



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΚΑΙ
ΒΙΩΣΙΜΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΚΙΑΣΤΡΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΗΣ ΒΑΡΤΖΩΚΑ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗΣ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Αναπλ. Καθηγητής ΘΕΟΧΑΡΗΣ ΤΣΟΥΤΣΟΣ
(ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)

Επίκ. Καθηγήτρια ΔΙΟΝΥΣΙΑ ΚΟΛΟΚΟΤΣΑ
Δρ. ΜΑΡΙΑ ΜΑΝΔΑΛΑΚΗ

ΧΑΝΙΑ, 2014



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλλαν στο να κλείσει ευχάριστα και δημιουργικά ο κύκλος των σπουδών μου στο Πολυτεχνείο Κρήτης.

Θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω τον κ. Τσούτσο Θεοχάρη, για την ανάθεση του θέματος, που ήταν προσαρμοσμένο στο προσωπικό μου ενδιαφέρον για το βιοκλιματικό σχεδιασμό, για τη μετάδοση ενός σφαιρικού τρόπου σκέψης και την άριστη μεταξύ μας επικοινωνία για την επίλυση οποιουδήποτε προβλήματος προέκυπτε.

Την κ. Μανδαλάκη Μαρία, που με εισήγαγε στο αντικείμενο και με καθοδήγησε σε όλη τη διάρκεια, αφιερώνοντας μου και κομμάτια από τον προσωπικό της χρόνο.

Την Εξιζίδου Νόπη, που από μακριά, και με μεγάλη προθυμία οποιαδήποτε στιγμή, μου έδωσε σημαντικές συμβουλές όσον αφορά τα λογισμικά, και τον Παπαντωνίου Σωτήρη, που μου έλυσε μια απορία σε ένα πολύ κομβικό σημείο της εργασίας μου.

Εφόσον κλείνει νοητά ένας κύκλος εδώ, θέλω να ευχαριστήσω όλους τους φίλους αυτών των χρόνων, για ότι μου πρόσφεραν εκούσια ή ακούσια, κι έκαναν αυτά τα χρόνια ξεχωριστά. Ενώ τη σημαντικότερη θέση στις ευχαριστίες, κατέχουν οι γονείς μου, που με στηρίζουν πάντα, ενώ επί του θέματος ευχαριστώ ιδιαίτερα τον πατέρα μου, που μου μετέδωσε σημαντικές γνώσεις σχετικά με το σχεδιασμό και όχι μόνο.

Βαρτζώκα Κατερίνα

Χανιά, Μάιος 2014

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να διερευνηθεί σε τι ποσοστό θα μπορούσε να αυτονομηθεί ενεργειακά, ένα κτίριο γραφείων, επιτυγχάνοντας παράλληλα οπτική και θερμική άνεση για την παροχή ιδανικών συνθηκών εργασίας, μέσα από την ενσωμάτωση Φωτοβολταϊκών πλαισίων σε ειδικά σχεδιασμένα σκίαστρα.

Το κτίριο αυτό υποθετικά ανήκει στην περιοχή των Χανίων της Κρήτης, και στην παρούσα εργασία εξετάζεται η κάλυψη των αναγκών των γραφείων του κτιρίου που είναι προσανατολισμένα στη Δύση. Με αυτά τα δεδομένα και για τη θερινή περίοδο, όπου στα Μεσογειακά κλίματα απαιτείται σε μεγαλύτερο ποσοστό η εξισορρόπηση των θερμικών φορτίων και η αποφυγή έντονου φωτισμού, σχεδιάστηκαν σκίαστρα.

Πραγματοποιήθηκαν έπειτα, σε πρώτη φάση, προσομοιώσεις για τις ανάγκες σε ενέργεια του γραφείου και για την παραγωγή των Φ/Β στις συνθήκες για τις οποίες σχεδιάστηκαν, ενώ σε δεύτερη φάση για διαφορετικές περιοχές και προσανατολισμό.

Τα σκίαστρα κατατάχθηκαν σύμφωνα με την αποτελεσματικότητά τους, και κρίνεται ότι θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και σε άλλες περιοχές, με δυτικό προσανατολισμό, με μικρές μειώσεις στην απόδοση. Σε αλλαγή προσανατολισμού παρατηρείται μεγαλύτερη μείωση στην απόδοση, ενώ εξήχθησαν και γενικότερα συμπεράσματα για τα είδη των σκιάστρων που ενδείκνυνται σε Μεσογειακά κλίματα, δυτικό και ανατολικό προσανατολισμό.

Η εξέταση του ενεργειακού ισοζυγίου υπό το σχεδιασμό σκιάστρων με ενσωματωμένα Φ/Β αποτελεί ενδεδειγμένη λύση εδώ και πολλά χρόνια στις

ανεπτυγμένες χώρες, ενώ η προσομοίωση με τα λογισμικά που χρησιμοποιούνται, έχει αποδειχθεί από προηγούμενες μελέτες [Mandalaki et al., 2013] ότι παρέχουν αποτελέσματα με πολύ ικανοποιητική ακρίβεια.

ABSTRACT

The aim of this Diploma Thesis was to find out the percentage of which, a building of offices could be passive, with the attainment of thermal and visual comfort for the employees, by integrating PV panels in specially designed shading devices.

This building is supposed to belong to the region of Chania on the island of Crete, Greece. At this project, we examine the fact of meeting the needs of the building's offices facing West. For this data and for the overheated period of summer, shading devices were designed to exclude direct sunlight and reduce heating loads, which is very important in Mediterranean climates.

The first simulations were done to estimate the office's energy needs and the PV panels' production for the conditions that they've been designed. After that, new simulations were done for different regions and orientation.

All the shading devices were classified according to their effectiveness, and it's considered that they could be used in other regions with West orientation too, with slight decreases of the effectiveness. Different orientation though leads to greater decrease of each shading device's efficiency. Some general conclusions were also drawn, like the kinds of the shading devices that can be effective in climates similar to the Mediterranean, West and East orientations.

The problem's approach by designing shading devices with integrated PVs, is considered to be one of the most appropriate solutions by far, in developed countries. And as for the project's simulations, previous researches [Mandalaki et al., 2013] have shown that are being provided results with satisfactory accuracy.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	iii
ABSTRACT	v
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	vii
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ	viii
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2. STATE OF THE ART	7
3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	12
3.1 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ	12
3.1.1 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ	12
3.1.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ	12
3.1.3 ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ Φ/Β ΣΕ ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	15
3.1.4 ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ Φ/Β ΣΕ ΣΚΙΑΣΤΡΑ	15
3.2 ΑΝΕΣΗ	16
3.2.1 ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ	16
3.2.2 ΟΠΤΙΚΗ ΑΝΕΣΗ	20
4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	24
4.1. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΚΙΑΣΤΡΩΝ	27
4.2. Autodesk Ecotect Analysis 2011	32
4.3. DesingBuilder v.2.2.5.004	33
4.4. EnergyPlus v-8.1	38
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	43
5.1. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ	43
6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	48
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	59
8. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	61
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	63
ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ	65
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	66

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Συνοπτική Παρουσίαση των Σκιάστρων	3
Πίνακας 2: Παραγωγή Θερμότητας Σώματος ως Λειτουργία της Ανατομίας [Lechner & Norbert, 2001]	19
Πίνακας 3: Τυπικές ελάχιστες τιμές του DF, [Lechner & Norbert, 2001]	22
Πίνακας 4: Αποτελέσματα προσομοιώσεων για Χανιά και Δυτικό προσανατολισμό	43
Πίνακας 5: Αποτελέσματα προσομοιώσεων για Χανιά και Ανατολικό προσανατολισμό	44
Πίνακας 6: Αποτελέσματα για Αθήνα και Δυτικό προσανατολισμό	45
Πίνακας 7: Αποτελέσματα προσομοιώσεων για Αθήνα και Ανατολικό προσανατολισμό	45
Πίνακας 8: Αποτελέσματα προσομοιώσεων για Θεσσαλονίκη και Δυτικό προσανατολισμό	46
Πίνακας 9: Αποτελέσματα προσομοιώσεων για Θεσσαλονίκη και Ανατολικό προσανατολισμό	46
Πίνακας 10: Συγκεντρωτικός Πίνακας Αποτελεσμάτων	46
Πίνακας 11: Κατάταξη σκιάστρων σύμφωνα με αποδοτικότητα- Σύγκριση με εμβαδόν	50
Πίνακας 12: Σύγκριση Αποτελεσματικότητας Σκιάστρων μεταξύ Δύσης και Ανατολής για Χανιά	52
Πίνακας 13: Σύγκριση Αποτελεσματικότητας Σκιάστρων μεταξύ των περιοχών για Δυτικό προσανατολισμό	53
Πίνακας 14: Σύγκριση Αποτελεσματικότητας Σκιάστρων μεταξύ των περιοχών για Ανατολικό προσανατολισμό	55
Πίνακας 15: Σύγκριση Αποτελεσματικότητας Σκιάστρων μεταξύ Δύσης και Ανατολής για Αθήνα	56
Πίνακας 16: Σύγκριση Αποτελεσματικότητας Σκιάστρων μεταξύ Δύσης και Ανατολής για Θεσσαλονίκη	57
Πίνακας 17: Φθίνουσα Κατάταξη Σκιάστρων ανά Περιοχή και Προσανατολισμό	60

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Single-Crystal Silicon [http://www.sovoxglobal.com]	13
Εικόνα 2: Multicrystalline Silicon [http://www.alpstechnologyinc.com]	13
Εικόνα 3: Thin Film Silicon [http://www.cleantechinvestor.com]	14
Εικόνα 4: Ψυχομετρικό Διάγραμμα [Lechner & Norbert, 2001]	18
Εικόνα 5: Γραφείο με Δυτικό προσανατολισμό και δυσμενέστερη γωνία ύψους και αζιμουθίου (30η Αυγούστου, 16:00μ.μ.)	24
Εικόνα 6: Γραφείο με Ανατολικό προσανατολισμό και δυσμενέστερη γωνία ύψους και αζιμουθίου (30η Αυγούστου, 16:00μ.μ.)	25
Εικόνα 7: Περιβάλλον Ecotect, χρήση εργαλείου solar tool	33
Εικόνα 8: Περιβάλλον DesignBuilder, καρτέλα "Activity"	34
Εικόνα 9: Περιβάλλον DesignBuilder, καρτέλα "Construction"	35
Εικόνα 10: Περιβάλλον DesignBuilder, καρτέλα "Openings"	35
Εικόνα 11: Περιβάλλον DesignBuilder, καρτέλα "Lighting"	36
Εικόνα 12: Περιβάλλον DesignBuilder, καρτέλα "HVAC"	37
Εικόνα 13: Περιβάλλον DesignBuilder, καρτέλα "Location"	38
Εικόνα 14: Περιβάλλον IDF Editor, EnergyPlus, Generator:Photovoltaic	39

Εικόνα 15: Περιβάλλον IDF Editor, EnergyPlus, PhotovoltaicPerformance:Simple	39
Εικόνα 16: Περιβάλλον IDF Editor, EnergyPlus, ElectricLoadCenter:Generators	40
Εικόνα 17: Περιβάλλον IDF Editor, EnergyPlus, ElectricLoadCenter:Inverter:Simple.....	41
Εικόνα 18: Περιβάλλον IDF Editor, EnergyPlus, ElectricLoadCenter:Distribution	41
Εικόνα 19: Περιβάλλον IDF Editor, EnergyPlus, Output:Variable	42
Εικόνα 20: Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Σκιάστρων- Κάλυψης % ανά Περιοχή και Προσανατολισμό	47
Εικόνα 21: Διάγραμμα Κατανάλωσης- Παραγωγής Ενέργειας για καθένα σκίαστρο	48
Εικόνα 22: Ποσοστιαία κάλυψη αναγκών από Φ/Β ανά Προσανατολισμό για την περιοχή των Χανίων	53
Εικόνα 23: Ποσοστιαία κάλυψη αναγκών από Φ/Β ανά Περιοχή για Δυτικό Προσανατολισμό	54
Εικόνα 24: Ποσοστιαία κάλυψη αναγκών από Φ/Β ανά Περιοχή για Ανατολικό Προσανατολισμό	55
Εικόνα 25: Ποσοστιαία Κάλυψη αναγκών από Φ/Β ανά Προσανατολισμό για την περιοχή της Αθήνας	56
Εικόνα 26: Ποσοστιαία κάλυψη αναγκών από Φ/Β ανά Προσανατολισμό για την περιοχή της Θεσσαλονίκης.....	57

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ	PV	Photovoltaics
CO2 Διοξείδιο του Άνθρακα	Lat	Latitude (Γεωγραφικό Πλάτος)
Isc Ρεύμα Βραχυκύκλωσης (A)	Lng	Longitude (Γεωγραφικό Μήκος)
Voc Τάση Ανοικτού Κυκλώματος (V)	alt	Γωνία Ύψους
PP Peak Power (Ισχύς Αιχμής) (W)	azi	Γωνία Αζιμουθίου
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ ΕΛΛΗΝΙΚΑ	BIPV	Building Integrated Photovoltaic Panels
Φ/Β Φωτοβολταϊκά	BAPV	Building Attached Photovoltaic Panels
E.E. Ευρωπαϊκή Ένωση	UDI	Useful Daylight Illuminance
μ.μ. Μετά Μεσημβρίας	DF	Daylight Factor
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ ΑΓΓΛΙΚΑ	DGI	Daylight Glare Index

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ιδιαίτερα έντονο χαρακτηρίζεται το ενεργειακό πρόβλημα σε ολόκληρο τον πλανήτη τις τελευταίες δεκαετίες με τα αποθέματα όλων των συμβατικών καυσίμων να εξαντλούνται. Μία σειρά πετρελαϊκών κρίσεων, και όχι μόνο, με όλες τις κοινωνικές και πολιτικές προεκτάσεις, καθιστά αντιληπτό ότι τα αποθέματα ενέργειας είναι περιορισμένα και τα διάφορης φύσης προβλήματα που συνεπάγεται αυτό, χρήζουν άμεσης επίλυσης.

Εξετάζοντας μια μόνο πτυχή αυτού του σύνθετου προβλήματος, την περιβαλλοντική, πολύ σημαντικές κρίνονται, πέραν της εξάντλησης, οι έντονες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την ίδια τη χρήση των συμβατικών καυσίμων. Ατμοσφαιρική ρύπανση από τα αέρια παράγωγα των καύσεων έχει αλλάξει εδώ και αιώνες τη φυσιογνωμία των πόλεων και πιθανόν το κλίμα και τους μηχανισμούς προστασίας της ατμόσφαιρας και της ζωής (φαινόμενο του θερμοκηπίου) στη γη.

Το 40% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας της Ε.Ε. αντιστοιχεί στον οικιστικό, βιομηχανικό και εμπορικό τομέα των κτιρίων, ενώ επίσης τα κτίρια είναι αυτά που παράγουν περισσότερο από το 30% των εκπομπών CO₂ στην Ε.Ε. Η ετήσια κατανάλωση ενέργειας όσον αφορά τα κτίρια, περιλαμβάνει συνήθως ενέργεια για φωτισμό, θέρμανση ή ψύξη των χώρων και ζεστό νερό χρήσης. Έρχεται λοιπόν στο προσκήνιο και γίνεται ολοένα και πιο γνωστή η χρήση ενεργητικών ηλιακών συστημάτων καθώς και άλλων συστημάτων θέρμανσης και ηλεκτρικών συστημάτων που βασίζονται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, για να καλύψουν τις ανάγκες αυτές.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα ηλιακού συστήματος είναι τα Φ/Β πλαίσια, τα οποία αρχίζουν να τοποθετούνται σταδιακά σε οροφές, να ενσωματώνονται σε δομικά στοιχεία και σκίαστρα, δημιουργώντας, στη δεύτερη περίπτωση, συστήματα με διπτό χαρακτήρα στη βελτίωση του ενεργειακού ισοζυγίου ενός κτιρίου.

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτέλεσε ο σχεδιασμός σκιάστρων για παράθυρα κτιρίου γραφείων στην περιοχή των Χανίων. Υποτέθηκε κτίριο αρκετών ορόφων απαρτιζόμενο δυνητικά από πανομοιότυπα γραφεία, με παράθυρα προς όλους τους προσανατολισμούς. Η παρούσα εργασία πραγματεύεται το σχεδιασμό σκιάστρων μόνο για Δυτικό προσανατολισμό, και αποτελεί συνέχεια προηγούμενης μελέτης που αξιολόγησε σκίαστρα με ενσωματωμένα Φ/Β για Νότιο προσανατολισμό (Mandalaki et al.,2012).

Οι διαστάσεις του κτιρίου αυτού είναι 4m x 5,9m x 3,5m, ενώ οι διαστάσεις του παραθύρου 2,5m x 1,9m.

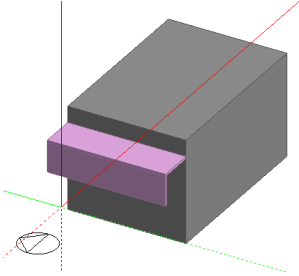
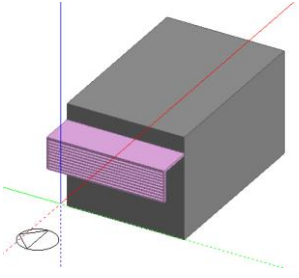
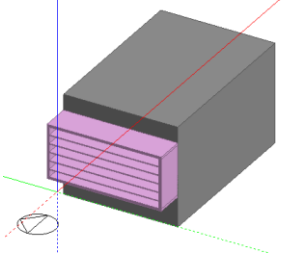
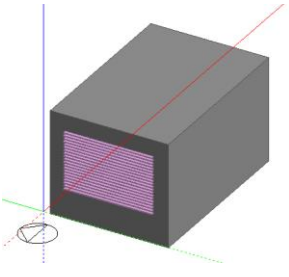
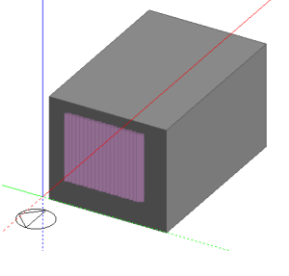
Τα σκίαστρα, έντεκα τον αριθμό, σχεδιάστηκαν με στόχο να μειώσουν τα θερμικά φορτία που δέχεται το κτίριο τη θερινή περίοδο, και παράλληλα να περιορίσουν το άμεσο φως και την πιθανή θάμβωση. Πιο συγκεκριμένα σχεδιάστηκαν για την αποφυγή της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας για την περίοδο 1^η Ιουνίου με 30^η Αυγούστου και για τις ώρες 12:00 με 16:00μμ που σύμφωνα με τα κλιματολογικά δεδομένα αποτελούν τις θερμότερες ημέρες του χρόνου.

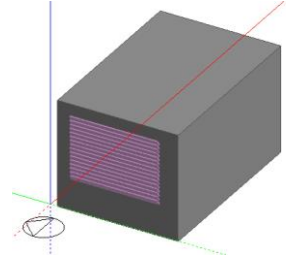
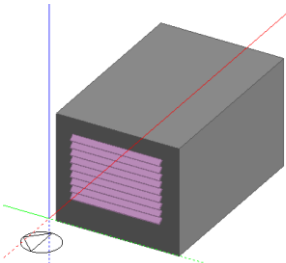
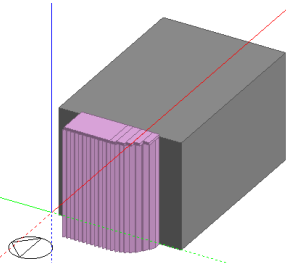
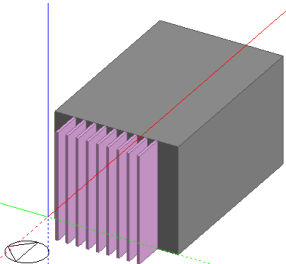
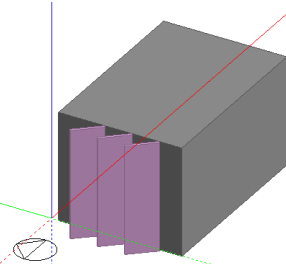
Για τη συγκεκριμένη περίοδο και ώρες, το γεωγραφικό πλάτος (Lat: 35,3°), γεωγραφικό μήκος (Lng: 24°) και ζώνη ώρας (+2:00 Κάιρο) των Χανίων, υπολογίστηκαν οι γωνίες ύψους (alt) και αζιμουθίου (azi) που

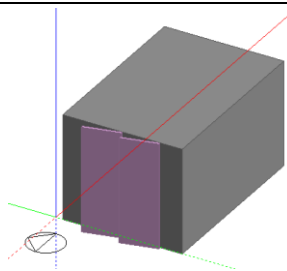
χρησιμοποιήθηκαν για το σχεδιασμό των σκιάστρων στο AutoCAD.

Σχεδιάστηκαν τα ακόλουθα συστήματα σκiasμού:

Πίνακας 1: Συνοπτική Παρουσίαση των Σκιάστρων

Σκίαστρο 1: <u>Πρόβολος με κατακόρυφο στοιχείο</u>	
Σκίαστρο 2: <u>Πρόβολος με κατακόρυφο στοιχείο</u> <u>περσίδων</u>	
Σκίαστρο 3: <u>Brise soleil με περσίδες</u>	
Σκίαστρο 4: <u>Οριζόντιες Περσίδες</u>	
Σκίαστρο 5: <u>Κατακόρυφες Περσίδες</u>	

<p>Σκίαστρο 6:</p> <p><u>Περσίδες οριζόντιες με κλίση</u></p> <p><u>Κατακόρυφες Περσίδες 1m εσωτερικά</u></p>	
<p>Σκίαστρο 7:</p> <p><u>Περσίδες οριζόντιες με κλίση</u></p> <p><u>εξωτερικά</u></p>	
<p>Σκίαστρο 8:</p> <p><u>Κατακόρυφες περσίδες με στροφή</u></p>	
<p>Σκίαστρο 9:</p> <p><u>Κατακόρυφες περσίδες 1m</u></p>	
<p>Σκίαστρο 10:</p> <p><u>Κατακόρυφες Περσίδες με κλίση</u></p> <p><u>πλάτους 1m</u></p>	

<p>Σκίαστρο 11:</p> <p><u>Κατακόρυφες Περσίδες με κλίση</u></p> <p><u>πλάτους 1,22m</u></p>	
---	--

Έπειτα υπολογίστηκε η απαιτούμενη ενέργεια για φωτισμό, θέρμανση και ψύξη, καθώς και η παραγωγή ενέργειας των Φ/Β που ενσωματώθηκαν στην εξωτερική πλευρά του κάθε σκίαστρου. Οι υπολογισμοί αυτοί έγιναν προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα για το ισοζύγιο ενέργειας που απαιτείται για την εξασφάλιση οπτικής και θερμικής άνεσης. Χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά Autodesk AutoCAD 2012, Autodesk Ecotect Analysis 2011, DesignBuilder v.2.2.5.004 και EnergyPlus v-8.1.

Στο κεφάλαιο 2 παραθέτονται παρόμοιες μελέτες που αποτέλεσαν είτε βάση είτε μέτρο σύγκρισης για τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, συνθέτοντας έτσι το τοπίο της διεθνούς αλλά και ελληνικής εμπειρίας επάνω στο συγκεκριμένο θέμα.

Το κεφάλαιο 3 περιλαμβάνει πληροφορίες θεωρητικού υποβάθρου που θα εισάγουν τον αναγνώστη στο κλίμα και θα καταστήσουν πιο κατανοητό το κάθε βήμα της εργασίας. Παρέχει πληροφορίες για τη λειτουργία των Φ/Β, για την ενσωμάτωσή τους σε δομικά στοιχεία και σκίαστρα καθώς και για τους ορισμούς θερμικής και οπτικής άνεσης.

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται τα σκίαστρα που σχεδιάστηκαν με τις διαστάσεις τους, ενώ πολύ αναλυτικά περιγράφεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε σε κάθε πρόγραμμα, καθώς και το σκεπτικό με το οποίο πραγματοποιήθηκε κάθε μετάβαση από το ένα πρόγραμμα στο άλλο.

Στο κεφάλαιο 5 και ίσως το πιο σημαντικό κομμάτι της εργασίας, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων από όλα τα προγράμματα σε πίνακες. Ακολουθεί στο τέλος η συζήτηση και ο σχολιασμός αυτών.

Στο 6^ο και τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας αναφέρονται τα τελικά συμπεράσματα και προτάσεις για συνέχεια και επέκταση της εργασίας και της έρευνας στο συγκεκριμένο θέμα.

2. STATE OF THE ART

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται ανασκόπηση της διεθνούς και ελληνικής βιβλιογραφίας, όσον αφορά κυρίως την ενσωμάτωση Φ/Β συστημάτων σε συστήματα σκίασης και την αξιολόγηση της αλλαγής που επιφέρουν στο ενεργειακό ισοζύγιο. Παραθέτονται συνοπτικά μελέτες σχετικές με το θέμα της παρούσας εργασίας και αποτελούν είτε τη βάση, είτε μέτρο σύγκρισης για τα αποτελέσματα της.

Η χρήση συσκευών σκίασης κρίνεται όλο και πιο σημαντική σε Μεσογειακές περιοχές. Σταθερά συστήματα αυτού του είδους μπορούν να περιορίσουν σημαντικά την αύξηση των θερμικών φορτίων κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, ενώ την ίδια στιγμή συμβάλλουν στον έλεγχο του έντονου φωτισμού της ημέρας, στη βελτίωση της όρασης και στη μείωση της αντανάκλασης. Γι' αυτό πολλές έρευνες προσανατολίζονται στη χρήση Φ/Β συστημάτων ενσωματωμένων σε συστήματα σκίασης [Mandalaki et al., 2012]. Σύμφωνα με τους [James et al., 2008], η ενσωμάτωση Φ/Β συστημάτων σε κτίρια αποτελεί μια σχετικά παλιά και βασική εφαρμογή για τις ανεπτυγμένες χώρες. Το ότι συνεχώς οι προσόψεις εμπορικών κτιρίων αλλάζουν φυσιογνωμία και πλέον δε χρησιμοποιούνται συμβατικά υλικά, καθιστά εύκολη τη χρήση Φ/Β πλαισίων σε αυτές με μηδαμινό ή μικρό κόστος. Η χρήση ημιδιαφανών Φ/Β σε προσόψεις εμπορικών αποτελεί ενδιαφέρουσα εφαρμογή δεδομένου ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αντικαταστήσουν τις παραδοσιακές λύσεις σκίασης οι οποίες συχνά έχουν υψηλό κόστος συντήρησης.

Η έρευνα του λοιπόν, το 2008 στο Ηνωμένο Βασίλειο αξιολογεί ένα ημιδιάφανο αίθριο από Φ/Β που συνδέει δύο κτίρια διοίκησης στο Πανεπιστήμιο του Southampton, και που περικλείει μέσα του ένα γραφείο, συγκρίνοντας εναλλακτικές μεθόδους σκίασης για το αίθριο. Η εφαρμογή αυτή παρέχει ταυτόχρονα παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, σκίαση κι ευχάριστο περιβάλλον εργασίας, ενώ η μελέτη συμπεραίνει πως μια τέτοια λύση δε θα πρέπει να θεωρείται επιλογή πολυτελείας καθώς μπορεί να πραγματοποιηθεί με προσιτό οικονομικό κόστος και συμβάλλει στη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα [James et al., 2008].

Σύμφωνα λοιπόν με άλλη έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο Χονγκ Κονγκ της Κίνας, επειδή προς το παρόν είναι ακόμα λίγη η διαθέσιμη πληροφορία σχετικά με τις επιπτώσεις των προσανατολισμών και των κλίσεων στα συνδυαστικά ενεργειακά αποτελέσματα των ενσωματωμένων Φ/Β, συμπεριλαμβανομένης της ισχύος των Φ/Β, των παραθύρων και των τοίχων από μπετόν, θεώρησαν ότι αξίζει να μελετηθούν οι επιπτώσεις διαφορετικών τύπων σκιάστρων στη συνολική εξοικονόμηση ενέργειας, προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η ενεργειακή απόδοση συστήματος. Λαμβάνοντας υπ' όψιν τις μετεωρολογικές συνθήκες του Χονγκ Κονγκ και τοποθετώντας τις επιφάνειες σε διαφορετικές γωνίες αζιμουθίου, ανέλυσαν τα ενεργειακά αποτελέσματα των ενσωματωμένων Φ/Β όσον αφορά την παραγωγή ενέργειας και τη μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων για ψύξη. Με βάση τα αποτελέσματα, ο βέλτιστος σχεδιασμός τέτοιων συσκευών σκίασης με ενσωματωμένα Φ/Β, για διαφορετικούς προσανατολισμούς μπορεί να επιτευχθεί. Όσον αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ενδείκνυται νότιος και νοτιοδυτικός προσανατολισμός για την τοποθέτηση των Φ/Β στην περιοχή του Χονγκ

Κονγκ. Αυτά τα συστήματα σκίασης όντως επιδρούν σημαντικά στη μείωση των φορτίων ψύξης για τα παράθυρα και τους τοίχους από σκυρόδεμα και όσον αφορά την επιφάνεια των Φ/Β, παράγουν σχεδόν τη διπλάσια ενέργεια από τα απλά Φ/Β πλαίσια. Τέλος όσον αφορά τις γωνίες κλίσης τοποθέτησης τους, οι βέλτιστες κρίνονται μεταξύ 30° και 50° [Sun et al., 2011].

Νορβηγική έρευνα, [Khezri, 2012], με στόχο και πάλι την αξιολόγηση των πιθανών επιπτώσεων των διαφόρων συστημάτων σκίασης στην ενεργειακή απόδοση και στον έλεγχο του φωτός της ημέρας σε κτίρια γραφείων σε Σκανδιναβικό κλίμα, ακολούθησε την εξής πορεία στην έρευνα:

Προσδιορισμός των σκιάστρων (σταθερών και κινητών)



Υπολογισμός της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας



Υπολογισμός παραγόμενης ενέργειας από Φ/Β



και εκτίμηση έντονου φωτός της ημέρας και θάμβωσης

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, στη Νορβηγία τα σκίαστρα δεν επιδρούν στη μείωση των συνολικών ενεργειακών απαιτήσεων του κτιρίου, γι' αυτό και αξιολογήθηκαν κυρίως με βάση την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Προέκυψαν συμπεράσματα όπως ότι οι οριζόντιες περσίδες παράγουν περισσότερο από τις κατακόρυφες, τα κινητά σκίαστρα θα ήταν η πιο ενδεδειγμένη λύση παρέχοντας οπτική άνεση και παραγωγή όλες τις ώρες αφού θα ακολουθούν την πορεία του ήλιου, κ.α. [Khezri, 2012].

Χαρακτηριστική είναι η ακόλουθη μελέτη που αποτέλεσε και πρόδρομος της παρούσας εργασίας. Στόχος μεταξύ άλλων, ήταν η αξιολόγηση συσκευών σκίασης με ενσωματωμένα Φ/Β ανάλογα με την ενεργειακή τους συμπεριφορά, για κτίρια γραφείων, σε μεσογειακό κλίμα. Να εξερευνηθεί δηλαδή η ισορροπία μεταξύ των αναγκών ενέργειας για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό ενός χώρου, και της ενέργειας που μπορούν να παράγουν τα ενσωματωμένα Φ/Β στα σκιάστρα.

Για το σκοπό αυτό μελετήθηκαν και κατηγοριοποιήθηκαν δεκατρείς (13) τύποι σταθερών σκιάστρων ανάλογα με την απόδοση τους, για ένα γραφείο στο οποίο θα απασχολείται ένας εργαζόμενος. Το ίδιο γραφείο προσομοιώθηκε για δυο περιοχές της Μεσογείου, την Αθήνα και τα Χανιά της Κρήτης, και για δύο μεγέθη παραθύρου Νότιου Προσανατολισμού. Η θερμική συμπεριφορά των σκιάστρων μελετήθηκε μέσω προσομοιώσεων λογισμικών, ενώ η ανάλυση της οπτικής άνεσης μέσω προσομοιώσεων αλλά και πειραματικών μετρήσεων. Ο προσανατολισμός, η κατασκευή του γραφείου και του παραθύρου, καθώς και τα εσωτερικά φορτία αποτέλεσαν σταθερές παραμέτρους ενώ μεταβλητή, υπήρξε μόνο ο τύπος του σκιάστρου.

Η μελέτη κατέδειξε λοιπόν ότι όλα τα σκιάστρα μπορούν να παράγουν επαρκή ενέργεια για την κάλυψη του φωτισμού, ενώ τρεις τύποι σκιάστρων (Surrounding shading, Brise–Soleil full facade and Canopy inclined Double) μπορούν να είναι αποτελεσματικά πέρα απ' το φωτισμό, και όσον αφορά τη θέρμανση και τη ψύξη. Και προέκυψε επίσης ότι τα πιο διαδεδομένα σε γραφεία σκιάστρα, οι οριζόντιες περσίδες με κλίση προς τα μέσα ή προς τα έξω, δε συμβάλλουν τόσο στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και θα

έπρεπε να αναθεωρηθεί η χρήση τους και να επικρατήσουν παρόμοια με αυτά που καταδεικνύει η μελέτη [Mandalaki et al., 2012].

Η συνέχεια στο ίδιο θέμα αφορούσε τη μελέτη των ίδιων σκιάστρων με τρεις διαφορετικές μεθόδους. Ένα απλό μοντέλο προσομοίωσης της ενέργειας που χρησιμοποιεί τη θεωρητική μέση απόδοση Φ/B 12%, ένα ολοκληρωμένο μοντέλο προσομοίωσης σε υπολογιστή με λεπτομερείς εξισώσεις (χρησιμοποιώντας είτε θεωρητικά είτε πραγματικά προϊόντα Φ/B της αγοράς), και μετρήσεις από εγκαταστάσεις πραγματικών Φ/B.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η απλή προσομοίωση και τα πιο σύνθετα μοντέλα έχουν παρόμοια απόδοση για την πλειονότητα των σκιάστρων, εκτός από εκείνα με πιο περίπλοκη γεωμετρία. Επιπλέον, το μοντέλο που χρησιμοποιεί παραμέτρους των μοντέλων των Φ/B συστημάτων που είναι ήδη διαθέσιμα στην αγορά, μπορούν να παρέχουν αποτελέσματα για την παραγωγή ενέργειας, ακόμη και για πιο πολύπλοκες γεωμετρίες. Κατέληξε τέλος στο συμπέρασμα ότι οι πραγματικές Φ/B εγκαταστάσεις παράγουν αποτελέσματα πολύ κοντά στη θεωρητική μέση απόδοση των Φ/B του 12%. Αναλόγως λοιπόν με την τάξη της ακρίβειας που απαιτείται κάθε φορά, θα πρέπει να επιλέγεται η κατάλληλη μέθοδος προσομοίωσης ή μελέτης [Mandalaki et al., 2013].

Παρατηρείται ότι τα τελευταία δυο με τρία χρόνια, είναι αρκετά λιγότερες οι δημοσιεύσεις που αφορούν ενσωμάτωση Φ/B σε σκιάστρα σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια, και σε σχέση με παρόμοια θέματα, όπως ενσωμάτωση σε προσόψεις ή εφαρμογές “double envelope”. Οι τελευταίες εφαρμογές φαίνεται να κερδίζουν το ενδιαφέρον, αποτελώντας πιθανών μια πιο σύνθετη

προσέγγιση του προβλήματος στην παραγωγή ενέργειας από Φ/Β, όμως ξεφεύγει από τα όρια εξέτασης της παρούσας εργασίας.

3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

3.1 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ

3.1.1 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

Όταν σε επιφάνεια οποιουδήποτε υλικού, προσπίπτει ηλιακή επιφάνεια, ποσοστό αυτής της ακτινοβολίας ανακλάται, τμήμα της το διαπερνά, κι ένα τρίτο απορροφάται από αυτό. Η απορρόφηση της ενέργειας ουσιαστικά σημαίνει τη μετατροπή της σε άλλη μορφή ενέργειας λόγω της αρχής διατήρησης της.

Η μετατροπή της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας, που απορροφάται από ένα υλικό, σε ηλεκτρική ενέργεια ονομάζεται Φ/Β φαινόμενο και η διάταξη που προκαλεί αυτό το φαινόμενο ονομάζεται Φ/Β στοιχείο.

3.1.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ

Η λειτουργία του Φ/Β στοιχείου, και του Φ/Β συστήματος εν γένει, στηρίζεται στις βασικές ιδιότητες των ημιαγωγών υλικών σε ατομικό επίπεδο. Ημιαγωγοί είναι τα υλικά που επιτρέπουν τη μετατροπή της ενέργειας των φωτονίων, που προσπίπτουν στην επιφάνεια τους, σε ηλεκτρική.

Ένα Φ/Β στοιχείο αποτελείται από δύο στρώματα ημιαγωγών τύπου p (positive) και n (negative), ή πολλαπλές εναλλαγές τέτοιων στρωμάτων. Στη μπροστινή επιφάνεια από την οποία εισέρχεται το φως, υπάρχει αντανakλαστικό στρώμα, ενώ στην οπίσθια επιφάνεια υπάρχει μεταλλικό στρώμα (μεταλλική επιφάνεια).

Μια κατασκευή που θα περιλαμβάνει ένα σύνολο Φ/Β στοιχείων συνδεδεμένων σε σειρά, προσαρμοσμένη σε ένα μεταλλικό πλαίσιο, ονομάζεται Φ/Β πλαίσιο ή πάνελ (Photovoltaic module).

Τα πιο συνηθισμένα Φ/Β στοιχεία έχουν ως φωτοαγωγίμο υλικό το πυρίτιο και μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες:

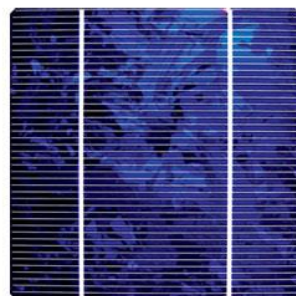
- Φ/Β στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου (Single-crystal Silicon) με απόδοση 21% έως 24% για τα στοιχεία, και 13% έως 16% για τα πλαίσια.

Εικόνα 1: Single-Crystal Silicon [<http://www.sovoxglobal.com>]

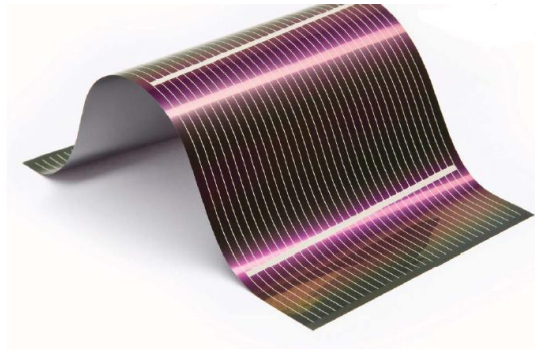


- Φ/Β στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου (Multicrystalline Silicon) με απόδοση 17% έως 20% για στοιχεία, και 10% έως 14% για πλαίσια.

Εικόνα 2: Multicrystalline Silicon [<http://www.alpstechnologyinc.com>]



- Φ/Β στοιχεία άμορφου πυριτίου (Amorphous ή Thin Film Silicon) με απόδοση 6% έως 10% αρχικά, που με την πάροδο του χρόνου πέφτει στο 4% με 8% για τα πλαίσια.



Χαρακτηριστικά μεγέθη του Φ/Β στοιχείου είναι η ενεργειακή απόδοση (efficiency), η ισχύς αιχμής ή μέγιστη ισχύς, ο παράγων πλήρωσης, το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} και η τάση ανοικτού κυκλώματος V_{oc} σε συγκεκριμένες συνθήκες φωτισμού και θερμοκρασίας του στοιχείου.

Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ενός Φ/Β πλαισίου είναι τα ακόλουθα:

- Ονομαστική ισχύς (ισχύς αιχμής ή μέγιστη ισχύς) ενός Φ/Β πλαισίου. Συμβολίζεται με P_p (Peak Power) κι ενώ μονάδα μέτρησης της ισχύος είναι το 1W, όταν πρόκειται για ισχύ αιχμής χρησιμοποιείται το W_p .
- Απόδοση (efficiency) και συντελεστής απόδοσης ενός Φ/Β πλαισίου η ($\eta < 1$). Δίνεται από τη σχέση $\eta = P_m / P_{inc}$ και είναι ποσοστό ($\eta * 100\%$). Όπου:
 P_{inc} : η προσπίπτουσα ισχύς φωτεινής ακτινοβολίας πάνω στο Φ/Β πλαίσιο.
 P_m : η ηλεκτρική ισχύς που αποδίδει το πλαίσιο στο σημείο μέγιστης ισχύος.
- Συντελεστής πλήρωσης (Fill Factor, FF) ενός Φ/Β πλαισίου. Ορίζεται ως το πηλίκο της μέγιστης ισχύος P_m που δίνει ένα πλαίσιο προς την ισχύ P που θα έδινε το πλαίσιο αν είχε στα άκρα του μέγιστη ισχύ V_{oc} και διαρρέοταν από ρεύμα I_{sc} [Κανάκης, 2012].

3.1.3 ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ Φ/Β ΣΕ ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ο οικιστικός, βιομηχανικός και εμπορικός τομέας των κτιρίων, ευθύνονται για περισσότερο από το 40% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας της Ε.Ε., ενώ επιπλέον τα κτίρια είναι αυτά που παράγουν περισσότερο από το 30% των εκπομπών CO₂ στην Ε.Ε.

Η ετήσια κατανάλωση ενέργειας εκφράζεται, συνήθως, σε μονάδες πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m²y), και περιλαμβάνει την κατανάλωση ενέργειας, συνήθως, για φωτισμό και ζεστό νερό χρήσης. Η θετική επίδραση των ενεργητικών ηλιακών συστημάτων καθώς και άλλων συστημάτων θέρμανσης και ηλεκτρικών συστημάτων που βασίζονται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι γνωστή.

Έτσι, για παράδειγμα, τα Φ/Β στοιχεία, που αποτελούν σημαντική κατηγορία των ενεργητικών ηλιακών συστημάτων, κερδίζουν ολοένα και μεγαλύτερο μερίδιο στη παραγωγή ενέργειας σήμερα. Εγκατάσταση αυτών στις οροφές είναι ο πιο συνηθισμένος τρόπος εφαρμογής Φ/Β σε κτίρια, αλλά όχι ο μόνος δυνατός. Η εγκατάσταση τους σε νότιες προσόψεις κτιρίων είναι επίσης μια δυνατότητα [Zogou & Stapountzis, 2010].

3.1.4 ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ Φ/Β ΣΕ ΣΚΙΑΣΤΡΑ

Η χρήση σκιάστρων κρίνεται από σημαντική έως απαραίτητη, σε προσόψεις κτιρίων που βρίσκονται σε περιοχές όπου επικρατούν Μεσογειακά κλίματα. Η τοποθέτηση σταθερών σκιάστρων, μπορεί να ελέγξει και να μειώσει τα αυξανόμενα θερμικά φορτία κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, ενώ την ίδια στιγμή μπορεί να ελέγξει και το έντονο φως της ημέρας, αποκαθιστώντας οπτική άνεση [Fontoyont, 1998; Mehrotra, 2005; Yoo and Manz, 2011].

Η ένταξη επομένως Φ/Β σε συστήματα σκίασης ενδείκνυται σα λύση για τις προαναφερθείσες περιοχές και αποτελεί μια ενδιάμεση λύση μεταξύ των συστημάτων BIPV (Building Integrated Photovoltaic Panels) και BAPV (Building Attached Photovoltaic Panels) ή “Φωτοβολταϊκά Πάνελ Ενσωματωμένα στο κτίριο” και “Φ/Β Πάνελ Τοποθετημένα στο κτίριο” αντίστοιχα [Peng et al, 2011] .

Το λεγόμενο “state of the art” σχετικά με την ένταξη Φ/Β σε δομικά στοιχεία και σκίαστρα έχει αναπτυχθεί σημαντικά και παραδείγματα αναφέρονται στο αντίστοιχο κεφάλαιο της Διεθνούς και Ελληνικής εμπειρίας της παρούσας εργασίας.

3.2 ΑΝΕΣΗ

3.2.1 ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ

Ο ανθρώπινος οργανισμός μπορεί να περιγραφεί σαν μια βιολογική μηχανή που καίει την τροφή ως καύσιμο και παράγει θερμότητα ως παραπροϊόν. Όλοι οι θερμόαιμοι οργανισμοί, και ο άνθρωπος εν προκειμένω, απαιτούν σταθερές θερμοκρασίες σώματος για τη διαβίωση τους. Το ανθρώπινο σώμα προσπαθεί να διατηρεί τη θερμοκρασία του στους 37°C και μικρές σχετικά αλλαγές μπορούν να προκαλέσουν διαταραχές ή και θάνατο [Lechner & Norbert, 2001].

Για το λόγο αυτό, η θερμότητα που παράγεται πρέπει να εξισορροπείται με τη θερμότητα που αποβάλλεται. Η εξισορρόπηση μπορεί να πραγματοποιηθεί σε ένα ποσοστό με διάφορους μηχανισμούς του ίδιου του οργανισμού, όπως εκπνοή θερμού και υγρού αέρα και φυσικά μέσω του δέρματος, που ελέγχει

την ποσότητα του αίματος που το διαρρέει ανάλογα με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, και με τους ιδρωτοποιούς αδένες που συμβάλλουν στην αποβολή θερμότητας μέσω της εξάτμισης.

Η ανάγκη για επιπλέον προστασία από τις θετικές ή αρνητικές αλλαγές της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, ώθησε τον άνθρωπο στην ανακάλυψη του ρουχισμού, της κατοικίας και άλλων θερμικών εμποδίων. Ο ρουχισμός αποτελεί πολύ σημαντικό παράγοντα για τη θερμική άνεση.

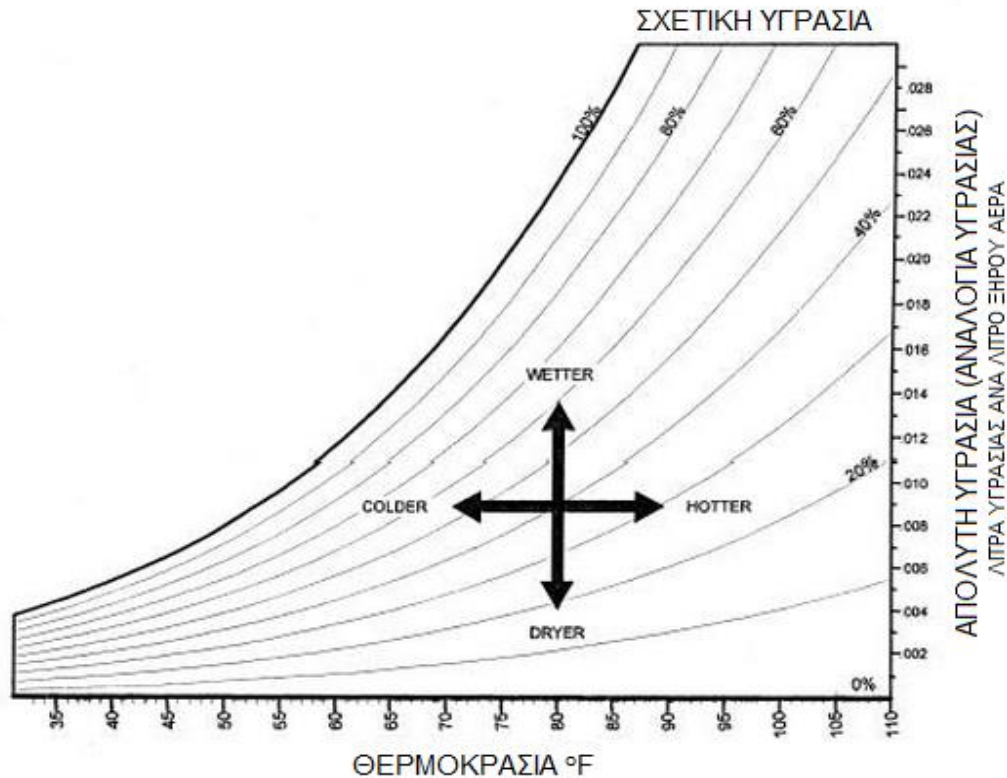
Τέσσερις συνθήκες του περιβάλλοντος επίσης αποτελούν σημαντικά κριτήρια του ποσοστού θερμότητας που αποβάλλεται από τον ανθρώπινο οργανισμό.

Αυτές είναι :

1. Η θερμοκρασία του αέρα: καθορίζει το ποσοστό της θερμότητας που χάνεται μέσω αγωγής.
2. η σχετική υγρασία: σχετίζεται με την εξάτμιση μέσω του δέρματος. Ο ξηρός αέρας απορροφά την υγρασία απ' το δέρμα, με αποτέλεσμα το δροσισμό του. Αντίθετα υψηλά ποσοστά σχετικής υγρασίας δυσκολεύουν αυτή τη διαδικασία.
3. η ταχύτητα του αέρα: η κίνηση του αέρα επηρεάζει το ρυθμό απώλειας θερμότητας μέσω αγωγής και εξάτμισης.
4. η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας: η τιμή της θα πρέπει να είναι κοντά στη θερμοκρασία περιβάλλοντος, διαφορετικά επηρεάζει φαινομενικά την αίσθηση της θερμοκρασιακής άνεσης με την παρουσία ή μη του ήλιου.

Παραστατικό εργαλείο για την κατανόηση του πόσο επηρεάζει ο συνδυασμός θερμοκρασίας- υγρασίας την άνεση, αποτελεί το ψυχομετρικό διάγραμμα.

Εικόνα 4: Ψυχομετρικό Διάγραμμα [Lechner & Norbert, 2001]











Μια γενικευμένη και απλή εξήγηση ορίζει ότι κάθε σημείο πάνω στο διάγραμμα αντιπροσωπεύει μια μάζα αέρα που βρίσκεται σε συγκεκριμένη θερμοκρασία, σχετική και απόλυτη υγρασία. Κάθετη κίνηση προς τα πάνω υποδεικνύει αύξηση του ποσοστού υγρασίας, ενώ προς τα κάτω μείωση αυτού (αφύγρανση). Κίνηση προς τα δεξιά σημαίνει θέρμανση του αέρα, και προς τ' αριστερά ψύξη. Όταν παρατηρούνται αλλαγές στη θερμοκρασία με σταθερή τη σχετική υγρασία, έχουμε κίνηση της αέριας μάζας επάνω στις καμπύλες. Με σταθερή την απόλυτη υγρασία, αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε μείωση της σχετικής, και αντίστοιχα με μείωση της θερμοκρασίας έχουμε αύξηση της σχετικής υγρασίας. Αυτό είναι λογικό καθώς ως γνωστόν ο ψυχρός αέρας συγκρατεί μικρότερη ποσότητα υγρασίας από το θερμό.

Προσεγγίζεται κι άλλο ο ορισμός της θερμικής άνεσης, εισάγοντας την παράμετρο του μεταβολικού ρυθμού. Η δραστηριότητα μπορεί να καθορίζεται σε

μεγαλύτερο ποσοστό το θερμικό ισοζύγιο από τις εξωτερικές συνθήκες. Σαν παράδειγμα προς επεξήγηση παρατίθεται ο παρακάτω πίνακας. Παρουσιάζει μέση παραγόμενη θερμότητα από την κάθε δραστηριότητα σε btu/h και το ισοδύναμο της σε W [Lechner & Norbert, 2001].

Πίνακας 2: Παραγωγή Θερμότητας Σώματος ως Λειτουργία της Ανατομίας [Lechner & Norbert, 2001]

Δραστηριότητα		Παραγόμενη Θερμότητα (btu/hour)		Watts
	Ύπνος	300		100
	Ελαφρά εργασία	600		200
	Περπάτημα	900		300
	Ελαφρύ τρέξιμο	2400		800

Το συνδυασμό τώρα των εξωτερικών συνθηκών με τη δραστηριότητα και το μεταβολικό ρυθμό παρουσιάζει ο πίνακας του TOTEΕ (βλ.Παράρτημα). Δίνει τη βέλτιστη τιμή θερμοκρασίας του αέρα και σχετικής υγρασίας ανάλογα με τη χρήση της κάθε ζώνης για χειμερινή και θερινή περίοδο.

Τον τομέα της επιστήμης της θερμικής άνεσης έχουν απασχολήσει κυρίως μελέτες για κλειστούς χώρους αρχικά, καθώς σε αυτούς ο μέσος άνθρωπος περνά το 80% του χρόνου της ημέρας του, και πιο συγκεκριμένα μελέτες για χώρους εργασίας και υπηρεσίες, παρότι τα αποτελέσματα βρίσκουν εφαρμογή και στον οικιακό τομέα.

Στην ανάπτυξη της επιστήμης αυτής, σημαντική ώθηση έχει δώσει η διαμάχη μεταξύ της προσέγγισης της θερμικής ισορροπίας, βάσει όλων των παραμέτρων που έχουν προαναφερθεί, και της προσέγγισης της άνεσης που περιλαμβάνει τον παράγοντα της προσαρμοστικότητας [Darby & White,2005].

Παρατηρείται λοιπόν ότι δεν υπάρχει απόλυτο πρότυπο αυτής, και προκειμένου να προσδιοριστεί ο όρος με σαφήνεια συνοψίζοντας, υπάρχουν οι παρακάτω προσεγγίσεις:

- Η προσέγγιση της θερμικής ισορροπίας που βασίζεται σε αντικειμενικά κριτήρια όπως εξωτερικές συνθήκες και δραστηριότητα, και
- Η ψυχολογική προσέγγιση ορίζει πολύ απλουστευμένα, πως πρόκειται για την κατάσταση του μυαλού που εκφράζει την ικανοποίηση του για το θερμικό περιβάλλον [ASHRAE (ISO 7330)] [Hoppe,2002].

Ο υποκειμενικός παράγοντας, παρότι συμβάλλει σημαντικά στον προσδιορισμό της θερμικής άνεσης ξεφεύγει από τα πλαίσια που εξετάζει η παρούσα εργασία.

3.2.2 ΟΠΤΙΚΗ ΑΝΕΣΗ

Σε ένα ηλιοφώτιστο περιβάλλον αναγνωρίζουμε τρεις βασικές πτυχές:

- την οπτική απόδοση
- την ποιότητα αυτής, και
- τις συνθήκες φυσιολογίας της.

Η όραση θα πρέπει να δύναται να λειτουργεί σαν ένας αποτελεσματικός δίαυλος επικοινωνίας με τον εγκέφαλο, καθώς σε αυτή στηριζόμαστε για το 80% της πληροφορίας που συγκεντρώνουμε από το περιβάλλον [Baker & Steemers, 2002].

Οι απαιτήσεις για καλή οπτική απόδοση, αφορούν στην κάλυψη αναγκών διεκπεραίωσης διάφορων καθημερινών δραστηριοτήτων και βιολογικών αναγκών. Παραδείγματα δραστηριοτήτων, στις οποίες παίζει σημαντικό ρόλο το φως και οι ιδιότητές του, αποτελούν: η ανάγνωση και η γραφή, η

παρατήρηση και η αναγνώριση της υφής αντικειμένων που μας περιβάλλουν, η εργασία μπροστά σε οθόνες (π.χ. υπολογιστές).

Ανεξάρτητες από κουλτούρα και τρόπο ζωής, τέτοιες βιολογικές ανάγκες αφορούν χωρικό και χρονικό προσανατολισμό, αναγνώριση δομικής μορφής αντικειμένων και περιβάλλοντος χώρου, επιλογή φωτεινών χώρων με θετικό αντίκτυπο στη ψυχολογία και αποφυγή αίσθησης ανασφάλειας που εγκυμονεί η έλλειψη φωτός [Lechner & Norbert, 2001].

Ως οπτική άνεση ή ευνοϊκές συνθήκες φυσιολογίας, ορίζονται εκείνες για τις οποίες το οπτικό πεδίο δεν προκαλεί καταπόνηση των ματιών ή αίσθηση θάμβωσης, λόγω έλλειψης ή έντονου φωτός αντίστοιχα [Baker-Steemers, 2002]. Η οπτική άνεση παρόλα αυτά σχετίζεται ακόμη πιο άμεσα με την υγεία. Έλλειψη ή υπερέκθεση στο φως της ημέρας μπορούν να έχουν σημαντικές επιπτώσεις σε αυτή. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα του συνδρόμου της Εποχιακής Συναισθηματικής Διαταραχής που εμφανίζεται το χειμώνα σε περιοχές με μικρής διάρκειας ημέρα, και οφείλεται κυρίως σε διαταραχές της παραγωγικής διαδικασίας της μελατονίνης κι επομένως σε διαταραχή του κιρκαδικού κύκλου. Ενώ πιο γνωστές κι εξαιρετικά επικίνδυνες είναι οι επιπτώσεις της υπεριώδους ακτινοβολίας [Lechner & Norbert, 2001].

Για όλους αυτούς τους λόγους έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι που προσπαθούν να ποσοτικοποιήσουν την οπτική άνεση και να προσδιορίσουν τα όρια που προκαλούν δυσaréσκεια, εισάγοντας δείκτες κι εξετάζοντας διάφορες ιδιότητες του φωτός όπως την οξύτητα ή τη λάμψη [Baker & Steemers, 2002].

Στην πραγματικότητα τα κριτήρια άνεσης διαχωρίζονται σε κριτήρια που αφορούν το φωτισμό και τη θάμβωση.

- Τα κριτήρια φωτισμού συμβάλλουν στην εκτίμηση επάρκειας ποσοστού φωτός, φυσικού ή κάποιας εγκατάστασης φωτισμού, για τη διεκπεραίωση εργασίας κυρίως σε οριζόντιο επίπεδο. Χαρακτηριστικοί δείκτες είναι οι : Daylight Factor (DF) και Useful Daylight Illuminance (UDI).
- Τα κριτήρια θάμβωσης χρησιμοποιούνται για να αξιολογήσουν την οπτική άνεση σε ένα χώρο ή να ποσοτικοποιήσουν κατά κάποιο τρόπο τη δυσaréσκεια λόγω έντονου φωτισμού. Αναφορικά με το φυσικό φως, ευρέως χρησιμοποιούμενο μέτρο αποτελεί ο δείκτης “Daylight Glare Index (DGI)” [Ochoa et.al., 2011].

Daylight Factor (DF): Πρόκειται για την ποσοστιαία αναλογία του φωτισμού του εσωτερικού χώρου, προς το φωτισμό του εξωτερικού περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια μιας συνεφιασμένης μέρας. Αποτελεί επομένως ένδειξη αποτελεσματικότητας ενός σχεδιασμού στο να μεταφέρει φυσικό φως στον εσωτερικό χώρο [Lechner & Norbert, 2001].

Πίνακας 3: Τυπικές ελάχιστες τιμές του DF, [Lechner & Norbert, 2001]

Είδος χώρου	Daylight Factor (%)
<i>Art Studios, Galleries</i>	46
<i>Εργοστάσια, Εργαστήρια</i>	35
<i>Γραφεία, αίθουσες, γυμναστήρια, κουζίνες</i>	2
<i>Χώροι υποδοχής, αίθουσες αναμονής, σαλόνια, εκκλησίες</i>	1
<i>Διάδρομοι, υπνοδωμάτια</i>	0,5

Useful Daylight Illuminance (UDI): Πρόκειται ίσως για το πιο συνηθισμένο μέτρο που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της παροχής φυσικού φωτισμού. Ορίζεται ως η ετήσια παρατήρηση εντάσεων φωτισμού, στην εξεταζόμενη επιφάνεια του επιπέδου εργασίας, που βρίσκονται εντός ενός εύρους το οποίο θεωρείται “χρήσιμο” από τους χρήστες του χώρου. Το εύρος αυτό βασίζεται στις αναφορές μιας έρευνας, κατά την οποία χρήστες ηλιοφώτιστου χώρου γραφείων με τη δυνατότητα σκίασης από συστήματα χρησιμοποιούμενα από τους ίδιους, εξέφρασαν τις προτιμήσεις τους και μελετήθηκε η συμπεριφορά τους. Τιμές του δείκτη UDI μεταξύ 100 και 300 lux θεωρούνται αποτελεσματικές είτε σαν αποκλειστική πηγή φυσικού φωτισμού είτε σε συνδυασμό με κάποια τεχνητή πηγή. Ενώ τιμές μεταξύ 300 και 3000 lux θεωρούνται είτε επιθυμητές είτε τουλάχιστον ανεκτές [Mardaljevic and Nabil, 2005].

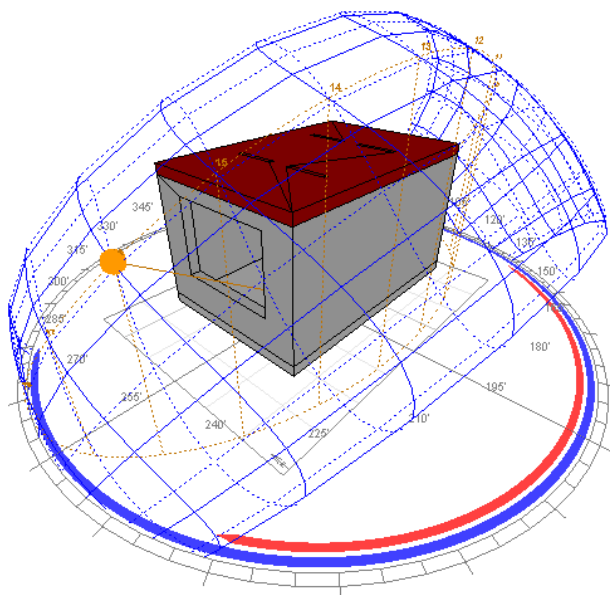
Daylight Glare Index (DGI): Όλοι οι δείκτες θάμβωσης, και ο DGI στη συγκεκριμένη περίπτωση, έχουν προκύψει από εμπειρικές εκτιμήσεις ή από αντιληπτική ανάλυση δειγμάτων. Ο DGI αναπτύχθηκε με μια εμπειρική μέθοδο που βασίζεται στην αντιληπτική ανάλυση της δυσφορίας λόγω θάμβωσης που προκλήθηκε από πηγές ομοιόμορφου τεχνητού φωτός πάνω από τη γραμμή της όρασης [Lukiesh&Guth, 1949].

Στην παρούσα εργασία, οι προαναφερθέντες δείκτες δεν αποτελούν αντικείμενο μελέτης. Η έρευνα σταματά στην εκτίμηση της απαιτούμενης ποσότητας φωτισμού για την επίτευξη οπτικής άνεσης και μόνο σε αυτή.

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η προσέγγιση του προβλήματος ξεκίνησε με το σχεδιασμό των σκιάστρων. Αφού μελετήθηκε η κίνηση του ήλιου με τη βοήθεια του βιβλίου , Βιοκλιματικός Σχεδιασμός- Περιβάλλον και Βιωσιμότητα της κ. Ελένης Ανδρεαδάκη, και του προγράμματος Autodesk Ecotect Analysis 2011, εντοπίστηκαν η ημέρα και η ώρα που ο ήλιος έχει τη δυσμενέστερη γωνία ύψους και αζιμουθίου για την περίοδο που εξετάζεται.

Εικόνα 5: Γραφείο με Δυτικό προσανατολισμό και δυσμενέστερη γωνία ύψους και αζιμουθίου (30η Αυγούστου, 16:00μ.μ.)



Με γνώμονα τις γωνίες της θέσης του ήλιου για την 30^η Αυγούστου και ώρα 16:00 μμ, και αφού διερευνήθηκαν οι αποτελεσματικότεροι τύποι σκιάστρων για δυτικό προσανατολισμό [Lechner & Norbert, 2001], [Ανδρεαδάκη, 2006], [Olgyay, 1976], σχεδιάστηκαν έντεκα διαφορετικά σκιάστρα με τη χρήση του Autodesk AutoCAD 2012.

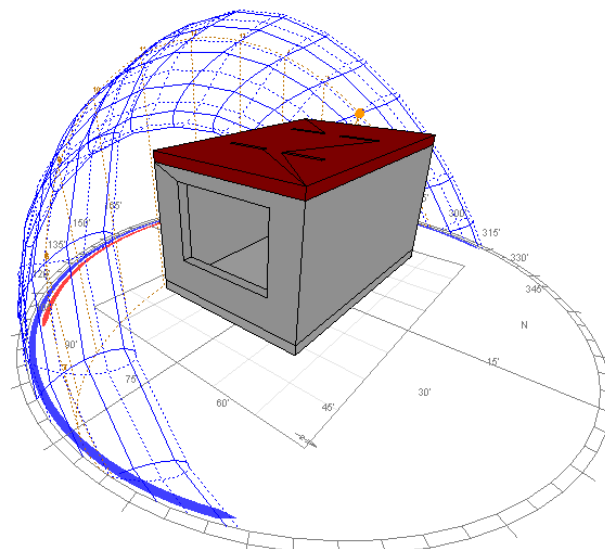
Το επόμενο βήμα ήταν ο σχεδιασμός σε τρεις διαστάσεις και ο έλεγχος της αποτελεσματικότητάς τους και πάλι στο Autodesk Ecotect Analysis 2011. Εκ

νέου τρισδιάστατος σχεδιασμός πραγματοποιήθηκε στο DesingBuilder v.2.2.5.004 όπου εισήχθησαν περισσότερα δεδομένα και έγινε η πρώτη προσομοίωση με τα αποτελέσματα για την απαιτούμενη ενέργεια για Φωτισμό, Θέρμανση και Κλιματισμό του γραφείου.

Τελευταίο βήμα της διαδικασίας αποτέλεσε η εισαγωγή των αρχείων αυτών στο EnergyPlus v-8.1. όπου τοποθετήθηκαν Φ/Β στις επιφάνειες ενδιαφέροντος και υπολογίστηκε η παραγόμενη ενέργεια για την κάθε περίπτωση.

Όταν από τα αποτελέσματα προέκυψαν τα τρία καλύτερα σκίαστρα, σύμφωνα με την παραγωγή των Φ/Β σε σχέση με τις ανάγκες, για τα τρία αυτά στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις, αυτή τη φορά για διαφορετικό προσανατολισμό και περιοχή.

Εικόνα 6: Γραφείο με Ανατολικό προσανατολισμό και δυσμενέστερη γωνία ύψους και αζιμουθίου (30η Αυγούστου, 16:00μ.μ.)



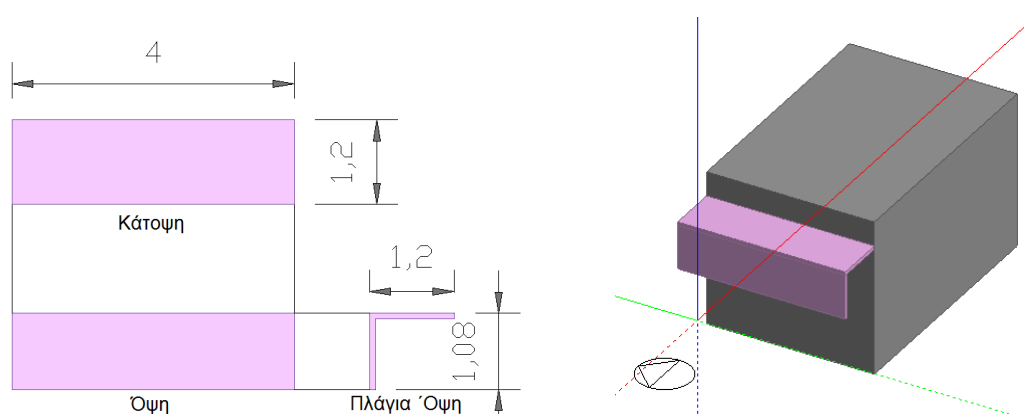
Αλλάζοντας λοιπόν τον προσανατολισμό του παραθύρου στην Ανατολή, αρχικά για Χανιά κι έπειτα για Θεσσαλονίκη και Αθήνα τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας απέκτησαν όγκο. Παραθέτονται λεπτομερέστερα οι

διαδικασίες που ακολουθήθηκαν σε κάθε πρόγραμμα καθώς και η αναλυτική παρουσίαση των σκιάστρων που σχεδιάστηκαν.

4.1. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΚΙΑΣΤΡΩΝ

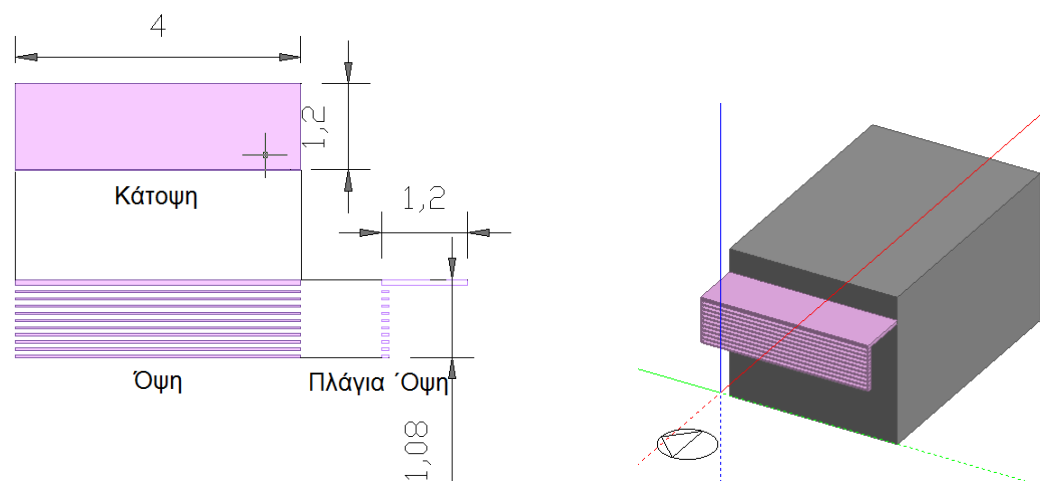
Όλα τα σκίαστρα αποτελούν συστήματα εξωτερικής σταθερής σκίασης ή διαφορετικά σταθερό μέρος της πρόσοψης του κτιρίου. Έτσι δικαιολογούνται και οι τόσο μεγάλες διαστάσεις. Το πάχος των τμημάτων των σκίαστρων, είναι στα 0,03m στα πιο μικρά και συχνότερα επαναλαμβανόμενα τμήματα, ενώ στα 0,08m στα μεγαλύτερα τμήματα.

Σκίαστρο 1: Πρόβολος με κατακόρυφο στοιχείο



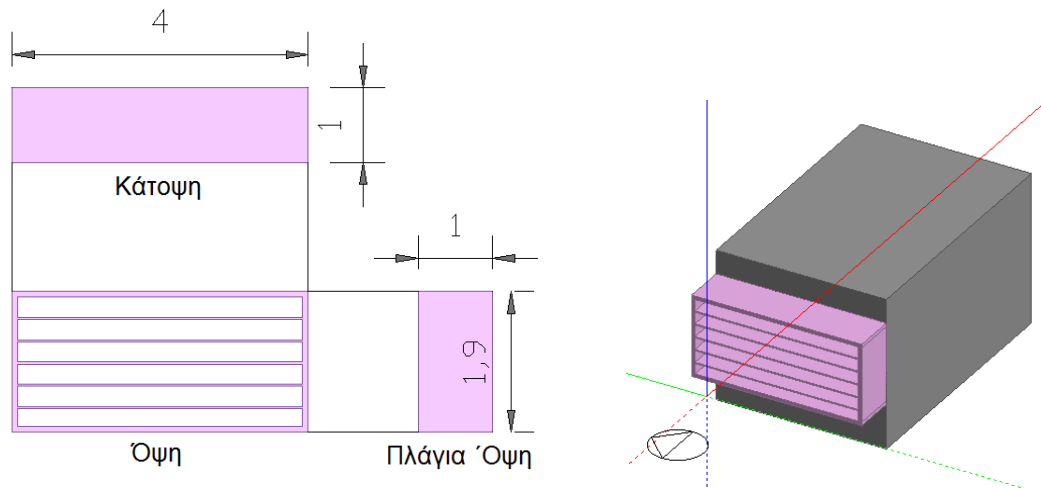
Το πρώτο σκίαστρο αποτελεί κλασσικό παράδειγμα οριζόντιου προβόλου με κατακόρυφο κομμάτι από μπροστά (διαστάσεις όπως ακριβώς αναγράφονται) για να καλύπτει μέχρι τις 16:00μ.μ. Το πάχος τους είναι 0,08m.

Σκίαστρο 2: Πρόβολος με κατακόρυφο στοιχείο περσίδων



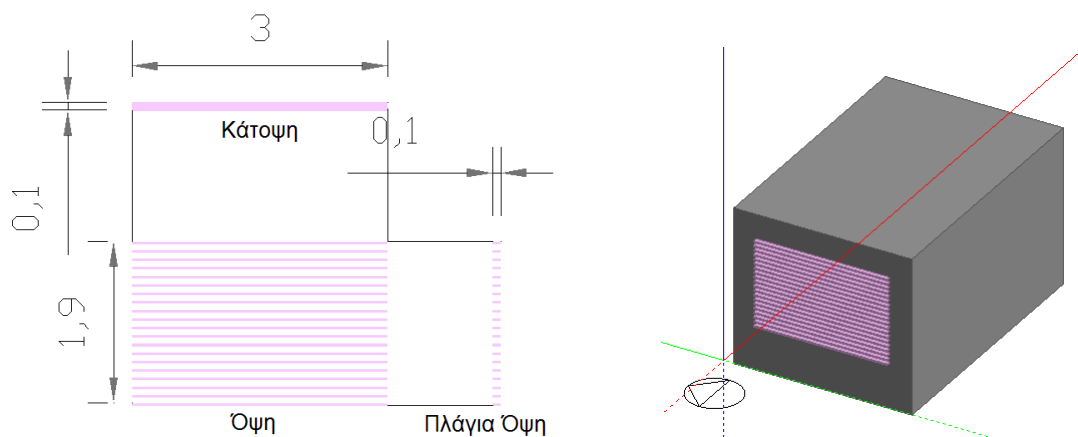
Παρόμοιο με το πρώτο, αντί του ενιαίου κατακόρυφου κομματιού όμως τοποθετούνται αυτή τη φορά οριζόντιες περσίδες χωρίς κλίση στις διαστάσεις που αναγράφονται. Το πάχος για το οριζόντιο κομμάτι είναι στα 0,08m και για τις περσίδες 0,03m.

Σκίαστρο 3: Brise soleil με περσίδες



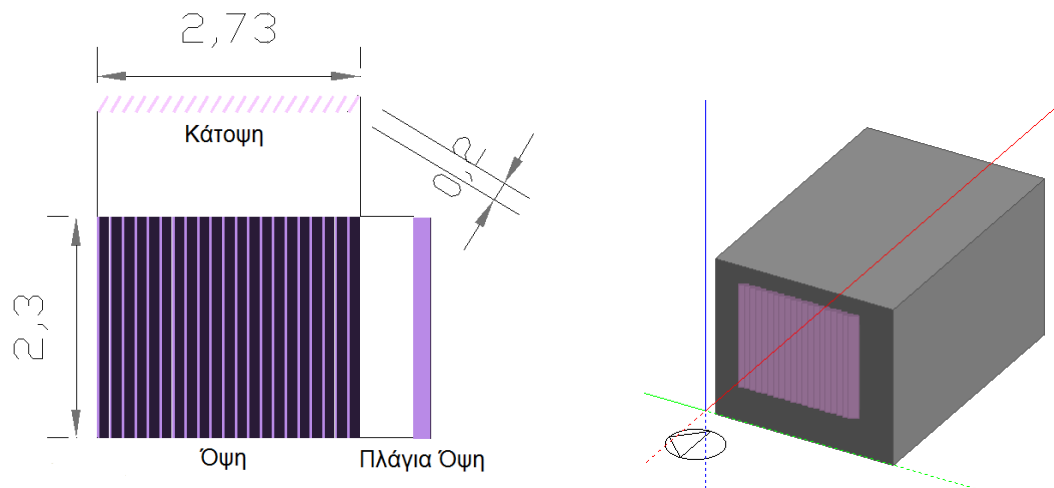
Μεγαλύτερες οριζόντιες περσίδες που περιβάλλονται από οριζόντια και κατακόρυφα κομμάτια με τις διαστάσεις όπως παρουσιάζονται. Το πάχος των περσίδων είναι 0,03m ενώ των εξωτερικών κομματιών 0,08m. Κατακόρυφα καλύπτουν μόνο το παράθυρο ενώ οριζόντια εκτείνονται κατά μήκος όλης της πρόσοψης.

Σκίαστρο 4: Οριζόντιες Περσίδες



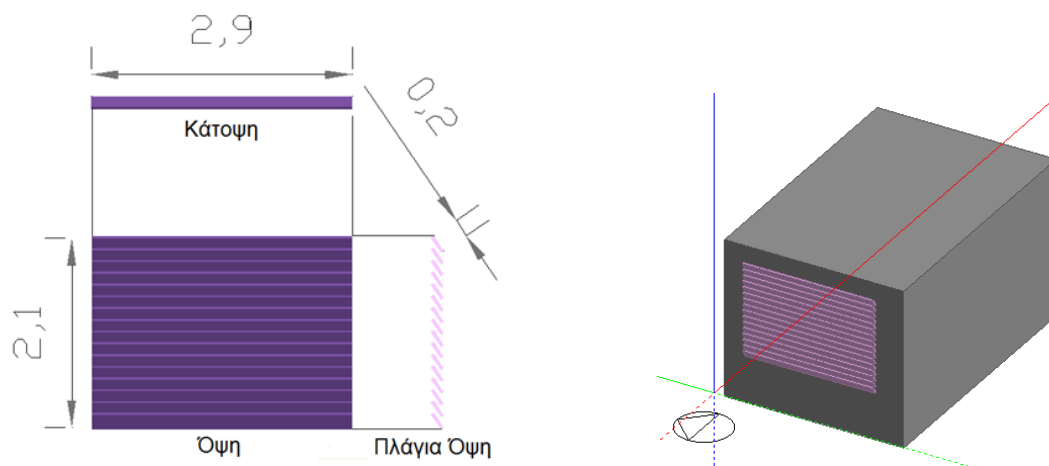
Κλασσική περίπτωση οριζόντιων περσίδων χωρίς κλίση που εκτείνονται 0,2m πριν την αρχή και μετά το τέλος του παραθύρου κατά μήκος της πρόσοψης του γραφείου. Οι διαστάσεις όπως αναγράφονται και το πάχος στα 0,03m.

Σκίαστρο 5: Κατακόρυφες Περσίδες



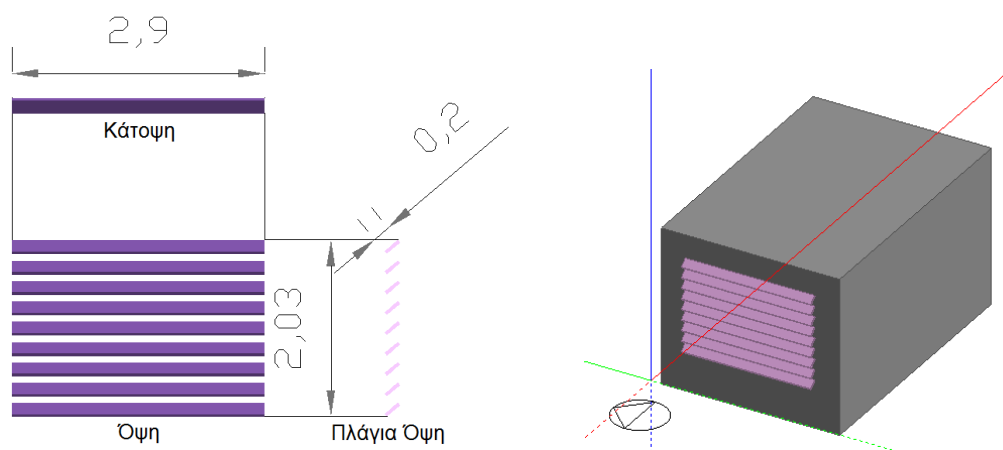
Κατακόρυφες περσίδες με κλίση 59° , πάχος 0,03m και διαστάσεις όπως αναγράφονται. Εκτείνονται 0,2m πέραν του παραθύρου κατακόρυφα.

Σκίαστρο 6: Περσίδες οριζόντιες με κλίση εσωτερικά



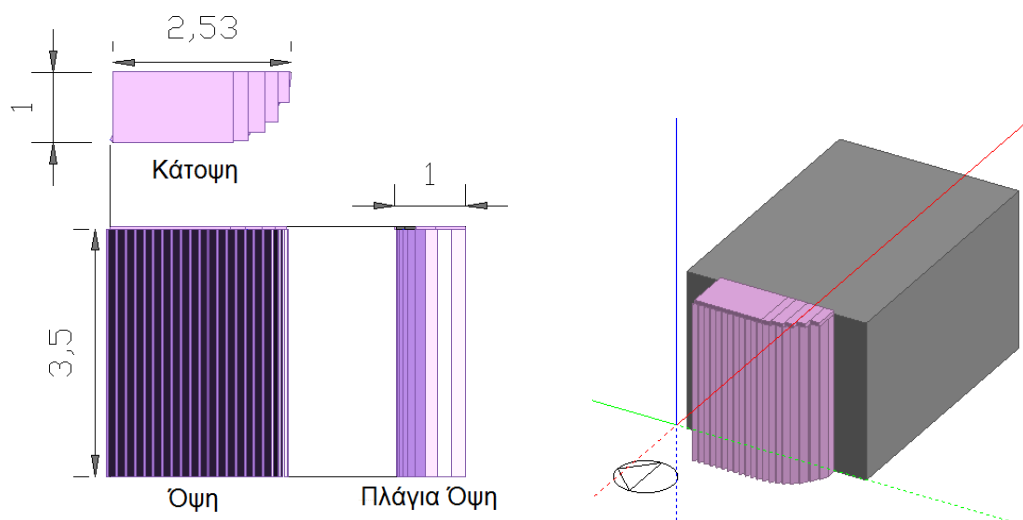
Οριζόντιες περσίδες με κλίση 34° προς τα μέσα. Καλύπτουν καθ' ύψος μόνο το παράθυρο, κατά μήκος εκτείνονται 0,2m πριν και μετά απ' αυτό. Το πάχος στα 0,03m.

Σκίαστρο 7: Περσίδες οριζόντιες με κλίση εξωτερικά



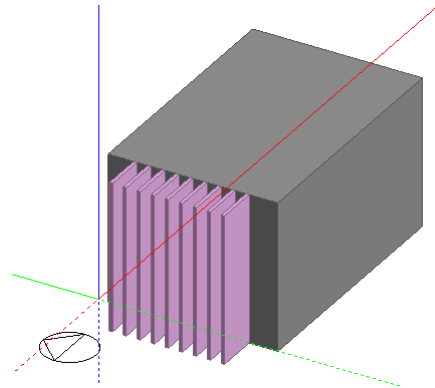
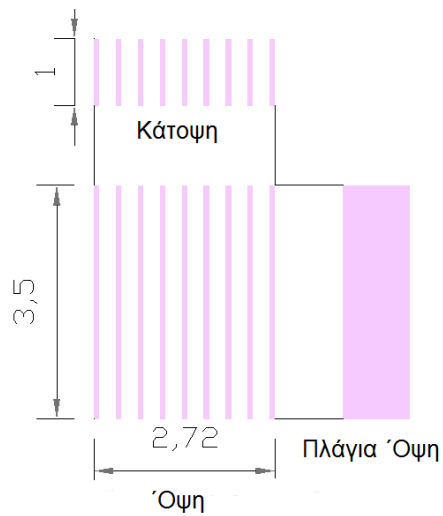
Οριζόντιες περσίδες με κλίση 130° κοιτάζοντας προς τα έξω. Όπως τα προηγούμενα, κατά μήκος εκτείνονται 0,2m εκατοστά εκτός του παραθύρου και το πάχος στα 0,04m.

Σκίαστρο 8: Κατακόρυφες περσίδες με στροφή



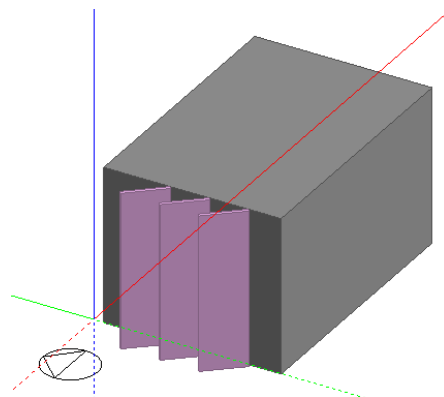
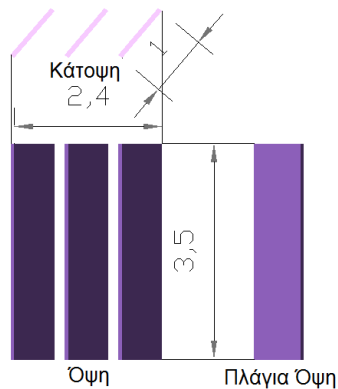
Συνδυασμός κατακόρυφων περσίδων και οριζόντιου σκιάστρου στην αρχή της πρόσοψης. Οι περσίδες καλύπτουν όλη την πρόσοψη καθ' ύψος, ενώ κατά μήκος μόνο το παράθυρο. Έχουν σταθερή κλίση αρχικά στις 59° , ενώ έπειτα εναλλάσσεται. Το πάχος είναι στα 0,03m.

Σκίαστρο 9: Κατακόρυφες Περσίδες 1m



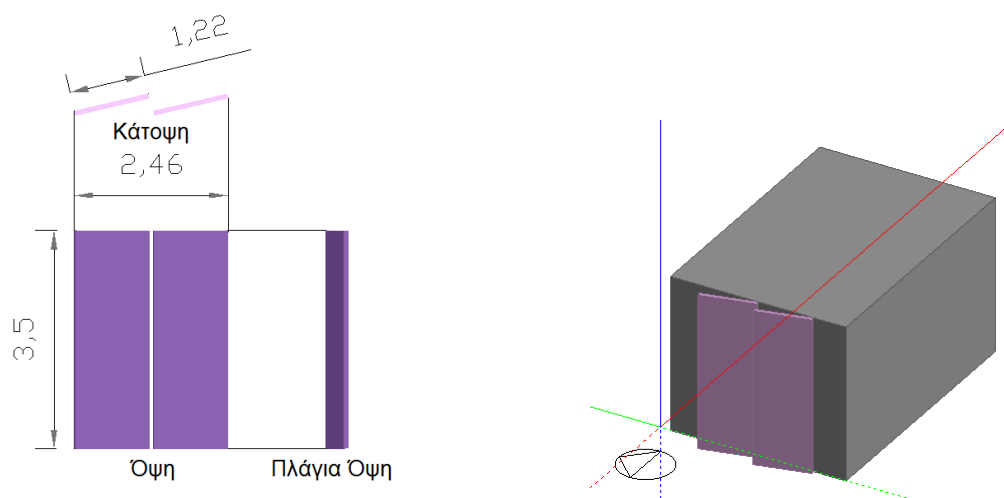
Κατακόρυφα σκίαστρα χωρίς κλίση, καλύπτουν όλη την πρόσοψη καθ' ύψος, ενώ κατά μήκος μόνο το παράθυρο. Το πάχος τους 0,08m.

Σκίαστρο 10: Κατακόρυφες Περσίδες με κλίση πλάτους 1m



Κατακόρυφα σκίαστρα με κλίση 49° και πάχος 0,08m καλύπτουν όλη την πρόσοψη καθ' ύψος.

Σκίαστρο 11: Κατακόρυφες Περσίδες με κλίση πλάτους 1,22m



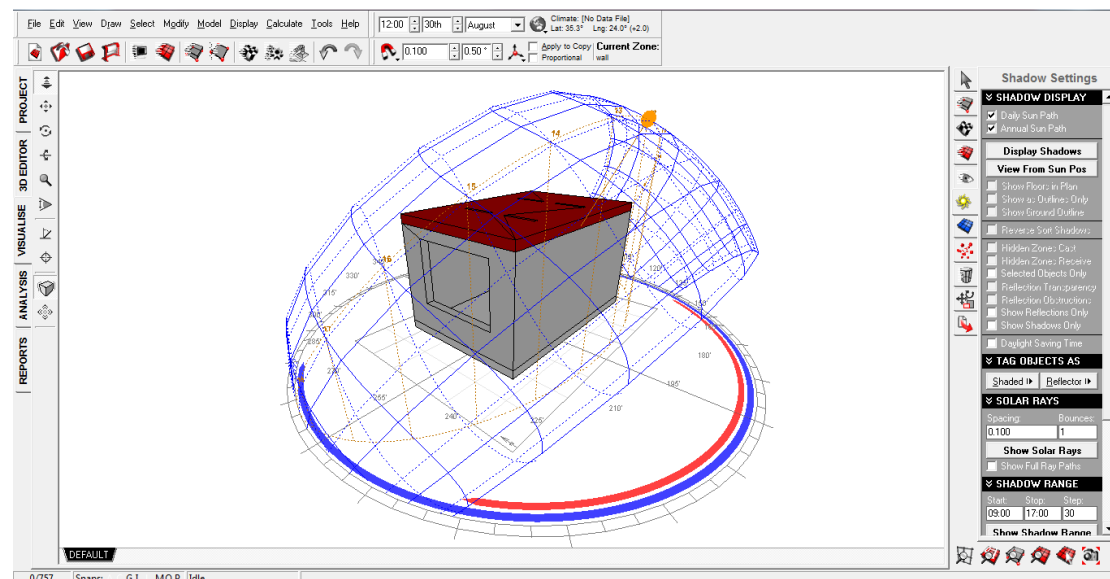
Κατακόρυφα σκίαστρα, δύο τον αριθμό με κλίση 13^0 , και πάχος 0,08m καλύπτουν όλη την πρόσοψη καθ' ύψος.

4.2. Autodesk Ecotect Analysis 2011

Η πρώτη επαφή με το Autodesk Ecotect Analysis 2011 ήταν κυρίως για την κατανόηση της κίνησης του ήλιου με το εργαλείο solar tool. Εισήχθη δηλαδή το εξεταζόμενο κτίριο μαζί με τα απαιτούμενα κλιματολογικά δεδομένα, γεωγραφικό μήκος, πλάτος και υψόμετρο και επιλέχθηκε η δυσμενέστερη γωνία του ήλιου για την 30^η Αυγούστου και ώρα 16:00 μμ, αφού τα σκίαστρα έπρεπε να σχεδιαστούν για τη θερινή περίοδο (1^η Ιουνίου- 30^η Αυγούστου) και δυτικό προσανατολισμό.

Αφού με τη χρήση AutoCAD σχεδιάστηκαν τα έντεκα σκίαστρα αρχικά σε δύο κι έπειτα σε τρεις διαστάσεις, πραγματοποιήθηκε έλεγχος και πάλι στο Autodesk Ecotect Analysis 2011 με το εργαλείο solar tool για την αποτελεσματικότητά τους. Ένα παράδειγμα είναι το ακόλουθο:

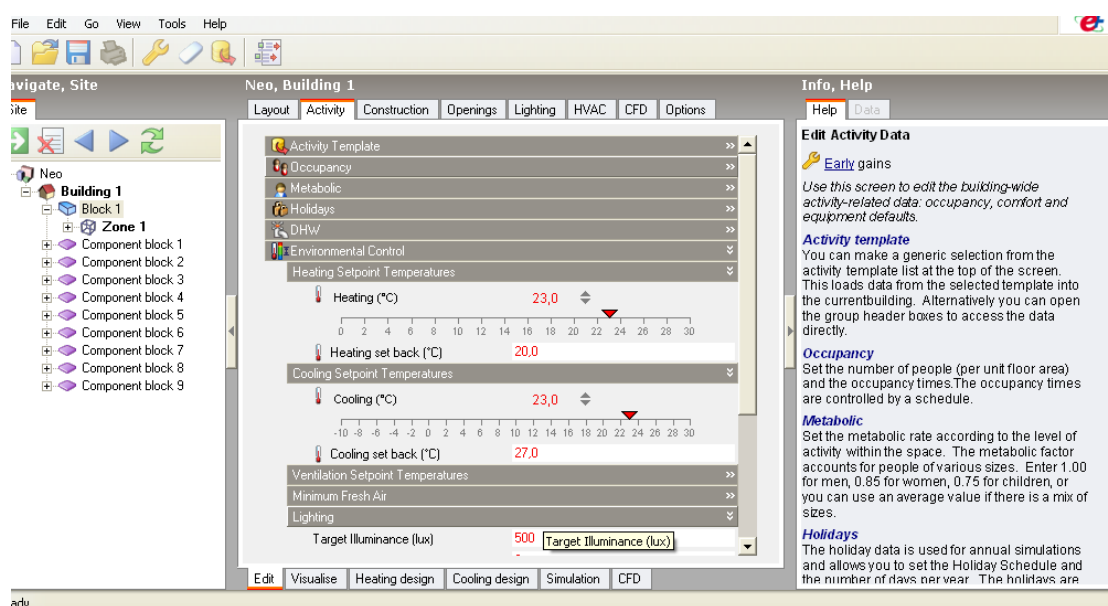
Εικόνα 7: Περιβάλλον Ecotect, χρήση εργαλείου solar tool



4.3. DesingBuilder v.2.2.5.004

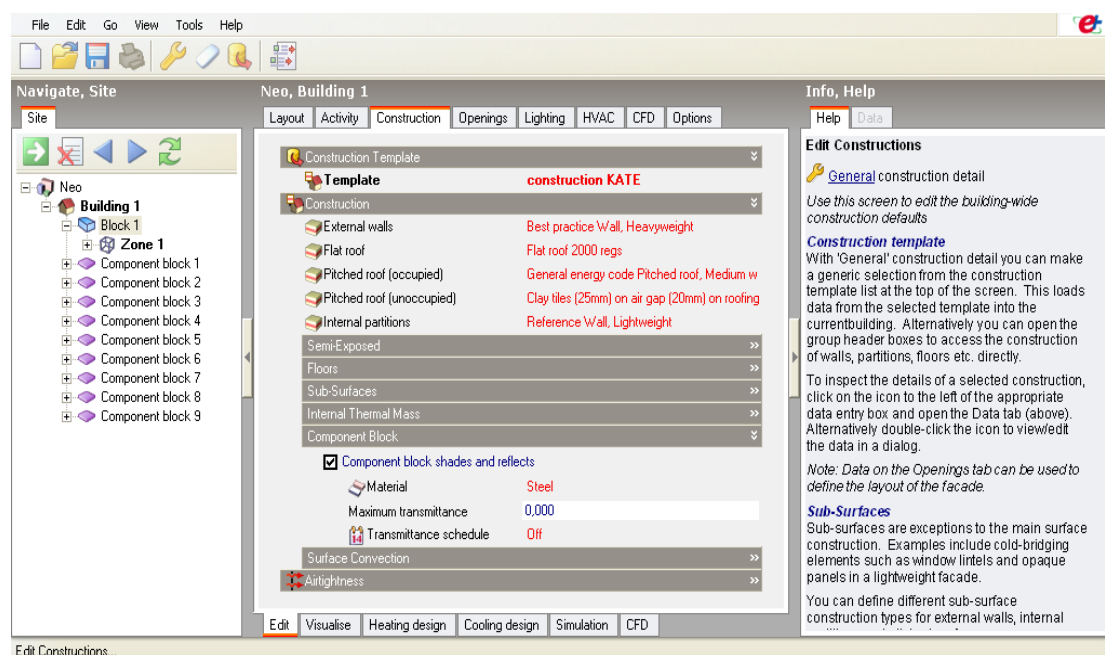
Τα σκίαστρα επανασχεδιάστηκαν αυτή τη φορά στο DesingBuilder v.2.2.5.004 τρισδιάστατα, μαζί με το κτίριο. Όλες οι επιφάνειες του γραφείου, εκτός αυτής του παραθύρου, θεωρήθηκαν αδιαβατικές, αφού το γραφείο είναι υποθετικά μέρος κτιρίου και δε θα υπάρχουν ανταλλαγές θερμικών και μη φορτίων. Επίσης για να γίνει η παραδοχή των αδιαβατικών επιφανειών στο λογισμικό αφαιρέθηκε η πόρτα εισόδου του γραφείου. Εισήχθησαν δεδομένα για τις καρτέλες: Activity, Construction, Openings, Lighting και HVAC. Παραθέτονται αντίστοιχα:

Εικόνα 8: Περιβάλλον DesignBuilder, καρτέλα "Activity"



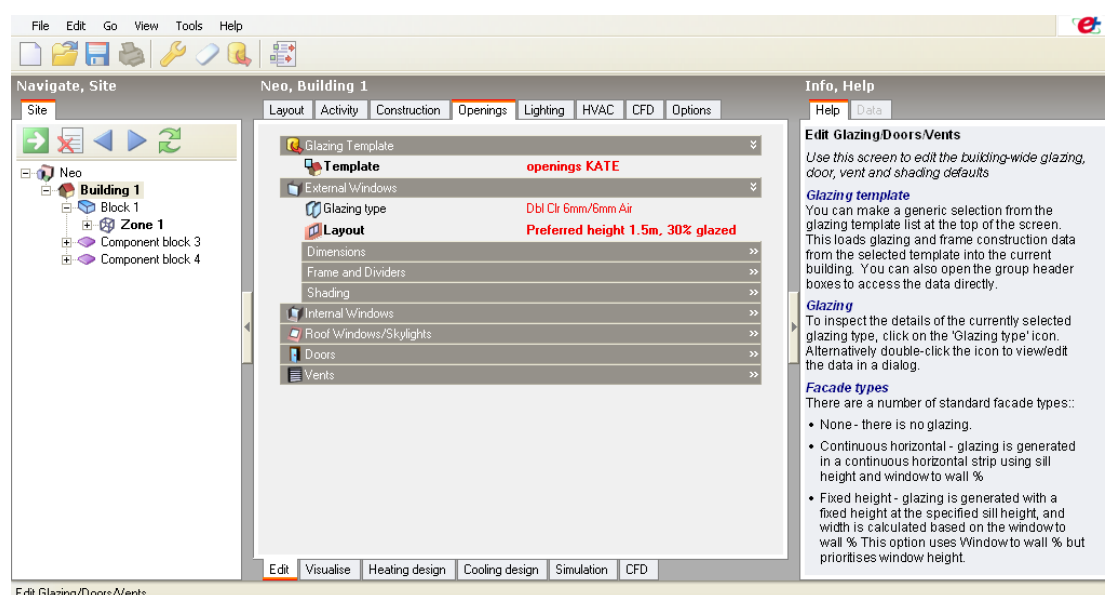
Στην καρτέλα Activity, επιλέχθηκε ήπια δραστηριότητα γραφείου ενώ θεωρήθηκε ότι στο χώρο του γραφείου θα εργάζονται δύο άτομα. Δε θεωρούμε ότι λειτουργούν στο χώρο ηλεκτρονικοί υπολογιστές ούτε κανενός είδους ηλεκτρομηχανικός εξοπλισμός. Όσον αφορά τη θερμοκρασία του δωματίου έχουν τεθεί, σαν ελάχιστη και μέγιστη θερμοκρασία, οι τιμές 20⁰C και 27⁰C αντίστοιχα. Τέλος ο στόχος για το επίπεδο φωτισμού συνολικά (φυσικό και τεχνητό), τέθηκε στα 500 lux.

Εικόνα 9: Περιβάλλον DesignBuilder, καρτέλα "Construction"



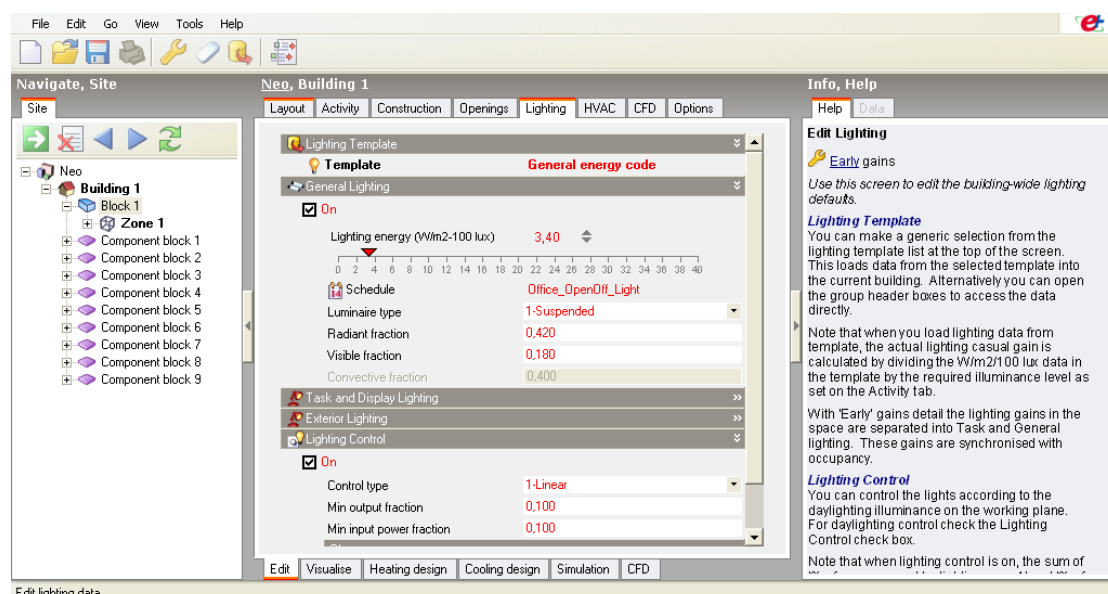
Στην καρτέλα Construction, επιλέχθηκαν πιο βαρέας κατασκευής εξωτερικοί τοίχοι σε σχέση με τους εσωτερικούς, καθώς οι δεύτεροι στην προσομοίωση θεωρούνται και αδιαβατικοί. Επίσης το υλικό των σκιάστρων, στα οποία αργότερα τοποθετούνται τα Φ/Β, είναι χάλυβας.

Εικόνα 10: Περιβάλλον DesignBuilder, καρτέλα "Openings"



Στην καρτέλα Openings, τέθηκε το υλικό του πλαισίου, αλουμίνιο με θερμοδιακοπή, και ο τύπος του υαλοπίνακα, διπλός με κενό αέρος 6mm.

Εικόνα 11: Περιβάλλον DesignBuilder, καρτέλα "Lighting"



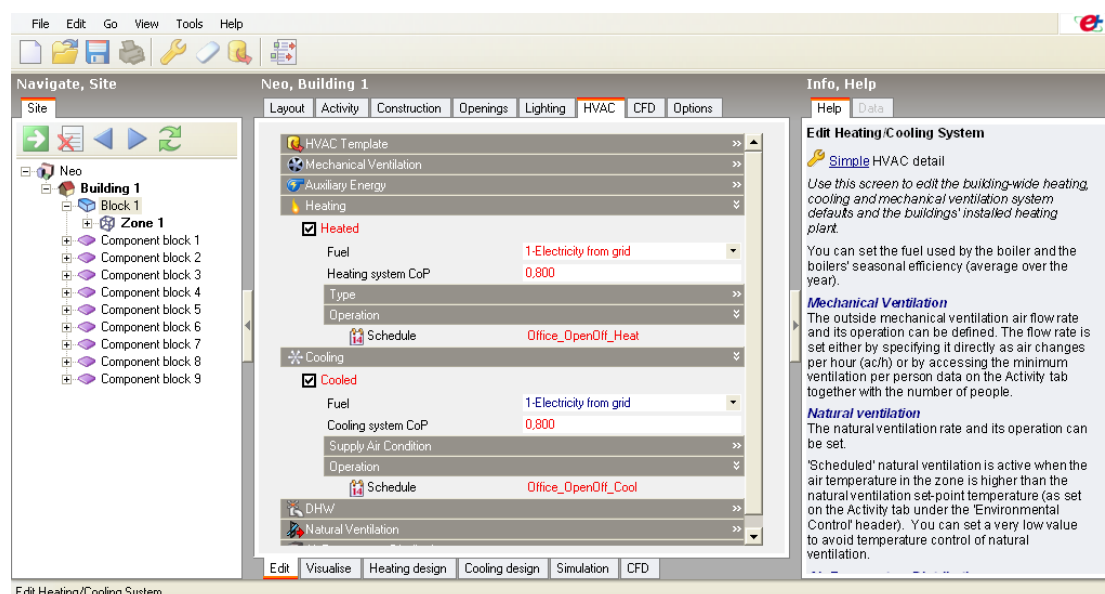
Στην καρτέλα Lighting, έχει τεθεί η ενέργεια για φωτισμό (Lighting Energy) στα 3,4 W/m²-100lux. Η μέγιστη ενέργεια για φωτισμό σε W, υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο μετά από πολλαπλασιασμό με το εμβαδό του χώρου και το επίπεδο φωτισμού που τέθηκε ως στόχος, τα 500 lux στη συγκεκριμένη περίπτωση.

Max Lighting power (W) = Lighting energy (W/m2/100lux) x Zone floor area (m2) x Zone Illuminance requirement / 100

Max Lighting power (W) = 3,4*18,9*500/100 = 321,3 W

Max Lighting power (W) = 321,3 W

Εικόνα 12: Περιβάλλον DesignBuilder, καρτέλα "HVAC"



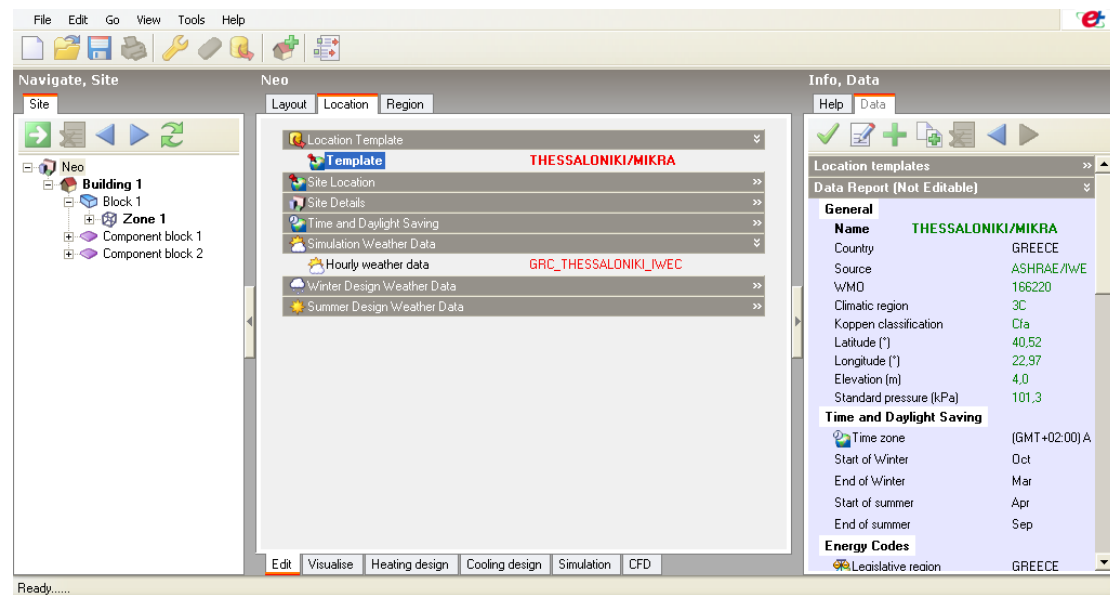
Στην τελευταία καρτέλα του HVAC, επιλέχθηκε ότι οι ανάγκες για θέρμανση και κλιματισμό θα καλυφθούν με ηλεκτρική ενέργεια απ' το δίκτυο.

Για τα προγράμματα που απαιτούνται σε όλες τις καρτέλες, τέθηκαν οι προεπιλογές του "Building:OFFICE Area: OPEN PLAN OFFICE" για την κάθε καρτέλα αντίστοιχα (Occupancy, Lighting schedule κλπ).

Τέλος πραγματοποιήθηκε σε πρώτη φάση η προσομοίωση για το αρχικό σενάριο, Δυτικό Προσανατολισμό στα Χανιά, και προέκυψαν αποτελέσματα για την ενέργεια που απαιτείται για θέρμανση, κλιματισμό και φωτισμό. Τα αρχεία του DesingBuilder v.2.2.5.004 μετατράπηκαν με export, σε αρχεία idf για να συνεχιστεί η εργασία στο EnergyPlus v-8.1.

Η δεύτερη φάση κατά την οποία χρησιμοποιήθηκε το DesingBuilder v.2.2.5.004, ήταν για να υπολογίσει εκ νέου τις ίδιες ακριβώς ανάγκες για ενέργεια, αλλά αυτή τη φορά για Ανατολικό Προσανατολισμό και για Αθήνα και Θεσσαλονίκη. Για τη διαφορετική περιοχή ήταν αρκετό απλά ν' αλλάξουμε τα κλιματολογικά δεδομένα, το γεωγραφικό μήκος και πλάτος και τέλος το υψόμετρο.

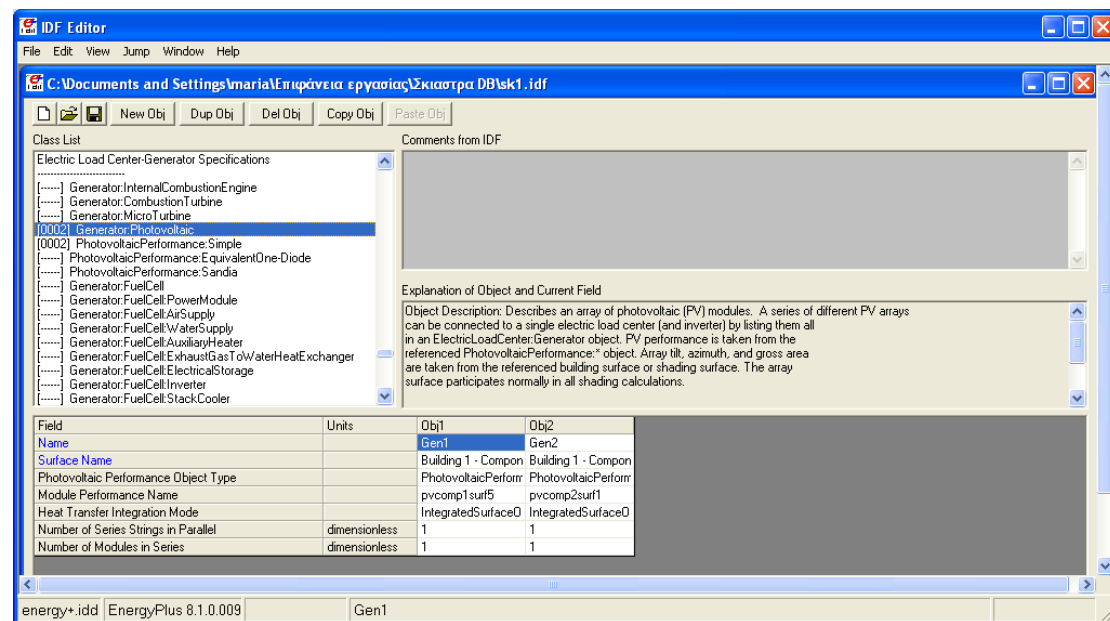
Εικόνα 13: Περιβάλλον DesignBuilder, καρτέλα "Location"



4.4. EnergyPlus v-8.1

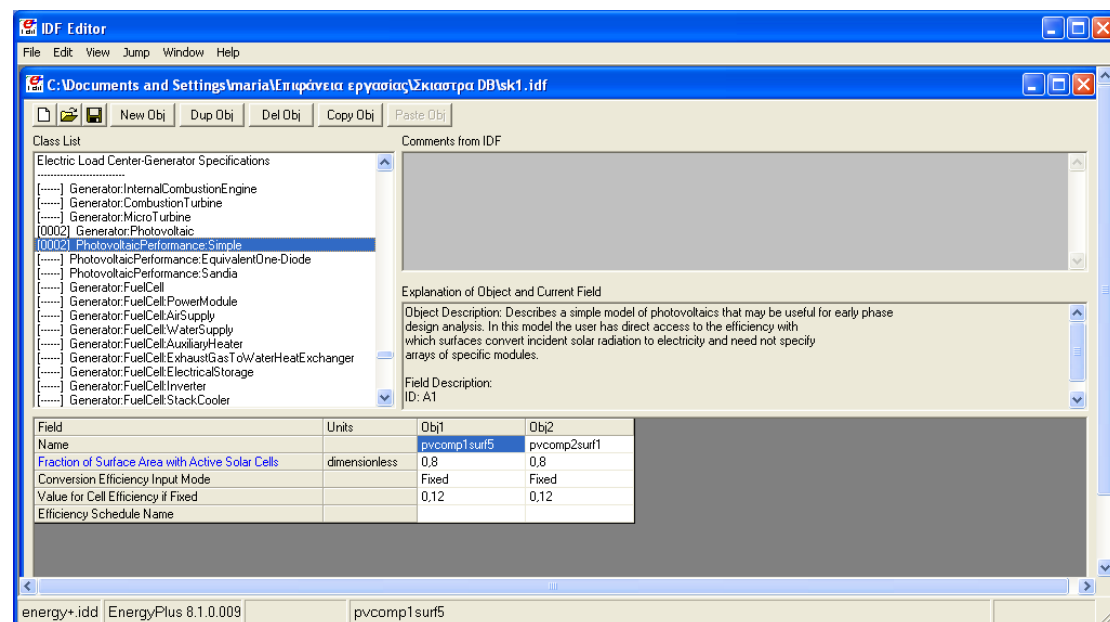
Σε κάθε σκίαστρο αντιστοιχεί ένα αρχείο idf, που προέκυψε από εξαγωγή του DesingBuilder v.2.2.5.004. Κάθε ένα απ' αυτά εισήχθη στο EnergyPlus v-8.1 και μέσω του IDF Editor συμπληρώθηκαν τα απαραίτητα πεδία για την εισαγωγή των Φ/Β πλαισίων.

Εικόνα 14: Περιβάλλον IDF Editor, EnergyPlus, Generator:Photovoltaic



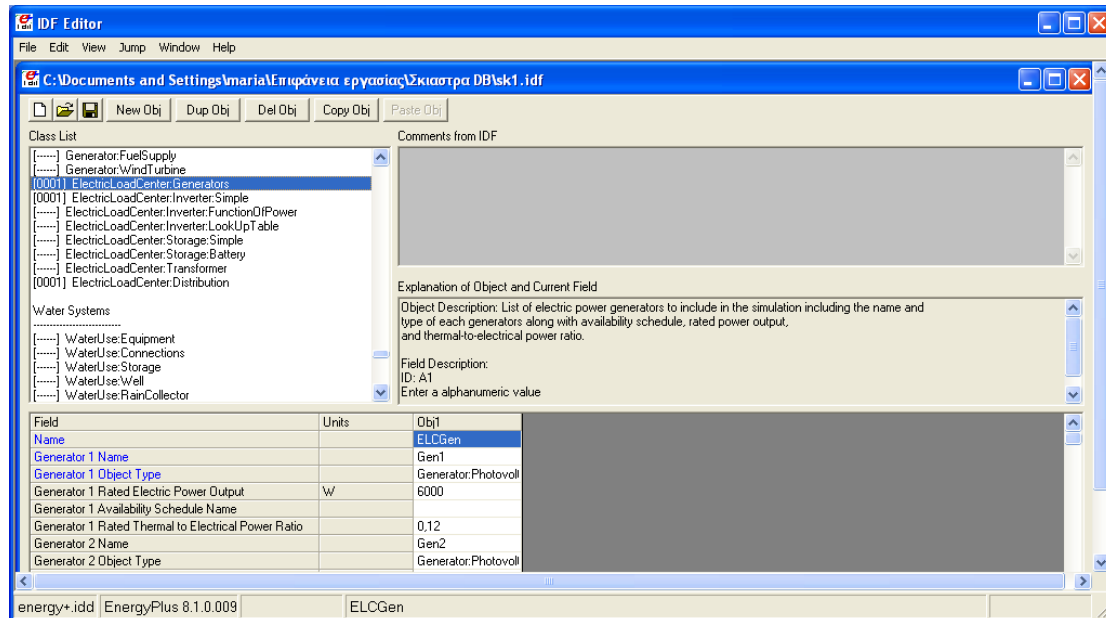
Σε πρώτη φάση στο πεδίο “Generator:Photovoltaic” συμπληρώθηκαν οι γεννήτριες που αντιστοιχούν σε κάθε Φ/Β πάνελ, μαζί με την επιφάνεια του σκιαστρού στην οποία τοποθετείται η καθεμία καθώς και ο τρόπος τοποθέτησης.

Εικόνα 15: Περιβάλλον IDF Editor, EnergyPlus, PhotovoltaicPerformance:Simple



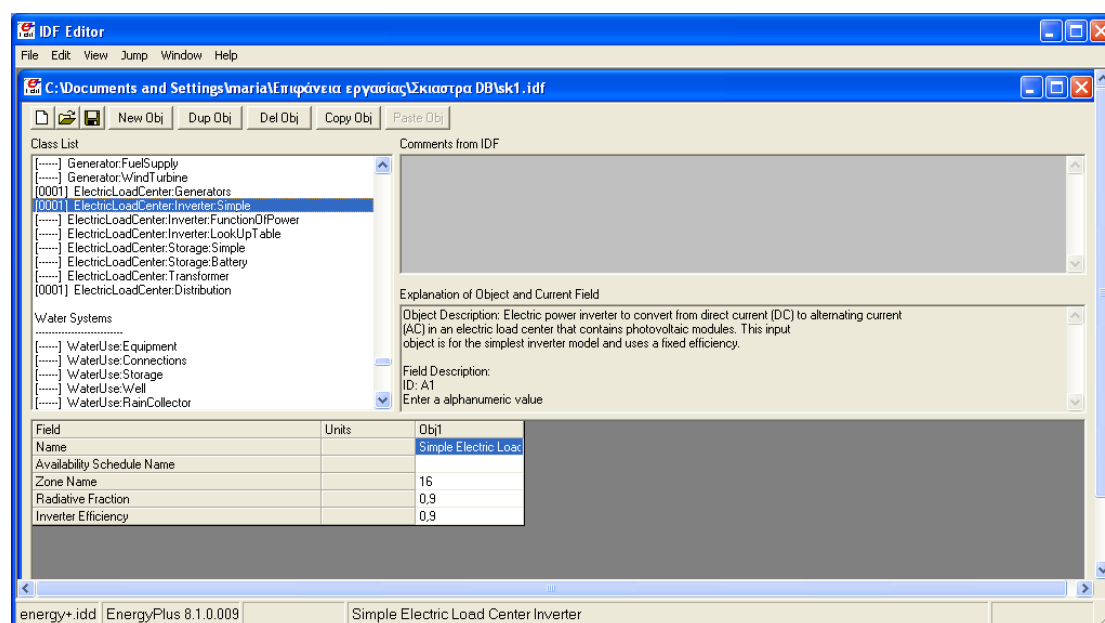
Στο πεδίο “PhotovoltaicPerformance:Simple” εισήχθησαν τα Φ/Β πάνελ που αντιστοιχούν σε κάθε γεννήτρια και τα χαρακτηριστικά τους. Πρόκειται για Φ/Β Thin film.

Εικόνα 16: Περιβάλλον IDF Editor, EnergyPlus, ElectricLoadCenter:Generators



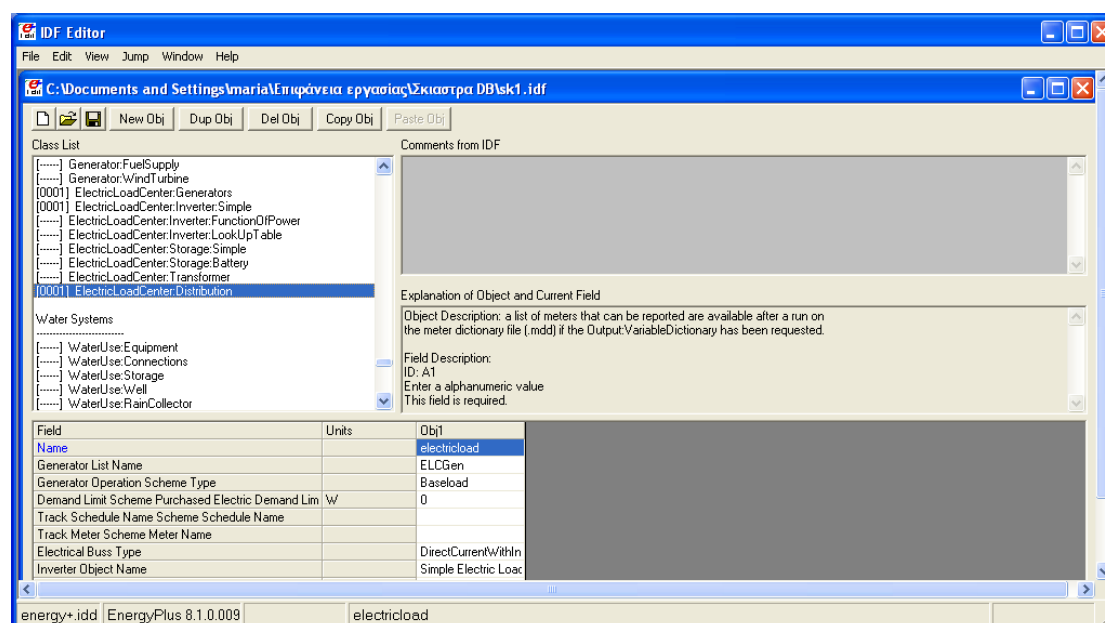
Στο επόμενο πεδίο “ElectricLoadCenter:Generators”, εισάγονται όλες οι γεννήτριες με το είδος τους και τη χαρακτηριστική ηλεκτρική τους ισχύ και την αναλογία θερμικής και ηλεκτρικής τους ισχύος.

Εικόνα 17: Περιβάλλον IDF Editor, EnergyPlus, ElectricLoadCenter:Inverter:Simple



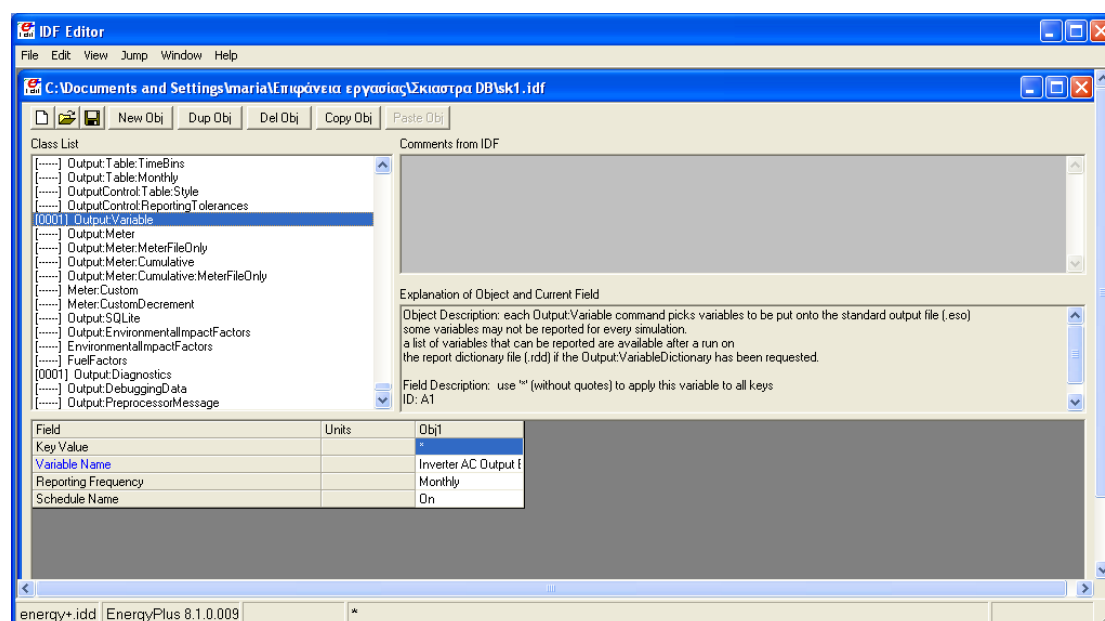
Ακολούθησε η συμπλήρωση του πεδίου “ElectricLoadCenter: Inverter: Simple”, με τις χαρακτηριστικές τιμές του μετατροπέα για την απόδοση και το κλάσμα της ακτινοβολίας.

Εικόνα 18: Περιβάλλον IDF Editor, EnergyPlus, ElectricLoadCenter:Distribution



Στο πεδίο “ElectricLoadCenter:Distribution” εισήχθησαν τα χαρακτηριστικά του μετατροπέα όσον αφορά τη λειτουργία του, όπως για παράδειγμα το ότι πρόκειται για μετατροπέα συνεχούς σε εναλλασσόμενο ρεύμα.

Εικόνα 19: Περιβάλλον IDF Editor, EnergyPlus, Output:Variable



Τέλος συμπληρώθηκε το πεδίο στο οποίο “ζητούνται” τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Στο “Output:Variable” “ζητήθηκε” ουσιαστικά το ρεύμα που προκύπτει μετά το μετατροπέα. Ουσιαστικά η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη λειτουργία των ενσωματωμένων Φ/Β πλαισίων.

Τα είδη των Φ/Β πάνελ και του μετατροπέα που επιλέχθηκαν ήταν τα πιο απλά, και οι τιμές που εισήχθησαν είναι ενδεικτικές και δεν αντιστοιχούν σε συγκεκριμένα μοντέλα του εμπορίου, καθώς στην παρούσα εργασία μεγαλύτερη βαρύτητα δόθηκε στη σύγκριση της παραγωγής μεταξύ των εξεταζόμενων σκιάστρων.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

Ο πρώτος πίνακας αφορά τα αποτελέσματα που προέκυψαν μετά την πρώτη προσομοίωση για Δυτικό προσανατολισμό και για τα μετεωρολογικά δεδομένα των Χανίων.

Παρουσιάζονται οι ανάγκες ενέργειας για Φωτισμό, Θέρμανση και Κλιματισμό καθώς και η παραγωγή ενέργειας του κάθε σκιάστρου, μαζί με την αναλογία παραγωγής- κατανάλωσης ενέργειας, ή Ποσοστιαία Κάλυψη του Φ/Β.

Σε όλους τους πίνακες, τα μεγέθη μετρούμενα σε kWh, παραθέτονται στρογγυλοποιημένα και ακέραια.

Πίνακας 4: Αποτελέσματα προσομοιώσεων για Χανιά και Δυτικό προσανατολισμό

Χανιά Δυτικός Προσανατολισμός	Φωτισμός (kWh)	Θέρμανση (Ηλεκτρική Ενέργεια Δικτύου) (kWh)	Κλιματισμός (Ηλεκτρική Ενέργεια Δικτύου) (kWh)	Ετήσιο Άθροισμα (kWh)	Παραγωγή Φ/Β (kWh)	Ποσοστιαία κάλυψη Φ/Β (%)
Πρόβολος με κατακόρυφο στοιχείο	450	1.386	2.330	4.166	1.126	27,03
Πρόβολος με κατακόρυφο στοιχείο περσίδων	337	1.377	2.506	4.220	895	21,21
Brise Soleil με περσίδες	357	1.402	2.557	4.316	1.278	29,62
Οριζόντιες περσίδες	675	1.284	2.561	4.521	337	7,44
Κατακόρυφες περσίδες	792	1.503	2.021	4.315	666	15,43
Οριζόντιες περσίδες με κλίση εσωτερικά	577	1.365	2.471	4.413	473	10,72
Οριζόντιες περσίδες με κλίση εξωτερικά	404	1.542	2.122	4.068	571	14,04
Κατακόρυφες περσίδες με στροφή	452	1.543	2.324	4.319	1.394	32,27

Κατακόρυφες περσίδες 1m	385	1.582	2.482	4.449	1.246	28,02
Κατακόρυφες περσίδες με κλίση, πλάτους 1m	596	1.507	2.150	4.254	1.041	24,48
Κατακόρυφες περσίδες με κλίση, πλάτους 1,22m	706	1.473	2.092	4.271	943	22,07

Όπως παρατηρείται, το Brise Soleil με περσίδες, οι κατακόρυφες περσίδες με στροφή και οι κατακόρυφες περσίδες 1m αποδείχθηκαν τα αποτελεσματικότερα, οπότε για τα τρία αυτά επιχειρήθηκαν προσομοιώσεις με κάποια διαφορετικά σενάρια. Τα σενάρια αυτά αφορούν δυτικό και ανατολικό προσανατολισμό για την περιοχή των Χανίων, κι επιπλέον για την περιοχή της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης.

Πρώτο σενάριο αποτέλεσε η αλλαγή του προσανατολισμού. Ο πίνακας που ακολουθεί εμπεριέχει τα αποτελέσματα των τριών σκιάστρων με Ανατολικό προσανατολισμό στην ίδια περιοχή, τα Χανιά.

Πίνακας 5: Αποτελέσματα προσομοιώσεων για Χανιά και Ανατολικό προσανατολισμό

Χανιά Ανατολικός Προσανατολισμός	Φωτισμός (kWh)	Θέρμανση (Ηλεκτρική Ενέργεια Δικτύου) (kWh)	Κλιματισμός (Ηλεκτρική Ενέργεια Δικτύου) (kWh)	Ετήσιο Άθροισμα (kWh)	Παραγωγή Φ/Β (kWh)	Ποσοστιαία κάλυψη Φ/Β (%)
Brise Soleil με περσίδες	329	1.591	2.000	3.921	868	22,13
Κατακόρυφες περσίδες με στροφή	379	1.517	2.006	3.901	750	19,22
Κατακόρυφες περσίδες 1m	378	1.665	1.937	3.979	530	13,32

Το επόμενο βήμα ήταν να υπολογιστούν τα ίδια μεγέθη για διαφορετικές περιοχές. Παραθέτονται λοιπόν τα αποτελέσματα για Αθήνα και Θεσσαλονίκη, και για τους δύο προσανατολισμούς.

Πίνακας 6: Αποτελέσματα για Αθήνα και Δυτικό προσανατολισμό

Αθήνα Δυτικός Προσανατολισμός	Φωτισμός (kWh)	Θέρμανση (Ηλεκτρική Ενέργεια Δικτύου) (kWh)	Κλιματισμός (Ηλεκτρική Ενέργεια Δικτύου) (kWh)	Ετήσιο Άθροισμα (kWh)	Παραγωγή Φ/Β (kWh)	Ποσοστιαία κάλυψη Φ/Β (%)
Brise Soleil με περσίδες	321,23	1947,71	2127,14	4396,08	1078,12	24,52
Κατακόρυφες περσίδες με στροφή	442,51	2009,13	2003,82	4455,45	1133,77	25,45
Κατακόρυφες περσίδες 1m	360,78	2059,15	2092,52	4512,45	1067,07	23,65

Πίνακας 7: Αποτελέσματα προσομοιώσεων για Αθήνα και Ανατολικό προσανατολισμό

Αθήνα Ανατολικός Προσανατολισμός	Φωτισμός (kWh)	Θέρμανση (Ηλεκτρική Ενέργεια Δικτύου) (kWh)	Κλιματισμός (Ηλεκτρική Ενέργεια Δικτύου) (kWh)	Ετήσιο Άθροισμα (kWh)	Παραγωγή Φ/Β (kWh)	Ποσοστιαί α κάλυψη Φ/Β (%)
Brise Soleil με περσίδες	325	1.939	2.138	4.402	934	21,22
Κατακόρυφες περσίδες με στροφή	367	1.831	2.146	4.344	813	18,72
Κατακόρυφες περσίδες 1m	365	2.059	2.139	4.563	582	12,76

Πίνακας 8: Αποτελέσματα προσομοιώσεων για Θεσσαλονίκη και Δυτικό προσανατολισμό

Θεσσαλονίκη Δυτικός Προσανατολισμός	Φωτισμός (kWh)	Θέρμανση (Ηλεκτρική Ενέργεια Δικτύου) (kWh)	Κλιματισμός (Ηλεκτρική Ενέργεια Δικτύου) (kWh)	Ετήσιο Άθροισμα (kWh)	Παραγωγή Φ/Β (kWh)	Ποσοστιαία κάλυψη Φ/Β (%)
Brise Soleil με περσίδες	347,15	3042,96	1502,34	4892,45	1031,72	21,09
Κατακόρυφες περσίδες με στροφή	467,04	3104,28	1392,43	4963,75	1097,95	22,12
Κατακόρυφες περσίδες 1m	382,96	3166,66	1450,57	5000,19	1061,69	21,23

Πίνακας 9: Αποτελέσματα προσομοιώσεων για Θεσσαλονίκη και Ανατολικό προσανατολισμό

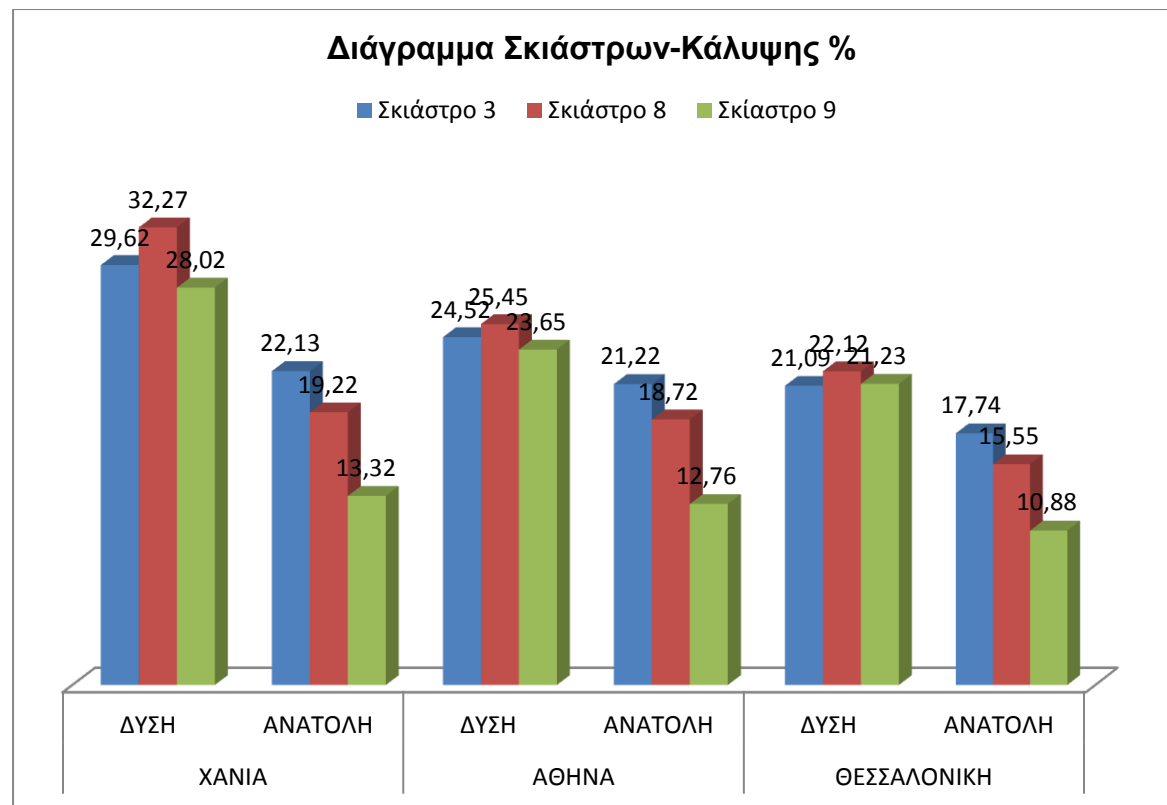
Θεσσαλονίκη Ανατολικός Προσανατολισμός	Φωτισμός (kWh)	Θέρμανση (Ηλεκτρική Ενέργεια Δικτύου) (kWh)	Κλιματισμός (Ηλεκτρική Ενέργεια Δικτύου) (kWh)	Ετήσιο Άθροισμα (kWh)	Παραγωγή Φ/Β (kWh)	Ποσοστιαία κάλυψη Φ/Β (%)
Brise Soleil με περσίδες	350	3.039	1.489	4.878	865	17,74
Κατακόρυφες περσίδες με στροφή	393	2.908	1.517	4.818	749	15,55
Κατακόρυφες περσίδες 1m	391	3.172	1.475	5.038	548	10,88

Τέλος ακολουθεί ένας συγκεντρωτικός πίνακας με την ποσοστιαία κάλυψη των Φ/Β ανά περιοχή και προσανατολισμό.

Πίνακας 10: Συγκεντρωτικός Πίνακας Αποτελεσμάτων

ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΚΑΛΥΨΗ Φ/Β (%)	ΧΑΝΙΑ		ΑΘΗΝΑ		ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	
	ΔΥΣΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ	ΔΥΣΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ	ΔΥΣΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ
Brise Soleil με περσίδες	29,62	22,13	24,52	21,22	21,09	17,74
Κατακόρυφες περσίδες με στροφή	32,27	19,22	25,45	18,72	22,12	15,55
Κατακόρυφες περσίδες 1m	28,02	13,32	23,65	12,76	21,23	10,88

Εικόνα 20: Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Σκιάστρων- Κάλυψης % ανά Περιοχή και Προσανατολισμό

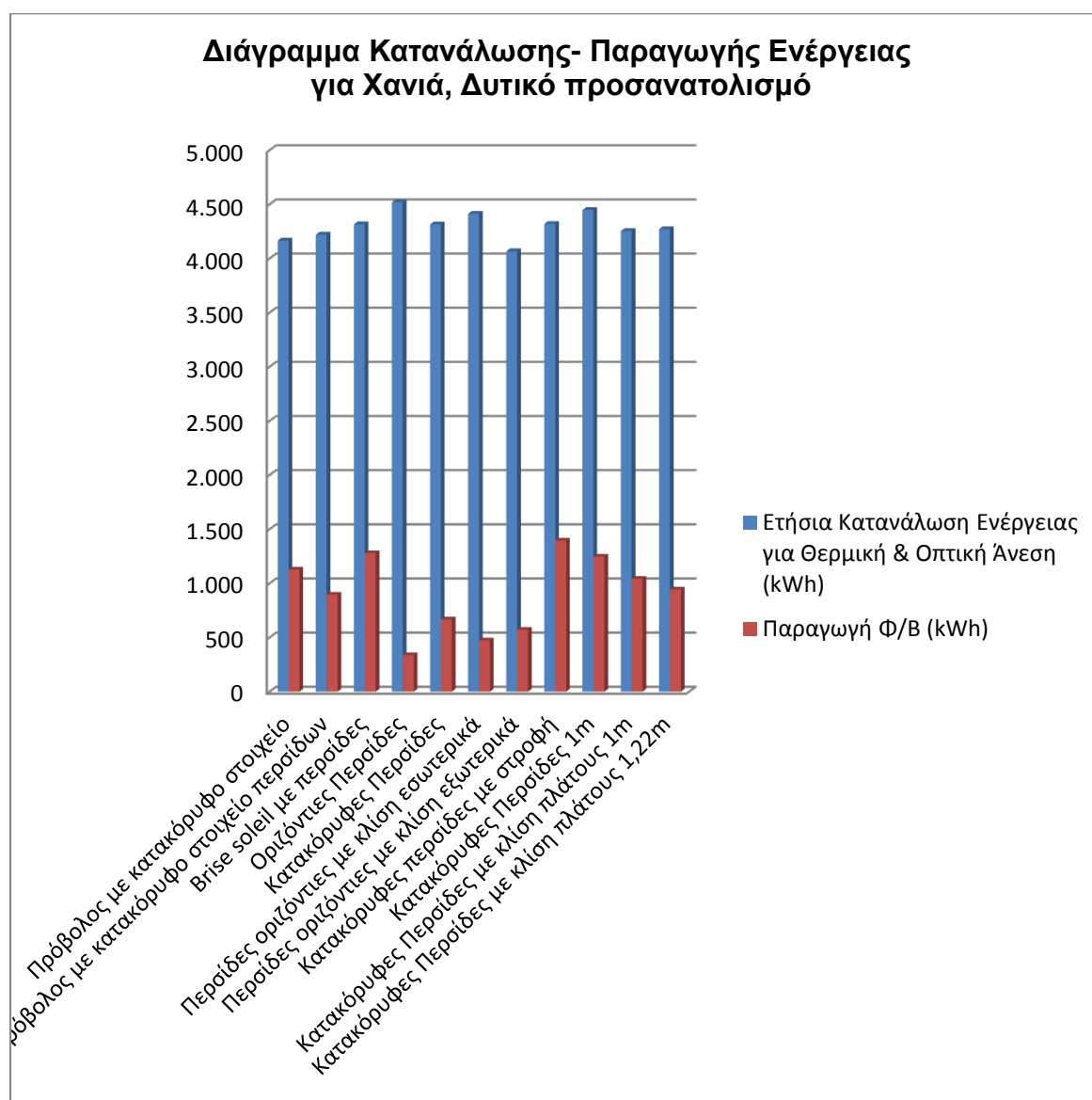


Όπου: Σκ 3: Brise soleil με περσίδες
 Σκ 8: Κατακόρυφες περσίδες με στροφή
 Σκ 9: Κατακόρυφες περσίδες 1m

6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Από τα έντεκα σκίαστρα που σχεδιάστηκαν για Δυτικό προσανατολισμό και για την περιοχή των Χανιών, όπως φαίνεται και στον πρώτο πίνακα των αποτελεσμάτων, τα τρία πιο αποτελεσματικά που προέκυψαν με φθίνουσα σειρά είναι οι κατακόρυφες περσίδες με στροφή, το Brise Soleil με περσίδες και οι κατακόρυφες περσίδες 1m με ποσοστά κάλυψης 32,27%, 29,62% και 28,02% αντίστοιχα. Όπως φαίνεται και σε σχηματική απεικόνιση:

Εικόνα 21: Διάγραμμα Κατανάλωσης- Παραγωγής Ενέργειας για καθένα σκίαστρο



Λιγότερο αποτελεσματικά αποδεικνύονται τα ακόλουθα: πρόβολος με κατακόρυφο στοιχείο, κατακόρυφες περσίδες με κλίση πλάτους 1m, κατακόρυφες περσίδες με κλίση Πλάτους 1,22m και πρόβολος με κατακόρυφο στοιχείο περσίδων, με φθίνουσα πάντα σειρά. Ενώ τελευταία στην κατάταξη εμφανίζονται: οι κατακόρυφες περσίδες, περσίδες οριζόντιες με κλίση εξωτερικά, περσίδες οριζόντιες με κλίση εσωτερικά και οριζόντιες περσίδες, όπως φαίνονται στον πίνακα, τα οποία είναι αυτά που συναντάμε συχνότερα στην αγορά και χρησιμοποιούνται κατά κόρον σε ανάλογους χώρους.

Όλα τα σκίαστρα έχουν σχεδιαστεί με χρήση των γωνιών ύψους ($\text{alt}:34,5^\circ$) και αζιμουθίου ($\text{azi}:-104,3$) που χαρακτηρίζουν τη θέση του ήλιου, τη 30^η Αυγούστου στις 16:00μμ, και φυσικά για το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της περιοχής των Χανίων. Μετά το σχεδιασμό πραγματοποιήθηκε και έλεγχος για την αποτελεσματικότητά τους.

Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο παρατηρείται πως οι αποκλίσεις μεταξύ των σκιάστρων, όσον αφορά την ενέργεια που απαιτείται για θέρμανση, κλιματισμό και φωτισμό, είναι σχετικά μικρές και εξετάζοντας το άθροισμα τους, περιλαμβάνονται στο εύρος των 4521 kWh με 4068 kWh.

Επομένως η παραγωγή ενέργειας από τα Φ/Β είναι αυτή που συνετέλεσε κυρίως στην τελική κατάταξη αποτελεσματικότητας των σκιάστρων.

Εύλογο λοιπόν θα ήταν το συμπέρασμα ότι τα πιο αποτελεσματικά σκίαστρα θα ήταν αυτά με το μεγαλύτερο αξιοποιήσιμο εμβαδόν. Λογικά όσο μεγαλύτερο είναι το συνολικό εμβαδόν ενός σκιάστρου, και συνεπώς των ενσωματωμένων Φ/Β, τόσο υψηλότερη θέση θα πρέπει να κατέχει στην κατάταξη. Εξαιτίας του συλλογισμού αυτού δημιουργήθηκε ο επόμενος πίνακας

Πίνακας 11: Κατάταξη σκιάστρων σύμφωνα με αποδοτικότητα- Σύγκριση με εμβαδόν

	Εμβαδόν (m ²)	Ποσοστιαία κάλυψη Φ/Β (%)
Κατακόρυφες περσίδες με στροφή	25,71	32,27
Brise soleil με περσίδες	17,90	29,62
Κατακόρυφες Περσίδες πλάτους 1m	31,50	28,02
Πρόβολος με κατακόρυφο στοιχείο	19,20	27,03
Κατακόρυφες Περσίδες με κλίση πλάτους 1m	10,50	24,48
Κατακόρυφες Περσίδες με κλίση πλάτους 1.22m	8,54	22,07
Πρόβολος με κατακόρυφο στοιχείο περσίδων	8,80	21,21
Κατακόρυφες Περσίδες	9,20	15,43
Περσίδες οριζόντιες με κλίση εξωτερικά	5,22	14,04
Περσίδες οριζόντιες με κλίση εσωτερικά	9,28	10,72
Οριζόντιες περσίδες	6,00	7,44

Ο συλλογισμός αυτός δεν αποδεικνύεται απόλυτα αληθής, παρότι δικαιολογεί σε σημαντικό ποσοστό την κατάταξη. Τα τέσσερα πρώτα για παράδειγμα, τον ακολουθούν κι έχουν σημαντικά μεγαλύτερο εμβαδόν από τα υπόλοιπα. Ο λόγος για το ότι δεν τον ακολουθούν όλα τα σκιάστρα, είναι ότι στην πραγματικότητα πολλά τμήματα των σκιάστρων, ανάλογα με το σχεδιασμό τους, καλύπτουν το ένα το άλλο με αποτέλεσμα να μην προσπίπτει ακτινοβολία σε ολόκληρη την επιφάνεια τους. Έτσι η παραγωγή ενέργειας δεν ακολουθεί αναλογικά το εμβαδόν του κάθε σκιάστρου. Για το λόγο αυτό επίσης έχουμε θεωρήσει ότι τα Φ/Β πλαίσια συνδέονται παράλληλα.

Ένας ακόμη λόγος που ενδέχεται να οδηγεί σε μεγαλύτερη απόδοση, είναι η ύπαρξη κατακόρυφων στοιχείων στα σκιάστρα. Τα κατακόρυφα στοιχεία ενδείκνυνται για Δυτικούς και Ανατολικούς προσανατολισμούς, και κάνουν πιο

αποτελεσματικά τα σκίαστρα που συνδυάζουν κατακόρυφα και οριζόντια στοιχεία για την κάλυψη μεγαλύτερου ποσοστού των γωνιών ύψους και αζιμουθίου ταυτόχρονα. Πρέπει να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι τα κατακόρυφα στοιχεία σχεδιάζονται με γνώμονα τις γωνίες αζιμουθίου, ενώ τα οριζόντια με τις γωνίες ύψους.

Η κάλυψη αυτή στην προκειμένη περίπτωση συνεπάγεται και παραγωγή από τα Φ/Β. Αναμένεται λοιπόν να βρίσκουμε υψηλότερα στην κατάταξη πιο συνδυαστικά σκίαστρα, κάτι που όντως παρατηρείται. Μάλιστα τα δύο από τα τρία καλύτερα σκίαστρα που προέκυψαν, οι κατακόρυφες περσίδες με στροφή και το Brise soleil με περσίδες, συνδυάζουν κατακόρυφα και οριζόντια στοιχεία.

Σχετικά πιο ψηλά στην κατάταξη βρίσκονται και τα σκίαστρα που καλύπτουν όλη την πρόσοψη καθ' ύψος. Αυτά είναι οι κατακόρυφες περσίδες με στροφή, κατακόρυφες περσίδες πλάτους 1m, οι κατακόρυφες περσίδες με κλίση πλάτους 1m και οι κατακόρυφες περσίδες με κλίση πλάτους 1,22m, εκ των οποίων τα δύο πρώτα βρίσκονται και πάλι ανάμεσα στα τρία καλύτερα. Η μεγαλύτερη απόδοση αυτών οφείλεται στο ότι, με την προέκταση αυτή πιο ψηλά απ' την αρχή του παραθύρου, καλύπτονται ταυτόχρονα περισσότερες γωνίες ύψους του ήλιου, παράγουν δηλαδή τα Φ/Β πιο πολλές ώρες μέσα στην ημέρα.

Το σκίαστρο που αποδείχθηκε το πιο αποτελεσματικό, οι κατακόρυφες περσίδες με στροφή, πληροί και τα δύο τελευταία χαρακτηριστικά. Συνδυάζει κατακόρυφα και οριζόντια στοιχεία ενώ καλύπτει όλη την πρόσοψη καθ' ύψος. Επιπλέον ένα ποσοστό αποδίδεται στη μη σταθερή κλίση των περσίδων. Το

συγκεκριμένο σκίαστρο σχεδιάστηκε με γνώμονα ένα συνδυασμό γωνιών Δύση του ηλίου, συγκριτικά με τα υπόλοιπα.

Οι υπόλοιποι πίνακες των αποτελεσμάτων αφορούν τις ανάγκες και την παραγωγή των Φ/Β των τριών πρώτων σκιάστρων σε διαφορετικό προσανατολισμό και διαφορετική περιοχή.

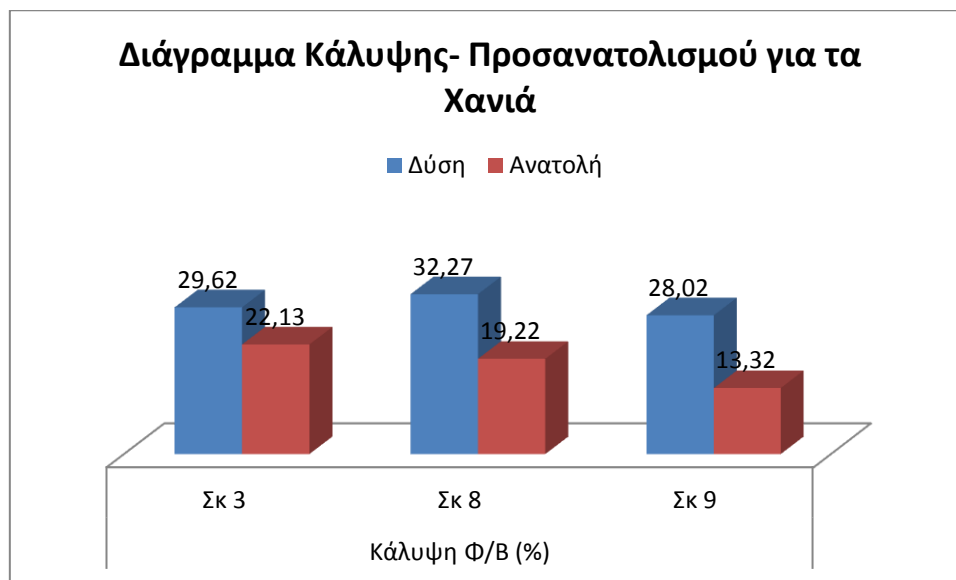
Εξετάζοντας ξανά την περιοχή των Χανίων αλλάζοντας τον προσανατολισμό του παραθύρου, παρατηρείται ότι μειώνεται η συνολική ενέργεια που απαιτείται για θέρμανση, κλιματισμό και φωτισμό, από 4361 kWh κατά μέσο όρο στη Δύση, σε 3934 kWh στην Ανατολή. Ταυτόχρονα όμως μειώνεται σημαντικά και η παραγωγή με αποτέλεσμα η κάλυψη των Φ/Β από 29,90 %, κατά μέσο όρο, στη Δύση να προκύπτει 18,20 % στην Ανατολή. Με την αλλαγή του προσανατολισμού εδώ παρατηρείται αλλαγή στην κατάταξη των σκιάστρων σύμφωνα με την απόδοση. Πρώτο αναδεικνύεται το brise soleil με περσίδες, με τις κατακόρυφες περσίδες με στροφή και κατακόρυφες περσίδες 1m να ακολουθούν με φθίνον ποσοστό. Η μεγάλη μείωση της απόδοσης των περσίδων με στροφή δικαιολογείται απόλυτα από την ιδιαίτερη διάταξη του που δείχνει πως είναι αποκλειστικά σχεδιασμένες για Δυτικό προσανατολισμό. Η μεταφορά της πρόσοψης ακριβώς όπως έχει στην Ανατολή, αφήνει κάποιες ώρες, περίπου από τις 09:00π.μ. έως τις 11:00π.μ. σχεδόν χωρίς κάλυψη.

Πίνακας 12: Σύγκριση Αποτελεσματικότητας Σκιάστρων μεταξύ Δύσης και Ανατολής για Χανιά

Χανιά	Ετήσιο Άθροισμα (kWh)			Παραγωγή Φ/Β (kWh)			Κάλυψη Φ/Β (%)		
	Σκ 3	Σκ 8	Σκ 9	Σκ 3	Σκ 8	Σκ 9	Σκ 3	Σκ 8	Σκ 9
Δύση	4.316	4.319	4.449	1.278	1.394	1.246	29,62	32,27	28,02
Ανατολή	3.921	3.901	3.979	868	750	530	22,13	19,22	13,32

Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζεται σχηματικά η καλύτερη απόδοση και μεγαλύτερη κάλυψη των αναγκών από τα Φ/Β στο Δυτικό Προσανατολισμό όσον αφορά τα Χανιά.

Εικόνα 22: Ποσοστιαία κάλυψη αναγκών από Φ/Β ανά Προσανατολισμό για την περιοχή των Χανίων



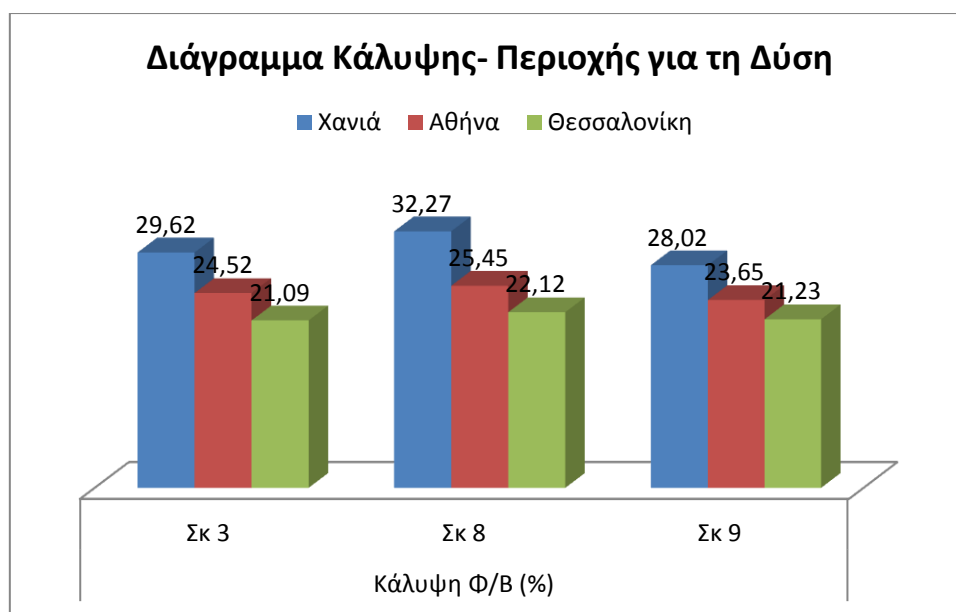
Όπου: Σκ 3: Brise soleil με περσίδες
 Σκ 8: Κατακόρυφες περσίδες με στροφή
 Σκ 9: Κατακόρυφες περσίδες 1m

Αλλάζοντας περιοχή και διατηρώντας τον ίδιο προσανατολισμό (Δυτικό), παρατηρούμε τις αλλαγές από την περιοχή των Χανίων στη Θεσσαλονίκη και την Αθήνα. Συγκεντρωτικά λοιπόν έχουμε :

Πίνακας 13: Σύγκριση Αποτελεσματικότητας Σκιάστρων μεταξύ των περιοχών για Δυτικό προσανατολισμό

Δυτικός Προσανατολισμός	Ετήσιο Άθροισμα Αναγκών (kWh)			Παραγωγή Φ/Β (kWh)			Κάλυψη Φ/Β (%)		
	Σκ 3	Σκ 8	Σκ 9	Σκ 3	Σκ 8	Σκ 9	Σκ 3	Σκ 8	Σκ 9
Χανιά	4.316	4.319	4.449	1.278	1.394	1.246	29,62	32,27	28,02
Αθήνα	4.396	4.455	4.512	1.078	1.134	1.067	24,52	25,45	23,65
Θεσσαλονίκη	4.892	4.964	5.000	1.032	1.098	1.062	21,09	22,12	21,23

Εικόνα 23: Ποσοστιαία κάλυψη αναγκών από Φ/Β ανά Περιοχή για Δυτικό Προσανατολισμό



Όπου: Σκ 3: Brise soleil με περσίδες
 Σκ 8: Κατακόρυφες περσίδες με στροφή
 Σκ 9: Κατακόρυφες περσίδες 1m

Όπως ήταν αναμενόμενο, όσο η περιοχή που εξετάζεται γίνεται πιο βόρεια, τόσο αυξάνεται η ανάγκη για ενέργεια για θερμική και οπτική άνεση, καθώς επίσης μειώνεται η παραγωγή των Φ/Β με αποτέλεσμα να μειώνεται και το ποσοστό κάλυψής τους.

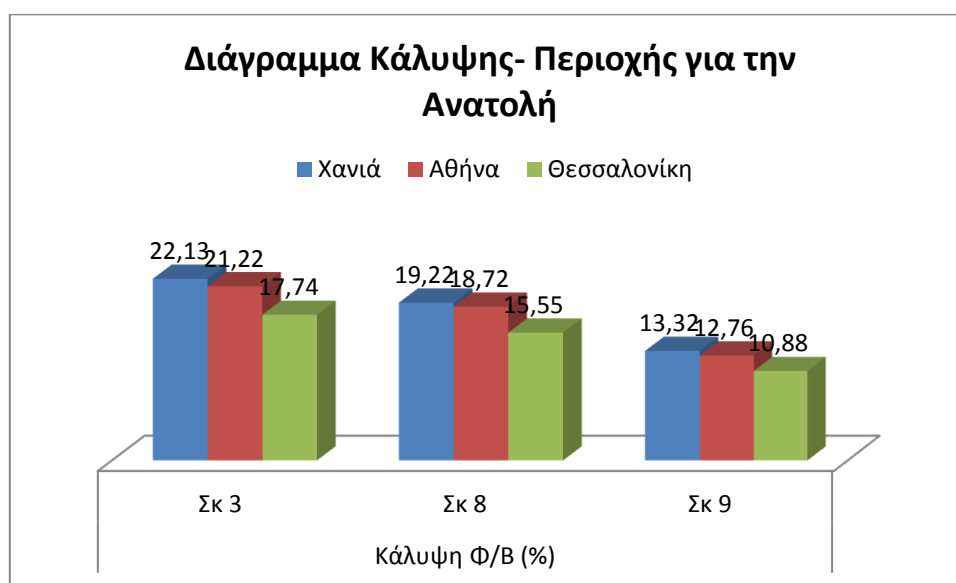
Και στην Αθήνα όσο μιλάμε για Δυτικό προσανατολισμό, η κατάταξη των σκιάστρων είναι η ίδια με των Χανίων στο Δυτικό. Προκύπτουν και πάλι δηλαδή με την εξής σειρά : Κατακόρυφες περσίδες με στροφή, Brise soleil με περσίδες, Κατακόρυφες περσίδες 1m. Στη Θεσσαλονίκη οι κατακόρυφες περσίδες με στροφή παραμένουν πρώτες ενώ το Brise soleil με περσίδες με τις Κατακόρυφες περσίδες 1m αλλάζουν θέση με πολύ μικρή διαφορά.

Κάνοντας την ίδια σύγκριση μεταξύ των περιοχών αλλά για Ανατολικό προσανατολισμό αυτή τη φορά, προκύπτουν τα εξής:

Πίνακας 14: Σύγκριση Αποτελεσματικότητας Σκιάστρων μεταξύ των περιοχών για Ανατολικό προσανατολισμό

Ανατολικός Προσανατολισμός	Ετήσιο Άθροισμα Αναγκών (kWh)			Παραγωγή Φ/Β (kWh)			Κάλυψη Φ/Β (%)		
	Σκ 3	Σκ 8	Σκ 9	Σκ 3	Σκ 8	Σκ 9	Σκ 3	Σκ 8	Σκ 9
Χανιά	3.921	3.901	3.979	868	750	530	22,13	19,22	13,32
Αθήνα	4.402	4.344	4.563	934	813	582	21,22	18,72	12,76
Θεσσαλονίκη	4.878	4.818	5.038	865	749	548	17,74	15,55	10,88

Εικόνα 24: Ποσοστιαία κάλυψη αναγκών από Φ/Β ανά Περιοχή για Ανατολικό Προσανατολισμό



Όπου: Σκ 3: Brise soleil με περσίδες
 Σκ 8: Κατακόρυφες περσίδες με στροφή
 Σκ 9: Κατακόρυφες περσίδες 1m

Και πάλι οι ανάγκες για ενέργεια αυξάνονται όσο τα κλιματολογικά δεδομένα ανήκουν σε πιο βόρειες περιοχές, κάτι που είναι απόλυτα λογικό, και η συνολική κάλυψη μειώνεται με την ίδια λογική. Παρατηρείται όμως κάτι ακόμη, η παραγωγή των Φ/Β για ανατολικό προσανατολισμό στην περιοχή της Αθήνας είναι μεγαλύτερη από κάθε άλλη περιοχή.

Αυτό ίσως οφείλεται στο ότι οι σχετικά μικρότερες θερμοκρασίες που επικρατούν στην Αθήνα από τα Χανιά, παράλληλα με τη μικρή διαφορά στην

ηλιοφάνεια, επιτρέπουν στα Φ/Β να λειτουργούν πιο αποδοτικά. Ενώ στη Θεσσαλονίκη μαζί με τις χαμηλότερες θερμοκρασίες υπάρχει σίγουρα και λιγότερη ηλιοφάνεια καθιστώντας την παραγωγή ούτως ή άλλως λίγο μικρότερη.

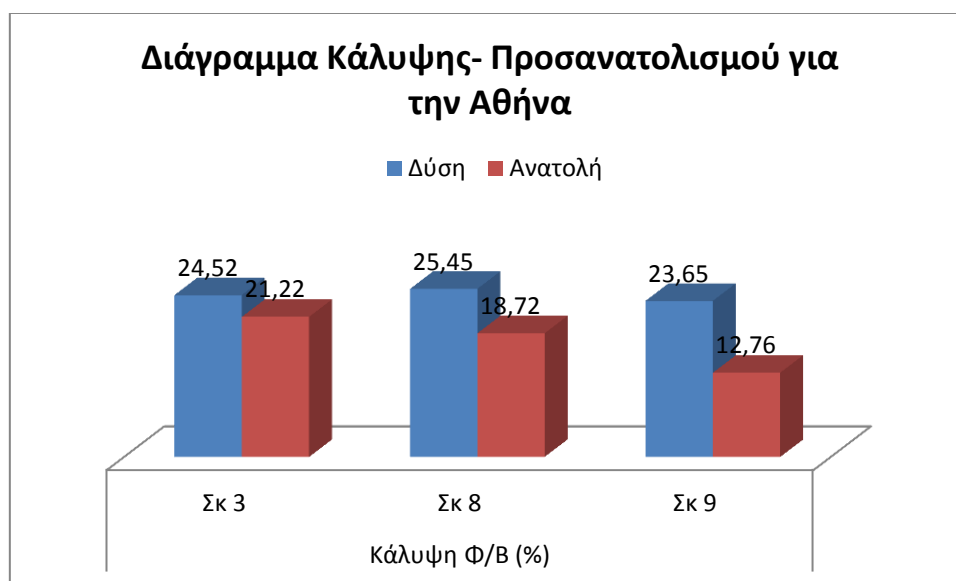
Η κατάταξη των σκιάστρων παρόλα αυτά, σε Αθήνα και Θεσσαλονίκη παραμένει όπως ακριβώς και στα Χανιά με Ανατολικό προσανατολισμό. Πρώτο το σκίαστρο Brise soleil με περσίδες και οι κατακόρυφες περσίδες με στροφή, κατακόρυφες περσίδες 1m να ακολουθούν.

Τώρα η σύγκριση που απομένει είναι μεταξύ των δύο προσανατολισμών για κάθε περιοχή. Για την Αθήνα:

Πίνακας 15: Σύγκριση Αποτελεσματικότητας Σκιάστρων μεταξύ Δύσης και Ανατολής για Αθήνα

Μέσος Όρος ανά Προσανατολισμό	Ετήσιο Άθροισμα Αναγκών (kWh)	Παραγωγή Φ/Β (kWh)	Κάλυψη Φ/Β (%)
Δύση	4.455	1.093	24,54
Ανατολή	4.436	776	17,56

Εικόνα 25: Ποσοστιαία Κάλυψη αναγκών από Φ/Β ανά Προσανατολισμό για την περιοχή της Αθήνας



Όπου: Σκ 3: Brise soleil με περσίδες
 Σκ 8: Κατακόρυφες περσίδες με στροφή
 Σκ 9: Κατακόρυφες περσίδες 1m

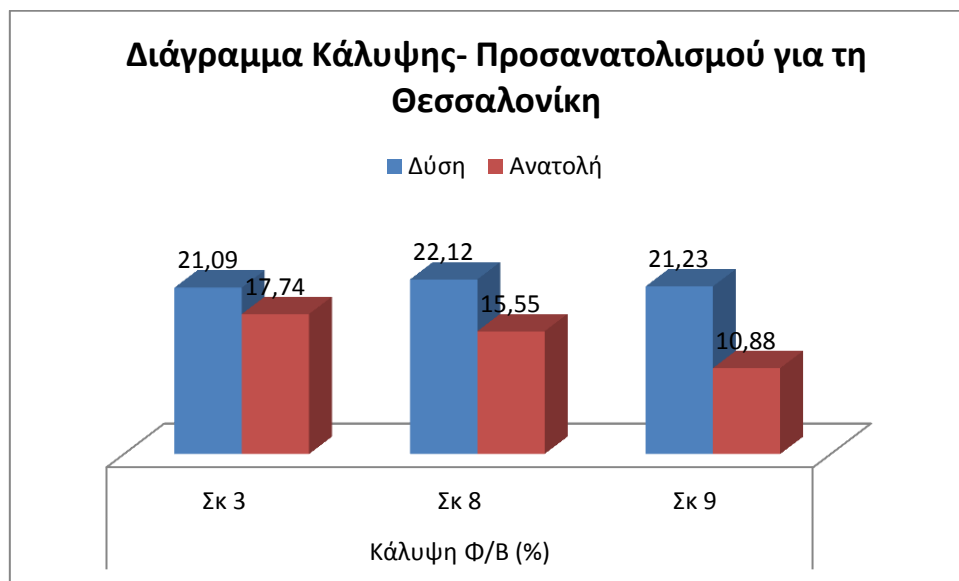
Παρατηρείται ότι η ετήσια ανάγκη για ενέργεια παραμένει σχεδόν στα ίδια επίπεδα και για τους δύο προσανατολισμούς, ενώ διαφορά παρατηρείται και πάλι στην παραγωγή των Φ/Β που μεταφέρεται και στο επίπεδο κάλυψης τους.

Η ίδια σύγκριση ακολουθεί και για την περιοχή της Θεσσαλονίκης:

Πίνακας 16: Σύγκριση Αποτελεσματικότητας Σκιάστρων μεταξύ Δύσης και Ανατολής για Θεσσαλονίκη

Μέσος Όρος ανά Προσανατολισμό	Ετήσιο Άθροισμα Αναγκών (kWh)	Παραγωγή Φ/Β (kWh)	Κάλυψη Φ/Β (%)
Δύση	4.952	1.064	21,48
Ανατολή	4.911	721	14,72

Εικόνα 26: Ποσοστιαία κάλυψη αναγκών από Φ/Β ανά Προσανατολισμό για την περιοχή της Θεσσαλονίκης



Όπου: Σκ 3: Brise soleil με περσίδες
 Σκ 8: Κατακόρυφες περσίδες με στροφή
 Σκ 9: Κατακόρυφες περσίδες 1m

Πολύ κοντά και εδώ οι τιμές για την ετήσια ανάγκη σε ενέργεια, ενώ εμφανή μείωση παρατηρείται στην παραγωγή των Φ/Β και στο επίπεδο κάλυψης.

Η διαφορά αυτή μεταξύ της παραγωγής των Φ/Β στους δύο προσανατολισμούς, για όλες τις περιοχές, είναι αναμενόμενη αφού τα σκίαστρα έχουν σχεδιαστεί αποκλειστικά για Δυτικό Προσανατολισμό. Σκοπός ήταν να καλύπτουν τις ανάγκες του γραφείου μετά τις 12:00μμ έως και τη δύση του ήλιου, και προφανώς οι γωνίες που χρησιμοποιήθηκαν για το σχεδιασμό διαφέρουν απ' τις γωνίες που προσδιορίζουν τις θέσεις του ήλιου κατά την ανατολή του.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με το πέρας της εργασίας, προέκυψαν συνοπτικά τα ακόλουθα συμπεράσματα. Τα τρία καλύτερα σκίαστρα, με ενσωματωμένα Φ/Β στοιχεία, τα οποία αναδείχθηκαν για την κάλυψη των αναγκών μέσω της παραγωγής ενέργειας, έπειτα από προσομοιώσεις για την περιοχή της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, αποδείχθηκε ότι θα μπορούσαν όντως να χρησιμοποιηθούν σε αυτές για Δυτικό προσανατολισμό, με μικρές μειώσεις στην ποσοστιαία κάλυψη. Οι μικρές αυτές μειώσεις, που είναι αναλογικές με τη Βόρεια απομάκρυνση, είναι λογικές και δεν τα καθιστούν μη αποτελεσματικά.

Τα ίδια σκίαστρα τοποθετημένα σε ανατολικό προσανατολισμό, έχοντας εξετάσει και πάλι όλες τις περιοχές, έχουν σαφώς ακόμη μικρότερα ποσοστά κάλυψης, που δεν είναι παρόλα αυτά μικρότερα από τα ποσοστά κάλυψης των σκιάστρων που συνηθίζεται να χρησιμοποιούνται σε ανάλογους χώρους. Επίσης στον ανατολικό προσανατολισμό, σε όλες τις περιοχές, φαίνεται το Brise Soleil με περσίδες να είναι το πιο αποτελεσματικό αλλάζοντας την κατάταξη.

Το γενικότερο συμπέρασμα που προκύπτει και επαληθεύει τις θεωρίες που είναι γνωστές, είναι πως σε Δυτικό προσανατολισμό ενδείκνυνται σκίαστρα με συνδυασμούς κατακόρυφων και οριζόντιων στοιχείων, καθώς και σκιάστρων που θα καλύπτουν μεγάλο ποσοστό της πρόσοψης και όχι μόνο το εξεταζόμενο παράθυρο. Και με την έκφραση “μεγαλύτερο ποσοστό της πρόσοψης”, νοούνται μεγαλύτερα σκίαστρα καθ’ ύψος και κατά μήκος της πρόσοψης. Τα τρία καλύτερα σκίαστρα που προέκυψαν πληρούν ακριβώς αυτές τις προϋποθέσεις.

Επίσης τα σκίαστρα που χρησιμοποιούνται κατά κόρον σε γραφεία, οι οριζόντιες περσίδες με κλίσεις είτε προς τα μέσα είτε προς τα έξω ίσως δεν είναι η καλύτερη λύση αφού παρατηρούμε ότι ούτε μειώνουν σημαντικά την κατανάλωση της ενέργειας όπως άλλα, ούτε παράγουν αξιόλογα ποσά ενέργειας λόγω του μικρού εμβαδού στο οποίο ενσωματώνονται τα Φ/Β. Επομένως, στις περιπτώσεις ενσωμάτωσης Φ/Β στοιχείων σε σκίαστρα, θα πρέπει να γίνουν γνωστά σε κατασκευαστές, εμπόρους και υποψήφιους αγοραστές, τα είδη των σκιάστρων που προαναφέρονται και είναι τα πιο αποτελεσματικά.

Παρατίθεται ο πίνακας με συνοπτική και φθίνουσα κατάταξη των σκιάστρων ανάλογα με την ποσοστιαία κάλυψη, την περιοχή και τον προσανατολισμό τοποθέτησης.

Πίνακας 17: Φθίνουσα Κατάταξη Σκιάστρων ανά Περιοχή και Προσανατολισμό

ΧΑΝΙΑ		ΑΘΗΝΑ		ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	
ΔΥΣΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ	ΔΥΣΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ	ΔΥΣΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ
Σκίαστρο 8: <u>Κατακόρυφες περσίδες με στροφή</u>	Σκίαστρο 3: <u>Brise soleil με περσίδες</u>	Σκίαστρο 8: <u>Κατακόρυφες περσίδες με στροφή</u>	Σκίαστρο 3: <u>Brise soleil με περσίδες</u>	Σκίαστρο 8: <u>Κατακόρυφες περσίδες με στροφή</u>	Σκίαστρο 3: <u>Brise soleil με περσίδες</u>
Σκίαστρο 3: <u>Brise soleil με περσίδες</u>	Σκίαστρο 8: <u>Κατακόρυφες περσίδες με στροφή</u>	Σκίαστρο 3: <u>Brise soleil με περσίδες</u>	Σκίαστρο 8: <u>Κατακόρυφες περσίδες με στροφή</u>	Σκίαστρο 9: <u>Κατακόρυφες Περσίδες 1m</u>	Σκίαστρο 8: <u>Κατακόρυφες περσίδες με στροφή</u>
Σκίαστρο 9: <u>Κατακόρυφες Περσίδες 1m</u>	Σκίαστρο 9: <u>Κατακόρυφες Περσίδες 1m</u>	Σκίαστρο 9: <u>Κατακόρυφες Περσίδες 1m</u>	Σκίαστρο 9: <u>Κατακόρυφες Περσίδες 1m</u>	Σκίαστρο 3: <u>Brise soleil με περσίδες</u>	Σκίαστρο 9: <u>Κατακόρυφες Περσίδες 1m</u>

8. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται προτάσεις σχετικά με τη συνέχεια επάνω στο ίδιο θέμα, ή σχετικά με τη διεξαγωγή άλλων μελετών στην ίδια όμως κατεύθυνση.

Μια πρόταση για άμεση συνέχεια, θα ήταν η προσομοίωση των σκιάστρων να πραγματοποιηθεί ξανά για τα ίδια σκίαστρα, εισάγοντας όμως αυτή τη φορά περισσότερες σταθερές παραμέτρους, όπως τη λειτουργία συσκευών στο χώρο του γραφείου, που θα αλλάξουν σαφώς το ενεργειακό ισοζύγιο, ή πραγματοποιώντας ταυτόχρονα ελέγχους για την ποιότητα του αέρα.

Προσομοίωση χρησιμοποιώντας χαρακτηριστικά πραγματικών μοντέλων Φ/Β που υπάρχουν στην αγορά ίσως έδινε ακόμη πιο ακριβή αποτελέσματα, ενώ η χρήση περισσότερων διαφορετικών λογισμικών ή και πειραματικών μετρήσεων θα παρείχαν σημαντικές συγκρίσεις.

Συνέχεια της έρευνας, θα μπορούσε να αποτελέσει σίγουρα η μέτρηση των δεικτών DGI, UDI και DF που θα έδιναν μια λεπτομερέστερη εικόνα για την επίτευξη της οπτικής άνεσης.

Ο σχεδιασμός των σκιάστρων για Βόρειο και Ανατολικό προσανατολισμό θα μπορούσε να αποτελέσει το θέμα επόμενης εργασίας που με εισαγωγή οικονομοτεχνικών ενδεχομένως κριτηρίων θα έδινε μια πιο ολοκληρωμένη και απτή εικόνα για τη εφαρμογή και χρήση αυτών των λύσεων.

Πολύ καλή λύση, αν και δυσκολότερη στην προσομοίωση, θα ήταν η χρήση κινούμενων σκιάστρων. Κινούμενα σκίαστρα θεωρούνται τα χειροκίνητα και μηχανοκίνητα που θα μπορούν ν' αλλάζουν κλίση είτε λίγες φορές το χρόνο είτε και μέσα στην ίδια ημέρα ανάλογα με το μηχανισμό τους. Ενώ πολύ καλή

ιδέα για περαιτέρω έρευνα θα ήταν σκίαστρα μηχανοκίνητα τα οποία θα κινούνται ακολουθώντας την κίνηση του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας και του χρόνου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ανδρεαδάκη Ε., 2006, *Βιοκλιματικός Σχεδιασμός- Περιβάλλον και Βιωσιμότητα*, University Studio Press, Θεσσαλονίκη
- Κανάκης Ι., Τσούτσος Θ., 2012, *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Σημειώσεις Εργαστηριακών Σημειώσεων*
- Baker, N., Steemers, K., 2002. *Daylight Design of Buildings*. James and James, Hong Kong
- Fontoyont, M., 1998. *Daylight Performance of Buildings*. James _ James (Science) Publications Ltd., London.
- Hoppe P., 2002, *Different Aspects of Assessing Indoor and Outdoor Thermal Comfort*, Elsevier, Energy and Buildings, 34, 661-665
- James P.A.B., Jentsch M.F. , Bahaj A.S., 2009, *Quantifying the added value of BiPV as a shading solution in atria*, Elsevier, Solar Energy, 83, 220–231
- Khezri N., 2012, *Comparative Analysis of PV Shading Devices for EnergyPerformance and Daylight*, MSc in Sustainable Architecture Norwegian University of Science and Technology (NTNU)
- Lechner, Norbert, 2001, *Heating, Cooling, Lighting : Design Methods for Architects*, John Wiley & Sons, Inc. (US)
- Liangliang S., Lin L., Hongxing Y., 2011, *Optimum design of shading-type building-integrated photovoltaic claddings with different surface azimuth angles*, Elsevier, Applied Energy, 90, 233-240

- Luckiesh M. and Guth S.K., 1949, *"Brightness in visual field at borderline between comfort and discomfort (BCD)"*, Illuminating Engineering (New York), Vol. 44, No. 11, pp. 650-670.
- 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
- Mandalaki M., Papantoniou S., Tsoutsos T., 2013, *Assessment of energy production from photovoltaic modules integrated in typical shading devices*, Sustainable Cities and Society, xxx, xxx.e1–xxx.e10
- Mehrotra, M., 2005, *Solar Control Devices; Balance Between Thermal Performance and Daylight*, Palenc, Santorini, Greece.
- Nabil A, Mardaljevic J , 2005, *Useful daylight Illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings*, *Lighting Research and Technology*, *Lighting Res. Technol.* 37,1, pp. 41/59
- 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
- Olgyay A., Olgyay V., 1976, *Solar Control And Shading Devices*, The Meriden Gravure Company, Meriden, Connecticut (USA)
- Peng, Ch., Huang, Y., & Wu, Z. (2011). *Building-integrated photovoltaics (BIPV) in architectural design in China*. *Energy and Buildings*, 43, 3592–3598
- Yoo, S.H., Manz, H., 2011. *Available remodelling simulation for a BIPV as a shading device*, *Solar Energy Materials and Solar Cells* 95 (1), 394–397.

- Zervas, K., 2009. *Assessment of thermal comfort in office buildings, with different window shading devices, for the city of Chania, Greece*. Department of Environmental Engineering, Technical University of Crete.
- Zogou O., Stapountzis H., 2011, *Energy analysis of an improved concept of integrated PV panels in an office building in central Greece*, Elsevier, Applied Energy, 88, 853–866

ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

- <http://www.designbuilder.co.uk>
- <http://www.sovoxglobal.com>
- <http://www.alpstechnologyinc.com>
- <http://www.cleantechinvestor.com>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΟΤΕΕ: ΧΡΗΣΕΙΣ ΚΤΗΡΙΩΝ Ή ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΖΩΝΩΝ –

ΜΕΤΑΒΟΛΙΚΟΣ ΡΥΘΜΟΣ

Χρήσεις κτηρίων ή θερμικών ζωνών	Θερμοκρασία [°C]		Σχετική υγρασία [%]	
	Χειμερινή περίοδος	Θερινή περίοδος	Χειμερινή περίοδος	Θερινή περίοδος
Μονοκατοικία, πολυκατοικία (περισσότερα του ενός διαμερίσματα)	20	26	40	45
Ξενοδοχείο ετήσιας λειτουργίας	20	26	35	45
θερινής λειτουργίας	20	26	35	45
χειμερινής λειτουργίας	20	26	35	45
Ξενώνας ετήσιας λειτουργίας	20	26	35	45
θερινής λειτουργίας	20	26	35	45
χειμερινής λειτουργίας	20	26	35	45
Οικοτροφείο και κοιτώνας	20	26	40	45
Υπνοδωμάτιο ξενοδοχείου, οικοτροφείου κ.ά.	20	26	40	45
Κοινόχρηστος χώρος ξενοδοχείου, οικοτροφείου κ.ά	20	26	35	50
Εστιατόριο	20	26	35	50
Ζαχαροπλαστείο, καφενείο	20	26	35	50
Νυχτερινό κέντρο διασκέδασης, μουσική σκηνή	20	26	35	50
Θέατρο, κινηματογράφος	20	26	35	50
Χώρος συναυλιών	20	26	35	50
Χώρος εκθέσεων, μουσείο	20	26	35	50
Χώρος συνεδρίων, αμφιθέατρο, αίθουσα δικαστηρίων	20	26	35	45
Τράπεζα	20	26	35	45
Αίθουσα πολλαπλών χρήσεων	20	26	35	50
Κλειστό γυμναστήριο, κλειστό κολυμβητήριο	18	25	35	45
Λουτρό (κοινόχρηστο)	22	26	40	50
Νηπιαγωγείο	20	26	35	45

Χρήσεις κτηρίων ή θερμικών ζωνών	Θερμοκρασία [°C]		Σχετική υγρασία [%]	
	Χειμερινή περίοδος	Θερινή περίοδος	Χειμερινή περίοδος	Θερινή περίοδος
Πρωτοβάθμια εκπαίδευση, δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης	20	26	35	45
Τριτοβάθμια εκπαίδευση, αίθουσα διδασκαλίας	20	26	35	45
Φροντιστήριο, ωδείο	20	26	35	45
Νοσοκομείο, κλινική	22	26	35	50
Αίθουσα ασθενών (δωμάτιο)	22	25	35	50
Χειρουργείο (τακτικό)	18	20	35	55
Εξωτερικών ιατρείων	20	26	35	50
Αγροτικό ιατρείο, υγειονομικός σταθμός, κέντρο υγείας, ιατρείο	22	26	35	50
Ψυχιατρείο, ίδρυμα ατόμων με ειδικές ανάγκες, ίδρυμα χρόνιως πασχόντων, οίκος ευγηρίας, βρεφοκομεία	22	26	40	45
Βρεφικός σταθμός, παιδικός σταθμός	20	26	40	45
Κρατητήριο, αναμορφωτήριο, φυλακή	20	26	40	45
Αστυνομική διεύθυνση	20	26	35	45
Εμπορικό κέντρο, αγορά και υπεραγορά	19	25	35	45
Κατάστημα, φαρμακείο,	20	26	35	45
Ινστιτούτο γυμναστικής, κουρείο, κομμωτήριο	20	26	35	45
Γραφείο	20	26	35	45
Βιβλιοθήκη	20	26	35	50
Συνεργείο συντήρησης και επισκευής αυτοκινήτων, βαφείο, ξυλουργείο	19	25	40	50
Παρασκευαστήριο τροφίμων	19	25	35	45
Καθαριστήριο, σιδερωτήριο, οργανωμένο πλυντήριο ενδυμάτων	19	25	40	50
Αυτοτελές κέντρο μηχανογράφησης	20	26	35	45
Γενική αποθήκη, αποθήκη καταστήματος, αποθήκη μουσείου	20	26	35	50
Χώρος στάθμευσης, πρατήριο υγρών καυσίμων, πλυντήριο αυτοκινήτων	19	25	35	45

ΠΑΡΑΓΩΓΗ Φ/Β ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ

ΧΑΝΙΑ- ΔΥΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ

Μήνας/Παραγωγή	sk1(kWh)	sk2(kWh)	sk3(kWh)
Ιανουάριος	39,92638642	32,32797758	52,50456744
Φεβρουάριος	48,11934003	38,75142739	60,92790168
Μάρτιος	92,85498311	75,39158293	110,5271209
Απρίλιος	118,2774352	93,88587795	131,6885988
Μάιος	145,8182725	117,1311271	156,8507087
Ιούνιος	149,3758832	120,742271	160,1365361
Ιούλιος	145,8045221	117,5286716	157,1367822
Αύγουστος	131,6222546	104,6526289	144,5021537
Σεπτέμβριος	99,01718057	76,85886084	112,424021
Οκτώβριος	71,34973545	54,61047365	85,78702828
Νοέμβριος	46,56704553	35,4466255	58,70793719
Δεκέμβριος	37,01952146	27,79507135	47,15296122
Άθροισμα:	1125,75256	895,1225958	1278,346317

sk4(kWh)	sk5(kWh)	sk6(kWh)	sk7(kWh)
11,82452031	23,59917261	16,54508977	19,78930514
14,19139663	28,4975227	19,82717378	23,98210429
26,9815372	52,76919881	36,58410299	45,21530144
35,4980671	70,15647573	49,63811317	60,37123196
43,01527214	82,20721866	58,19234566	71,81845583
44,71732301	82,98959784	58,33318279	73,7823663
43,53989229	81,87776378	57,56876692	72,36824488
39,55529222	77,67589692	54,96146361	67,06650618
29,98675137	62,29700481	45,09565405	52,49600912
22,24166077	47,27575193	34,27901909	39,04164067
13,89040533	31,08767818	22,85485952	25,08494797
11,10994954	25,41924136	19,10023683	20,17040296
336,5520679	665,8525233	472,9800082	571,1865167

sk8(kWh)	sk9(kWh)	sk10(kWh)	sk11(kWh)
62,79382729	67,71545228	44,71083048	34,66056217
72,26503431	77,42248381	52,05444582	41,70573398
126,3912696	128,5918144	91,04746405	76,08529654
145,8767125	124,5531612	109,5062319	99,41874775
154,5592417	120,8147686	116,0263417	113,9571159
148,1541551	109,7983215	111,6522236	114,2735025
149,8268254	112,9982347	112,9699782	113,2207634
152,8785205	123,1423583	115,7746319	108,8108088
133,2775839	121,2944358	101,0363933	89,08783538
108,138936	110,858602	81,94989024	68,51005192
76,50986757	81,90435083	57,16286997	45,64188897
63,3284024	67,35287644	47,40596249	37,48201231
1394,000376	1246,44686	1041,297264	942,8543196

ΧΑΝΙΑ- ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ

Μήνας/Παραγωγή	Σκίαστρο 3 (kWh)	Σκίαστρο 8 (kWh)	Σκίαστρο 9 (kWh)
Ιανουάριος	37,686818	32,668086	25,641194
Φεβρουάριος	43,431848	36,354716	27,445622
Μάρτιος	80,789976	65,421157	47,638959
Απρίλιος	87,430902	74,300736	54,172934
Μάιος	110,461522	96,177977	67,292550
Ιούνιος	112,572780	100,429458	65,673623
Ιούλιος	109,205361	96,209152	64,069803
Αύγουστος	95,636970	81,976443	57,271604
Σεπτέμβριος	70,674749	60,755512	43,196120
Οκτώβριος	51,864302	45,671596	33,027718
Νοέμβριος	38,016117	32,779757	24,556575
Δεκέμβριος	29,803297	27,172324	20,100215
Άθροισμα:	867,574641	749,916916	530,086919

ΑΘΗΝΑ- ΔΥΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ

Μήνας/Παραγωγή	Σκίαστρο 3 (kWh)	Σκίαστρο 8 (kWh)	Σκίαστρο 9 (kWh)
Ιανουάριος	50,909686	61,131047	66,750064
Φεβρουάριος	58,411596	67,276232	71,710292
Μάρτιος	83,235250	91,558105	93,761485
Απρίλιος	95,413828	100,532731	94,481349
Μάιος	116,923459	115,426057	95,847316
Ιούνιος	132,721275	125,960235	96,501247
Ιούλιος	138,289823	133,752085	105,463369
Αύγουστος	126,918057	130,303015	115,924958
Σεπτέμβριος	107,484567	117,769831	119,972474
Οκτώβριος	75,595661	83,630393	90,879527
Νοέμβριος	47,809390	53,900636	58,479194
Δεκέμβριος	44,403390	52,531998	57,302279
Άθροισμα:	1078,115982	1133,772363	1067,073553

ΑΘΗΝΑ- ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ

Μήνας/Παραγωγή	Σκίαστρο 3 (kWh)	Σκίαστρο 8 (kWh)	Σκίαστρο 9 (kWh)
Ιανουάριος	37,439429	31,430736	25,658766
Φεβρουάριος	43,863824	37,221573	29,818048
Μάρτιος	70,712897	58,653316	45,948325
Απρίλιος	88,942537	78,292278	55,357315
Μάιος	106,020353	98,606833	69,276337
Ιούνιος	122,645224	115,071005	75,782757
Ιούλιος	127,781625	117,409147	76,236453
Αύγουστος	112,733767	96,245025	64,791029
Σεπτέμβριος	90,222737	71,551431	51,260409
Οκτώβριος	62,768437	49,352574	40,191810
Νοέμβριος	37,730554	31,300819	25,718433
Δεκέμβριος	32,955327	27,907061	21,929074
Άθροισμα:	933,816712	813,041798	581,968756

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ- ΔΥΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ

Μήνας/Παραγωγή	Σκίαστρο 3 (kWh)	Σκίαστρο 8 (kWh)	Σκίαστρο 9 (kWh)
Ιανουάριος	43,933130	53,042900	57,629097
Φεβρουάριος	62,341366	74,228649	81,786250
Μάρτιος	82,778275	89,668035	94,598490
Απρίλιος	92,951504	97,117336	94,175063
Μάιος	114,446914	114,444292	100,279613
Ιούνιος	126,084228	121,324200	100,393368
Ιούλιος	134,581145	131,870693	109,539320
Αύγουστος	121,688044	125,961388	116,690818
Σεπτέμβριος	96,532954	106,173978	108,662306
Οκτώβριος	71,691631	81,673948	87,788757
Νοέμβριος	46,908997	56,298227	60,676955
Δεκέμβριος	37,784169	46,149791	49,473998
Άθροισμα:	1031,722356	1097,953439	1061,694036

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ- ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ

Μήνας/Παραγωγή	Σκίαστρο 3 (kWh)	Σκίαστρο 8 (kWh)	Σκίαστρο 9 (kWh)
Ιανουάριος	31,316906	26,830888	21,387771
Φεβρουάριος	47,853348	36,987986	29,356243
Μάρτιος	69,982748	57,270164	45,703961
Απρίλιος	80,197526	69,708397	51,772478
Μάιος	103,077560	93,813941	67,518991
Ιούνιος	117,274361	107,649420	75,140167
Ιούλιος	117,204495	106,361599	72,969192
Αύγουστος	105,314559	89,892760	61,307346
Σεπτέμβριος	78,381524	64,164231	47,140103
Οκτώβριος	55,356319	44,729635	35,726840
Νοέμβριος	33,219136	28,600988	21,672878
Δεκέμβριος	26,099005	23,308598	18,399583
Άθροισμα:	865,277486	749,318608	548,095554