



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΚΑΙ  
ΒΙΩΣΙΜΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

# ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗΣ ΗΜΙΠΕΡΑΤΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΣΕ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΤΗΣ ΕΛΕΝΗΣ ΦΑΡΜΑΚΗ

## ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Καθηγητής ΘΕΟΧΑΡΗΣ ΤΣΟΥΤΣΟΣ  
(ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)

Καθηγητής ΜΙΧΑΛΗΣ ΛΑΖΑΡΙΔΗΣ  
Δρ. ΜΑΡΙΑ ΜΑΝΔΑΛΑΚΗ

ΧΑΝΙΑ, 2015





“Copyright © Φαρμάκη Ελένη, 2015

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.”

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους ανθρώπους που συνέβαλαν στην υλοποίηση της.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Τσούτσο Θεοχάρη, για την ανάθεση ενός θέματος που ήταν ανάλογο του ενδιαφέροντος και των δυνατοτήτων μου και επίσης για το άριστο κλίμα συνεργασίας και επικοινωνίας μεταξύ μας και τη μετάδοση ενός διαφορετικού και σφαιρικού τρόπου σκέψης. Την κ. Μανδαλάκη Μαρία, για την καθοδήγηση και τις σημαντικές συμβουλές που μου παρείχε στα πλαίσια εκπόνησης αυτής της εργασίας, με βοήθησε να επεκτείνω τις γνώσεις μου και μου επέτρεψε να χρησιμοποιήσω μέρος της προσωπικής της δουλειάς. Τον κ. Λαζαρίδη Μιχάλη, μέλος της εξεταστικής επιτροπής, για την αξιολόγηση της εργασίας. Τον κ. Σαββάκη Νικόλαο, που συνέβαλε σημαντικά στην περαιτέρω εξέλιξη και ολοκλήρωση της εργασίας, προσφέροντας τη βοήθεια του με μεγάλη προθυμία σε ένα σημαντικό κομμάτι. Επίσης, να ευχαριστήσω την εταιρία Brite Solar, που παραχώρησε το προϊόν της και ήταν εφικτές οι πειραματικές μετρήσεις.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που έκαναν αυτά τα χρόνια σπουδών ξεχωριστά, αλλά κυρίως να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου, που είναι ένα ανεκτίμητο στήριγμα στη ζωή μου και μου δίνει εφόδια να εξελιχθώ.

Φαρμάκη Ελένη

Χανιά, Οκτώβριος 2015

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της ενσωμάτωσης ενός ημιπερατού Φωτοβολταϊκού υαλοπίνακα σε άνοιγμα όψης μίας μονάδας κτιρίου γραφείων σε Μεσογειακές συνθήκες όσον αφορά στα επίπεδα εσωτερικού φωτισμού, θερμοκρασίας και στην παραγόμενη από αυτό ενέργεια.

Το πειραματικό μέρος της μελέτης περιέχει μετρήσεις φωτισμού και θερμοκρασίας κατά την τοποθέτηση του ημιπερατού Φ/Β υαλοπίνακα στο άνοιγμα της όψης σε σύγκριση με τη χρήση Plexiglas στο εσωτερικό ενός φυσικού μοντέλου που προσομοιώνει μονάδα γραφείου σε κλίμακα 1/10. Τα πειράματα έλαβαν χώρα στο Πολυτεχνείο Κρήτης, στα Χανιά. Η τοποθέτηση του ανοίγματος έγινε σε Νότιο προσανατολισμό κατά τη θερινή περίοδο Μεσογειακού κλίματος με υψηλές θερμοκρασίες και έντονη ηλιοφάνεια. Το θεωρητικό μέρος αφορά τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας στην κάθετη επιφάνεια της πρόσοψης και τον υπολογισμό της ηλεκτρικής ισχύος ενώ εκτιμήθηκε το ποσοστό κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της μονάδας γραφείου για μια τυπική καλοκαιρινή μέρα.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο Φ/Β υαλοπίνακας σε σύγκριση με το Plexiglas, παρέχει επαρκή φωτισμό κατά το μεγαλύτερο κομμάτι μιας καλοκαιρινής ημέρας, με επίπεδα φωτισμού χαμηλότερα κατά 50%, παρέχοντας έτσι και σκίαση, η εσωτερική θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη της εξωτερικής κατά περίπου 10.5 °C. Η υπολογισμένη παραγωγή ενέργειας μπορεί να καλύψει απόλυτα τις εκτιμώμενες ενεργειακές απαιτήσεις για συμπληρωματικό τεχνητό φωτισμό αλλά μόνο ένα μικρό ποσοστό (6%) από τις συνολικές ενεργειακές ανάγκες της μονάδας γραφείου κατά τη διάρκεια μιας τυπικής καλοκαιρινής ημέρας.

## ABSTRACT

The purpose of this Diploma Thesis is to study the integration of a semitransparent Photovoltaic glazing integrated in the facade of an office unit in Mediterranean conditions and examine the illumination levels, internal temperature and produced energy.

The experimental part of the study contains lighting and temperature measurements during the installation of the PV glazing in a physical model that simulates an office unit in a scale 1/10 and it was compared with a Plexiglas. The experiments took place at the Technical University of Crete, Chania. The placement was at South orientation during summer period with high temperatures and intense sunlight. The theoretical part contains the calculation of solar radiation on a vertical surface of the façade, the calculation of electrical power and the estimated coverage rate of the energy needs of the office by the produced energy for a typical summer day.

The results showed that the semitransparent PV glazing compared to the Plexiglas, provides sufficient lighting for the most part of a summer day, with illumination levels reduced by 50%, thus providing shading too, and the internal temperature is higher than the outer temperature by approximately 10.5 ° C. The calculated energy production can fully cover the estimated energy needs for supplemental artificial light, but only a small percentage (6%) of the total energy needs of the office unit during a typical summer day.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	ii
ABSTRACT .....	iii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	viii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΔΙΕΘΝΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ .....	15
3.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	16
3.1.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ .....	16
3.1.2 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ.....	21
3.1.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ .....	22
3.2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ .....	24
3.2.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΕ ΚΑΘΕΤΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ .....	25
3.2.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ.....	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	32
4.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	32
4.2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	59

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	63
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	65
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ .....	68



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

<i>Εικόνα 1: Αντικατάσταση συμβατικών υαλοπινάκων (αριστερά) με ημιπερατά Φ/Β στοιχεία (δεξιά).....</i>	<i>2</i>
<i>Εικόνα 2: Παράδειγμα ενσωμάτωσης χρωματιστών Φ/Β στοιχείων στη δυτική πρόσοψη του Swisstech Convention Center στη Λοζάνη .....</i>	<i>3</i>
<i>Εικόνα 3: Εναλλακτικές δυνατότητες ενσωμάτωσης σε κτίριο [Tsoutsos et al., 2009] .....</i>	<i>6</i>
<i>Εικόνα 4: Επιλεγμένα ημιπερατά Φ/Β πλαίσια λεπτού υμένα (thin film) για τη μελέτη ιδιοτήτων χρωματικής απόδοσης [Lynn et. al., 2012]. .....</i>	<i>13</i>
<i>Εικόνα 5: Σχέδιο της πρόσοψης σε Autocad.....</i>	<i>17</i>
<i>Εικόνα 6: Διαδικασία κοπής της πρόσοψης .....</i>	<i>17</i>
<i>Εικόνα 7: Η μπροστινή όψη του φυσικού μοντέλου .....</i>	<i>18</i>
<i>Εικόνα 8: Θερμόμετρο .....</i>	<i>21</i>
<i>Εικόνα 9: Λουξόμετρο.....</i>	<i>21</i>
<i>Εικόνα 10: Σχέδιο κάτοψης του φυσικού μοντέλου.....</i>	<i>23</i>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Αποτελέσματα της μέσης ενεργειακής κατανάλωσης για κάθε υαλοπίνακα [Liao and Xu, 2015].....	8
Πίνακας 2 : Συνδυασμός ισχύος φωτοβολταϊκών συστημάτων κάθε περίπτωση προσομοίωσης [Wong et al., 2008]. ....	10
Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά Φ/Β πλαισίου της εταιρίας Brite Solar.....	20
Πίνακας 4: Πειραματικά αποτελέσματα για ανοιξιότικες ημέρες με ηλιοφάνεια. ....	33
Πίνακας 5: Πειραματικά αποτελέσματα για ανοιξιότικες ημέρες με μερική ηλιοφάνεια. ....	35
Πίνακας 6: Πειραματικά αποτελέσματα για καλοκαιρινές ημέρες με ηλιοφάνεια. ..	37
Πίνακας 7: Μετεωρολογικά δεδομένα των ημερών μετρήσεων. ....	39
Πίνακας 8: Στιγμιαίες τιμές της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στην κάθετη επιφάνεια. ....	45
Πίνακας 9: Θεωρητικές τιμές των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών του Φ/Β υαλοπίνακα.....	47
Πίνακας 10: Στατιστικά παλινδρόμησης. ....	53
Πίνακας 11: Ανάλυση διακύμανσης. ....	54
Πίνακας 12: Αποτελέσματα γραμμικού μοντέλου παλινδρόμησης.....	54
Πίνακας 13: Ποσοστό κάλυψης της καταναλωμένης ενέργειας από την παραγόμενη.....	58

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1: Επίπεδα φωτισμού στις διαφορετικές θέσεις για ανοιξιάτικες ημέρες με ηλιοφάνεια για το Φ/Β υαλοπίνακα. ....	41
Διάγραμμα 2: Επίπεδα φωτισμού σε διαφορετικές θέσεις για ανοιξιάτικες ημέρες με ηλιοφάνεια για το Plexiglas. ....	41
Διάγραμμα 3: Επίπεδα φωτισμού σε διαφορετικές θέσεις για ανοιξιάτικες ημέρες με μερική ηλιοφάνεια για το Φ/Β υαλοπίνακα. ....	42
Διάγραμμα 4: Επίπεδα φωτισμού στις διαφορετικές θέσεις για ανοιξιάτικες ημέρες με μερική ηλιοφάνεια για το Plexiglas. ....	42
Διάγραμμα 5: Επίπεδα φωτισμού σε διαφορετικές θέσεις για καλοκαιρινές ημέρες με ηλιοφάνεια για το Φ/Β υαλοπίνακα. ....	43
Διάγραμμα 6: Επίπεδα φωτισμού στις διαφορετικές θέσεις για καλοκαιρινές ημέρες με ηλιοφάνεια για το Plexiglas. ....	43
Διάγραμμα 7: Σύγκριση θερμοκρασίας στο εσωτερικό και στο περιβάλλον για το Φ/Β υαλοπίνακα. ....	44
Διάγραμμα 8: Η θερμοκρασία στο εσωτερικό για το Φ/Β υαλοπίνακα και το Plexiglas. ....	44
Διάγραμμα 9: Σύγκριση επιπέδων φωτισμού για τη μπροστινή θέση 1 κοντά στο άνοιγμα. ....	49
Διάγραμμα 10: Σύγκριση επιπέδων φωτισμού για τη μεσαία θέση 2 .....	49
Διάγραμμα 11: Σύγκριση επιπέδων φωτισμού του για την πίσω θέση 3 μακριά από το άνοιγμα.....	50
Διάγραμμα 12: Διαφορά της θερμοκρασίας στον εσωτερικό χώρο και στο περιβάλλον για το Φ/Β υαλοπίνακα. ....	52

Διάγραμμα 13: Η πυκνότητα ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας ( $I_T$ ) στο κάθετο επίπεδο για τις ώρες 10.00, 12.00 14.00 και 16.00 των ημερών μέτρησης.....	55
Διάγραμμα 14: Η παραγόμενη ισχύς του Φ/Β υαλοπίνακα για τις ώρες 10.00, 12.00 14.00 και 16.00 των ημερών μέτρησης. ....	55
Διάγραμμα 15: Εξάρτηση της ηλεκτρικής ισχύος $P_m$ από την πυκνότητα ισχύος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας ( $I_T$ ) για κάθετη επιφάνεια. ....	56

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σχέση ενέργειας και περιβάλλοντος αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα της σύγχρονης κοινωνίας, καθώς οι ενεργειακές απαιτήσεις του πλανήτη και τα επίπεδα ρύπανσης του περιβάλλοντος έχουν αυξηθεί περισσότερο από κάθε άλλη εποχή. Ιδιαίτερα ο κτιριακός τομέας αποτελεί έναν από τους πιο επιζήμιους τομείς από περιβαλλοντική άποψη, αφού αποτελεί το 40% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης και ευθύνεται για παραπάνω από το 30% των εκπομπών CO<sub>2</sub> στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Παράλληλα, όμως παρουσιάζει μεγάλες δυνατότητες για εξοικονόμηση ενέργειας. Η αντικατάσταση των συμβατικών πηγών ενέργειας με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) στα κτίρια αποδεικνύεται πιο απαραίτητη από ποτέ.

Η χρήση των ΑΠΕ είναι μια λύση φιλική προς το περιβάλλον γιατί πρόκειται για ήπιες, καθαρές μορφές ενέργειας και κυρίως πρακτικά ανεξάντλητες. Η ηλιακή ενέργεια αποτελεί τη σημαντικότερη από τις ΑΠΕ έχοντας το υψηλότερο ενεργειακό δυναμικό και η αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να παρέχει θερμότητα ή/και ηλεκτρισμό. Τα τεχνολογικά συστήματα που σχετίζονται με την ηλιακή ενέργεια είναι τα ηλιακά θερμικά συστήματα (ενεργητικά και παθητικά) και τα φωτοβολταϊκά συστήματα (Φ/Β).

Η χρήση Φ/Β συστημάτων σε κτίρια είναι διαρκώς αυξανόμενη τα τελευταία χρόνια με στόχο την κάλυψη ενός ποσοστού των κτιριακών ενεργειακών αναγκών ή την επίτευξη σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης συμβατικής ενέργειας σε κτίρια (Near Zero Energy Building, NZEB). Οι τεχνολογία τους συνεχώς εξελίσσεται ενώ τα προϊόντα που διατίθενται στην αγορά προσφέρουν ήδη μεγάλη ποικιλία εφαρμογών σε κτιριακές εγκαταστάσεις. Τα Φ/Β πλαίσια μπορούν είτε να

εγκατασταθούν σε οριζόντιες ή επικλινείς στέγες, στις προσόψεις των κτιρίων ή ως σκίαστρα είτε να ενσωματωθούν με ανάλογο τρόπο αντικαθιστώντας συμβατικά δομικά υλικά (Φωτοβολταϊκά Ενσωματωμένα σε Κτίρια, ΦΒΕΚ).

Στην περίπτωση της ενσωμάτωσης στο κτίριο, ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι ημιπερατοί Φ/Β υαλοπίνακες. Αποτελούν μια αξιόλογη επιλογή γιατί ξεπερνούν την παραδοσιακή τοποθέτηση των Φ/Β πλαισίων και γίνονται μέρος του ίδιου του κτιρίου. Αντικαθιστούν τους συμβατικούς υαλοπίνακες (Εικόνα 1) προσφέροντας ταυτόχρονα φυσικό φωτισμό, σκίαση και παραγωγή ηλεκτρισμού, συμβάλλοντας έτσι στην εξοικονόμηση ενέργειας του κτιρίου.



Εικόνα 1: Αντικατάσταση συμβατικών υαλοπινάκων (αριστερά) με ημιπερατά Φ/Β στοιχεία (δεξιά)

Τα Φ/Β στοιχεία για υαλοπίνακες μπορούν να προσφέρουν ένα πλήθος επιλογών για παράθυρα, για γυάλινες ή με τούβλα προσόψεις και οροφές. Τα προϊόντα αυτά προσφέρουν μια μεγάλη ποικιλία μεγεθών, χρωμάτων και ποσοστών διαπερατότητας και μπορούν να καλύψουν τις απαιτήσεις των σύγχρονων αρχιτεκτόνων, προσφέροντας εντυπωσιακό αισθητικό αποτέλεσμα (Εικόνα 2).



Εικόνα 2: Παράδειγμα ενσωμάτωσης χρωματιστών Φ/Β στοιχείων στη δυτική πρόσοψη του Swisstech Convention Center στη Λοζάνη

Η ενσωμάτωση τους όμως στο κτίριο μπορεί να επηρεάσει τους εσωτερικούς χώρους και ιδιαίτερα την οπτική και θερμική άνεση. Τα επίπεδα φωτισμού και θερμοκρασίας πρέπει να πληρούν τις απαιτήσεις ανάλογα με τη χρήση του χώρου και ταυτόχρονα να μην δημιουργούν δυσφορία στον άνθρωπο. Αυτό βέβαια επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Επομένως, η μελέτη των αποτελεσμάτων της ενσωμάτωσης τους στο κτίριο και η επιλογή των κατάλληλων προϊόντων είναι ένα απαραίτητο βήμα πριν το σχεδιασμό.

Στόχος λοιπόν της παρούσας εργασίας είναι να μελετηθεί η ενσωμάτωση ενός ημιπερατού Φ/Β υαλοπίνακα στην πρόσοψη κτιριακής μονάδας με Νότιο προσανατολισμό στην περιοχή των Χανίων στην Κρήτη και να αξιολογηθεί η επιρροή του στην ένταση του φωτισμού και στα επίπεδα θερμοκρασίας στους εσωτερικούς χώρους για συνθήκες εργασίας, καθώς και η ενεργειακή τους απόδοση κατά την τοποθέτηση σε κάθετο επίπεδο. Επιπλέον, η μελέτη αυτή επικεντρώνεται σε συγκεκριμένες κλιματικές συνθήκες, δηλαδή στην θερινή περίοδο μιας Μεσογειακής περιοχής ώστε τα συμπεράσματα να μπορούν να επεκταθούν και για άλλες περιοχές με αντίστοιχες κλιματικές συνθήκες.

Για την πραγματοποίηση πειραματικών μετρήσεων φωτισμού και θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκε φυσικό μοντέλο που προσομοιώνει μία μονάδα γραφείου σε κλίμακα 1/10, στο οποίο τοποθετήθηκε ένα μικρού μεγέθους ημιπερατό Φ/Β στοιχείο υαλοπίνακα στη θέση του νότιου ανοίγματος όψης του. Στο ίδιο φυσικό μοντέλο τοποθετήθηκε όμοιου μεγέθους Plexiglas με στόχο τη σύγκριση των αποτελεσμάτων. Η παραγωγή ρεύματος υπολογίστηκε προσεγγιστικά με βάση θεωρητικές σχέσεις.

Η διάρθρωση των επόμενων κεφαλαίων περιγράφεται συνοπτικά παρακάτω:

Στο κεφάλαιο 2 περιλαμβάνεται η διεθνής επιστημονική εμπειρία και παρουσιάζονται προγενέστερες μελέτες σχετικές με θέμα την ενσωμάτωση ημιπερατών Φ/Β σε κτίρια. Οι μελέτες αυτές αποτελούν πρόδρομο ή/και μέτρο σύγκρισης για το αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

Στο κεφάλαιο 3 περιγράφεται αναλυτικά η μεθοδολογία, δηλαδή τα βήματα και οι πειραματικές τεχνικές που επιλέχθηκαν για τη διεξαγωγή του πειράματος σχετικά με τη μελέτη του φωτισμού και της θερμοκρασίας κατά την ενσωμάτωση του Φ/Β υαλοπίνακα, καθώς και τα μέσα που χρησιμοποιήθηκαν. Επίσης, παρουσιάζονται το θεωρητικό υπόβαθρο και οι σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν για μη πειραματικά αποτελέσματα σχετικά με τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας σε κάθετο επίπεδο και της παραγόμενης ενέργειας.

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων που διεξήχθησαν αλλά και των θεωρητικών υπολογισμών σε μορφή πινάκων και διαγραμμάτων, καθώς και ορισμένες παρατηρήσεις σχετικά με τις μετρήσεις.

Στο κεφάλαιο 5 πραγματοποιείται περαιτέρω επεξεργασία των αποτελεσμάτων και γίνεται κριτικός σχολιασμός τους.

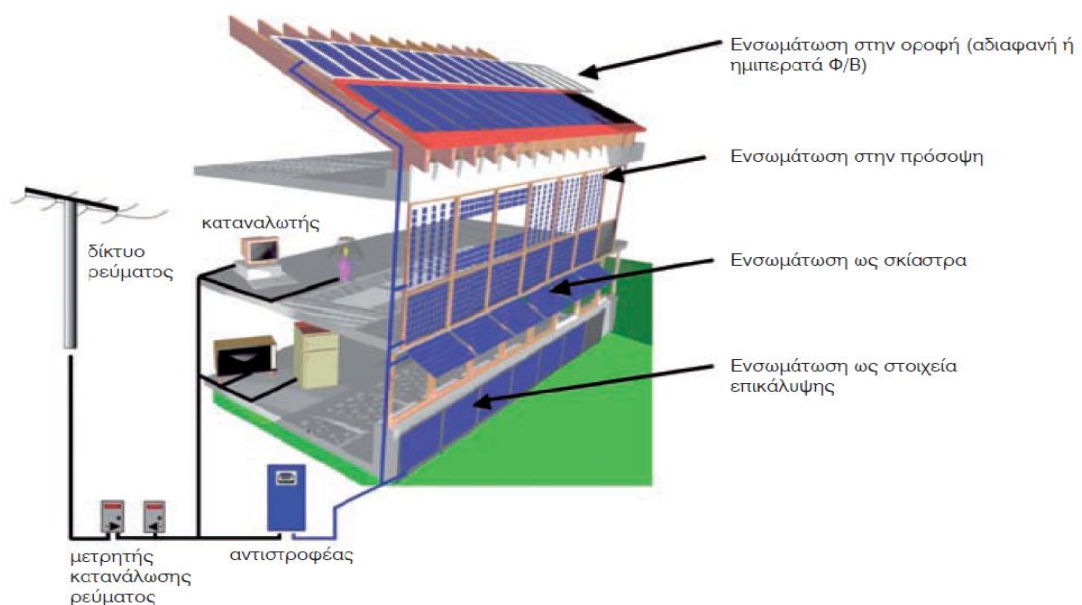


Τέλος, στο κεφάλαιο 6 δίνονται τα συμπεράσματα που εξήχθησαν και αξιολογείται η μεθοδολογία. Ακολουθούν προβλήματα και προτάσεις για μελλοντική έρευνα και επέκταση πάνω στο συγκεκριμένο αντικείμενο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΔΙΕΘΝΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η διεθνής και ελληνική βιβλιογραφία με θέμα την ενσωμάτωση ημιπερατών φωτοβολταϊκών (Φ/Β) συστημάτων σε κτίρια. Συγκεκριμένα, παρατίθενται προγενέστερες μελέτες για την επιρροή των ημιπερατών Φ/Β στο ενεργειακό ισοζύγιο, καθώς και στη θερμική και οπτική άνεση σε εσωτερικούς χώρους.

Είναι γεγονός ότι υπάρχει σήμερα πολύ μεγάλο δυναμικό για την ενσωμάτωση της Φ/Β τεχνολογίας στα κτίρια (ΦΒΕΚ). Το δυναμικό αυτό δύναται να αυξηθεί λόγω της αυξανόμενης οικοδομικής δραστηριότητας και του ενδιαφέροντος προς τις οικολογικές κατοικίες. Τα συστήματα ΦΒΕΚ μπορούν να καλύψουν τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας ενώ επιπλέον παρέχουν θερμική προστασία, μόνωση, σκίαση και προστασία από το θόρυβο. Στην περίπτωση της ενσωμάτωσης Φ/Β, το ΦΒΕΚ σύστημα μπορεί να είναι πολυλειτουργικό (Εικόνα 3), αντικαθιστώντας βασικά υλικά της κατασκευής, όπως οροφή, τμήματα της εξωτερικής τοιχοποιίας, παράθυρα, πρόσοψη ή μέσα σκίασης [Tsoutsos et al., 2009].



Εικόνα 3: Εναλλακτικές δυνατότητες ενσωμάτωσης σε κτίριο [Tsoutsos et al., 2009]

Υπάρχουν δύο τύποι Φ/Β πλαισίων ανάλογα με το βαθμό ενσωμάτωσης: τα τυπικά Φ/Β πλαίσια (πλαίσια γυαλιού-ελασμάτων) και τα ημιπερατά Φ/Β πλαίσια (κρυσταλλικά πλαίσια γυαλιού-γυαλιού). Τα ημιπερατά Φ/Β, σε αντίθεση με τα συμβατικά πλαίσια, επιτρέπουν την διείσδυση μέρους του ηλιακού φωτός και με αυτόν τον τρόπο συνδυάζεται η σκίαση, ο φυσικός φωτισμός και η παραγωγή ηλεκτρισμού. Έτσι η συμβολή τους στην εξοικονόμηση ενέργειας στο κτίριο δεν αφορά μόνο την ηλεκτρική τους παραγωγή αλλά και τη μείωση κατανάλωσης [Τσούτσος- Τουρνάκη, 2010].

Η ταχεία ανάπτυξη των ημιπερατών Φ/Β τα καθιστά πλέον μία αξιόλογη λύση στην ενσωμάτωση Φ/Β συστημάτων σε προσόψεις κτιρίων, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις αντικατάστασης συμβατικών υαλοπινάκων. Πραγματοποιήθηκε λοιπόν μια έρευνα στην Κίνα [Liao and Xu, 2015], με σκοπό τη σύγκριση μεταξύ ημιπερατών PV υαλοπινάκων άμορφου πυριτίου (a-Si) και παραδοσιακών υαλοπινάκων υπό διαφορετικές αρχιτεκτονικές συνθήκες. Στόχος ήταν να δοθεί μια ευρύτερη προοπτική για την κατανόηση της ενεργειακής απόδοσης και της αξιοποίησης των ημιδιάφανων Φ/Β υαλοπινάκων σε ΦΒΕΚ εφαρμογές.

Σε αυτή την εργασία , δύο ημιπερατοί a-Si PV υαλοπίνακες με διαφορετικά ποσοστά διαπερατότητας (20% και 32%) συγκρίνονται σε σχέση με τρεις υαλοπίνακες: μονό υαλοπίνακα, διπλό υαλοπίνακα και διπλό ενεργειακό υαλοπίνακα (Low-E). Οι διάφοροι τύποι γυαλιών εξετάστηκαν από την άποψη της φωτοβολταϊκής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και την κατανάλωση ενέργειας για τις ανάγκες φωτισμού, ψύξης και η θέρμανσης. Τα αποτελέσματα (Πίνακας 1) δείχνουν ότι οι ημιδιάφανοι PV υαλοπίνακες έχουν μεγάλες δυνατότητες και μπορούν να αντικαταστήσουν τους παραδοσιακούς υαλοπίνακες με κριτήριο την ενεργειακή απόδοση στις κλιματικές συνθήκες της Κεντρικής Κίνας.

Πίνακας 1: Αποτελέσματα της μέσης ενεργειακής κατανάλωσης για κάθε υαλοπίνακα [Liao and Xu, 2015].

Υαλοπίνακας	Ενεργειακή κατανάλωση			Παραγωγή ενέργειας Φ/B	Τελική κατανάλωση ενέργειας
	Φωτισμός	Θέρμανση	Ψύξη		
Φ/B υαλοπίνακας χαμηλής διαπερατότητας (χωρίς σκίαση)	20,9	10,7	45,2	4,7	72,1
Φ/B υαλοπίνακας υψηλής διαπερατότητας (χωρίς σκίαση)	19,6	7,5	54,1	3,8	77,4
Μονός υαλοπίνακας (με σκίαση)	18,3	4,3	68,5	-	91,1
Διπλός υαλοπίνακας (με σκίαση)	18,3	2,2	66,2	-	86,8
Ενεργειακός υαλοπίνακας (με σκίαση)	18,3	4,3	48,7	-	71,6

Πιο συγκεκριμένα, οι PV υαλοπίνακες παρουσιάζουν ενεργειακή απόδοση ανώτερη από εκείνη του μονού και του διπλού τζαμιού, ενώ είναι μόνο ελαφρώς κατώτεροι από τον Low-E υαλοπίνακα κάτω από τις κλιματικές συνθήκες στις οποίες η κατανάλωση ενέργειας για ψύξη είναι ο κυρίαρχος παράγοντας.

Μεταξύ των δύο ημιπερατών a-Si Φ/B υαλοπινάκων που μελετήθηκαν, αυτό με τη χαμηλή διαπερατότητα παρουσιάζει την καλύτερη απόδοση. Η ανώτερη επίδοση των Φ/B υαλοπινάκων οφείλεται κυρίως στη μειωμένη κατανάλωση ενέργειας για ψύξη. Συγκριτικά, η απόδοση ηλεκτρικής ενέργειας των Φ/B είναι σχετικά μικρή, αλλά καταφέρνουν να μειώσουν κατά 6,5% (χαμηλή διαπερατότητα) και 4,9% (υψηλή διαπερατότητα) τη συνολική κατανάλωση ενέργειας κατά μέσο όρο για τις διάφορες αρχιτεκτονικές συνθήκες που εξετάστηκαν [Liao and Xu, 2015].

Ενδιαφέρον παρουσιάζει έρευνα στο Χονγκ Κονγκ, όπου αξιολογήθηκε η επίδοση ενός αεριζόμενου ημιπερατού Φ/B υαλοπίνακα, ενσωματωμένο ως παράθυρο σε γραφείο κτιρίου. Χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα καιρού για την υπό εξέταση περιοχή και πραγματοποιήθηκε προσομοίωση με χρήση του προγράμματος EnergyPlus για να προσδιοριστεί η παραγωγή ενέργειας, η αξιοποίηση του φωτός

και τα θερμικά φορτία. Η ενσωμάτωση του συστήματος αφορούσε ένα μικρό γραφείο σε περιοχή με θερμό κλίμα ενώ εξετάστηκαν τρεις διαφορετικές κατακόρυφες κατευθύνσεις: Νοτιοανατολικά, Νότια και Νοτιοδυτικά. Η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε για διάφορα ποσοστά διαπερατότητας του γυαλιού από 10% έως 90%, ώστε να εξακριβωθεί ποιο ποσοστό διαπερατότητας μπορεί να προσφέρει τα βέλτιστα αποτελέσματα στην εξοικονόμηση ρεύματος.

Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η βέλτιστη τιμή διαπερατότητας κυμαίνεται από 0,45 ως 0,55 για εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας σε ψύξη και φωτισμό. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από το φωτοβολταϊκό σύστημα μειώνεται γραμμικά με την αύξηση της διαπερατότητας. Αντιθέτως η επιφανειακή μεταφορά θερμότητας δεν μεταβάλλεται γραμμικά. Επιπλέον, διεξήχθησαν συμπεράσματα με βάση την ετήσια ακτινοβολία που δέχεται το Φ/Β παράθυρο για τα τρία σημεία προσανατολισμού. Ως βέλτιστος προσανατολισμός υπολογίστηκε ο Νοτιοδυτικός, παρουσιάζοντας τη μέγιστη ακτινοβολία, ακολουθεί ο Νότιος και τέλος ο Νοτιοανατολικός [Chow et al., 2007].

Σε αντίστοιχη έρευνα [Wong et al., 2008], τα ημιδιαφανή φωτοβολταϊκά προτείνονται ως κορυφαίο ελαφρύ υλικό για εφαρμογή σε κατοικίες. Στόχος της είναι να γίνουν κατανοητές οι βασικές παράμετροι που σχετίζονται με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και τα θερμικά και οπτικά χαρακτηριστικά των ημιδιάφανων Φ/Β πλαισίων με τελικό σκοπό τη βελτιστοποίηση του συστήματος.

Χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα πραγματικών μετρήσεων και επιλέχθηκαν υπολογιστικά μοντέλα που παρουσιάζουν τα παραπάνω χαρακτηριστικά. Τα επικυρωμένα μοντέλα και τα δεδομένα ενσωματώθηκαν στο πρόγραμμα EnergyPlus για την ανάλυση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας κτιρίου σε

πέντε διαφορετικές κλιματικές περιοχές στην Ιαπωνία για να αξιολογήσουν τις δυνατότητες ενεργειακής εξοικονόμησης των ημιδιάφανων Φ/Β υαλοπινάκων. Η προσομοίωση πραγματοποιείται σε νότιο προσανατολισμό και αφορά το μοντέλο σπιτιού που προτείνει το Αρχιτεκτονικό Ινστιτούτο της Ιαπωνίας.

Τα τέσσερα συστήματα που εξετάστηκαν είχαν συνολική ισχύ 3kW, χρησιμοποιώντας αρχικά ως σύστημα βάσης ένα συμβατικό Φ/Β σύστημα ενσωματωμένο στη σκεπή (BiPV roof) και έπειτα σε συνδυασμό με ενεργειακό υαλοπίνακα (Low-E) και διαφορετικά είδη ημιπερατών Φ/Β υαλοπινάκων (STPV). Οι Φ/Β υαλοπίνακες (STPV) αποτελούνταν από δυο διαφορετικούς βαθμούς διαπερατότητας, σε ποσοστά 20% και 50% (Πίνακας 2).

Πίνακας 2 : Συνδυασμός ισχύος φωτοβολταϊκών συστημάτων κάθε περίπτωση προσομοίωσης [Wong et al., 2008].

	Συνολική ισχύς του συστήματος (W)		
	Φ/Β σύστημα ενσωματωμένο στη σκεπή (BiPV roof)	Ημιπερατοί Φ/Β υαλοπίνακες (STPV)	Σύνολο
Βασικό σύστημα	3.000	-	3.000
Ενεργειακός υαλοπίνακας (Low-E)	3.000	-	
Ημιπερατός Φ/Β υαλοπίνακας με 20% Διαπερατότητα	1.860	1.140	
Ημιπερατός Φ/Β υαλοπίνακας με 50% Διαπερατότητα	2.280	720	

Τα συμπεράσματα αυτής της έρευνας αφορούν αρχικά πληροφορίες για την βέλτιστη επιλογή συστήματος ανάλογα με τις ανάγκες της περιοχής.

Ημιδιαφανή φωτοβολταϊκά πλαίσια χωρίς μέτρα βελτιστοποίησης μειώνουν το ετήσιο φορτίο θέρμανσης, αλλά προκαλούν υπερθέρμανση το καλοκαίρι που

αυξάνει το φορτίο ψύξης. Για τις περιοχές με ψυχρό κλίμα, η ολοήμερη εφαρμογή διαφανούς μονωτικού υλικού που αποτρέπει την υπερβολική απώλεια θερμότητας ενώ ταυτόχρονα επιτρέπει τη διείσδυση της ακτινοβολίας θεωρείται ένα κατάλληλο μέτρο βελτιστοποίησης. Για περιοχές που παρουσιάζουν εύρος θερμοκρασίας και έχουν ανάγκες τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη, η χρήση μόνωσης κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης θα μπορούσε να μειώσει την απώλεια θερμότητας κατά τις νυκτερινές ώρες. Αντιθέτως, ένα αδιαφανές υλικό μόνωσης, κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, μειώνει την επιπλέον ακτινοβολία λύνοντας έτσι το πρόβλημα της υπερθέρμανσης του καλοκαιριού.

Συμπεραίνεται επίσης, ότι η χρήση ημιδιαφανούς συστήματος Φ/Β με κατάλληλη βελτιστοποίηση οδηγεί σε μια μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας 5,3% στη θέρμανση και ψύξη. Στο υφιστάμενο οικιστικό περιβάλλον στέγασης, η ημερήσια ζήτηση σε φωτισμό ικανοποιείται ως επί το πλείστον από φως της ημέρας από τα υπάρχοντα παράθυρα και τα ημιδιαφανή φωτοβολταϊκά συστήματα δεν συμβάλλουν σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας φωτισμού. Η μείωση στην κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη έχει το μεγαλύτερο αντίκτυπο στο συνολικό ενεργειακό ισοζύγιο.

Για το ετήσιο ενεργειακό ισοζύγιο, συστήματα STPV50, με χαμηλότερη πυκνότητα κελιών συμβάλει θετικά στην εξοικονόμηση ενέργειας σε όλες τις περιοχές, με ανώτατο όριο το 8,7%. Τα υψηλής πυκνότητας ημιδιαφανή PV (STPV20) δεν αποδίδουν τόσο καλά, λόγω της χαμηλής σε όφελος εξοικονόμησης ενέργειας για τη θέρμανση και της ετήσιας ενεργειακής παραγωγής.

Γενικό συμπέρασμα της μελέτης είναι ότι ημιδιαφανή φωτοβολταϊκά, με τα κατάλληλα μέτρα βελτιστοποίησης που αντιστοιχούν στο κλίμα και τα οικοδομικά

χαρακτηριστικά του κτιρίου θα μπορούσαν να συμβάλουν σε πρόσθετη εξοικονόμηση ενέργειας σε σύγκριση με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά [Wong et al., 2008].

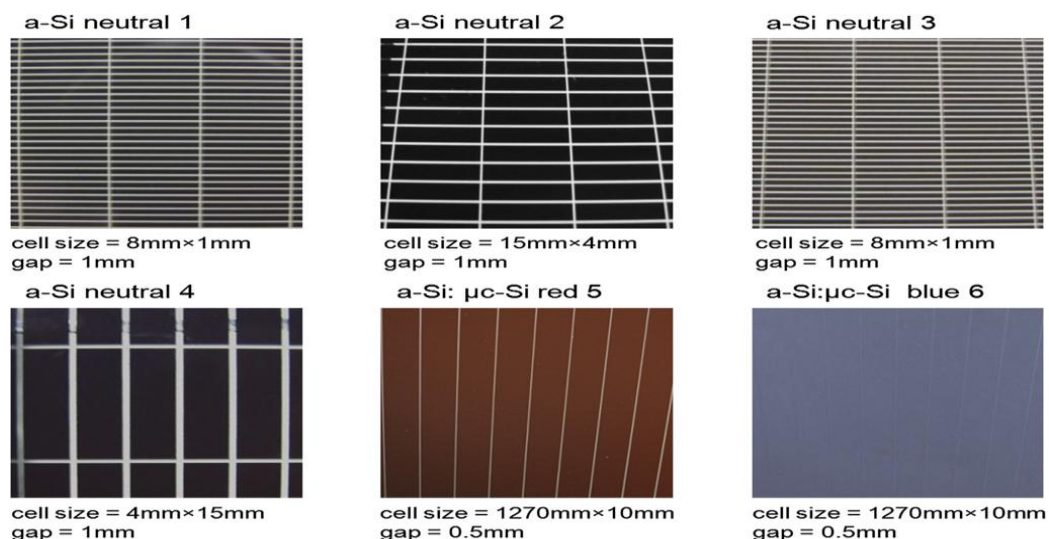
Τα τελευταία χρόνια εμφανίστηκε η καινοτόμα τεχνολογία των φωτοευαισθητοποιημένων Φ/Β με χρωστική (dye sensitized solar cell – DSSC) που δίνει επιπλέον επιλογές στη μοντέρνα βιοκλιματική αρχιτεκτονική. Τα πλαίσια αυτά διατίθενται σε ποικιλία σχεδίων και χρωμάτων και επιδρούν τόσο στην εξωτερική εμφάνιση του κτιρίου όσο και στο οπτικό αποτέλεσμα στο εσωτερικό τους.

Η αξιολόγηση των επιδόσεων των ημιδιάφανων Φ/Β στοιχείων (STPV) συνήθως περιλαμβάνει δεδομένα σχετικά με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τη μετάδοση του ορατού φωτός. Ωστόσο, όταν τα στοιχεία αυτά χρησιμοποιούνται στην πρόσοψη, επηρεάζουν επίσης την απόδοση του χρώματος στο εσωτερικό περιβάλλον. Σύμφωνα λοιπόν με ερευνητές, [Lynn et al., 2012], είναι σημαντικό να προσδιοριστεί ποσοτικά η ιδιότητα του χρώματος αυτών των στοιχείων για την εξασφάλιση της οπτικής άνεσης των ενοίκων

Σε σχετική μελέτη τους στη Σιγκαπούρη, προσδιορίστηκαν οι ιδιότητες της χρωματικής απόδοσης ημιδιάφανων Φ/Β πλαισίων ενσωματωμένων σε κτίρια. Εξετάστηκε ο δείκτης χρωματικής απόδοσης (color rendering index , CRI) για το εκπεμπόμενο φως σε έξι ημιπερατά Φ/Β πλαίσια λεπτού υμένα. Για τον υπολογισμό του χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος δοκιμής χρώματος CIE, ως η πιο ενδεδειγμένη. Η εργασία αυτή παρουσιάζει το CRI ως το συνδυασμό της ανθρώπινης ευαισθησίας του οφθαλμού, της ισχύς κατανομής του φάσματος της πηγής και παραγόντων όπως το χρώμα και τη διαφάνεια των Φ/Β στοιχείων.



Τα δείγματα περιλάμβαναν τέσσερα πλαίσια άμορφου πυριτίου (a-Si) ουδέτερου χρώματος με κυψέλες διαφορετικών μεγεθών και δύο χρωματιστά πλαίσια μικρόμορφου πυριτίου (a-Si:μc-Si), κόκκινου και μπλε χρώματος (Εικόνα 4). Όλα τα δείγματα είχαν ποσοστό διαπερατότητας 10% και εξετάστηκαν υπό διαφορετικές γωνίες (0, 8 και 45°) σε εργαστηριακές συνθήκες με πηγή φωτός μια λάμπα αλογόνου. Για ένα από τα δείγματα άμορφου πυριτίου οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν και σε φυσικό φως εξωτερικού χώρου στο Singapore Zero Energy Building ώστε να διαπιστωθεί αν τα αποτελέσματα ισχύουν για δύο διαφορετικές πηγές φωτός. Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν και είχαν μικρή απόκλιση από τις εργαστηριακές μετρήσεις.



Εικόνα 4: Επιλεγμένα ημπερατά Φ/Β πλαίσια λεπτού υμένα (thin film) για τη μελέτη ιδιοτήτων χρωματικής απόδοσης [Lynn et. al., 2012].

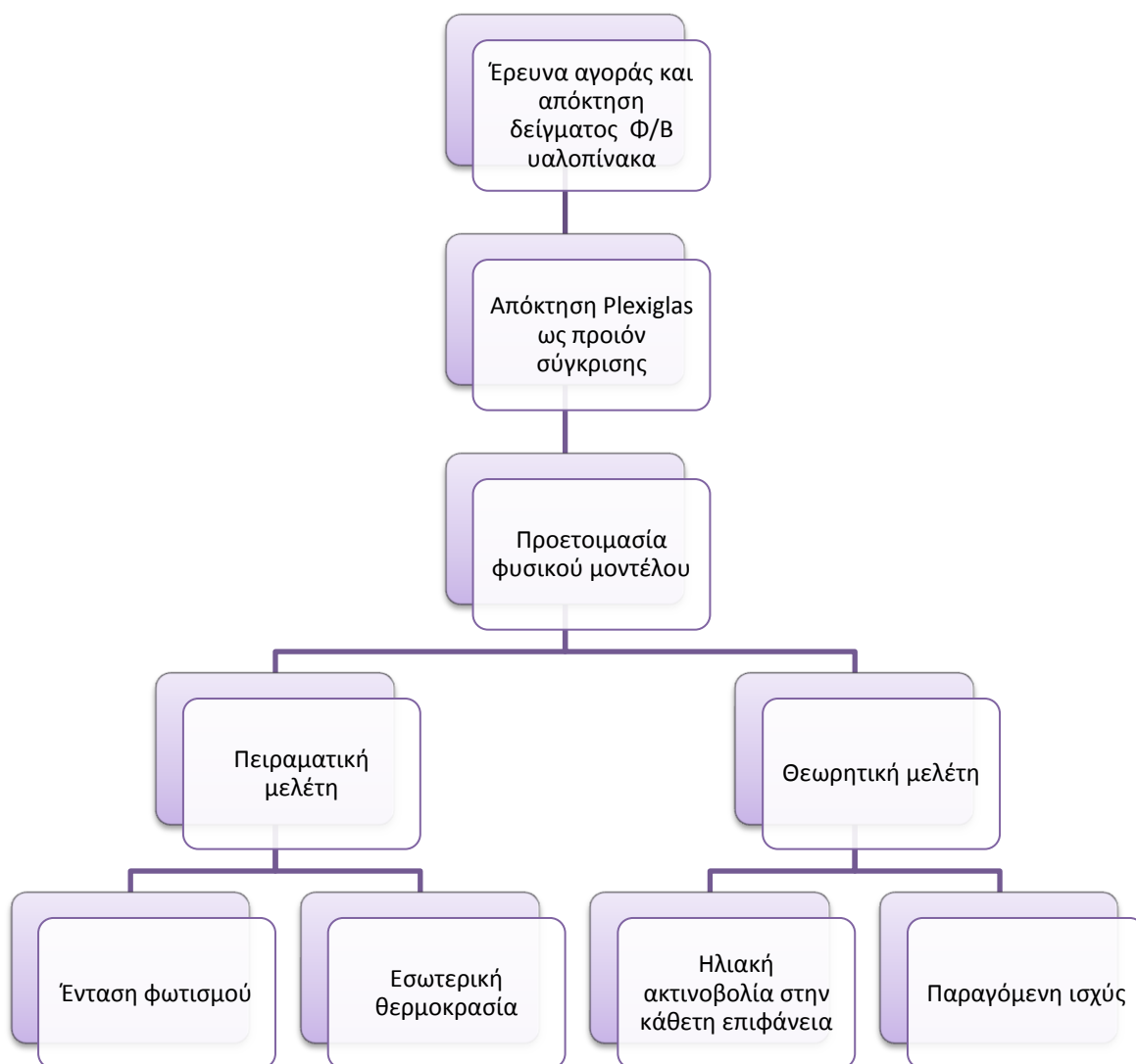
Οι παραπάνω μετρήσεις έδειξαν ότι τα πλαίσια άμορφου πυριτίου (a-Si) ουδέτερου χρώματος παρουσίασαν εξαιρετικό δείκτη χρωματικής απόδοσης πάνω από 90 και καλή χρωματική ουδετερότητα σε όλες τις γωνίες πρόσπτωσης. Αντιθέτως, τα δύο χρωματιστά Φ/Β σε κόκκινο και μπλε χρώμα παρουσίασαν τιμές του CRI κάτω των 90 για όλες τις γωνίες πρόσπτωσης, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει την οπτική άνεση και τη χρωματική ουδετερότητα. Η έρευνα τονίζει ότι η

χρωματική απόδοση των Φ/Β είναι μια σημαντική παράμετρος που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για την κατασκευή STPV συστημάτων, ώστε εκτός από τα αισθητικά κριτήρια, να εξασφαλίζεται και η οπτική άνεση [Lynn et al., 2012].

Σύμφωνα με τις παραπάνω έρευνες, είναι εμφανές πως υπάρχουν πολλές παράμετροι που αξίζει να εξεταστούν κατά το σχεδιασμό της ενσωμάτωσης ενός συστήματος ημιπερατών Φ/Β σε κτίριο. Η παραγωγή ενέργειας, η μετάδοση φωτός, οι κλιματικές συνθήκες, ο κατάλληλος προσανατολισμός και η χρωματική απόδοση είναι μερικές από αυτές, που αν ληφθούν υπόψη συμβάλουν στη βελτιστοποίηση του συστήματος με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας και την εξασφάλιση της ανθρώπινης άνεσης.

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται αναλυτικά η μεθοδολογία, δηλαδή τα βήματα και οι πειραματικές τεχνικές που επιλέχθηκαν για τη διεξαγωγή του πειράματος, καθώς και το θεωρητικό υπόβαθρο των υπολογισμών. Τα βήματα για την ολοκλήρωση της μελέτης παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας.



### 3.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

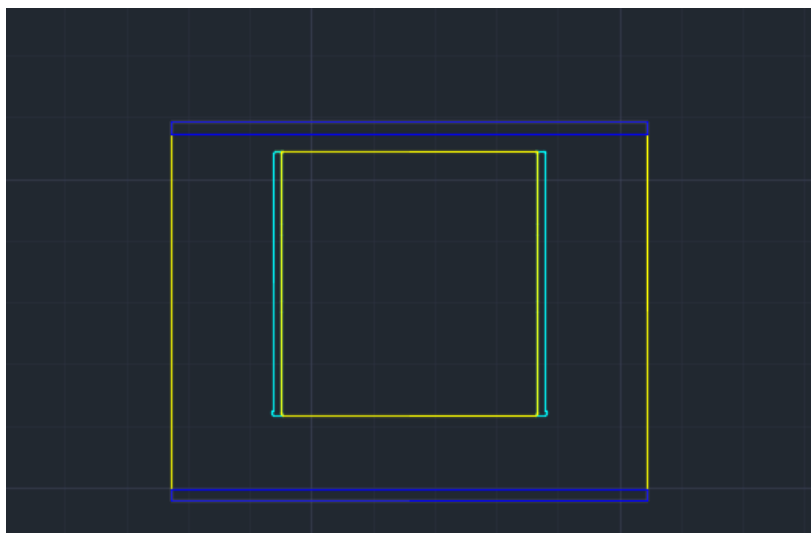
#### 3.1.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

Η πειραματική διάταξη αποτελείται από ένα φυσικό μοντέλο που εκπροσωπεί μία μονάδα γραφείου, ένα ημιπερατό Φ/Β υαλοπίνακα και ένα κομμάτι Plexiglas.

##### *Φυσικό Μοντέλο*

Το φυσικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε, κατασκευάστηκε και χρησιμοποιήθηκε κατά την εκπόνηση διδακτορικού συγγράμματος με σκοπό τη διεξαγωγή πειραματικών μετρήσεων φυσικού φωτισμού. Είναι κατασκευασμένο από ξύλο σε κλίμακα 1:10 και οι διαστάσεις του είναι 0,54m x 0,34m και ύψος 0,29m. Τα χρώματα που χρησιμοποιήθηκαν για το μοντέλο είναι της εταιρίας Vivechrom με κωδικούς μάρκας WP121 για το πάτωμα, BC350 για τους τοίχους και WP011 για την οροφή [Mandalaki et al., 2013].

Απαραίτητη προσαρμογή στο μοντέλο ήταν η μπροστινή πρόσοψη στην οποία θα τοποθετούνταν ο Φ/Β υαλοπίνακας και το Plexiglas. Αρχικά, σχεδιάστηκε με χρήση του προγράμματος Autocad και ο σχεδιασμός έγινε με βάση τις διαστάσεις της υπάρχουσας μακέτας και τις διαστάσεις του Φ/Β για το άνοιγμα του παραθύρου (0,22m x 0,212m).



Εικόνα 5: Σχέδιο της πρόσοψης σε Autocad

Για την κατασκευή της κατάλληλης όψης χρησιμοποιήθηκε επιφάνεια ξύλου κόντρα-πλακέ και κοπή του ξύλου πραγματοποιήθηκε με Παντογράφο CNC ελεγχόμενο από ηλεκτρονικό υπολογιστή, βασισμένο σε τεχνολογία CAD/CAM (Εικόνα 6). Η



Εικόνα 6: Διαδικασία κοπής της πρόσοψης

διαδικασία έλαβε χώρα στο Εργαστήριο Αρχιτεκτονικών Προπλασμάτων και Τεχνολογικών Εφαρμογών υπό την καθοδήγηση του κ Βαζάκα Αλέξανδρου, υπεύθυνου του εργαστηρίου.

Στη συνέχεια, η ήδη κομμένη πρόσοψη βάφτηκε με χρώμα της εταιρίας Vivenchrom με κωδικό BC350, ακολουθώντας την χρωματική επιλογή για τους εσωτερικούς τοίχους της μακέτας. Τέλος, τοποθετήθηκαν στην εξωτερική πλευρά ειδικές βίδες με περιστρεφόμενη κεφαλή για την στήριξη των παραθύρων και την δυνατότητα εναλλαγής τους στην πρόσοψη (Εικόνα 7).



Εικόνα 7: Η μπροστινή όψη του φυσικού μοντέλου

#### *Χαρακτηριστικά Φ/Β παραθύρου*

Η επιλογή και η εξασφάλιση ενός ημιπερατού Φ/Β στοιχείου υπήρξε ένα από τα κρίσιμα σημεία για τη διεξαγωγή των πειραμάτων και γι' αυτό αρχικά πραγματοποιήθηκε έρευνα αγοράς, με κύρια κριτήρια το μέγεθος του υαλοπίνακα και το χαμηλό κόστος απόκτησης του. Δεν ήταν εφικτό να προμηθευτούμε ένα ημιπερατό Φ/Β υαλοπίνακα μικρού μεγέθους (πχ.  $0,20\text{m} \times 0,20\text{m}$ ) ώστε να εφαρμοστεί στο φυσικό μοντέλο, καθώς στην αγορά προς το παρόν είναι διαθέσιμα ημιπερατά Φ/Β πλαίσια μεγέθους  $\sim 1\text{m}^2$ .

Ο Φ/Β υαλοπίνακας που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία ανήκει στη ελληνική εταιρία Brite Solar, η οποία μας παραχώρησε ένα demo προϊόν της μικρού μεγέθους για τη διεξαγωγή οπτικών και θερμικών μετρήσεων. Τα προϊόντα της εταιρίας όπως και αυτό που χρησιμοποιήθηκε, ανήκουν στην κατηγορία Οργανικών Φ/Β στοιχείων, όπου χρησιμοποιούνται οργανικά και ανόργανα υλικά,

όπως οργανικές χρωστικές ουσίες και διοξείδιο του τιτανίου ( $\text{TiO}_2$ ) αντίστοιχα. Η παραγωγή τους βασίζεται στην τεχνολογία inject printing, δηλαδή εκτύπωση μελάνης στο γυαλί εξασφαλίζοντας έτσι πολύ μεγάλη διαπερατότητα. Έχει επιτευχθεί απόδοση 5% και αναμένεται να φτάσει στο 7% για να εισαχθούν τα προϊόντα στην αγορά.

Ο Φ/Β υαλοπίνακας έχει διαστάσεις 0,22m x 0,212m ενώ η ενεργή του επιφάνεια είναι 0.0361m<sup>2</sup>. Είναι ένα έγχρωμο διαφανές τζάμι και έχει διαπερατότητα ~70%.

Στη συνέχεια στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται τα γενικά και ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ενός τυπικού Φ/Β πλαισίου, όπως δόθηκαν από την εταιρία.

Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά Φ/Β πλαισίου της εταιρίας Brite Solar

ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	
Τύπος	Dye Sensitized Solar Modules
Αριθμός κελιών	72
Διαστάσεις	1.130 mm x 1.130 mm
Ενεργή επιφάνεια	1 m <sup>2</sup>
Διαπερατότητα	70 %
ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	
Μέγιστη Ισχύς (P <sub>mp</sub> )	50 W
Ρεύμα μέγιστης ισχύος (I <sub>mp</sub> )	1,42 A
Τάση μέγιστης ισχύος (V <sub>mp</sub> )	35,2 V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης (I <sub>sc</sub> )	1,74 A
Τάση ανοιχτού κυκλώματος (V <sub>oc</sub> )	51,84 V
Παράγων πλήρωσης (FF)	0,55
Απόδοση (η)	5 %
Θερμικοί συντελεστές	$\alpha = +1,38 \% / ^\circ\text{C}$ $\beta = -0,112 \% / ^\circ\text{C}$ $\gamma = +1,086 \% / ^\circ\text{C}$

### Χαρακτηριστικά PLEXIGLAS

Για τη σύγκριση των οπτικών μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε PLEXIGLAS® GS 233 (0F00). Είναι άχρωμο, διαφανές υλικό και έχει διαπερατότητα ~92%. Επιλέχθηκε αντί του γυαλιού καθώς προσφέρει ανάλογα οπτικά αποτελέσματα αλλά είναι ένα πιο ανθεκτικό υλικό και δεν υπάρχει κίνδυνος να σπάσει. Το Plexiglas που



χρησιμοποιήθηκε, κόπηκε στις ίδιες διαστάσεις με το Φ/Β υαλοπίνακα και επιλέχθηκε πάχος 7mm ώστε να μπορεί να τοποθετηθεί στο άνοιγμα της πρόσοψης και να εφάπτεται ακριβώς.

### 3.1.2 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για την λήψη των μετρήσεων ανήκουν στον εξοπλισμό του εργαστηρίου και περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω:

#### 1. Θερμόμετρο (Data logger Thermometer HH309A)

- Εταιρίας κατασκευής : OMEGA
- Εύρος :  $-200^{\circ}\text{C}$  έως  $1370^{\circ}\text{C}$
- Δυνατότητα καταγραφής 4 τιμών ταυτόχρονα
- Ρυθμός καταγραφής: 3 s.
- Ακρίβεια:  $\pm (0,2\% + 1^{\circ}\text{C})$



Εικόνα 8: Θερμόμετρο

#### 2. Λουξόμετρο (LUX Meter LX-101)

- Εταιρίας κατασκευής : E-SUN
- Εύρος : 0 – 50000 LUX
- 3 Εύρη μετρήσεων :  $\times 1, \times 10, \times 100$
- Ακρίβεια :  $\pm 5\%$



Εικόνα 9: Λουξόμετρο

#### 3. Πυξίδα χάρτου

### 3.1.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

#### Τοποθέτηση μακέτας και Προσανατολισμός

Ο χώρος που επιλέχθηκε για τη διεξαγωγή του πειράματος βρίσκεται εντός του Πολυτεχνείου Κρήτης, στο Εργαστήριο Ανανεώσιμων και Βιώσιμων Ενεργειακών Συστημάτων της Σχολής Μηχανικών Περιβάλλοντος. Η επιλογή έγινε με γνώμονα την ευκολία πρόσβασης στο χώρο και στον εργαστηριακό εξοπλισμό, τη διαθεσιμότητα εξωτερικού χώρου για το στήσιμο του πειράματος και τη δυνατότητα αποθήκευσης της διάταξης μετά το πέρας των ημερήσιων μετρήσεων. Πριν την διεξαγωγή των μετρήσεων, η μακέτα τοποθετείται κατάλληλα σε συγκεκριμένο σημείο του χώρου και σε Νότιο προσανατολισμό με χρήση πυξίδας. Έτσι η μπροστινή όψη με το ενσωματωμένο Φ/Β υαλοπίνακα δέχεται τη μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία.

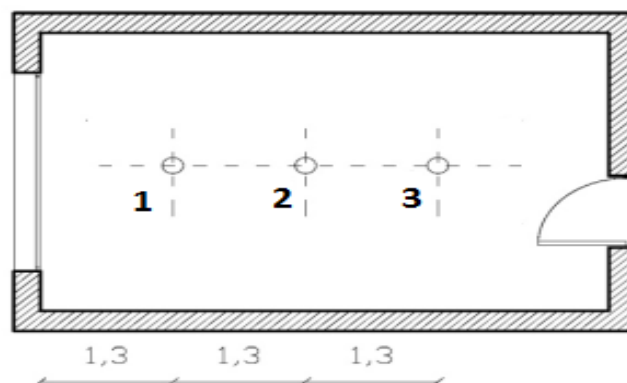
#### Ώρες διεξαγωγής μετρήσεων

Οι μετρήσεις λαμβάνονται για το χρονικό διάστημα 10:00 έως 16:00 ανά δύο ώρες, ώστε να περιλαμβάνεται ένα αντιπροσωπευτικό κομμάτι της μέρας σχετικά με τη θέση του ήλιου, την ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, τα επίπεδα φωτισμού και θερμοκρασίας.

#### Μετρήσεις φωτισμού

Η μέτρηση του φωτισμού στο εσωτερικό της μακέτας πραγματοποιείται σε τρεις διαφορετικές αποστάσεις από τη θέση του παραθύρου στην μπροστινή όψη με χρήση λουξόμετρου. Στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 10) φαίνονται οι διαφορετικές αποστάσεις στο βάθος της μακέτας. Η θέση 1 αντιστοιχεί στο μπροστινό μέρος της

μακέτας και κοντά στο παράθυρο, η θέση 2 στο κέντρο και η θέση 3 στο πίσω μέρος.



Εικόνα 10: Σχέδιο κάτοψης του φυσικού μοντέλου

Το λουξόμετρο τοποθετείται σε κάθε θέση διαδοχικά και έτσι λαμβάνονται οι τιμές φωτισμού σε σχέση με το βάθος. Ο αισθητήρας του οργάνου εισέρχεται στη μακέτα από άνοιγμα στο πίσω μέρος της και μόλις σταθεροποιηθεί στην κατάλληλη θέση το άνοιγμα κλείνει για να μην εισέρχεται επιπλέον φως. Στις θέσεις μετρήσεων τοποθετήθηκε διαφανής κόλλα ώστε ο αισθητήρας να παραμένει σταθερός χωρίς να παρεμβάλλει άλλο αντικείμενο ή ο ανθρώπινος παράγοντας. Η διαδικασία των μετρήσεων πραγματοποιείται για το Φ/Β υαλοπίνακα και για το Plexiglas.

Παράλληλα μετράται και η τιμή του φωτισμού στο εξωτερικό ώστε να υπάρχει σύγκριση με το φως που διέρχεται στο εσωτερικό. Επίσης, παρόλο που οι μετρήσεις γίνονται σε μικρό χρονικό διάστημα και δεν υπάρχει μεταβολή στις εξωτερικές συνθήκες, πρέπει να βεβαιώνεται ότι η εξωτερική τιμή φωτισμού κατά τη διάρκεια των μετρήσεων είναι ίδια και για τα δύο είδη παραθύρων ώστε τα αποτελέσματα να είναι ακριβή και συγκρίσιμα. Ιδιαίτερα σε περιπτώσεις μερικής

ηλιοφάνειας και ανέμου, οι συνθήκες είναι πολύ ασταθείς και είναι απαραίτητο να πραγματοποιούνται οι μετρήσεις για κοντινές τιμές.

### Μετρήσεις θερμοκρασίας

Χρησιμοποιείται θερμόμετρο ακριβείας για την μέτρηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό της μακέτας. Η θερμοκρασία που καταγράφεται αφορά τη θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό περιβάλλον. Το καλώδιο του αισθητήρα του θερμομέτρου εισέρχεται από μικρό άνοιγμα στο πίσω μέρος της μακέτας, το οποίο παραμένει καλυμμένο καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων. Είναι τοποθετημένο με κόλλα σε εσωτερικό τοίχο της μακέτας έτσι ώστε ο αισθητήρας στην άκρη του καλωδίου να μην έρχεται σε επαφή με επιφάνειες της μακέτας και επηρεάζεται η ένδειξη της μέτρησης ενώ η υπόλοιπη συσκευή βρίσκεται εκτός της μακέτας. Σε όλη τη διάρκεια των μετρήσεων (10:00 - 16:00) παραμένει τοποθετημένος στο μοντέλο ο ημιπερατός Φ/Β υαλοπίνακας ενώ παράλληλα είναι καλυμμένες όλες οι οπές ώστε να επιτυγχάνεται όσο το δυνατόν περισσότερη μόνωση και να αποφεύγονται οι απώλειες και ο εξωτερικός αέρας. Κατά τις προγραμματισμένες ώρες μετρήσεων γίνεται αλλαγή του Φ/Β με το Plexiglas για την πραγματοποίηση των μετρήσεων φωτισμού και λαμβάνεται η θερμοκρασία του εσωτερικού και για το Plexiglas.

## **3.2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

Το θεωρητικό μέρος της μεθοδολογίας περιλαμβάνει σχέσεις για τον υπολογισμό της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος από το Φ/Β παράθυρο. Δεδομένου ότι το προϊόν που χρησιμοποιήθηκε είναι demo και δεν μπορούσαν να πραγματοποιηθούν πειραματικές μετρήσεις, είναι απαραίτητο να γίνει προσεγγιστικός υπολογισμός του αποτελέσματος.

Αρχικά παρουσιάζεται το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο κάθετο επίπεδο και στη συνέχεια οι θεωρητικές σχέσεις για τον υπολογισμό της ηλεκτρικής ισχύος σε αυτή την περίπτωση.

### 3.2.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΕ ΚΑΘΕΤΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

Για τον προσδιορισμό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στην κάθετη επιφάνεια του Φ/Β παραθύρου χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω σχέσεις.

Αρχικά δίνονται οι σχέσεις με τις οποίες υπολογίζεται η μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο με νότιο προσανατολισμό, για διάφορες κλίσεις επιφανειών  $\beta$ .

Η μέση ολική μηνιαία  $H_T$  ηλιακή ακτινοβολία ( $\text{kWh/m}^2\cdot\text{mo}$ ) σε κεκλιμένο επίπεδο με νότιο υπολογισμό, υπολογίζεται βάση του ισοτροπικού μοντέλου από την ακόλουθη σχέση:

$$\bar{H}_T = (\bar{H} - \bar{H}_d) \cdot \bar{R}_d + 0.5 \cdot (\bar{H}_d) \cdot (1 + \cos \beta) + 0.5 \cdot \rho \cdot \bar{H} \cdot (1 - \cos \beta) \quad (3.1)$$

όπου,

$\rho$  :η ανακλαστικότητα του εδάφους και θεωρήθηκε ίση με 0.15,

$\beta$ : η κλίσης της επιφάνειας,

$H$ : η μέση μηνιαία ολική ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο για την υπό μελέτη περιοχή,

$H_d$ : η μέση μηνιαία διάχυτη ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο για την υπό μελέτη περιοχή.

$R_b$ : μέσος μηνιαίος γεωμετρικός παράγοντας για νότιο προσανατολισμό

Η μέση μηνιαία διάχυτη ακτινοβολία  $H_d$  στο οριζόντιο επίπεδο, υπολογίζεται από την σχέση των Collares-Pereira & Rabl η οποία αναφέρεται στον λόγο της διάχυτης προς την ολική μηνιαία ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο. Ο λόγος αυτός περιγράφεται από την σχέση:

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}_T} = 0.775 + 0.00653 \cdot (\omega_{ss} - 90) - [0.505 + 0.004555 \cdot (\omega_{ss} - 90)] \cdot \cos(115 \cdot k_t - 103) \quad (3.2)$$

όπου,

$\omega_{ss}$ : η ωριαία γωνία δύσης για την μέση αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα στην υπό μελέτη περιοχή,

$k_t$ : ο μηνιαίος συντελεστής αιθριότητας της περιοχή, που δίνεται από την επόμενη σχέση:

$$\bar{k}_t = \frac{\bar{H}_T}{\bar{H}_0} \quad (3.3)$$

Ο μέσος μηνιαίος γεωμετρικός παράγοντας  $R_b$ , που είναι ο λόγος της άμεσης ακτινοβολίας στο κεκλιμένο επίπεδο προς την άμεση ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση

$$\bar{R}_b = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\omega_{ss}) + \frac{\pi}{180} \cdot \omega_{ss} \cdot \sin(\varphi - \beta) \cdot \sin(\delta)}{\cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\omega_{ss}) + \frac{\pi}{180} \cdot \omega_{ss} \cdot \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta)} \quad (3.4)$$

όπου,

$\omega_{ss}$  : η ωριαία γωνία δύσης της κεκλιμένης επιφάνειας για την μέση αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα στην υπό μελέτη περιοχή.

Υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\omega_{ss} = \min\{\cos^{-1}(-\tan(\varphi) \cdot \tan(\delta)), \cos^{-1}(-\tan(\varphi - \beta) \cdot \tan(\delta))\} \quad (3.5)$$

όπου,

$\varphi$  :το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής,

$\delta$  :η ηλιακή απόκλιση την μέση αντιπροσωπευτική μέρα του μήνα

$\beta$  :η κλίση της επιφάνειας

Η ολική ωριαία ηλιακή ακτινοβολία  $I$  (kWh/(m<sup>2</sup>.h)) στο οριζόντιο επίπεδο υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση όταν είναι γνωστή η μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο  $H_T$ .

$$\frac{I}{H_T} = \frac{\pi}{24} \cdot (a + b \cdot \cos\omega) \cdot \frac{\cos\omega - \cos\omega_{ss}}{\sin\omega_{ss} - \left(\frac{\pi \cdot \omega_{ss}}{180}\right) \cdot \cos\omega_{ss}} \quad (3.6)$$

όπου,

$\omega$ : η ωριαία γωνία για δεδομένη ώρα της ημέρας

$a$  και  $b$ : γεωμετρικοί παράμετροι που υπολογίζονται βάσει της ωριαίας γωνίας δύσης στην υπό μελέτη περιοχή

$$a=0,409 + 0,5016 \cdot \sin(\omega_{ss} - 60), \quad b=0,6609 - 0,4767 \cdot \sin(\omega_{ss} - 60)$$

Αντίστοιχα, η μέση διάχυτη ωριαία ηλιακή ακτινοβολία  $I_d$  (kWh/m<sup>2</sup>.h) που προσπίπτει σε οριζόντιο επίπεδο υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση των Liu & Jordan [19] όταν είναι γνωστή η μέση ημερήσια διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο  $H_d$ .

$$\frac{I_d}{H_d} = \frac{\pi}{24} \cdot \frac{\cos\omega - \cos\omega_{ss}}{\sin\omega_{ss} - \left(\frac{\pi \cdot \omega_{ss}}{180}\right) \cdot \cos\omega_{ss}} \quad (3.7)$$

Η ωριαία ηλιακή ενέργεια  $I_T$  που προσπίπτει σε κεκλιμένο επίπεδο με κλίση  $\beta$  και νότιο προσανατολισμό υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$I_T = I \cdot \left[ \left(1 - \frac{I_d}{I}\right) \cdot R_b + 0,5 \cdot \frac{I_d}{I} \cdot (1 + \cos\beta) + 0,5 \cdot \rho \cdot (1 + \cos\beta) \right] \quad (3.8)$$

όπου,

$R_b$  : ο γεωμετρικός παράγοντας που εκφράζει τον λόγο της άμεσης ωριαίας ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο προς αυτή στον οριζόντιο επίπεδο και δίνεται από την εξίσωση:

$$R_b = \frac{\sin\delta \cdot \sin\varphi \cdot \cos\beta - \sin\delta \cdot \cos\varphi \cdot \sin\beta + \cos\delta \cdot \cos\varphi \cdot \cos\beta \cdot \cos\omega + \cos\delta \cdot \sin\varphi \cdot \sin\beta \cdot \cos\omega + \cos\delta \cdot \sin\beta \cdot \sin\omega}{\cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega + \sin\delta \cdot \sin\varphi} \quad (3.9)$$

### 3.2.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Παρακάτω αναλύονται τα βήματα για τον υπολογισμό των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών του Φ/Β υαλοπίνακα, δηλαδή τις στιγμιαίες τιμές ρεύματος, τάσης και ισχύος, χρησιμοποιώντας τις τιμές της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και της ηλιακής ακτινοβολίας στην κάθετη επιφάνεια όπως υπολογίστηκε παραπάνω. Οι υπολογισμοί βασίστηκαν στις παρακάτω σχέσεις:

- Θερμοκρασία κυψελίδας:

$$\theta_c = \theta_a + \frac{G}{G_{STC}} \cdot (T_1 \cdot e^{B \cdot ws} + T_2 + \Delta\theta) \quad (3.10)$$

Όπου

$G$ : πυκνότητα ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του πλαισίου

$G_{STC}$ : πυκνότητα ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας σε πρότυπες συνθήκες

$\theta_a$ : θερμοκρασία περιβάλλοντος



$T_1, T_2$ : εμπειρικοί συντελεστές με βάση τις οριακές τιμές της θερμοκρασίας κυψελίδας

B: εμπειρικός συντελεστής

$w_s$ : ταχύτητα ανέμου

$\Delta\theta$ : διαφορά θερμοκρασιών κυψελίδας και πίσω επιφάνειας του Φ/Β πλαισίου

- Ηλεκτρικό ρεύμα

$$I_m(\theta_c, G) = \frac{G}{G_{STC}} \cdot I_{m,STC} \cdot [1 + \alpha_{I_m} \cdot (\theta_c - \theta_{STC})] \quad (3.11)$$

Όπου

$I_{m,STC}$ : ηλεκτρικό ρεύμα σε πρότυπες συνθήκες

$\alpha_{I_m}$ : θερμικός συντελεστής ρεύματος

$\theta_{STC}$ : θερμοκρασία σε πρότυπες συνθήκες

- Ηλεκτρική τάση

$$V_m(\theta_c, G) = V_{m,STC} \cdot [1 + \beta_{V_m} \cdot (\theta_c - \theta_{STC})] \quad (3.12)$$

Όπου

$V_{m,STC}$ : ηλεκτρική τάση σε πρότυπες συνθήκες

$\beta_{V_m}$ : θερμικός συντελεστής ρεύματος

- Ηλεκτρική ισχύς:

$$P_m(\theta_c, G) = \frac{G}{G_{STC}} \cdot P_{m,STC} \cdot [1 + \gamma_{P_m} \cdot (\theta_c - \theta_{STC})] \quad (3.13)$$

$P_{m, STC}$ : ηλεκτρική ισχύς σε πρότυπες συνθήκες

$\gamma_{pm}$ : θερμικός συντελεστής ισχύος

- Συντελεστής απόδοσης:

$$n_m = \frac{P_m}{G \cdot S} \quad (3.14)$$

Όπου

S: επιφάνεια του Φ/B πλαισίου

[Φραγκιαδάκης, 2004]

Τέλος, υπολογίζεται προσεγγιστικά το ποσοστό κάλυψης της ενέργειας που καταναλώνεται σε ένα αντίστοιχο γραφείο από την ενέργεια που παράγει ο ημιπερατός Φ/B υαλοπίνακας κατά τη διάρκεια μιας τυπικής καλοκαιρινής ημέρας. Αρχικά εξετάζονται οι απαιτήσεις σε φωτισμό σε περίπτωση που ο φυσικός φωτισμός δεν είναι επαρκής και στη συνέχεια εξετάζονται οι συνολικές ενεργειακές ανάγκες του γραφείου. Η σύγκριση με την παραγόμενη ενέργεια δίνει το ποσοστό κάλυψης στην κάθε περίπτωση.

Οι διαστάσεις του υπό εξέταση γραφείου βασίζονται στο φυσικό μοντέλο κλίμακας 1/10, άρα πρόκειται για ένα δωμάτιο επιφάνειας  $18.36\text{m}^2$  και ύψους  $2.9\text{m}$ . Η επιφάνεια του παραθύρου είναι  $\sim 4.5\text{m}^2$  και αντιστοιχεί σε 4 Φ/B υαλοπίνακες με ενεργή επιφάνεια  $1\text{m}^2$ . Για την εκτίμηση της ενεργειακής του κατανάλωσης έγιναν ορισμένες παραδοχές. Λόγω της χρήσης και του μεγέθους του εξεταζόμενου χώρου, θεωρείται ότι η κατανάλωση πραγματοποιείται από δύο άτομα με ανάγκες για φωτισμό, ψύξη και τη λειτουργία ηλεκτρονικών συσκευών γραφείου. Ο τεχνητός φωτισμός αντιστοιχεί σε δύο λάμπες οικονομίας, οι ανάγκες για ψύξη

καλύπτονται με τη χρήση κλιματιστικού και οι λοιπές ηλεκτρονικές συσκευές του γραφείου αποτελούνται κυρίως από ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Οι ώρες λειτουργίας, και συνεπώς κατανάλωσης, αντιστοιχούν σε τυπικές ώρες γραφείου (9:00 πμ – 17:00 μμ). Εξαιρείται η περίπτωση του φωτισμού που οι ώρες κατανάλωσης αντιστοιχούν μόνο στις ώρες που ο φυσικός φωτισμός δεν επαρκεί. Δεν λαμβάνονται υπόψη ανάγκες για θέρμανση καθώς η υπό εξέταση μέρα ανήκει στη θερινή περίοδο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων που διεξήχθησαν καθώς και τα αποτελέσματα των υπολογισμών σε μορφή πινάκων και διαγραμμάτων.

### 4.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες ημέρες από τον Απρίλιο έως τον Ιούλιο του 2015. Κατά τη χρονική αυτή περίοδο πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για διάφορες ημέρες με στόχο να συμπεριληφθούν δεδομένα για ποικίλες καιρικές συνθήκες, κυρίως ως προς τη νεφοκάλυψη και τη θερμοκρασία. Οι ημέρες μετρήσεων χωρίστηκαν και παρουσιάζονται ως τρεις διαφορετικές ομάδες με βάση τις μετεωρολογικές συνθήκες.

Στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 4 - 6) περιλαμβάνονται οι μετρήσεις φωτισμού και θερμοκρασίας για συνολικά εννιά (9) ημέρες και χωρίζονται σε τρεις ομάδες, όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

Για κάθε ημέρα παρουσιάζονται οι μετρήσεις για διαφορετικές χρονικές στιγμές και ο χαρακτηρισμός των στιγμιαίων καιρικών συνθηκών. Δίνονται για κάθε είδος παραθύρου τα επίπεδα φωτισμού στις τρεις θέσεις μετρήσεων στη μακέτα (θέση 1=μπροστινό μέρος, θέση 2=κέντρο, θέση 3=πίσω μέρος), ο εξωτερικός φωτισμός και τέλος η θερμοκρασία στο εσωτερικό της μακέτας.

Πίνακας 4: Πειραματικά αποτελέσματα για ανοιξιάτικες ημέρες με ηλιοφάνεια.

ΟΜΑΔΑ 1								
Ανοιξιάτικες μέρες με ηλιοφάνεια								
29/4/2015, 30/4/2015, 11/5/2015								
29/4/2015	Ωρα	Καιρικές συνθήκες		Φωτισμός (LUX)				T
				1	2	3	Εξωτερικά	εσωτερική (°C)
	10.00	Ηλιοφάνεια	PV	735	568	342	55.000	23,1
			PLEXIGLAS	1.820	1.014	738		22,8
	12.00	Ηλιοφάνεια	PV	1.523	720	534	73.000	33,7
			PLEXIGLAS	2.930	1.685	1.088		34
	14.00	Ηλιοφάνεια	PV	2.180	890	622	76.000	33,4
			PLEXIGLAS	4.230	1.974	1.335		33,2
16.00	Ηλιοφάνεια	PV	1.858	846	541	60.000	31,7	
		PLEXIGLAS	3.760	1.685	1.320		31	
30/4/2015	ΩΡΑ	Καιρικές συνθήκες		Φωτισμός (LUX)				T
				1	2	3	Εξωτερικά	εσωτερική (°C)
	10.00	Ηλιοφάνεια	PV	821	534	365	58.300	24,8
			PLEXIGLAS	1.956	1.266	822		23,6
	12.00	Ηλιοφάνεια	PV	1.187	656	489	71.500	32,5
			PLEXIGLAS	2.840	1.522	1.024		33,4
	14.00	Ηλιοφάνεια	PV	2.070	1.020	653	73.000	34,5

			<b>PLEXIGLAS</b>	4.310	1.967	1.348		34,8
	16.00	Ηλιοφάνεια	<b>PV</b>	1.743	1.011	722	58.000	32,4
			<b>PLEXIGLAS</b>	3.450	2.148	1.560		32,5
11/5/2015	<b>ΩΡΑ</b>	<b>Καιρικές συνθήκες</b>		<b>Φωτισμός (LUX)</b>				<b>T</b>
				<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>Εξωτερικά</b>	<b>εσωτερική (°C)</b>
	10.00	Μερική ηλιοφάνεια	<b>PV</b>	1.126	682	438	58.000	24,3
			<b>PLEXIGLAS</b>	2.610	1.618	1.125		23,3
	12.00	Ηλιοφάνεια	<b>PV</b>	1.928	1.060	688	76.500	36,6
			<b>PLEXIGLAS</b>	3.740	2.040	1.390		36,8
	14.00	Ηλιοφάνεια	<b>PV</b>	2.150	945	677	76.000	36,6
			<b>PLEXIGLAS</b>	3.920	1.936	1.356		37
	16.00	Ηλιοφάνεια	<b>PV</b>	1.527	839	556	61.000	39,9
			<b>PLEXIGLAS</b>	3.260	1.678	1.180		39,7

Πίνακας 5: Πειραματικά αποτελέσματα για ανοιξιάτικες ημέρες με μερική ηλιοφάνεια.

ΟΜΑΔΑ 2								
Ανοιξιάτικες μέρες με μερική ηλιοφάνεια								
8/5/2015, 19/5/2015, 26/5/2015								
8/5/2015	ΩΡΑ	Καιρικές συνθήκες		Φωτισμός (LUX)				Τ εσωτερική (°C)
				1	2	3	Εξωτερικά	
	10.00	Νεφελώδης	PV	700	420	262	22.000	28,3
			PLEXIGLAS	1.615	905	680		26,6
	12.00	Μερική ηλιοφάνεια	PV	1.960	856	533	75.000	38,5
			PLEXIGLAS	3.960	1.940	1.210		38,7
	14.00	Ηλιοφάνεια	PV	2.340	1.152	727	72.600	40,8
			PLEXIGLAS	5.210	2.230	1.438		40,5
	16.00	Ηλιοφάνεια	PV	1.712	873	521	58.000	39,9
			PLEXIGLAS	3.450	1.675	1.142		39,7
19/5/2015	ΩΡΑ	Καιρικές συνθήκες		Φωτισμός (LUX)				Τ εσωτερική (°C)
				1	2	3	Εξωτερικά	
	10.00	Μερική ηλιοφάνεια	PV	660	324	195	18.000	22,9
			PLEXIGLAS	1.540	865	680		23
	12.00	Ηλιοφάνεια	PV	1.485	727	543	74.000	35,2
			PLEXIGLAS	3.110	15.88	1.167		36,1

	14.00	Ηλιοφάνεια	PV	2.740	1.149	734	77.000	37,3
			PLEXIGLAS	5.320	2.350	1.562		37,2
	16.00	Μερική ηλιοφάνεια	PV	1.143	568	346	55.000	37,2
PLEXIGLAS			2.370	1.314	805	37,1		
26/5/2015	ΩΡΑ	Καιρικές συνθήκες		Φωτισμός (LUX)				T  εσωτερική (°C)
				1	2	3	Εξωτερικά	
	10.00	Μερική ηλιοφάνεια	PV	1.120	645	422	54.500	23,8
			PLEXIGLAS	2.430	1.480	956		23,5
	12.00	Μερική ηλιοφάνεια	PV	1.860	880	577	71.500	37,8
			PLEXIGLAS	3.870	1.830	1210		37,9
	14.00	Νεφελώδης	PV	520	232	145	8.800	37,2
			PLEXIGLAS	1.130	640	323		37,4
	16.00	Μερική ηλιοφάνεια	PV	1.260	615	394	32.000	35,8
			PLEXIGLAS	2.630	1.370	876		36,1



Πίνακας 6: Πειραματικά αποτελέσματα για καλοκαιρινές ημέρες με ηλιοφάνεια.

ΟΜΑΔΑ 3								
Καλοκαιρινές μέρες με ηλιοφάνεια								
27/7/2015, 29/7/2015, 31/7/2015								
27/7/2015	ΩΡΑ	Καιρικές συνθήκες		Φωτισμός (LUX)				Τ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ (°C)
				1	2	3	Εξωτερικά	
	10.00	Ηλιοφάνεια	PV	804	536	398	50.300	29,2
			PLEXIGLAS	1.760	1.246	823		29,4
	12.00	Ηλιοφάνεια	PV	1.470	760	520	71.600	45,8
			PLEXIGLAS	2.790	1.580	1.065		46
	14.00	Ηλιοφάνεια	PV	1.640	785	534	72.100	45,9
			PLEXIGLAS	3.370	1.680	1.170		46,1
	16.00	Ηλιοφάνεια	PV	1.330	765	507	58.300	46
			PLEXIGLAS	2.890	1.670	1.090		46,2
29/7/2015	ΩΡΑ	Καιρικές συνθήκες		Φωτισμός (LUX)				Τ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ (°C)
				1	2	3	Εξωτερικά	
	10.00	Ηλιοφάνεια	PV	875	538	405	51.200	25,2
			PLEXIGLAS	1.790	1.210	832		25,5
12.00	Ηλιοφάνεια	PV	1.380	748	520	70.100	45,6	

			PLEXIGLAS	2.820	1.580	1.080		46
	14.00	Ηλιοφάνεια	PV	1.750	820	570	71.500	47,5
			PLEXIGLAS	3.400	1.740	1.182		48,1
	16.00	Ηλιοφάνεια	PV	1.450	780	560	58.100	47,2
			PLEXIGLAS	2.930	1.640	1.140		47,5
	31/7/2015	ΩΡΑ	Καιρικές συνθήκες		Φωτισμός (LUX )			
1					2	3	Εξωτερικά	
10.00		Ηλιοφάνεια	PV	830	545	410	50.700	28,2
			PLEXIGLAS	1.780	1.172	874		28,7
12.00		Ηλιοφάνεια	PV	1.370	748	520	71.100	46,4
			PLEXIGLAS	2.780	1.580	1.080		46,6
14.00		Ηλιοφάνεια	PV	1.750	820	560	71.900	47,9
			PLEXIGLAS	3.400	1.740	1.182		48,1
16.00		Ηλιοφάνεια	PV	1.422	755	528	58.000	47,2
			PLEXIGLAS	2.910	1.660	1.080		47,4

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ο Πίνακας 7 με τα μετεωρολογικά δεδομένα για τις συγκεκριμένες χρονικές στιγμές μετρήσεων. Περιλαμβάνονται οι τιμές θερμοκρασίας περιβάλλοντος, υγρασίας, ανέμου και ηλιακής ακτινοβολίας στο

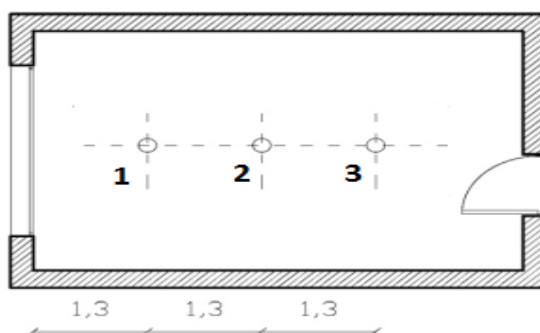
οριζόντιο επίπεδο. Τα δεδομένα αυτά προέρχονται από τον μετεωρολογικό σταθμό του Εργαστηρίου Ατμοσφαιρικών Αιωρούμενων Σωματιδίων ,της Σχολής Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης και αφορούν την υπό εξέταση περιοχή.

Πίνακας 7: Μετεωρολογικά δεδομένα των ημερών μετρήσεων.

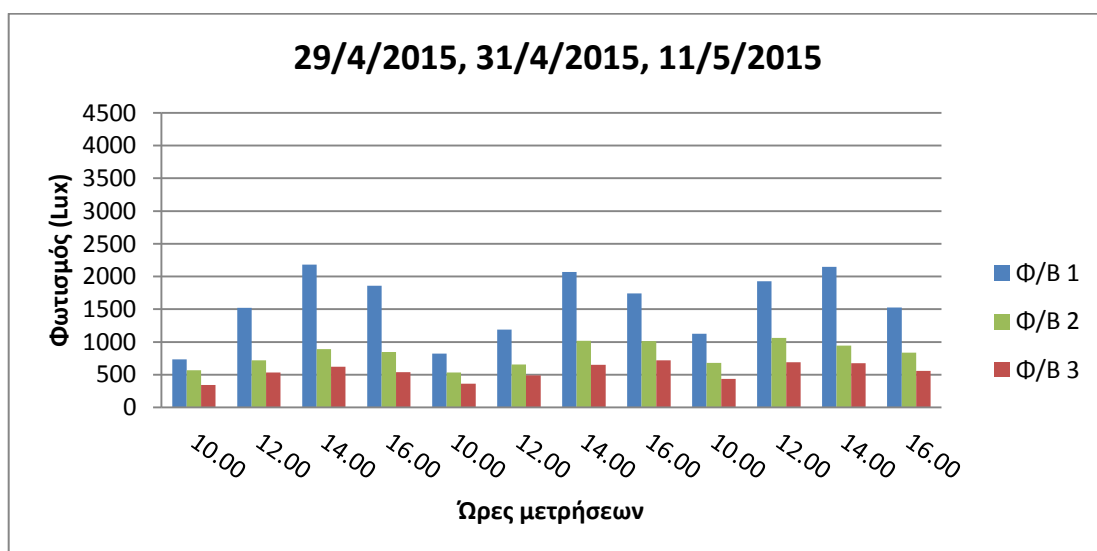
Ημερομηνία	Ώρα	Θερμοκρασία Περιβάλλοντος (C°)	Υγρασία (%)	Άνεμος (km/h)	Ηλιακή Ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο (W/m <sup>2</sup> )
29/4/2015	10.00	20,2	63	19,3	645
	12.00	22,3	61	8,0	861
	14.00	22,2	64	22,5	907
	16.00	21,4	66	27,4	745
30/4/2015	10.00	21,1	68	12,9	656
	12.00	22,8	56	8	856
	14.00	23,6	58	12,9	896
	16.00	22,1	64	19,3	737
11/5/2015	10.00	21,2	56	12,9	638
	12.00	23,4	51	11,3	878
	14.00	23,3	51	12,9	904
	16.00	23	54	11,3	724
8/5/2015	10.00	22	79	14,5	384
	12.00	24,2	68	11,3	828
	14.00	26,2	58	9,7	868
	16.00	26,3	54	8,0	701
19/5/2015	10.00	20,9	79	8,0	561
	12.00	23,6	67	9,7	834
	14.00	24,3	70	11,3	867

	16.00	23,4	69	8,0	603
26/5/2015	10.00	24,6	44	6,4	602
	12.00	26,2	41	6,4	811
	14.00	24,4	48	6,4	90
	16.00	22,5	63	9,7	375
27/7/2015	10.00	30,9	48	4,8	578
	12.00	33,4	45	8,0	806
	14.00	34,0	42	9,7	863
	16.00	33,2	42	8,0	715
29/7/2015	10.00	30,2	61	8,0	569
	12.00	33,3	47	8,0	795
	14.00	34,4	47	8,0	859
	16.00	32,3	64	8,0	719
31/7/2015	10.00	34,1	45	8,0	564
	12.00	36,4	37	6,4	788
	14.00	37,1	41	9,7	844
	16.00	35,4	50	11,3	699

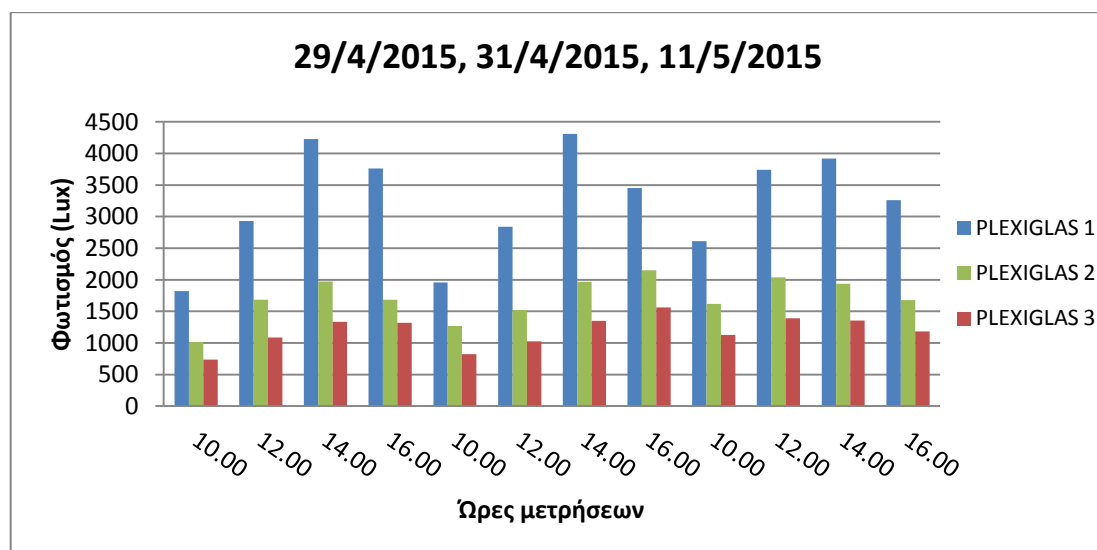
Στη συνέχεια ακολουθούν διαγράμματα με τη διακύμανση των επιπέδων φωτισμού στις διαφορετικές θέσεις στο εσωτερικό του χώρου σε σχέση με την απόσταση από το άνοιγμα, όπως παρουσιάζεται στη κάτοψη του μοντέλου παρακάτω (1=μπροστινό μέρος, 2=κέντρο, 3= πίσω μέρος) αλλά και τη χρονική στιγμή της ημέρας για κάθε μία από τις ομάδες ημερών και για κάθε είδος υαλοπίνακα αντίστοιχα (Διαγράμματα 1- 6).



Διάγραμμα 1: Επίπεδα φωτισμού στις διαφορετικές θέσεις για ανοιξιάτικες ημέρες με ηλιοφάνεια για το Φ/Β υαλοπίνακα.

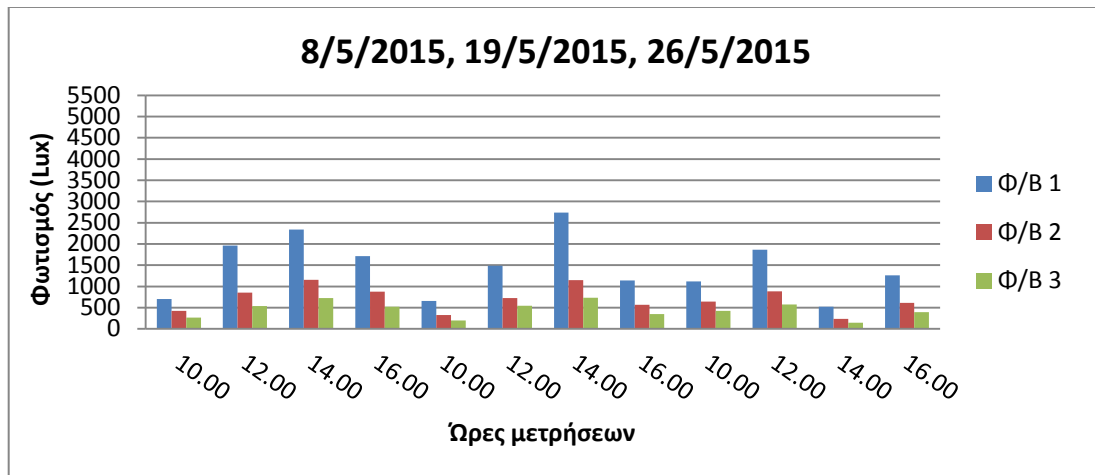


Διάγραμμα 2: Επίπεδα φωτισμού σε διαφορετικές θέσεις για ανοιξιάτικες ημέρες με ηλιοφάνεια για το Plexiglas.

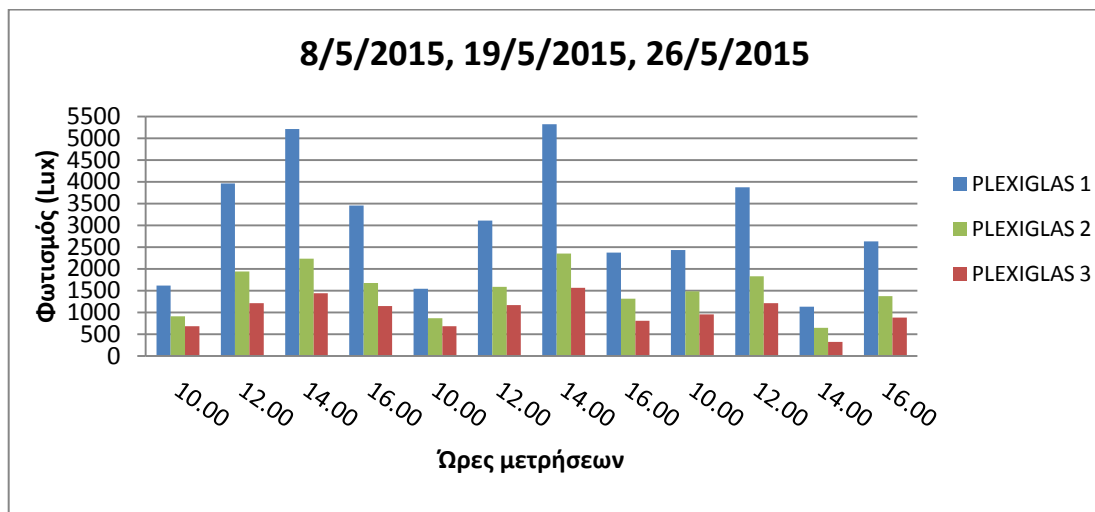


Και στις δύο περιπτώσεις, οι μέγιστες τιμές φωτισμού παρατηρούνται στις 14.00 μμ και οι ελάχιστες στις 10.00 πμ για τις ανοιξιάτικες μέρες με ηλιοφάνεια.

Διάγραμμα 3: Επίπεδα φωτισμού σε διαφορετικές θέσεις για ανοιξιάτικες ημέρες με μερική ηλιοφάνεια για το Φ/Β υαλοπίνακα.

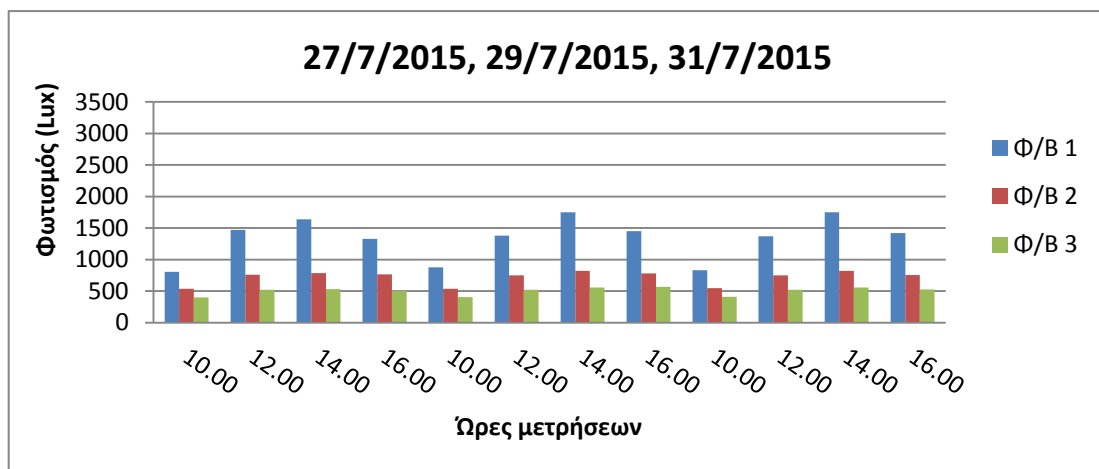


Διάγραμμα 4: Επίπεδα φωτισμού στις διαφορετικές θέσεις για ανοιξιάτικες ημέρες με μερική ηλιοφάνεια για το Plexiglas.

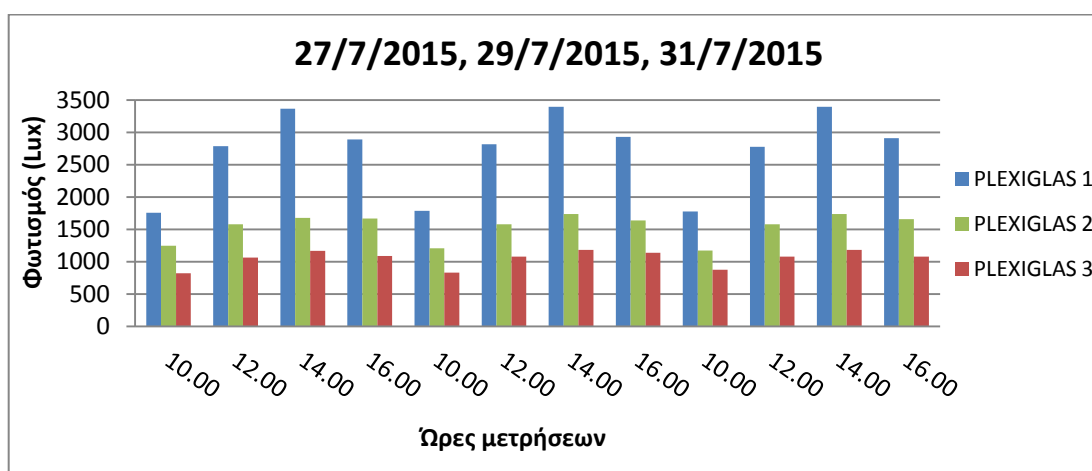


Στην ομάδα 2, για τις μέρες με μερική συννεφιά, οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές φωτισμού της κάθε μέρας δεν αντιστοιχούν πάντα στις ίδιες ώρες μετρήσεων.

**Διάγραμμα 5:** Επίπεδα φωτισμού σε διαφορετικές θέσεις για καλοκαιρινές ημέρες με ηλιοφάνεια για το Φ/Β υαλοπίνακα.



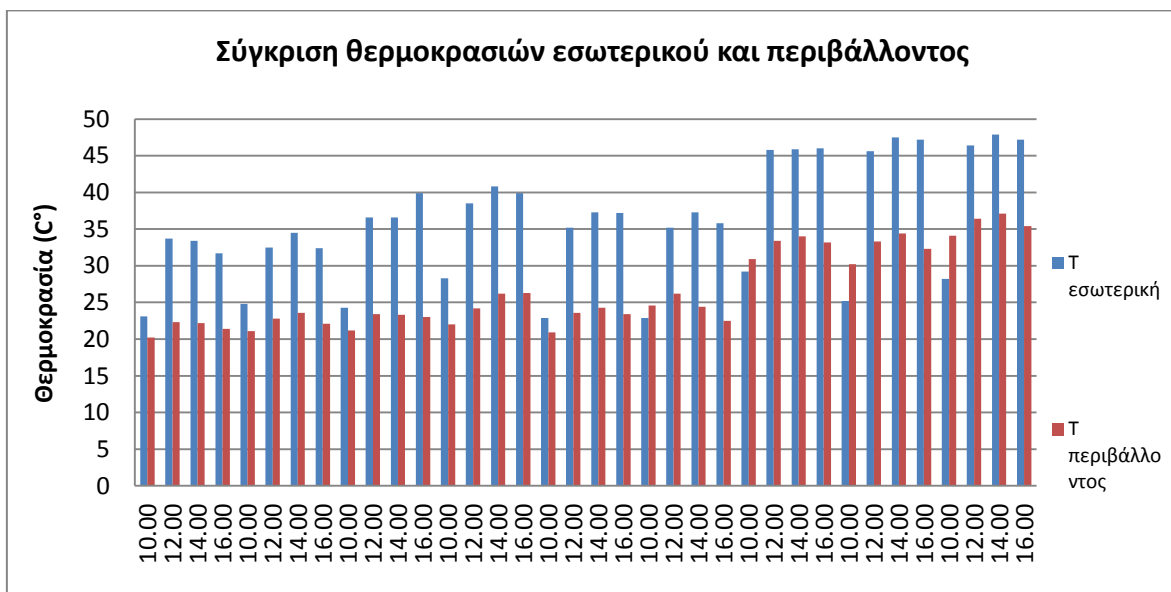
**Διάγραμμα 6:** Επίπεδα φωτισμού στις διαφορετικές θέσεις για καλοκαιρινές ημέρες με ηλιοφάνεια για το Plexiglas.



Αντίστοιχα όπως και στην ομάδα 1, οι μέγιστες τιμές φωτισμού παρατηρούνται στις 14.00 μμ και οι ελάχιστες στις 10.00 πμ για τις καλοκαιρινές μέρες με ηλιοφάνεια και για τα δύο είδη υαλοπινάκων.

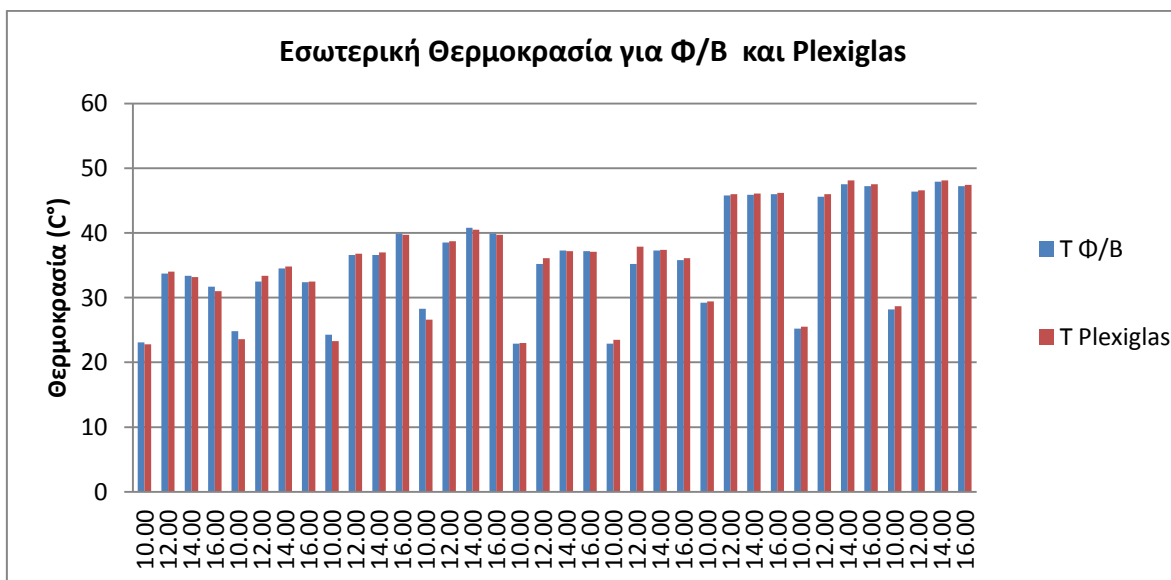
Στη συνέχεια στο Διάγραμμα 7 παρουσιάζονται οι τιμές θερμοκρασίας στο εσωτερικό κατά την εφαρμογή του Φ/Β υαλοπίνακα στο μοντέλο σε σύγκριση με τις τιμές θερμοκρασίας περιβάλλοντος ενώ στο Διάγραμμα 8 παρουσιάζεται η εσωτερική θερμοκρασία κατά τη χρήση των δύο διαφορετικών υαλοπινάκων για τις διάφορες ώρες μετρήσεων.

Διάγραμμα 7: Σύγκριση θερμοκρασίας στο εσωτερικό και στο περιβάλλον για το Φ/Β υαλοπίνακα.



Παρατηρείται ότι για τις περισσότερες μετρήσεις η εσωτερική θερμοκρασία ξεπερνά την εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Διάγραμμα 8: Η θερμοκρασία στο εσωτερικό για το Φ/Β υαλοπίνακα και το Plexiglas.



Οι τιμές είναι πολύ κοντινές και παρουσιάζουν μέγιστες και ελάχιστες τιμές στις ίδιες ώρες μετρήσεων.



## 4.2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το θεωρητικό μέρος της μεθοδολογίας έχουν ως στόχο να δώσουν προσεγγιστικές τιμές για την παραγόμενη ισχύ του Φ/Β υαλοπίνακα στις συγκεκριμένες κλιματικές συνθήκες της περιοχής και κυρίως κατά την τοποθέτησή του σε κάθετο επίπεδο με Νότιο προσανατολισμό. Αρχικά παρουσιάζεται στον Πίνακα 8 η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στο κάθετο επίπεδο σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές.

Πίνακας 8: Στιγμαίεις τιμές της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στην κάθετη επιφάνεια.

Πυκνότητα Ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας στην κάθετη επιφάνεια $I_T$ (W/m <sup>2</sup> )				
Ωρα	29/4/2015	30/4/2015	11/5/2015	
10.00	875,58	862,48	797,48	
12.00	813,54	798,76	742,50	
14.00	454,90	451,53	400,45	
16.00	29,41	37,51	60,62	
	8/5/2015	19/5/2015	26/5/2015	
10.00	819,87	772,61	458,23	
12.00	763,26	669,45	551,61	
14.00	431,05	329,52	468,47	
16.00	33,88	31,84	249,30	
	27/7/2015	29/7/2015	31/7/2015	
10.00	776,61	778,64	719,15	
12.00	693,24	695,96	658,98	
14.00	359,94	362,41	366,00	
16.00	23,49	25,76	10,15	

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της πυκνότητας ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας στην κάθετη επιφάνεια οι μέγιστες τιμές παρουσιάζονται στις 10.00πμ και οι ελάχιστες στις 16.00μμ. ακολουθώντας κατά τη διάρκεια αυτών των ωρών μειωτική τάση. Εξαίρεση αποτελεί μόνο μία μέρα, 26/5/2015 όπου μέγιστη τιμή παρουσιάζεται στις 12.00 και ελάχιστη στις 16.00μμ.

Στον Πίνακα 9 παρουσιάζονται οι τιμές των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών του Φ/Β υαλοπίνακα που προκύπτουν από τις θεωρητικές σχέσεις που αναλύθηκαν στο Κεφάλαιο 3. Περιλαμβάνονται οι τιμές για τη θερμοκρασία κυψελίδας, το ηλεκτρικό ρεύμα, την ηλεκτρική τάση, την παραγόμενη ισχύ και τέλος την απόδοση του πλαισίου για το υπό εξέταση χρονικό διάστημα και την τοποθέτηση σε κάθετο επίπεδο.

Για τους υπολογισμούς, χρησιμοποιήθηκε η θερμοκρασία περιβάλλοντος όπως δίνεται στα μετεωρολογικά δεδομένα (Πίνακας 7) και η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στην κάθετη επιφάνεια όπως παρουσιάζεται παραπάνω (Πίνακας 8). Οι υπολογισμοί αφορούν ένα τυπικό πλαίσιο της εταιρίας με ενεργή επιφάνεια  $1\text{m}^2$ .

Πίνακας 9: Θεωρητικές τιμές των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών του Φ/Β υαλοπίνακα.

Ημερομηνία	Ώρα	Θερμοκρασία Κυψελίδας $\theta_c$ (C°)	Ηλεκτρικό ρεύμα $I_m$ (A)	Ηλεκτρική τάση $V_m$ (V)	Ηλεκτρική Ισχύς $P_m$ (W)	Απόδοση $\eta_m$ (%)
29/4/2015	10.00	34,47	1,53	34,54	51,61	5,89
	12.00	33,00	1,43	34,52	48,21	5,93
	14.00	24,67	0,72	34,87	24,76	5,44
	16.00	21,61	0,04	35,31	1,42	4,83
30/4/2015	10.00	27,88	1,52	34,52	51,11	5,93
	12.00	27,07	1,41	34,51	47,39	5,93
	14.00	27,51	0,73	34,82	24,90	5,51
	16.00	26,29	0,05	35,28	1,83	4,88
11/5/2015	10.00	30,42	1,38	34,58	46,61	5,84
	12.00	30,45	1,30	34,54	43,74	5,89
	14.00	27,28	0,63	34,88	21,75	5,43
	16.00	25,95	0,09	35,22	3,01	4,96
8/5/2015	10.00	25,16	1,44	34,53	48,52	5,92
	12.00	32,11	1,35	34,49	45,50	5,96
	14.00	29,32	0,71	34,74	24,26	5,63
	16.00	26,68	0,05	35,12	1,73	5,11
19/5/2015	10.00	32,96	1,32	34,61	44,77	5,80
	12.00	28,72	1,15	34,61	38,86	5,80
	14.00	29,65	0,52	34,91	17,76	5,39
	16.00	30,13	0,04	35,23	1,57	4,95
26/5/2015	10.00	37,69	0,75	34,77	25,56	5,58
	12.00	36,56	0,94	34,62	31,93	5,79
	14.00	31,52	0,77	34,77	26,14	5,58
	16.00	22,81	0,37	35,06	12,93	5,19
27/7/2015	10.00	37,59	1,48	34,22	49,26	6,34
	12.00	39,51	1,33	34,20	44,14	6,37
	14.00	37,79	0,64	34,50	21,44	5,96
	16.00	37,15	0,04	34,85	1,28	5,47
29/7/2015	10.00	34,19	1,48	34,24	49,11	6,31
	12.00	39,64	1,33	34,20	44,30	6,37
	14.00	37,33	0,64	34,48	21,68	5,98
	16.00	36,91	0,04	34,89	1,40	5,42
31/7/2015	10.00	36,85	1,40	34,15	46,31	6,44
	12.00	41,33	1,29	34,11	42,73	6,48
	14.00	43,12	0,67	34,37	22,44	6,13
	16.00	41,77	0,02	34,78	0,56	5,57

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στη συνέχεια ακολουθεί σχολιασμός των αποτελεσμάτων που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

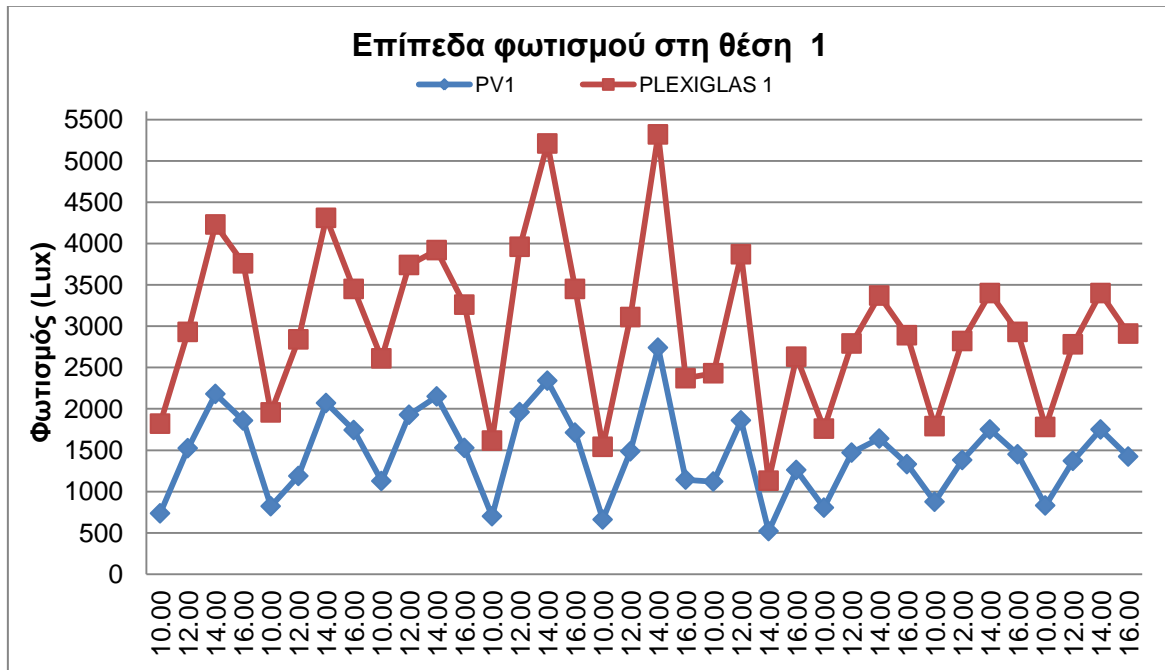
Με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων έντασης φωτισμού και τα Διαγράμματα 1- 6 που παρουσιάστηκαν παραπάνω, για τις ομάδες ημερών 1 και 3 που αντιστοιχούν σε ημέρες με ηλιοφάνεια τα επίπεδα φωτισμού παρουσιάζουν μέγιστες και ελάχιστες τιμές έντασης φωτισμού στις ίδιες ώρες για κάθε μέρα. Συγκεκριμένα, μέγιστες τιμές παρουσιάζονται στις 14.00 μμ, ακολουθούν οι τιμές στις 16.00 μμ και στις 12.00 μμ ενώ οι χαμηλότερες τιμές φωτισμού παρουσιάζονται στις 10.00 πμ. Αυτό το μοτίβο δεν ακολουθείται από την ομάδα 2 για τις ανοιξιάτικες μέρες με συννεφιά καθώς η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή κάθε μέρας διαφέρει. Αυτό είναι λογικό γιατί πρόκειται για ημέρες με συννεφιά, που όμως παρουσιάζεται σε διαφορετικές ώρες της κάθε ημέρας επηρεάζοντας αντίστοιχα τον φωτισμό.

Να σημειωθεί ακόμα ότι σε όλες τις μετρήσεις και στις δύο περιπτώσεις υαλοπινάκων, η μπροστινή θέση 1 παρουσίαζε μεγαλύτερη ένταση φωτισμού από τη θέση 2 στη μέση και αντίστοιχα η θέση 2 μεγαλύτερες τιμές από τη πίσω θέση 3. Όπως είναι λογικό η ένταση του φωτισμού μειώνεται με την απομάκρυνση από τη θέση παραθύρου.

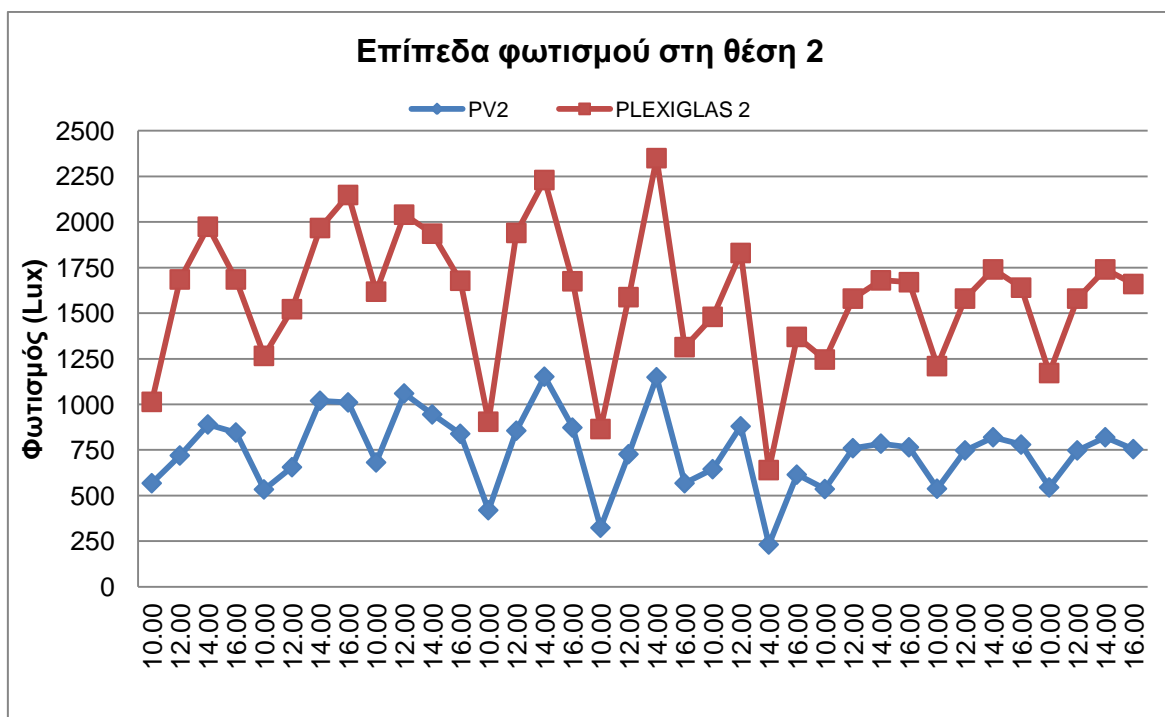
Επίσης, γίνεται εμφανές ότι τα επίπεδα φωτισμού κατά την τοποθέτηση του Φ/Β υαλοπίνακα είναι χαμηλότερα από τα επίπεδα φωτισμού με το Plexiglas σε όλες τις περιπτώσεις μετρήσεων. Στα Διαγράμματα 9 έως 11 συγκρίνονται τα επίπεδα φωτισμού που προκύπτουν κατά τη χρήση των δυο διαφορετικών υαλοπινάκων

για κάθε μία από τις θέσεις εσωτερικά και περιλαμβάνεται το σύνολο των μετρήσεων όλων των ημερών.

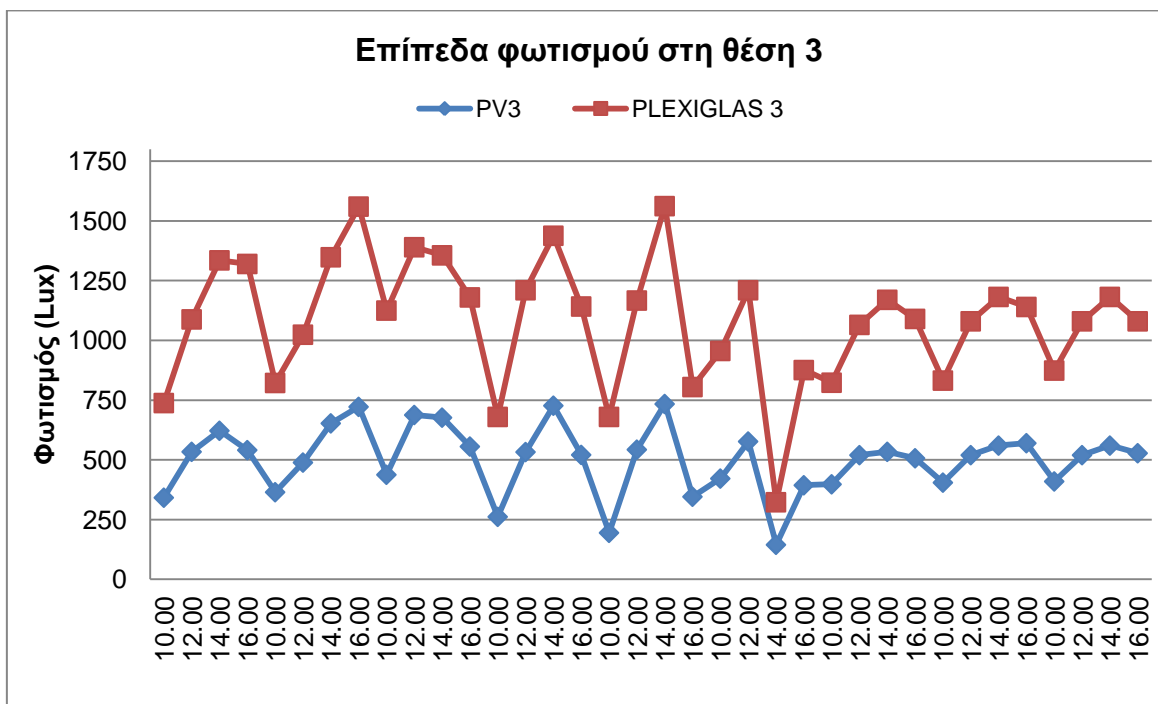
Διάγραμμα 9: Σύγκριση επιπέδων φωτισμού για τη μπροστινή θέση 1 κοντά στο άνοιγμα.



Διάγραμμα 10: Σύγκριση επιπέδων φωτισμού για τη μεσαία θέση 2



Διάγραμμα 11: Σύγκριση επιπέδων φωτισμού του για την πίσω θέση 3 μακριά από το άνοιγμα.



Και στις τρεις θέσεις σε βάθος του μοντέλου παρατηρούμε ότι τα επίπεδα φωτισμού κατά τη χρήση του Φ/Β ημιπερατού υαλοπίνακα είναι σχεδόν τα μισά από τα επίπεδα φωτισμού που προκύπτουν από τη χρήση Plexiglas σε όλες τις μετρήσεις. Αυτό είναι ενδιαφέρον καθώς, όπως προαναφέρθηκε, τα ποσοστά διαπερατότητας των δύο υαλοπινάκων είναι 70% και 92% αντίστοιχα. Παρόλο δηλαδή που η διαφορά στα ποσοστά διαπερατότητας βρίσκεται στο 22%, η διαφορά στα επίπεδα φωτισμού στον εσωτερικό χώρο είναι σχεδόν 50% καθ' όλο το μήκος της μακέτας. Αυτό συνεπάγεται ότι ο Φ/Β υαλοπίνακας προσφέρει διπλάσια σκίαση σε σύγκριση με το συμβατικό.

Οι συνήθεις απαιτήσεις φωτισμού για χώρους που χρησιμοποιούνται ως γραφεία είναι τουλάχιστον 500 Lux. Οι τιμές φωτισμού που δίνει το Plexiglas δεν πέφτουν κάτω από αυτή τη στάθμη με εξαίρεση μία περίπτωση, στις 26/5/2015 και ώρα

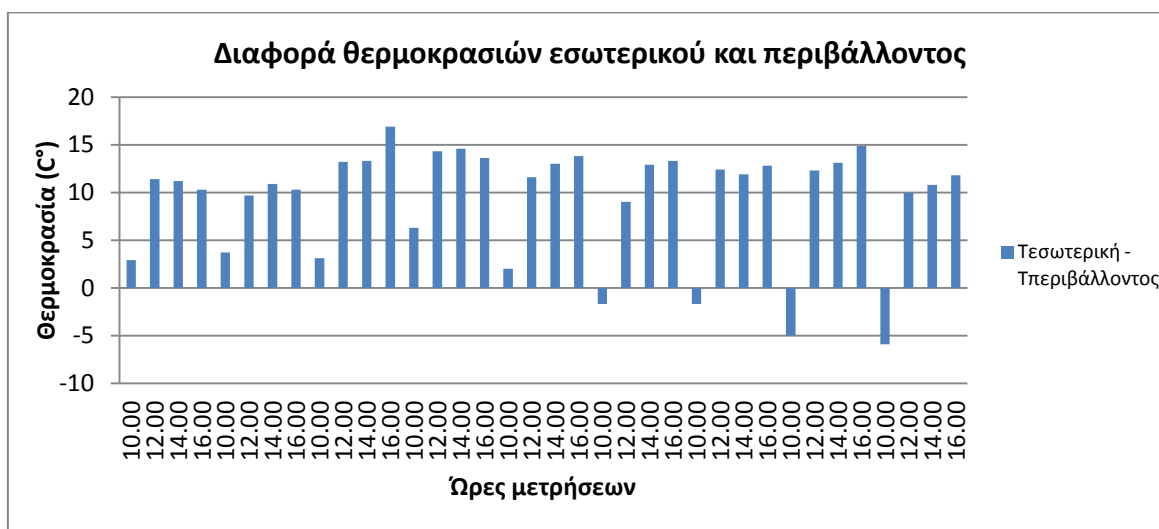
14.00 στη θέση 3. Αντιστοιχεί σε μέτρηση υπό συννεφιά και στη θέση που είναι η πιο μακρινή από το παράθυρο.

Αντίθετα, ο Φ/Β υαλοπίνακας προσφέρει τον απαιτούμενο φωτισμό για όλες τις περιπτώσεις μόνο στη θέση 1 στο μπροστινό μέρος. Στη θέση 2 τα επίπεδα φωτισμού πέφτουν κάτω από τη στάθμη μόνο για τη 2<sup>η</sup> ομάδα ημερών, όπου υπάρχουν περιπτώσεις συννεφιάς. Το ίδιο συμβαίνει και στη θέση 3 μακριά από το άνοιγμα, δηλαδή σε μέρες με συννεφιά (Ομάδα 2) δεν επαρκεί ο φωτισμός ενώ χαμηλά επίπεδα παρατηρούνται και σε μέρες με ηλιοφάνεια (Ομάδα 2 και 3 ) αλλά μόνο για τις πρωινές ώρες (10.00 πμ). Σε περίπτωση που ο φυσικός φωτισμός δεν επαρκεί θα πρέπει να συμπληρώνεται από τεχνητό φωτισμό.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα μετρήσεων της θερμοκρασίας, οι τιμές στο εσωτερικό της μακέτας κατά τη χρήση του Φ/Β υαλοπίνακα είναι πολύ κοντινές με τις τιμές θερμοκρασίας κατά τη χρήση του Plexiglas. Αυτό οφείλεται στη μεθοδολογία και στον τρόπο διεξαγωγής των μετρήσεων, καθώς το Plexiglas τοποθετούνταν για πολύ μικρό χρονικό διάστημα ενώ το περισσότερο χρονικό διάστημα παρέμενε στη μακέτα ο Φ/Β υαλοπίνακας. Για το λόγο αυτό σε περαιτέρω επεξεργασία θα χρησιμοποιηθούν μόνο οι τιμές εσωτερικής θερμοκρασίας κατά τη χρήση του Φ/β υαλοπίνακα.

Στο Διάγραμμα 12 παρουσιάζεται η διαφορά θερμοκρασίας στο εσωτερικό της μακέτας και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος.

Διάγραμμα 12: Διαφορά της θερμοκρασίας στον εσωτερικό χώρο και στο περιβάλλον για το Φ/Β υαλοπίνακα.



Όπως προκύπτει και από το διάγραμμα, η διαφορά θερμοκρασίας κυμαίνεται από  $-5,9^{\circ}\text{C}$  έως  $16,9^{\circ}\text{C}$ . Οι μέγιστες τιμές παρατηρούνται κυρίως στις ώρες 14.00 μμ και 16.00 μμ. ενώ οι ελάχιστες στις 10.00 πμ. Για τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στις 10.00 πμ παρατηρείται ότι σε όλες τις περιπτώσεις η διαφορά είναι κατά πολύ μικρότερη σε σύγκριση με τις άλλες ώρες μετρήσεων. Στην συγκεκριμένη περίπτωση η διαφορά θερμοκρασίας ανήκει στο διάστημα  $-5,9^{\circ}\text{C}$  έως  $6,3^{\circ}\text{C}$  ενώ οι υπόλοιπες ώρες παρουσιάζουν διαφορά θερμοκρασίας από  $9^{\circ}\text{C}$  έως  $16,9^{\circ}\text{C}$ .

Ο λόγος που προκύπτει αυτή η απόκλιση είναι ότι στις 10.00 πμ λαμβανόταν η πρώτη μέτρηση θερμοκρασίας στο εσωτερικό λίγο μετά την τοποθέτηση της μακέτας στον εξωτερικό χώρο. Αντίθετα, οι υπόλοιπες τιμές λαμβάνονταν κάθε δύο ώρες ενώ το σύστημα ήταν ήδη εκτεθειμένο όλο αυτό το διάστημα στις περιβαλλοντικές συνθήκες και η θερμοκρασία στο εσωτερικό είχε σταθεροποιηθεί.

Με βάση αυτό το συλλογισμό εξετάστηκε η πιθανή συσχέτιση μεταξύ της εσωτερικής θερμοκρασίας για το διάστημα 12.00 μμ με 16.00 μμ με τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Η ανάλυση δεδομένων έγινε με βάση το μοντέλο της



γραμμικής παλινδρόμησης με χρήση του προγράμματος Excel. Εξαρτώμενη μεταβλητή αποτέλεσε η εσωτερική θερμοκρασία ενώ ως ανεξάρτητες μεταβλητές εξετάστηκαν η θερμοκρασία περιβάλλοντος, η υγρασία, η ταχύτητα ανέμου και η ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο. Οι δοκιμές έδειξαν ότι η ηλιακή ακτινοβολία είχε αμελητέα συσχέτιση και τελικά προέκυψε η παρακάτω σχέση με βάση τις υπόλοιπες μεταβλητές:

$$T_{ins} = 10.561 + 0.922 \cdot T_{out} + 0.004 \cdot (H \cdot T_{out}) - 0.006 \cdot (W \cdot T_{out})$$

όπου,

$T_{ins}$ : η θερμοκρασία στο εσωτερικό (°C)

$T_{out}$ : η θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)

H: η υγρασία (%)

W: η ταχύτητα του ανέμου (km/h)

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα στατιστικά της συσχέτισης.

**Πίνακας 10: Στατιστικά παλινδρόμησης.**

Στατιστικά παλινδρόμησης	
Πολλαπλό R	0,958617
R Τετράγωνο	0,918946
Προσαρμοσμένο R Τετράγωνο	0,908374
Τυπικό σφάλμα	1,681531
Μέγεθος δείγματος	27

Πίνακας 11: Ανάλυση διακύμανσης.

Ανάλυση Διακύμανσης					
	βαθμοί ελευθερίας	SS	MS	F	Σημαντικότητα F
Παλινδρόμηση	3	737,3131	245,771	86,92029	1,07E-12
Υπόλοιπο	23	65,03354	2,827545		
Σύνολο	26	802,3467			

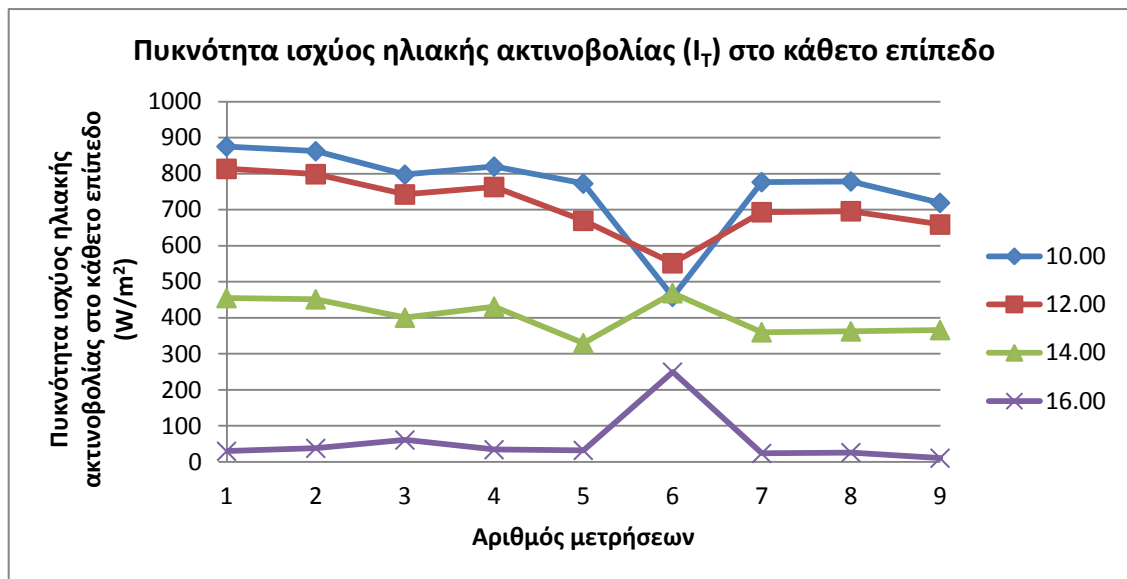
Πίνακας 12: Αποτελέσματα γραμμικού μοντέλου παλινδρόμησης.

	Συντελεστές	Τυπικό σφάλμα	t	τιμή-P	Κατώτερο 95%	Υψηλότερο 95%
Τεταγμένη επί την αρχή	10,561	2,545	4,149	0,000388	5,296	15,827
T <sub>out</sub>	0,922	0,066	13,899	1,12E-12	0,785	1,059
H · T <sub>out</sub>	0,004	0,002	2,184	0,039352	0,0002	0,007
W · T <sub>out</sub>	-0,006	0,003	-1,678	0,106831	-0,013	0,001

Το  $R^2$  της συσχέτισης ( $R^2 = 0,918$ ) υποδεικνύει ότι η σχέση καλύπτει σχεδόν το σύνολο των εξεταζόμενων τιμών της εσωτερικής θερμοκρασίας. Η μεταβλητή με τη μεγαλύτερη συσχέτιση ( $t = 13,89$ ) είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος ενώ καλή συσχέτιση παρουσιάζει και το μέγεθος υγρασία επί θερμοκρασία περιβάλλοντος ( $t = 2,18 > 1,96$ ). Μέτρια συσχέτιση παρουσιάζει η μεταβλητή ταχύτητα ανέμου επί θερμοκρασία περιβάλλοντος ( $t = |-1,68| < 1,96$ ).

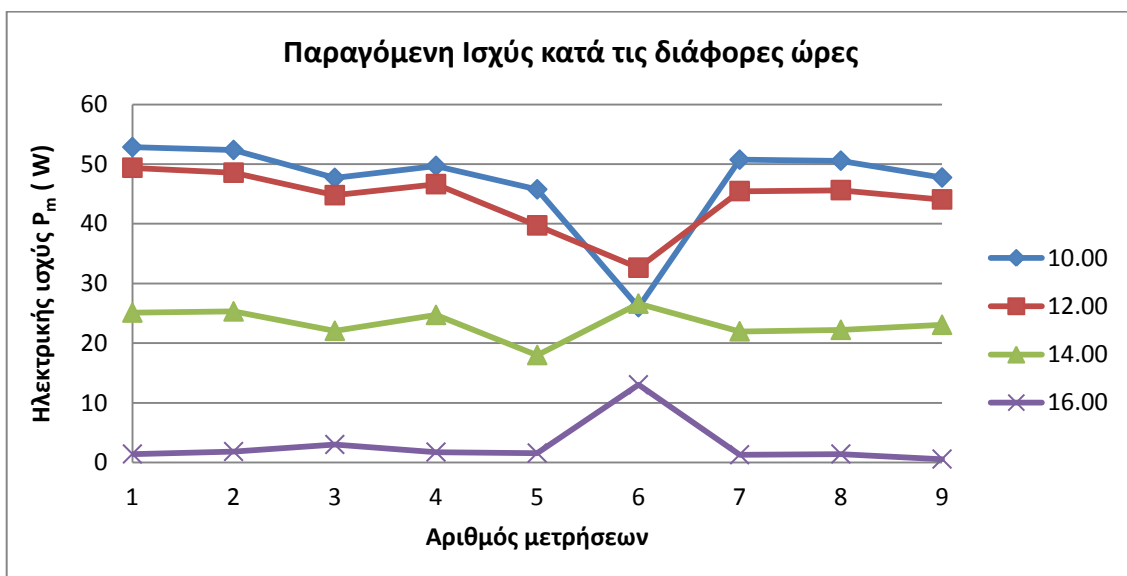
Στα θεωρητικά αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 8 με τις τιμές της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας στο κάθετο επίπεδο της πρόσοψης παρατηρείται μία μειωτική τάση στο διάστημα 10.00 πμ με 16.00 μμ. Λαμβάνοντας υπόψη την κίνηση του ήλιου κατά το εαρινό ηλιοστάσιο και την τοποθέτηση του Φ/Β υαλοπίνακα σε κάθετο επίπεδο με νότιο προσανατολισμό, οι τιμές που προκύπτουν είναι σε λογικά πλαίσια.

Διάγραμμα 13: Η πυκνότητα ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας ( $I_T$ ) στο κάθετο επίπεδο για τις ώρες 10.00, 12.00 14.00 και 16.00 των ημερών μέτρησης.



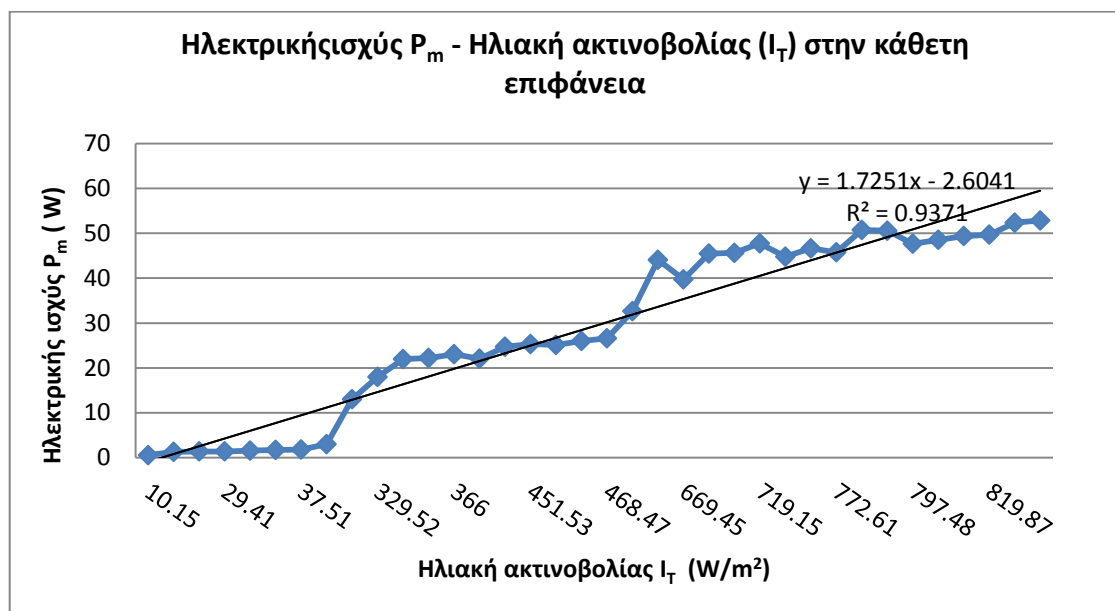
Αντίστοιχες τάσεις παρουσιάζει και η υπολογισμένη ηλεκτρική ισχύς όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 14.

Διάγραμμα 14: Η παραγόμενη ισχύς του Φ/Β υαλοπίνακα για τις ώρες 10.00, 12.00 14.00 και 16.00 των ημερών μέτρησης.



Στο Διάγραμμα 15 απεικονίζεται η εξάρτηση της υπολογισμένης ηλεκτρικής ισχύος από την υπολογισμένη πυκνότητα ισχύος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στην κάθετη επιφάνεια.

Διάγραμμα 15: Εξάρτηση της ηλεκτρικής ισχύος  $P_m$  από την πυκνότητα ισχύος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας ( $I_T$ ) για κάθετη επιφάνεια.



Η ισχύς είναι ανάλογη με την πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας γεγονός που επιβεβαιώνει θετικά τους υπολογισμούς και τη μεθοδολογία.

Στη συνέχεια, ακολουθεί μία προσεγγιστική εκτίμηση του ποσοστού κάλυψης των ενεργειακών αναγκών ενός γραφείου από την παραγωγή του Φ/Β υαλοπίνακα για μία τυπική καλοκαιρινή μέρα υπό τις εξεταζόμενες συνθήκες. Ως τυπική μέρα εξέτασης επιλέχθηκε η 29/7/2015 και υπολογίστηκε η συνολική παραγόμενη ισχύς από ένα ημιπερατό Φ/Β υαλοπίνακα για τη μέρα αυτή είναι ίση με 0,32 kWh/ημέρα, δηλαδή για όσο διάστημα η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στη κάθετη επιφάνεια (Παράρτημα). Η εκτίμηση έγινε με βάση την προαναφερθείσα μεθοδολογία για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας στο κάθετο επίπεδο και τον υπολογισμό της παραγόμενης ισχύος. Το υπό εξέταση γραφείο έχει επιφάνεια

18,36m<sup>2</sup> και ύψος 2,9m. Η επιφάνεια του παραθύρου αντιστοιχεί σε 4 Φ/Β υαλοπίνακες. Συνεπώς προκύπτει:

- Παραγόμενη ενέργεια = 4 \* 0,32 kWh/ ημέρα = 1,28 kWh/ ημέρα

Για την ενεργειακή κατανάλωση του γραφείου την ίδια μέρα, εξετάστηκαν δύο σενάρια: Α) Η ενεργειακή κατανάλωση για τον απαιτούμενο τεχνητό φωτισμό στις περιπτώσεις μη επαρκούς φυσικού φωτισμού και Β) συνολική ενεργειακή κατανάλωση της μονάδας γραφείου (φωτισμός, εξοπλισμός γραφείου, κλιματισμός).

Συγκεκριμένα, η εκτιμώμενη κατανάλωση για:

- Φωτισμό: 2 λάμπες οικονομίας 30W ώστε να συμπληρώσουν τις απαιτήσεις σε φωτισμό για τις πρωινές ώρες (9.00-12.00), καθώς με βάση τις μετρήσεις της ημέρας τα επίπεδα φωτισμού στο βάθος του χώρου πριν τις 12.00 δεν επαρκούν (405 lux).

Άρα, κατανάλωση φωτισμού = 2 \* 30Watts\* 3h = 180 Wh = 0,180 kWh

- Εξοπλισμό γραφείου: Δύο υπάλληλοι για 8 ώρες με κατανάλωση κυρίως για χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Άρα, κατανάλωση εξοπλισμού γραφείου = 2 \* 1790 Wh= 3580 Wh =3,58 kWh

- Κλιματισμό: Με βάση ενδεικτικούς οδηγούς αγοράς, ένας χώρος με επιφάνεια περίπου 18m<sup>2</sup>, όπως το υπό μελέτη γραφείο, απαιτεί κλιματιστικό 7000 Btu= 2051,5 W.

Άρα, κατανάλωση κλιματισμού = 2051,5W \* 8h = 16412 Wh = 16,4 kWh

Με αυτά τα δεδομένα προκύπτει ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 13).

Πίνακας 13: Ποσοστό κάλυψης της καταναλωμένης ενέργειας από την παραγόμενη.

Παραγόμενη ενέργεια	Κατανάλωση ενέργειας της μονάδας γραφείου	Ποσοστό κάλυψης απαιτήσεων ενέργειας
1,28 kWh/ ημέρα	Ενεργειακή κατανάλωση για τεχνητό φωτισμό	0,180 kWh / ημέρα <b>140%</b>
	Συνολική ενεργειακή κατανάλωση	20,16 kWh/ ημέρα <b>6.3 %</b>

Είναι εμφανές ότι στην περίπτωση ενός γραφείου με υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις, το ποσοστό κάλυψης των συνολικών αναγκών από το παραγόμενο ρεύμα των Φ/Β υαλοπινάκων είναι πολύ μικρό (6,3 %) . Οι ενεργειακές ανάγκες όμως για πρόσθετο τεχνητό φωτισμό καλύπτονται πλήρως (140%) ενώ ένα ποσοστό της παραγόμενης ενέργειας περισσεύει.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας οδήγησε σε ορισμένα συμπεράσματα τόσο για τα αποτελέσματα της ενσωμάτωσης ενός Φ/Β υαλοπίνακα σε μονάδα γραφείου όσο και για τη μεθοδολογία που επιλέχθηκε για τη μελέτη αυτή.

Αρχικά οι πειραματικές μετρήσεις έδειξαν ότι η ένταση του φωτισμού που παρέχει ο ημιπερατός Φ/Β υαλοπίνακας είναι επαρκής κατά τη διάρκεια ημερών της ανοιξιάτικης και καλοκαιρινής περιόδου στην πλειοψηφία των περιπτώσεων. Εξαιρέση αποτελούν οι μέρες με συννεφιά, όπου τα επίπεδα φωτισμού μπορεί να μην καλύψουν την απαιτούμενη στάθμη των 500 Lux. Το ίδιο ισχύει και για τα επίπεδα φωτισμού στο βάθος του χώρου στο μακρινότερο σημείο από το παράθυρο που δεν εμφανίζονται επαρκή κατά τη διάρκεια των πρωινών ωρών μέχρι τις 12.00. Αντίθετα, τα επίπεδα φωτισμού κατά τη χρήση Plexiglas ήταν ικανοποιητικά σε όλες τις περιπτώσεις.

Στις περιπτώσεις που ο φωτισμός δεν επαρκεί, πρέπει να συμπληρωθεί από τεχνητό φωτισμό. Αυτό, βέβαια συνεπάγεται κατανάλωση ενέργειας. Επομένως η χρήση του ημιπερατού Φ/Β υαλοπίνακα στις παραπάνω περιπτώσεις απαιτεί κατανάλωση ενέργειας για συμπληρωματικό φωτισμό ενώ ο συμβατικός υαλοπίνακας όχι.

Επίσης η ένταση του φωτισμού είναι αρκετά χαμηλότερη από τους συμβατικούς υαλοπίνακες και συνεπώς παρέχει σκίαση, απαραίτητη κατά τις καλοκαιρινές μέρες. Συγκεκριμένα τα επίπεδα φωτισμού στο εσωτερικό του φυσικού μοντέλου κατά τη χρήση του Φ/Β υαλοπίνακα μειώνονται κατά 50% σε σύγκριση με τα επίπεδα φωτισμού κατά τη χρήση του Plexiglas, παρόλο που η διαφορά στα ποσοστά διαπερατότητας των δύο υαλοπινάκων είναι 22%. Η μείωση κατά 50%

παραμένει ίδια σε όλο το βάθος του χώρου. Η σημαντική αυτή μείωση εξασφαλίζει σκίαση σε παρόμοιες κλιματικές συνθήκες, όπως η καλοκαιρινή περίοδος σε Μεσογειακές περιοχές.

Τα συμπεράσματα σχετικά με τη θερμοκρασία που καταγράφηκε στο εσωτερικό του φυσικού μοντέλου κατά τη χρήση του Φ/Β υαλοπίνακα είναι ότι ξεπερνά την θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά περίπου  $10,5^{\circ}\text{C}$ . Αυτό προκύπτει τόσο από την απεικόνιση των αποτελεσμάτων όσο και από την συσχέτιση μεταξύ των μετρήσεων στο εσωτερικό και των περιβαλλοντικών συνθηκών. Συγκεκριμένα μεγάλη συσχέτιση υπήρξε με την θερμοκρασία περιβάλλοντος και την υγρασία περιβάλλοντος ενώ μικρότερη συσχέτιση παρατηρήθηκε με την ταχύτητα ανέμου.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε δεν βοήθησε στη σύγκριση των εσωτερικών θερμοκρασιών κατά τη χρήση του Φ/Β υαλοπίνακα και του Plexiglas. Επίσης, η έλλειψη μονωτικού υλικού στο εσωτερικό του φυσικού μοντέλου πιθανόν να μην παρείχε μεγάλη ακρίβεια στα αποτελέσματα σχετικά με την επιρροή στην εσωτερική θερμοκρασία. Τα εν λόγω αποτελέσματα αποτελούν μια ένδειξη της μεταβολής της εσωτερικής θερμοκρασίας στις συγκεκριμένες συνθήκες τοποθέτησης.

Οι θεωρητικοί υπολογισμοί είχαν στόχο τον προσεγγιστικό υπολογισμό της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος από τον ημιπερατό Φ/Β υαλοπίνακα κατά την τοποθέτηση του σε κάθετο επίπεδο με Νότιο προσανατολισμό. Τα αποτελέσματα οδηγούν σε συμπεράσματα τόσο για την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στην κάθετη επιφάνεια της πρόσοψης όσο και για την ηλεκτρική ισχύ.

Η συγκεκριμένη τοποθέτηση σε Νότιο προσανατολισμό κατά τη θερινή περίοδο έδειξε ότι η τιμές της ηλεκτρικής ισχύος είναι μέγιστες κατά τις πρωινές ώρες,



δηλαδή στις 10.00 και στη συνέχεια μειώνονται συνεχώς, έως τις 16.00 όπου παρατηρείται η ελάχιστη τιμή τους. Η τάση αυτή ακολουθεί την τάση τιμών την προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στο κάθετο επίπεδο. Η υπολογισμένη απόδοση του Φ/Β υαλοπίνακα είναι πολύ κοντά στην τιμή απόδοσης του τυπικού πλαισίου της εταιρίας δείχνοντας ότι οι υπολογισμοί είναι ορθοί.

Επίσης, η προσεγγιστική εκτίμηση της κάλυψης των συνολικών ημερήσιων ενεργειακών αναγκών ενός γραφείου από την αντίστοιχη ημερήσια παραγόμενη ενέργεια του Φ/Β υαλοπίνακα έδειξε ότι το ποσοστό κάλυψης είναι χαμηλό. Για ένα γραφείο βασισμένο στις διαστάσεις του φυσικού μοντέλου του πειράματος το ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών αναγκών για τεχνητό φωτισμό, για εξοπλισμό γραφείου και για ψύξη φτάνει μόλις το 6%. Συνεπώς η συμβολή του συγκεκριμένου ημιπερατού Φ/Β υαλοπίνακα στην εξοικονόμηση ενέργειας από την άποψη της παραγωγής ρεύματος δεν είναι μεγάλη αλλά επαρκεί για να καλύψει την ενέργεια που καταναλώνεται για τεχνητό φωτισμό, όταν ο φυσικός φωτισμός είναι ελλιπής.

Στην μελέτη αυτή, και συγκεκριμένα σε ανοιξιάτικες και καλοκαιρινές κλιματικές συνθήκες με υψηλές θερμοκρασίες και έντονη ηλιοφάνεια, ο ημιπερατός Φ/Β υαλοπίνακας υπερτερεί ενός συμβατικού υαλοπίνακα. Τα επίπεδα φωτισμού είναι επαρκή στην πλειοψηφία των καλοκαιρινών ημερών, αλλά αρκετά χαμηλότερα ώστε να προσφέρεται σκίαση ενώ τα επίπεδα θερμοκρασίας στο εσωτερικό αυξάνονται. Τέλος, η παραγωγή ενέργειας, έστω και μικρή, συνεισφέρει θετικά στο ενεργειακό ισοζύγιο ενώ μπορεί να καλύψει πλήρως την κατανάλωση για πρόσθετο φωτισμό και δεν επιβαρύνει την συνολική κατανάλωση ενέργειας.

Συνοψίζοντας, η παραγωγή ενέργειας δεν πρέπει να αποτελεί το μοναδικό κριτήριο για την αξιολόγηση της χρήσης ενός ημιπερατού Φ/Β υαλοπίνακα. Είναι εμφανές ότι επηρεάζει κι άλλες παραμέτρους σχετικά με τις εσωτερικές συνθήκες ενός χώρου, και συγκεκριμένα τα επίπεδα φωτισμού και θερμοκρασίας, προσφέροντας είτε θετικά είτε αρνητικά αποτελέσματα σε σύγκριση με άλλους υαλοπίνακες. Η ενσωμάτωση λοιπόν ενός ημιπερατού Φ/Β υαλοπίνακα μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια βιώσιμη λύση μόνο αφού εξεταστούν όλες οι παράμετροι ως ένα αλληλένδετο σύστημα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται προτάσεις για μελλοντική έρευνα στο ίδιο αντικείμενο, ως συνέχεια της συγκεκριμένης εργασίας ή για ανεξάρτητη μελέτη του θέματος στην ίδια κατεύθυνση.

Συνέχεια της εν λόγω εργασίας θα μπορούσε να αποτελέσει η διεξαγωγή μετρήσεων κατά τη φθινοπωρινή και χειμερινή περίοδο για να υπάρχει μια ολοκληρωμένη μελέτη του θέματος και αποτελέσματα καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου. Έτσι θα καλύπτονται όλες οι κλιματικές συνθήκες της υπό εξέταση περιοχής. Επίσης το ίδιο πείραμα μπορεί να διεξαχθεί για περιπτώσεις τοποθέτησης σε διαφορετικούς προσανατολισμούς εκτός του νότιου και να εντοπιστεί ο βέλτιστος προσανατολισμός για τη συνολική απόδοση του συστήματος.

Επιπλέον αντικείμενο μελέτης μπορεί να αποτελέσει η αξιολόγηση του οπτικού αποτελέσματος των χρωματιστών ημιπερατών Φ/Β στοιχείων στον εσωτερικό χώρο με γνώμονα την οπτική άνεση και τον ανθρώπινο παράγοντα. Για παράδειγμα, να πραγματοποιηθεί αξιολόγηση του οπτικού αποτελέσματος από ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα πληθυσμού (ποικιλία ηλικίας) και να κριθεί ως κατάλληλο/ακατάλληλο είδος παραθύρου για συγκεκριμένες περιπτώσεις, όπως είναι οι χώροι εργασίας. Ακόμα η αξιολόγηση εξειδικευμένων δεικτών οπτικής και θερμικής άνεσης θα έδιναν μια λεπτομερέστερη εικόνα της ενσωμάτωσης ενός Φ/Β υαλοπίνακα σε κτιριακές μονάδες.

Πιο ακριβή αποτελέσματα θα παρείχε η βελτιστοποίηση της πειραματικής διάταξης με μόνωση και επιδιόρθωση τυχόν προβλημάτων, καθώς και προμήθεια καλύτερου εξοπλισμού για τη διεξαγωγή του πειράματος. Πιο ακριβή σύγκριση,

ιδιαίτερα των επιπέδων εσωτερικής θερμοκρασίας, θα γινόταν με τη χρήση ενός όμοιου φυσικού μοντέλου για τη μόνιμη τοποθέτηση μονού ή διπλού υαλοπίνακα και τη δημιουργία όμοιων συνθηκών διεξαγωγής του πειράματος για τα δύο είδη υαλοπινάκων.

Τέλος, πολύ χρήσιμη μελέτη, αλλά πιο δύσκολη στην διεξαγωγή της, θα ήταν η πειραματική σύγκριση σε πραγματικές συνθήκες Φ/Β υαλοπινάκων διαφορετικής διαπερατότητας, χρώματος και υλικού και αξιολόγηση της απόδοσης τους κατά την τοποθέτηση σε κάθετο επίπεδο με τη χρήση επιπλέον όμοιων φυσικών μοντέλων.

Οι προτάσεις αυτές μπορούν να αποτελέσουν αυτοτελή θέματα μελέτης αλλά και να συνδυαστούν δύο ή περισσότερες από αυτές σε μία έρευνα με στόχο την κάλυψη του εξεταζόμενου θέματος.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης, 2008, *Προσδιορισμός προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένες και περιστρεφόμενες*, Αθήνα.
2. Σαββάκης Ν., 2014, *Αξιολόγηση της ενεργειακής συμπεριφοράς πρότυπης φωτοβολταϊκής εγκατάστασης του Πολυτεχνείου Κρήτης*, (Μεταπτυχιακή διατριβή). Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
3. Συγκρίδου Δ., 2013, *Λειτουργική και αισθητική εφαρμογή φωτοβολταϊκών*, Νημετρής.
4. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 2010, *Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-3/2010: Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών*, Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας,
5. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 2013, *Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.)*
6. Τσαγκρασούλης Α., 2008, Φυσικός φωτισμός. Στο Π. Κοσμόπουλος (Επιμ.), *Κτίρια, Ενέργεια και Περιβάλλον* (σσ. 301- 344), UNIVERSITY STUDIO PRESS
7. Τσούτσος Θ., Γκούσκος Ζ., Roman E., Alonso R., Eisenshmid I., 2009, Φωτοβολταϊκά συστήματα ενσωματωμένα στα κτίρια. *Τεχνικός οδηγός και παραδείγματα βέλτιστων πρακτικών*, Ευρωπαϊκή Επιτροπή.
8. Τσούτσος Θ., Κανάκης Ι., 2013, *Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας –Τεχνολογίες και Περιβάλλον*, Παπασωτηρίου.
9. Τσούτσος Θ., Τουρνάκη Στ., 2010, *Φωτοβολταϊκά συστήματα , Εφαρμογές στον Οικιακό Τομέα*, Ενεργειακό Γραφείο Κυπρίων.
10. Φραγκιαδάκης Ι., 2004, *Φωτοβολταϊκά Συστήματα*, ΖΗΤΗ

11. Chow T., Fong K., He W., Lin Z., Chan A., 2007, *Performance evaluation of a PV ventilated window applying to office building of Hong Kong*, Energy and Buildings, 39, 643-650.
12. 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, xxx 1-9.
13. Lynn N., Mohanty L., Wittkopf S., 2012, *Color rendering properties of semi-transparent thin-film PV modules*, Building and Environment, 54, 148-158.
14. Mandalaki M., Zervas K., Tsoutsos T., Vazakas A., 2012, *Assessment of fixed shading devices with integrated PV for efficient energy use*, Elsevier, Solar Energy, 86, 2561–2575
15. Ochoa C.E., 2011, *Integrating Visual and Energy Criteria for Optimal Window Design in Temperate Climates*, Eindhoven University of Technology, Department of Architecture, Building and Planning
16. Tsoutsos Th., Farmaki E., Mandalaki M., 2016, Solar Energy for Building Supply. In M. Santamouris,, S. Boemi, & O. Irulegi, (Eds.), *Energy Performance of Buildings*, Springer. (To be publiced)
17. Wong P., Shimoda Y., Nonaka M., Inoue M., Mizuno M., 2008, *Semi-transparent PV: Thermal performance, power generation, daylight modeling and energy saving potential in a residential application*, Renewable Energy, 33, 1024-1036.

#### ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

<http://www.britesolar.com> (Δεκέμβριος 2014)

<http://www.nrel.gov/ncpv/> (Μάρτιος 2015)

<http://helapco.gr/reports/> (Μάρτιος 2015)

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ



**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 : Υπολογισμός στιγμιαίας ηλιακής ακτινοβολίας στην κάθετη επιφάνεια αναλυτικά**

Ημερομηνία	Ημέρα του έτους	φ	β	δ (μοίρες)	ws (μοίρες)	Ho	H	Wss	Rb	kt	Hd/H=1-1,13Kt	Hd	R	Ht
29/4/2015	119	35,533	90	14,27	100,46	10,5581	7,39	69,14	0,313	0,70	0,21	1,55	0,46	3,37
30/4/2015	120	35,533	90	14,59	100,71	10,5977	7,29	68,63	0,306	0,69	0,22	1,62	0,46	3,35
8/5/2011	128	35,533	90	16,97	102,59	10,8863	7,07	64,70	0,262	0,65	0,27	1,88	0,45	3,21
11/5/2011	131	35,533	90	17,78	103,24	10,9814	7,46	63,31	0,248	0,68	0,23	1,73	0,42	3,14
19/5/2011	139	35,533	90	19,71	104,83	11,2000	7,25	59,89	0,215	0,65	0,27	1,95	0,42	3,05
26/5/2011	146	35,533	90	21,10	105,99	11,3497	5,20	57,30	0,193	0,46	0,48	2,51	0,56	2,93
27/7/2015	208	35,533	90	19,15	104,36	11,0609	7,24	60,91	0,224	0,65	0,26	1,88	0,42	3,06
29/7/2015	210	35,533	90	18,67	103,96	11,0038	7,19	61,76	0,232	0,65	0,26	1,88	0,43	3,09
31/7/2015	212	35,533	90	18,17	103,56	10,9437	6,61	62,64	0,241	0,60	0,32	2,10	0,47	3,13

	λεπ τα	ημέρα του χρόνου	B=360*( n- 81)/365)	ET	ts=LT-1- 4(Lz- Lloc)+ET	ts	ω	ws	φ	δ	β	rt	rd	H	Hd	l=rt *H	ld=rd *Hd	Rb	lt	lt*10 00
29- Απρ	610 ,2	119	37,48	- 14,03	572,45	9,54	- 36,89	100,46	35,533	14, 27	90	0,10 02	0,09 86	7, 39	1, 55	0,7 40	0,153	0,73 0	0, 88	875, 58
	720	119	37,48	- 14,03	682,25	11,37	-9,44	100,46	35,533	14, 27	90	0,12 69	0,11 74	7, 39	1, 55	0,9 38	0,182	0,33 5	0, 81	813, 54
	840	119	37,48	- 14,03	802,25	13,37	20,56	100,46	35,533	14, 27	90	0,11 95	0,11 23	7, 39	1, 55	0,8 83	0,174	- 0,10	0, 45	454, 90
	949 ,8	119	37,48	- 14,03	912,05	15,20	48,01	100,46	35,533	14, 27	90	0,08 29	0,08 55	7, 39	1, 55	0,6 12	0,132	- 0,71	0, 03	29,4 1
30- Απρ	619 ,8	120	38,47	- 14,10	581,98	9,70	- 34,50	100,71 0	35,533	14, 59	90	0,10 34	0,10 09	7, 29	1, 62	0,7 54	0,163	0,68 4	0, 86	862, 48
	720	120	38,47	-	682,18	11,37	-9,45	100,71	35,533	14, 59	90	0,12	0,11	7, 29	1, 62	0,9	0,190	0,33	0,	798,

				14,10				0		59		67	71	29	62	23		0	80	76
	840	120	38,47	- 14,10	802,18	13,37	20,55	100,71 0	35,533	14, 59	90	0,11 93	0,11 21	7, 29	1, 62	0,8 70	0,182	- 0,10 8	0, 45	451, 53
	949 ,8	120	38,47	- 14,10	911,98	15,20	48,00	100,71 0	35,533	14, 59	90	0,08 29	0,08 54	7, 29	1, 62	0,6 04	0,138	- 0,71 7	0, 04	37,5 1
8- Mai	630	128	46,36	- 14,20	592,08	9,87	- 31,98	102,59 0	35,533	16, 97	90	0,10 57	0,10 21	7, 07	1, 88	0,7 47	0,192	0,59 1	0, 80	797, 48
	720	128	46,36	- 14,20	682,08	11,37	-9,48	102,59 0	35,533	16, 97	90	0,12 48	0,11 53	7, 07	1, 88	0,8 82	0,217	0,29 0	0, 74	742, 50
	850 ,2	128	46,36	- 14,20	812,28	13,54	23,07	102,59 0	35,533	16, 97	90	0,11 55	0,10 89	7, 07	1, 88	0,8 16	0,205	- 0,18 0	0, 40	400, 45
	949 ,8	128	46,36	- 14,20	911,88	15,20	47,97	102,59 0	35,533	16, 97	90	0,08 28	0,08 50	7, 07	1, 88	0,5 86	0,160	- 0,73 3	0, 06	60,6 2
11- Mai	610 ,2	131	49,32	- 14,03	572,45	9,54	- 36,89	103,24 0	35,533	17, 782 3	90	0,09 90	0,09 71	7, 46	1, 73	0,7 39	0,168	0,64 2	0, 82	819, 87
	720	131	49,32	- 14,03	682,25	11,37	-9,44	103,24 0	35,533	17, 782 3	90	0,12 42	0,11 47	7, 46	1, 73	0,9 26	0,198	0,27 6	0, 76	763, 26
	840	131	49,32	- 14,03	802,25	13,37	20,56	103,24 0	35,533	17, 782 3	90	0,11 72	0,11 00	7, 46	1, 73	0,8 74	0,190	- 0,14 8	0, 43	431, 05
	949 ,8	131	49,32	- 14,03	912,05	15,20	48,01	103,24 0	35,533	17, 782 3	90	0,08 27	0,08 47	7, 46	1, 73	0,6 17	0,147	- 0,74 0	0, 03	33,8 8
19- Mai	600	139	57,21	- 13,07	589,35	9,82	- 32,66	104,83 0	35,533	19, 71	90	0,10 37	0,10 01	7, 25	1, 95	0,7 51	0,195	0,53 9	0, 77	772, 61

	720	139	57,21	- 13,07	709,35	11,82	-2,66	104,83 0	35,533	19, 71	90	0,12 43	0,11 44	7, 25	1, 95	0,9 01	0,223	0,15 9	0, 67	669, 45
	840	139	57,21	- 13,07	829,35	13,82	27,34	104,83 0	35,533	19, 71	90	0,10 96	0,10 43	7, 25	1, 95	0,7 94	0,203	- 0,28 7	0, 33	329, 52
	930	139	57,21	- 13,07	919,35	15,32	49,84	104,83 0	35,533	19, 71	90	0,07 98	0,08 21	7, 25	1, 95	0,5 78	0,160	- 0,80 7	0, 03	31,8 4
26- Μαϊ	610 ,2	146	64,11	- 11,69	514,79	8,58	- 51,30	105,99 0	35,533	21, 1	90	0,07 76	0,08 01	5, 20	2, 51	0,4 03	0,201	0,77 2	0, 46	458, 23
	730 ,2	146	64,11	- 11,69	634,79	10,58	- 21,30	105,99 0	35,533	21, 1	90	0,11 44	0,10 73	5, 20	2, 51	0,5 95	0,269	0,36 7	0, 55	551, 61
	840	146	64,11	- 11,69	744,59	12,41	6,15	105,99 0	35,533	21, 1	90	0,12 26	0,11 29	5, 20	2, 51	0,6 37	0,283	0,02 3	0, 47	468, 47
	960	146	64,11	- 11,69	864,59	14,41	36,15	105,99 0	35,533	21, 1	90	0,09 88	0,09 63	5, 20	2, 51	0,5 14	0,242	- 0,47 2	0, 25	249, 30
27- Ιουλ	600	208	125,26	3,71	579,99	9,67	- 35,00	104,36 0	35,533	19, 15	90	0,10 10	0,09 83	7, 24	1, 88	0,7 31	0,185	0,58 3	0, 78	776, 61
	720	208	125,26	3,71	699,99	11,67	-5,00	104,36 0	35,533	19, 15	90	0,12 44	0,11 46	7, 24	1, 88	0,9 01	0,215	0,19 7	0, 69	693, 24
	840	208	125,26	3,71	819,99	13,67	25,00	104,36 0	35,533	19, 15	90	0,11 23	0,10 63	7, 24	1, 88	0,8 13	0,200	- 0,23 9	0, 36	359, 94
	940 ,2	208	125,26	3,71	920,19	15,34	50,05	104,36 0	35,533	19, 15	90	0,07 95	0,08 20	7, 24	1, 88	0,5 76	0,154	- 0,81 0	0, 02	23,4 9
29- Ιουλ	600	210	127,23	3,82	580,10	9,67	- 34,97	103,96 0	35,533	18, 67	90	0,10 12	0,09 85	7, 19	1, 88	0,7 28	0,185	0,59 4	0, 78	778, 64
	720	210	127,23	3,82	700,10	11,67	-4,97	103,96 0	35,533	18, 67	90	0,12 48	0,11 49	7, 19	1, 88	0,8 97	0,216	0,20 4	0, 70	695, 96

	840	210	127,23	3,82	820,10	13,67	25,03	103,96 0	35,533	18, 67	90	0,11 26	0,10 66	7, 19	1, 88	0,8 09	0,200	- 0,23 4	0, 36	362, 41
	940 ,2	210	127,23	3,82	920,30	15,34	50,08	103,96 0	35,533	18, 67	90	0,07 95	0,08 20	7, 19	1, 88	0,5 71	0,154	- 0,80 8	0, 03	25,7 6
31- ΙΟΥΛ	600	212	129,21	3,89	580,17	9,67	- 34,96	103,56 0	35,533	18, 17	90	0,10 14	0,09 88	6, 61	2, 10	0,6 71	0,207	0,60 5	0, 72	719, 15
	720	212	129,21	3,89	700,17	11,67	-4,96	103,56 0	35,533	18, 17	90	0,12 52	0,11 53	6, 61	2, 10	0,8 28	0,242	0,21 2	0, 66	658, 98
	840	212	129,21	3,89	820,17	13,67	25,04	103,56 0	35,533	18, 17	90	0,11 28	0,10 69	6, 61	2, 10	0,7 46	0,224	- 0,22 8	0, 37	366, 00
	960	212	129,21	3,89	940,17	15,67	55,04	103,56 0	35,533	18, 17	90	0,07 15	0,07 57	6, 61	2, 10	0,4 73	0,159	- 0,97 4	0, 01	10,1 5

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: Υπολογισμός ηλεκτρικής ισχύος για τοποθέτηση του Φ/Β υαλοπίνακα στην κάθετη επιφάνεια αναλυτικά**

Ημερομηνία	Ωρα	θα	It/Gstc	θc	θstc	Θc- θstc	Im	Vm	P <sub>m</sub>	n %
<b>29/4/2015</b>	<b>10.00</b>	<b>20,2</b>	0,875583	41,69	25	16,69	1,53	34,54	51,61	5,89
	12.00	22,3	0,813545	42,26	25	17,26	1,43	34,52	48,21	5,93
	14.00	22,2	0,454901	33,36	25	8,36	0,72	34,87	24,76	5,44
	16.00	21,4	0,029415	22,12	25	- 2,88	0,04	35,31	1,42	4,83
<b>30/4/2015</b>	10.00	21,1	0,862482	42,26	25	17,26	1,52	34,52	51,11	5,93
	12.00	22,8	0,79876	42,40	25	17,40	1,41	34,51	47,39	5,93
	14.00	23,6	0,451534	34,68	25	9,68	0,73	34,82	24,90	5,51
	16.00	22,1	0,037511	23,02	25	- 1,98	0,05	35,28	1,83	4,88
<b>11/5/2015</b>	10.00	21,2	0,797485	40,77	25	15,77	1,38	34,58	46,61	5,84
	12.00	23,4	0,742505	41,62	25	16,62	1,30	34,54	43,74	5,89
	14.00	23,3	0,400451	33,13	25	8,13	0,63	34,88	21,75	5,43
	16.00	23	0,060623	24,49	25	- 0,51	0,09	35,22	3,01	4,96
<b>8/5/2015</b>	10.00	22	0,81987	42,12	25	17,12	1,44	34,53	48,52	5,92
	12.00	24,2	0,76326	42,93	25	17,93	1,35	34,49	45,50	5,96
	14.00	26,2	0,431054	36,78	25	11,78	0,71	34,74	24,26	5,63
	16.00	26,3	0,033877	27,13	25	2,13	0,05	35,12	1,73	5,11
<b>19/5/2015</b>	10.00	20,9	0,772607	39,86	25	14,86	1,32	34,61	44,77	5,80
	12.00	23,6	0,669455	40,03	25	15,03	1,15	34,61	38,86	5,80
	14.00	24,3	0,329523	32,39	25	7,39	0,52	34,91	17,76	5,39
	16.00	23,4	0,031843	24,18	25	- 0,82	0,04	35,23	1,57	4,95
<b>26/5/2015</b>	10.00	24,6	0,458233	35,84	25	10,84	0,75	34,77	25,56	5,58
	12.00	26,2	0,55161	39,74	25	14,74	0,94	34,62	31,93	5,79
	14.00	24,4	0,46847	35,90	25	10,90	0,77	34,77	26,14	5,58
	16.00	22,5	0,249297	28,62	25	3,62	0,37	35,06	12,93	5,19
<b>27/7/2015</b>	10.00	30,9	0,776605	49,96	25	24,96	1,48	34,22	49,26	6,34

	12.00	33,4	0,693244	50,41	25	25,41	1,33	34,20	44,14	6,37
	14.00	34	0,359939	42,83	25	17,83	0,64	34,50	21,44	5,96
	16.00	33,2	0,02349	33,78	25	8,78	0,04	34,85	1,28	5,47
<b>29/7/2015</b>	10.00	30,2	0,778641	49,31	25	24,31	1,48	34,24	49,11	6,31
	12.00	33,3	0,695958	50,38	25	25,38	1,33	34,20	44,30	6,37
	14.00	34,4	0,362406	43,29	25	18,29	0,64	34,48	21,68	5,98
	16.00	32,3	0,025763	32,93	25	7,93	0,04	34,89	1,40	5,42
<b>31/7/2015</b>	10.00	34,1	0,71915	51,75	25	26,75	1,40	34,15	46,31	6,44
	12.00	36,4	0,658981	52,57	25	27,57	1,29	34,11	42,73	6,48
	14.00	37,1	0,366002	46,08	25	21,08	0,67	34,37	22,44	6,13
	16.00	35,4	0,010148	35,65	25	10,65	0,02	34,78	0,56	5,57

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3: Υπολογισμός συνολικής ηλεκτρικής ισχύος για τοποθέτηση του Φ/Β υαλοπίνακα στην κάθετη επιφάνεια στις 29/7/2015 αναλυτικά**

29/7/2015	θα	It*1000	It/Gstc	B* ws	E^	T1*e	θc	θstc	Θc- θstc	Im	Vm	P'
5:00	23,3	83,66	0,08366	-0,669	0,512221	10,03952	25,35	25	0,35	0,12	35,19	4,19
5:10	23,4	108,92	0,10892	-0,669	0,512221	10,03952	26,07	25	1,07	0,16	35,16	5,50
5:20	23,4	133,34	0,13334	-0,669	0,512221	10,03952	26,67	25	1,67	0,19	35,13	6,77
5:30	23,5	160,39	0,16039	-0,669	0,512221	10,03952	27,44	25	2,44	0,24	35,10	8,22
5:40	23,4	187,86	0,18786	-0,669	0,512221	10,03952	28,01	25	3,01	0,28	35,08	9,68
5:50	23,4	214,28	0,21428	-0,669	0,512221	10,03952	28,66	25	3,66	0,32	35,06	11,12
6:00	23,4	242,86	0,24286	-0,669	0,512221	10,03952	29,36	25	4,36	0,37	35,03	12,69
6:10	23,5	271,86	0,27186	-0,669	0,512221	10,03952	30,17	25	5,17	0,41	35,00	14,33
6:20	23,4	299,44	0,29944	-0,669	0,512221	10,03952	30,75	25	5,75	0,46	34,97	15,87
6:30	23,5	328,95	0,32895	-0,669	0,512221	10,03952	31,57	25	6,57	0,51	34,94	17,59
6:40	23,5	358,56	0,35856	-0,669	0,512221	10,03952	32,30	25	7,30	0,56	34,91	19,31
6:50	23,8	386,4	0,3864	-0,669	0,512221	10,03952	33,28	25	8,28	0,61	34,87	21,02
7:00	24,1	415,84	0,41584	-0,669	0,512221	10,03952	34,30	25	9,30	0,67	34,83	22,85
7:10	24,6	445,02	0,44502	-0,669	0,512221	10,03952		25			34,79	

							35,52		10,52	0,72		24,74
7:20	24,9	472,12	0,47212	-0,669	0,512221	10,03952	36,49	25	11,49	0,78	34,75	26,50
7:30	25,4	500,41	0,50041	-0,669	0,512221	10,03952	37,68	25	12,68	0,83	34,70	28,41
7:40	25,7	528,04	0,52804	-0,669	0,512221	10,03952	38,66	25	13,66	0,89	34,66	30,26
7:50	26,2	553,34	0,55334	-0,669	0,512221	10,03952	39,78	25	14,78	0,95	34,62	32,04
8:00	26,5	579,33	0,57933	-0,669	0,512221	10,03952	40,72	25	15,72	1,00	34,58	33,84
8:10	26,9	604,29	0,60429	-0,669	0,512221	10,03952	41,73	25	16,73	1,06	34,54	35,63
8:20	27,2	626,73	0,62673	-0,669	0,512221	10,03952	42,58	25	17,58	1,11	34,51	37,24
8:30	27,8	649,32	0,64932	-0,669	0,512221	10,03952	43,73	25	18,73	1,16	34,46	38,99
8:40	28,7	670,52	0,67052	-0,669	0,512221	10,03952	45,15	25	20,15	1,22	34,41	40,78
8:50	29,1	689,09	0,68909	-0,669	0,512221	10,03952	46,01	25	21,01	1,26	34,37	42,23
9:00	29,9	707,26	0,70726	-0,669	0,512221	10,03952	47,26	25	22,26	1,31	34,32	43,82
9:10	30,6	723,72	0,72372	-0,669	0,512221	10,03952	48,36	25	23,36	1,36	34,28	45,28
9:20	31	737,56	0,73756	-0,669	0,512221	10,03952	49,10	25	24,10	1,40	34,25	46,44
9:30	31,6	750,42	0,75042	-0,669	0,512221	10,03952	50,01	25	25,01	1,43	34,21	47,62
9:40	30,9	761,32	0,76132	-0,669	0,512221	10,03952	49,58	25	24,58	1,45	34,23	48,13



9:50	31,1	769,72	0,76972	-0,669	0,512221	10,03952	49,99	25	24,99	1,47	34,21	48,83
10:00	30,6	776,61	0,77661	-0,669	0,512221	10,03952	49,66	25	24,66	1,48	34,23	49,13
10:10	30,2	781,35	0,78135	-0,669	0,512221	10,03952	49,37	25	24,37	1,48	34,24	49,31
10:20	30,6	783,82	0,78382	-0,669	0,512221	10,03952	49,83	25	24,83	1,49	34,22	49,66
10:30	30,5	784,3	0,7843	-0,669	0,512221	10,03952	49,75	25	24,75	1,49	34,22	49,65
10:40	30,8	782,55	0,78255	-0,669	0,512221	10,03952	50,00	25	25,00	1,49	34,21	49,65
10:50	31,3	778,86	0,77886	-0,669	0,512221	10,03952	50,41	25	25,41	1,49	34,20	49,59
11:00	31,6	772,77	0,77277	-0,669	0,512221	10,03952	50,56	25	25,56	1,48	34,19	49,27
11:10	32,2	764,46	0,76446	-0,669	0,512221	10,03952	50,96	25	25,96	1,47	34,18	48,90
11:20	32,4	754,64	0,75464	-0,669	0,512221	10,03952	50,92	25	25,92	1,45	34,18	48,26
11:30	32,7	742,11	0,74211	-0,669	0,512221	10,03952	50,91	25	25,91	1,43	34,18	47,45
11:40	32,5	727,47	0,72747	-0,669	0,512221	10,03952	50,35	25	25,35	1,39	34,20	46,30
11:50	32,9	711,81	0,71181	-0,669	0,512221	10,03952	50,37	25	25,37	1,36	34,20	45,30
12:00	33,3	693,24	0,69324	-0,669	0,512221	10,03952	50,31	25	25,31	1,33	34,20	44,10
12:10	32,9	672,77	0,67277	-0,669	0,512221	10,03952	49,41	25	24,41	1,28	34,24	42,47
12:20	34	651,83	0,65183	-0,669	0,512221	10,03952	50,00	25	25,00	1,24	34,21	41,36

12:30	33,2	627,9	0,6279	-0,669	0,512221	10,03952	48,61	25	23,61	1,18	34,27	39,37
12:40	33,9	602,34	0,60234	-0,669	0,512221	10,03952	48,68	25	23,68	1,13	34,27	37,79
12:50	34,1	576,9	0,5769	-0,669	0,512221	10,03952	48,26	25	23,26	1,08	34,28	36,06
13:00	34,6	548,5	0,5485	-0,669	0,512221	10,03952	48,06	25	23,06	1,03	34,29	34,22
13:10	35,4	518,82	0,51882	-0,669	0,512221	10,03952	48,13	25	23,13	0,97	34,29	32,39
13:20	34,5	489,84	0,48984	-0,669	0,512221	10,03952	46,52	25	21,52	0,90	34,35	30,16
13:30	34,3	458,05	0,45805	-0,669	0,512221	10,03952	45,54	25	20,54	0,83	34,39	27,96
13:40	34,2	425,37	0,42537	-0,669	0,512221	10,03952	44,64	25	19,64	0,77	34,43	25,75
13:50	34,6	393,93	0,39393	-0,669	0,512221	10,03952	44,27	25	19,27	0,71	34,44	23,77
14:00	34	359,94	0,35994	-0,669	0,512221	10,03952	42,83	25	17,83	0,64	34,50	21,44
14:10	34,4	325,48	0,32548	-0,669	0,512221	10,03952	42,39	25	17,39	0,57	34,51	19,31
14:20	34,9	292,76	0,29276	-0,669	0,512221	10,03952	42,08	25	17,08	0,51	34,53	17,32
14:30	35,2	257,81	0,25781	-0,669	0,512221	10,03952	41,53	25	16,53	0,45	34,55	15,17
14:40	34,9	222,83	0,22283	-0,669	0,512221	10,03952	40,37	25	15,37	0,38	34,59	12,97
14:50	34,6	189,99	0,18999	-0,669	0,512221	10,03952	39,26	25	14,26	0,32	34,64	10,95
15:00	34,1	155,33	0,15533	-0,669	0,512221	10,03952	37,91	25	12,91	0,26	34,69	8,84

15:10	33,7	121,03	0,12103	-0,669	0,512221	10,03952	36,67	25	11,67	0,20	34,74	6,80
15:20	33,4	89,2	0,0892	-0,669	0,512221	10,03952	35,59	25	10,59	0,15	34,78	4,96
15:30	32,6	55,98	0,05598	-0,669	0,512221	10,03952	33,97	25	8,97	0,09	34,85	3,07
15:40	32,4	23,49	0,02349	-0,669	0,512221	10,03952	32,98	25	7,98	0,04	34,89	1,27
											ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ	<b>0,32 kWh</b>