy, N., Vaivudh, S., & Thanarak, P. (2011). Effect of the diffuse radiation reflection from exterior wall on Shading Device Integrated Photovoltaic case of Thailand building. *Energy Procedia*(9), σσ. 104–116.
- Tsanas, A., & Xifara, A. (2012). Accurate quantitative estimation of energy performance of residential buildings using statistical machine learning tools. *Energy and Buildings*(49), σσ. 560–567.
- Vartiainen, E. (1998). Daylighting Strategies for advance solar facades. *Proceedings of 2nd ISES Europe Solar congress*. 14-17 September 1998. Portoroz, Slovenia
- Vartiainen, E. (2001). Electricity bene®ts of daylighting and photovoltaics for various solar facade layouts in office buildings. *Energy and Buildings*(33), σσ. 113-120.
- Vassiliades, C., Savvides, A., & Michael, A. (2014). Architectural Implications in the Building Integration of Photovoltaic and Solar Thermal systems – Introduction of a taxonomy and evaluation methodology. *Proceedings of The World Sustainable Building 2014 conference*. 28-30 October 2014. Barcelona, Spain

- Wang, M., Peng, J., Li, N., Lu, L., Ma, T., & Yang, H. (2016). Assessment of energy performance of semi-transparent PV insulating glass units using a validated simulation model. *Energy*(112), σσ. 538-548.
- Witte, M., Henninger, R., & Glazer, J. (2001). Testing and validation of a new building energy simulation program. *Proceedings of 7th International IBPSA Conference*. 13-15 August 2001. Rio de Janeiro, Brazil
- Wong, P., Shimoda, Y., Nonaka, M., Inoue, M., & Mizuno, M. (2008). Semi-transparent PV: Thermal performance, power generation, daylight modelling and energy saving potential in a residential application. *Renewable Energy*(33), σσ. 1024–1036.
- Yoo, S. (2011). Simulation for an optimal application of BIPV through parameter variation. *Solar Energy*(85), σσ. 1291–1301.
- Yoo, S., & Lee, E. (2002). Efficiency characteristic of building integrated photovoltaics as a shading device. *Building and Environment*(37), σσ. 615 – 623.
- Yoo, S., & Manz, H. (2011). Available remodeling simulation for a BIPV as a shading device. *Solar Energy Materials & Solar Cells*(95), σσ. 394–397.
- Yoo, S., Lee, E., & Lee, J. (1998). Building integrated photovoltaics: a Korean case study. *Solar Energy*(64), σσ. 151–161.
- Youssef, A., Zhai, Z., & Reffat, R. (2015). Design of optimal building envelopes with integrated photovoltaics. *Building Simulation*(8), σσ. 353–366.
- Zervas, K. (2009). Assessment of thermal comfort in office buildings, with different window shading devices, for the city of Chania, Greece.

Zhang, X. (2014). *Building performance evaluation of integrated transparent photovoltaic blind system by a virtual testbed*. Master thesis, Eindhoven University of Technology, Faculty of Architecture, Building and.

Ελληνικό Ινστιτούτο Υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας. (2008). *Εκτίμηση και πρόληψη του επαγγελματικού κινδύνου στις διοικητικές υπηρεσίες* (Α' Έκδοση). Αθήνα: Εκδοτικός Οργανισμός Λιβάνη.

## **ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ**

Energy Plus. *U.S. Department of Energy's (DOE)*

Διαθέσιμο από: <https://energyplus.net> [Πρόσβαση: 11/11/2016].

BIPV – Building Integrated Photovoltaic. *Solar Energy Explorer*.

Διαθέσιμο από: <http://www.solarenergyexplorer.com/bipv.html#axzz4vJFLHfzY>

[Πρόσβαση 22 04 2017].

Εργαστήριο Ανανεώσιμων και Βιώσιμων Ενεργειακών Συστημάτων. *Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης*.

Διαθέσιμο από: <http://www.resel.tuc.gr> [Πρόσβαση: 11/11/2016]