Πολυτεχνείο Κρήτης

Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος

Διπλωματική εργασία: « Ενεργειακή μελέτη του κτηρίου μηχανικών περιβάλλοντος με αξιοποίηση φωτοβολταϊκών στοιχείων»

Παπαντωνίου Σωτήρης

Ημερομηνία υποβολής: Ιούλιος 2008

Εξεταστική επιτροπή: Γκέκας Βασίλειος
Σταυρακάκης Γιώργος
Τσούτσος Θεοχάρης (Επιβλέπων καθηγητής)

I. Περίληψη

Το παρόν κείμενο συγγράφηκε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας του Παπαντωνίου Σωτήρη φοιτητή του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος στο Πολυτεχνείο Κρήτης, με σκοπό να δείξει την δυνατότητα των ενσωματωμένων φωτοβολταϊκών σε κτίρια να παράγουν ενέργεια ικανή να καλύψει μέρος των αναγκών του κτιρίου Μηχανικών Περιβάλλοντος. Έχει γίνει σχεδιασμός του κτιρίου και επίλυση κάποιων σεναρίων με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων για τις δυνατότητες των φωτοβολταϊκών να καλύπτουν μέρος των αναγκών αλλά και να ενσωματώνονται στο κτίριο από αισθητικής άποψης Ο σχεδιασμός και οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με το πρόγραμμα ecotect v5.5 και τα αποτελέσματα έχουν μεταφερθεί στο Microsoft excel και παρουσιάζονται με την μορφή διαγραμμάτων. Στο πρόγραμμα δεν υπήρχαν δεδομένα μετεωρολογικά άμεσα διαθέσιμα για τα Χανιά και χρειάστηκε να προσαρμοστούν δεδομένα ηλιοφάνειας του έτους 2007 που διαθέτει το εργαστήριο ανανεώσιμων και βιώσιμων ενεργειακών συστημάτων. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί πως το πρόγραμμα χρησιμοποιείται για πρώτη φορά στο Πολυτεχνείο Κρήτης σε επίπεδο διπλωματικής εργασίας, και η παρούσα εργασία με το συνοδευόμενο ηλεκτρονικό αρχείο του κτιρίου αποτελούν βάση για περαιτέρω αναλύσεις τόσο σε θέματα φωτοβολταϊκών ενσωματωμένων ή μη, όσο και σε θέματα φυσικού φωτισμού μέσα σε χώρους κτιρίων τριτογενούς τομέα γενικότερα.

II. Abstract

The following work is the diploma thesis of Papantoniou Sotiris, student of environmental engineering department, with object to present the potentials of Building integrated photovoltaic to generate energy enough to cover part of the electricity demands of environmental engineering department in Technical University of Crete After the design of the building some scenarios where analyzed to show apart from the energy production the aesthetic integration of the BIPV. The design and the analysis where completed with the software ecotect v5.5, and the results where sent by the program default, to Microsoft Excel for further analysis and chart creation. By checking the default libraries of the software, no weather data where found for Chania and we had to insert the data of the year 2007 through some data that the University had. Finally, it should be noticed that the software ecotect v5.5 has never been used before in Technical University of Crete, and that the current diploma thesis with the electronic file of the building are the groundwork for further analysis for PV integrated or not, and for analysis of natural lighting inside a building.

III. Πίνακας Περιεχομένων

IV. Κατάλογος Πινάκων

V. Πίνακας εικόνων

VI. Κατάλογος Διαγραμμάτων

1. Εισαγωγή

Η συνεχής εξέλιξη της δυνατότητας παραγωγής φωτοβολταϊκών στοιχείων, ως προς την ποσότητα παραγωγής αλλά και ως προς την απόδοση μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια, έχουν οδηγήσει τους κατοίκους των μεγαλουπόλεων αλλά και μικρότερων πληθυσμιακά περιοχών να τοποθετούν φωτοβολταϊκά στο χώρο των κατοικιών τους και τον χώρο εργασίας τους. Τα φωτοβολταϊκά συμβάλουν στην ηλεκτρική αυτονομία του κάθε νοικοκυριού, διότι το κάθε σπίτι είναι παραγωγός και καταναλωτής ενέργειας ταυτόχρονα.(Wong et al, 2007) Με τον τρόπο αυτό σε περίπτωση διακοπής της παροχής ηλεκτρικού ρεύματος το κάθε νοικοκυριό ή γενικά ο κάθε χώρος με εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά μπορεί να συνεχίσει να λειτουργεί χάρη στα φωτοβολταϊκά που έχουν τοποθετηθεί. (Ruther et al, 2007) Τα φωτοβολταϊκά πέρα από την ασφάλεια που παρέχουν για την ηλεκτρική κάλυψη σε περίπτωση διακοπής ρεύματος όπως προαναφέρθηκε, αποτελούν ανανεώσιμη πηγή. Συγκεκριμένα στην χώρα μας η πηγές ενέργειας που χρησιμοποιεί η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (Δ.Ε.Η.) είναι είτε λιγνίτης για το ηπειρωτικό δίκτυο, είτε μαζούτ για τον χώρο της Κρήτης. Και οι δύο παραπάνω πηγές ενέργειας παράγουν μεγάλα ποσά διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), τα οποία συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Παράλληλα, το κόστος παραγωγής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά δεν έχει κανένα οικονομικό κόστος πέρα του αρχικού κόστους εγκατάστασης αφού η ηλιακή ακτινοβολία υπάρχει σε όλον το πλανήτη σε αφθονία. Συγκεκριμένα στην Κρήτη η ηλιοφάνεια είναι μεγάλη και φτάνει τις 320 μέρες τον χρόνο. Αντίθετα το ρεύμα που παίρνουμε από την Δημόσια επιχείρηση ηλεκτρισμού κοστίζει αρκετά (0,07 €/ kWh) (http://www.dei.gr) και υπόκειται συνεχώς σε αυξήσεις λόγω της αύξησης της τιμής του πετρελαίου ή λόγο του κόστους εξόρυξης του λιγνίτη. Σημαντική εξέλιξη των φωτοβολταϊκών που εγκαθίστανται στα κτίρια, αποτελούν τα φωτοβολταϊκά που ενσωματώνονται σε αυτά. Συγκεκριμένα η σημερινή τεχνολογία δίνει την δυνατότητα στα φωτοβολταϊκά στοιχεία όχι μόνο να τοποθετούνται στα κτίρια αλλά να έχουν δομικό ρόλο σε αυτά αντικαθιστώντας, τα παράθυρα σε κάποια τζάμια, τα σκίαστρα ενός χώρου, την οροφή ενός κτιρίου τα κάγκελα σε μία βεράντα. Υπάρχουν πολλοί χώροι στους οποίους μπορούν να τοποθετηθούν τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αντί άλλων δομικών στοιχείων και μόνο η περιορισμένη φαντασία του σχεδιαστή και οι όποιες τεχνικές δυσκολίες εμφανιστούν μπορούν να εμποδίσουν τον αρχιτέκτονα ενός χώρου να ενσωματώσει και όχι απλά να εγκαταστήσει τα φωτοβολταϊκά στοιχεία σε ένα κτίριο. Με την ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών μπορούμε να πετύχουμε μείωση του κόστους εγκατάστασης, διότι τα φωτοβολταϊκά αντικαθιστούν κάποιο υλικό το οποίο θα είχε κάποιο αρχικό κόστος εγκατάστασης. Για παράδειγμα κατά την ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών σε οροφή τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αντικαθιστούν τα κεραμίδια και ίσως κάποιες μονώσεις (Cheng, 2005). Επίσης, όταν τα φωτοβολταϊκά τοποθετούνται στα παράθυρα μειώνεται το κόστος αγοράς τζαμιών. Τέλος, η μετατροπή ενός τελικού καταναλωτή ρεύματος σε παραγωγό, δίνει στον καταναλωτή την αίσθηση της ευθύνης ως προς την κατανάλωση, ενώ είναι πιθανόν παρατηρηθεί και μείωση της ενέργειας που καταναλώνεται. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής πραγματοποιείται ανάλυση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από την ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών στον κεντρικό χώρο του κτιρίου Μηχανικών Περιβάλλοντος που βρίσκεται στην Πολυτεχνειούπολη στο Ακρωτήρι Χανίων. Η διπλωματική εργασία έχει σκοπό να δείξει το ποσοστό κάλυψης της ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά αλλά και τις επιπτώσεις που έχει η μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στο ποσοστό κάλυψης.

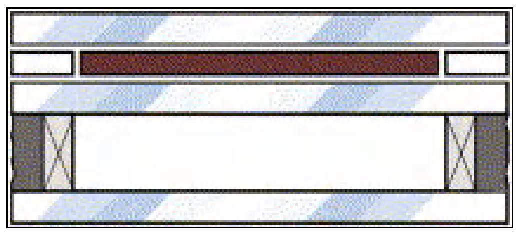
2. Διεθνής επιστημονική εμπειρία στο αντικείμενο

2.1. Επιλογή προγράμματος για την παρούσα διπλωματική

Το λογισμικό ecotect v5.5 (www.ecotect.com) επιλέχθηκε σε συνεννόηση με τον υπεύθυνο καθηγητή καθώς εμφανίζει συγκριτικά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλα προγράμματα που είναι για την ίδια χρήση. Παρεμφερή προγράμματα είναι το TRANSYS (http://www.trnsys.com/) το οποίο σε συνεργασία με το SimCAD (http://www.simcad.com/) εμφανίζουν μεγάλη ακρίβεια στα αποτελέσματα αλλά απαιτούν μεγάλο χρονικό διάστημα για τις αναλύσεις και την επεξεργασία τους. Αντίθετα, το ecotect v5.5 είναι συμβατό με το AutoCAD (http://usa.autodesk.com/) και δεν χρειάζονται πρόσθετα προγράμματα για τον υπολογισμό της παραγομένης ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά. Επιπλέον το πρόγραμμα αυτό δεν έχει χρησιμοποιηθεί στο τμήμα άλλη φορά, ούτε σε επίπεδο Κρήτης για τον έλεγχο κάποιου κτιρίου ως προς την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από φωτοβολταϊκά στοιχεία και για τον λόγο της σύγκρισης των αποτελεσμάτων μεταξύ των δύο προγραμμάτων. Τέλος το πρόγραμμα ecotect v5.5 χρησιμοποιεί και τον κώδικα του λογισμικού Radiance (http://radsite.lbl.gov) για την εμφάνιση ρεαλιστικών εικόνων ώστε να αξιολογηθεί η δυνατότητα αισθητικής ενσωμάτωσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων.

2.2. Φωτοβολταϊκά ενσωματωμένα σε κτίρια σε νησιωτικές και μη περιοχές

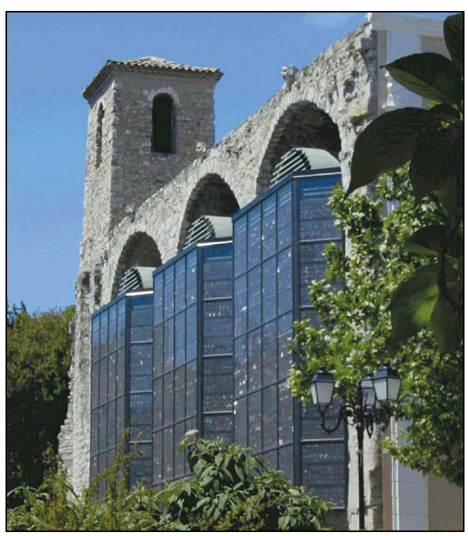
Στην περιοχή της Κρήτης δεν υπάρχουν αυτή την στιγμή ενσωματωμένα φωτοβολταϊκά σε κτίρια. Η ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών σε κτίρια σε Ευρωπαϊκό επίπεδο ξεκίνησε το 1991 στο Aachen της Γερμανίας, όπου τοποθετήθηκαν για πρώτη φορά φωτοβολταϊκά σε πρόσοψη κτιρίου. Από την περίοδο εκείνη μέχρι τώρα η βιομηχανία παραγωγής φωτοβολταϊκών για ενσωμάτωση σε κτίρια έχει κάνει τεράστια βήματα προόδου. Συγκεκριμένα, η πρώτη μονάδα παραγωγής φωτοβολταϊκών με σκοπό την ενσωμάτωση στα κτίρια ξεκίνησε το 1993 στην Γερμανία με δυνατότητα παραγωγής 5.000 m^2 τον χρόνο, και στο τέλος του 1999 η παραγωγή έφτασε στις 50.000 m^2 πραγματοποιώντας αύξηση 900%. (Benemann et al, 2001). Μία τομή φωτοβολταϊκού στοιχείου φαίνεται στην εικόνα 1.



Εικόνα 1 : Τομή ενός ASI THRU® φωτοβολταϊκού παράθυρου με διπλό τζάμι (H. Maurus et al,2004)

Ταυτόχρονα από το 1996 βλέπουμε πως υπάρχει διάθεση για ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών στα κτίρια όχι μόνο για παραγωγή ενέργειας αλλά και για την δυνατότητα σκίασης των χώρων. Παράλληλα τα ενσωματωμένα φωτοβολταϊκά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν υλικό οροφής ή σαν αρχιτεκτονικό στοιχείο. Στην χώρα μας, και συγκεκριμένα στην περιοχή της Καστοριάς έχει εγκατασταθεί ένα από τα πρώτα συστήματα ενσωματωμένων φωτοβολταϊκών σε οροφή στην Ελλάδα με σκοπό να καλύψει μέρος των ηλεκτρικών αναγκών του χώρου αλλά και να αφυπνίσει την οικολογική συνείδηση των κατοίκων δείχνοντας ότι είναι δυνατόν να έχουμε καλές συνθήκες διαβίωσης και ταυτόχρονα την προστασία του περιβάλλοντος. Με βάση τις οικονομικές αναλύσεις που έγιναν, παρατηρείται ότι με τις παρούσες τιμές της kWh τα φωτοβολταϊκά γενικά και ειδικά τα φωτοβολταϊκά που είναι ενσωματωμένα κτίρια μπορούν να αποδώσουν κυρίως στα νησιά που είναι ανεξάρτητα από το ηπειρωτικό δίκτυο όπου η kWh κοστίζει περισσότερο από την αντίστοιχη του ηπειρωτικού δικτύου. (Bakos, 2003) Για να πετύχει η ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών σε κτίρια πρέπει να υπάρχει κατάλληλη εκπαίδευση των αρχιτεκτόνων που σχεδιάζουν τα κτίρια (Hagemann, 1996; Bakos, 2003; Schoen, 1998). Πέρα από την απαιτούμενη εκπαίδευση των αρχιτεκτόνων, πρέπει τα φωτοβολταϊκά στοιχεία να πληρούν τις αρχιτεκτονικές προϋποθέσεις ως προς το μέγεθος, το χρώμα, και το υλικό, ώστε να παρέχεται η δυνατότητα στους αρχιτέκτονες και τους κατασκευαστές να συνδυάζουν τα κατασκευαστικά στοιχεία με τα αντίστοιχα φωτοβολταϊκά. Σήμερα, τα χαρακτηριστικά αυτά πληρούνται από τους κατασκευαστές φωτοβολταϊκών κελιών και για τον λόγο αυτό βλέπουμε κατασκευές με ενσωματωμένα φωτοβολταϊκά χωρίς να υπάρχει πρόβλημα αισθητικής ενσωμάτωσης. (Schoen, 1998) Παρακάτω φαίνονται κάποιοι χώροι με ενσωματωμένα φωτοβολταϊκά στον χώρο της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

a) Ales and Cevennes tourist information office



Εικόνα 2 : Νότια όψη κτιρίου πληροφόρησης τουριστών στη Γαλλία (http://www.pvdatabase.org/)

Στις εικόνες 2 και 3 φαίνεται στην περιοχή της Νότια Γαλλία, στα κατάλοιπα μίας εκκλησίας του 11^{ου} αιώνα το αποτέλεσμα της πρωτοβουλίας του τοπικού δήμου να ανακαινίσει τον κτίριο και να δημιουργήσει χώρο που παρέχει πληροφορίες στους τουρίστες της πόλης. Για την βελτίωση της λειτουργικότητας του χώρου χρειάστηκαν περισσότερα γραφεία με ορατότητα στο Νοτιά (συγκεκριμένα απόκλιση 38^o από τον νότο). Για τον λόγο αυτό σχεδιάστηκαν και δημιουργήθηκαν 3 γυάλινες προσόψεις, ώστε να γίνει επέκταση του χώρου, αλλά και αύξηση του φυσικού φωτισμού. Στις παραπάνω γυάλινες προσόψεις έγιναν ενσωματώσεις κατάλληλων φωτοβολταϊκών συστημάτων, καθώς έπρεπε μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας να εισέρχεται στον χώρο για φυσικό φωτισμό, παράλληλα με την επιθυμητή παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Το συνολικό κόστος της ανακαίνισης του χώρου έφτασε τα 480.000 € όπου 160.000 € κόστισαν οι 3 προσόψεις και 67.000 € το σύστημα των φωτοβολταϊκών. Παρατηρούμε λοιπόν πως η αύξηση στο συνολικό κόστος τις ανακαίνισης λόγω της εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι της τάξης του 13%. Η κάθε πρόσοψη έχει 70 φωτοβολταϊκά πλαίσια μέγιστης ισχύ 46 W_p το καθένα, και συνολική ισχύ 9,6 kWp (3,2 kWp ανά πρόσοψη) .Το συνεχές ρεύμα από τις προσόψεις διέρχεται από 3 μετατροπείς ρεύματος (της SMA) και στην συνέχεια διανέμεται στο κτίριο το οποίο έχει τριφασικό ρεύμα. Ένας μετατροπέας δηλαδή, συμβάλει σε κάθε φάση του τριφασικού ρεύματος. Το έργο έγινε το 2001 και παράγει συνολικά 6.000 kWh τον χρόνο.

Εικόνα 3 : Εικόνα από άλλη γωνία της νότιας όψης κτιρίου πληροφόρησης τουριστών στη Γαλλία (http://www.pvdatabase.org/)

Εικόνα 4 : Εσωτερική εικόνα του χώρου όπου φαίνονται τα φωτοβολταϊκά ενσωματωμένα στα τζάμια σε κτίριο πληροφόρησης τουριστών (http://www.cler.org/)

Στην εικόνα 4 φαίνεται μία εσωτερική απεικόνιση του χώρου όπου φαίνονται ξεκάθαρα οι προσόψεις και τα φωτοβολταϊκά πλαίσια αντίστοιχα. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι χρώματος καφέ για λόγους μη αισθητικής όχλησης στο περιβάλλον ενώ η κατασκευή έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχει κενό 11 cm ανάμεσα στο τζάμι που περιέχει τα φωτοβολταϊκά και το πίσω τζάμι. Η διάταξη αυτή εξυπηρετεί στην παραγωγή θερμού αέρα στον χώρο ανάμεσα στο φωτοβολταϊκά και στο πίσω τζάμι. Ο αέρας αυτός χρησιμοποιείται για φυσική θέρμανση του χώρου κατά την διάρκεια του χειμώνα και ψύξη κατά την διάρκεια του καλοκαιριού. (http://www.pvdatabase.org/)

b) Φωτοβολταϊκά εγκατεστημένα στην όψη κτιρίου κατοικίας

Εικόνα 5: Όψη κτιρίου με ενσωματωμένα φωτοβολταϊκά στο Βερολίνο της Γερμανίας (http://www.cler.org/)

Εικόνα 6: Άλλη όψη κτιρίου με ενσωματωμένα φωτοβολταϊκά στο Βερολίνο της Γερμανία (http://www.cler.org/info/,)

Το παραπάνω κτίριο που φαίνεται στις εικόνες 5 και 6 βρίσκεται στο Βερολίνο της Γερμανίας και σχεδιάστηκε από τους Becker Gewers Kühn und Kühn. Το κτίριο χρησιμοποιείται αποκλειστικά για κατοικία και στην νότια όψη έχουν εγκατασταθεί φωτοβολταϊκά πλαίσια επιφάνειας 426 m^2. Το ύψος των φωτοβολταϊκών είναι όσο του κτιρίου, 70 μέτρα, και έχουν χρησιμοποιηθεί 480 φωτοβολταϊκά πλαίσια μέγιστης ισχύος 48 kWp. Τον χρόνο παράγει ενέργεια ίση με 25.000 kWh και εξοικονομεί 72 tn CO_2. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται χρησιμοποιείται για κάλυψη αναγκών του ανελκυστήρα, του αερισμού του χώρου, αλλά και στην λειτουργία κάποιων φωτιστικών συστημάτων σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Το υπόλοιπο ρεύμα δίδεται στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η εξοικονόμηση ενέργειας αντιστοιχεί σε 4.500 €/ year, και αντιστοιχεί σε 12 € ανά διαμέρισμα. (http://www.cler.org/info/)

c) Καφετέρια στην Γερμανία

Στην Γερμανία, στην πόλη της Βρέμης βρίσκεται η καφετέρια Ambiente. Στον χώρο αυτό μετά την ανακατασκευή του το 1997 αποφασίστηκε η καφετέρια να αποτελέσει και χώρο προώθησης των φωτοβολταϊκών. Το κτίριο προβάλλεται ως πιλοτικό πρόγραμμα και από τον οργανισμό προστασίας του κλίματος της Βόρειας Γερμανίας και της πόλης, πολιτείας της Βρέμης : “Bremer Energie-Konsens”. Τα ημιδιαπερατά φωτοβολταϊκά τοποθετήθηκαν στον εξωτερικό χώρο του κτιρίου σαν σκέπαστρα. Με την κατασκευή αυτή, κατά την εποχή του χειμώνα δημιουργήθηκε χώρος στεγασμένος, με το φως να διέρχεται από την οροφή όπως φαίνεται στην εικόνα 7 και 8, αλλά υπάρχει και η δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα φωτοβολταϊκά επιτρέπουν στο φως να εισέρχεται κατά 45%, στον χώρο. Έχουν χρησιμοποιηθεί 20 διαφορετικών διαστάσεων φωτοβολταϊκά πλαίσια τα οποία εμπεριέχουν 7.270 πολυκρυσταλλικά κελιά, με μέγιστη ισχύ 9,5 kWp, και ετήσια παραγωγή 5.000 kWh. (http://www.pvdatabase.org/)

Εικόνα 7 : Εσωτερική εικόνα του χώρου της καφετέριας όπου φαίνονται τα ενσωματωμένα φωτοβολταϊκά (http://www.pvdatabase.org/)

Εικόνα 8 : Τα φωτοβολταϊκά όπως φάινοται πάνω από την καφετέρια (http://www.pvdatabase.org/)

3. Μεθοδολογία

3.1. Ανάλυση προγράμματος

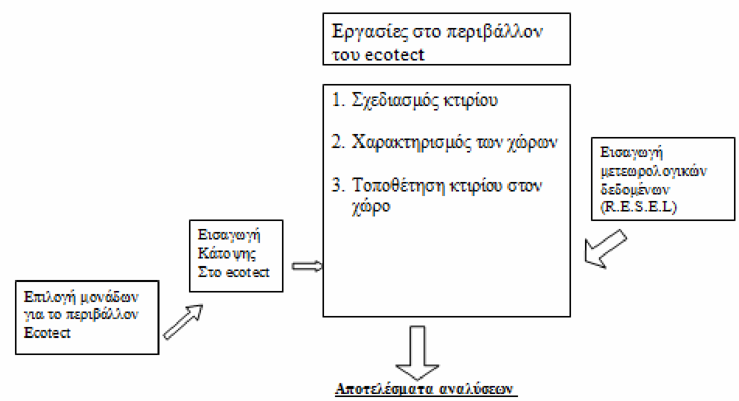
Το λειτουργικό πρόγραμμα ecotect v5.5, έχει την δυνατότητα να πραγματοποιεί αναλύσεις στα κτίρια, και με τα εργαλεία περιβαλλοντικής ανάλυσης που διαθέτει καλύπτει ένα εύρος προσομοιώσεων και αναλύσεων που είναι απαραίτητες για την κατανόηση της λειτουργίας του κτιρίου υπό πραγματικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Το πρόγραμμα βασίζεται σε αρχές Computer Aid Design (CAD) επιτρέποντας την σχεδίαση κτιρίων εξολοκλήρου στο πρόγραμμα. Παράλληλα, υπάρχει και η δυνατότητα να γίνεται εισαγωγή κατόψεων στο πρόγραμμα και στην συνέχεια να γίνεται η τρισδιάστατη σχεδίαση. Έχει την δυνατότητα να πραγματοποιεί αναλύσεις φωτισμού, εύρεσης απαιτούμενων θερμικών ή/ και ψυκτικών φορτίων για εξασφάλιση κατάλληλων συνθηκών διαβίωσης, παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά στοιχεία και πληθώρα άλλων αναλύσεων που βοηθούν στην πραγματοποίηση αλλαγών στα σχέδια πριν κατασκευαστεί το κτίριο ή σε βελτιώσεις σε υπάρχοντα κτίρια, με τελικό στόχο την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, την εξοικονόμηση χρημάτων αλλά και μείωση των επιπτώσεων στο περιβάλλον λόγω της μειωμένης εκπομπής ρύπων. Ακόμη το πρόγραμμα έχει την δυνατότητα να εξάγει τα δεδομένα και σε άλλα προγράμματα πιο εξειδικευμένων αναλύσεων ώστε τα αποτελέσματα να είναι κοντά στα πραγματικά κάθε φορά. Παράλληλα υπάρχει η δυνατότητα να εισάγονται δεδομένα από άλλα προγράμματα στο ecotect, όπως δεδομένα καιρού μέσω του προγράμματος weathertool (www.squ1.com/products/weathertool). Τέλος η κατασκευάστρια εταιρεία διαθέτει forum για επίλυση προβλημάτων στο site του προγράμματος όπου συζητούνται βελτιώσεις, και επιλύσεις στα προβλήματα που εμφανίζονται.

3.2. Προμήθεια και εγκατάσταση προγράμματος

Η προμήθεια του προγράμματος έγινε από το εργαστήριο ανανεώσιμων και βιώσιμων ενεργειακών συστημάτων μέσα από το site της εταιρίας. Κατόπιν της προμήθειας έγινε η εγκατάσταση σε υπολογιστή του εργαστηρίου και ενεργοποιήθηκε η άδεια λειτουργίας. Η άδεια είναι εκπαιδευτική και σημαίνει ότι το συγκεκριμένο εργαστήριο έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιεί το πρόγραμμα για εκπαιδευτικούς σκοπούς από οποιονδήποτε στον χώρο του εργαστηρίου.

3.3. Ανάλυση τρόπου λειτουργίας του προγράμματος ecotect

Όπως προαναφέρθηκε το πρόγραμμα βασίζεται στις αρχές του CAD. Υπάρχει η δυνατότητα σχεδιασμού απ’ ευθείας στο πρόγραμμα ή η εισαγωγή στο πρόγραμμα όλων των παραμέτρων. Με την εισαγωγή όμως όλων των παραμέτρων απ’ ευθείας από άλλο πρόγραμμα, όπως για παράδειγμα του ύψους των τοιχωμάτων, μπορεί να δημιουργηθεί πρόβλημα λόγω της ασυμβατότητας κάποιων προγραμμάτων με το ecotect. Κατόπιν εισαγωγής των κατόψεων του κάθε ορόφου υπάρχει η δυνατότητα τρισδιάστατης σχεδίασης του κάθε ορόφου. Συγκεκριμένα, το πρόγραμμα δίνει την δυνατότητα να σχεδιαστούν τοίχοι, πόρτες παράθυρα, οροφές, ηλιακοί συλλέκτες, φωτοβολταϊκά στοιχεία και άλλα δομικά στοιχεία. Μετά τον σχεδιασμό γίνεται ο χαρακτηρισμός των χώρων με βάση τα υλικά που υπάρχουν στο πρόγραμμα. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα να τοποθετηθούν και νέα υλικά είτε περνώντας τα χαρακτηριστικά τους, είτε κάνοντας εισαγωγή του απ’ ευθείας στο πρόγραμμα μέσω εντολής του προγράμματος. Μετά την ολοκλήρωση των σχεδιασμών είναι απαραίτητος ο ορισμός κάποιων παραμέτρων όπως των καιρικών συνθηκών ενώ πρέπει να υποδηλώσουμε στο σύστημα και τον χώρο που βρίσκεται το κτίριο. Στην συνέχεια πρέπει κάποια μέρη του κτιρίου που αναλύεται να δηλωθούν στο πρόγραμμα σαν σκιάστρα ή σαν φωτοβολταϊκά ανάλογα με το κτίριο και τα χαρακτηριστικά του ώστε το πρόγραμμα να αντιλαμβάνεται κάποια μέρη του κτιρίου όπως πρέπει, ώστε να μην δημιουργούνται προβλήματα στις αναλύσεις που επιθυμούμε να πραγματοποιεί. Στην εικόνα 9 φαίνεται σε διάγραμμα ο τρόπος που λειτουργεί το πρόγραμμα μέχρι την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.



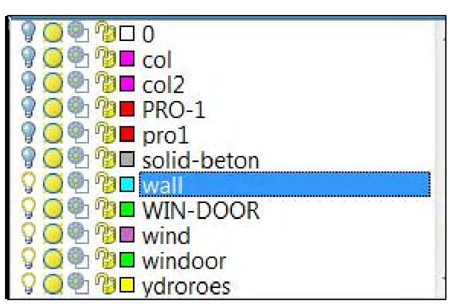
Εικόνα 9 : Διάγραμμα ροής κατασκευής ενός κτιρίου και εύρεσης αποτελεσμάτων στο περιβάλλον του ecotect

4. Κατασκευή κτιρίου κ’ επιλογή σεναρίων προς ανάλυση

4.1. Σχεδιασμός ισογείου

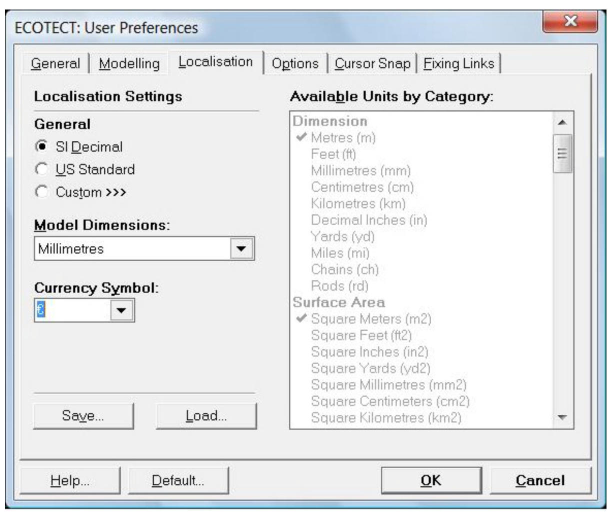
4.1.1. Εισαγωγή επιπέδων

Μετά την εκμάθηση του προγράμματος ecotect ξεκίνησε η διαδικασία κατασκευής του κτιρίου. Σε πρώτο στάδιο έγινε χρήση των ηλεκτρονικών σχεδίων του κεντρικού κτιρίου του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος της τεχνικής υπηρεσίας του Πολυτεχνείου Κρήτης, και ξεκίνησε η επεξεργασία τους στον χώρο του εργαστηρίου με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή. Κατά την δημιουργία των αρχιτεκτονικών σχεδίων είχε προβλεφθεί η δημιουργία διαφορετικών επιπέδων για κάθε χώρο ή μέρος του κτιρίου που αντιπροσώπευε. Από τα συνολικά layers που υπήρχαν μέσα στο αρχείο, επιλέχτηκαν αυτά που αφορούσαν: α)τους εξωτερικούς τοίχους , β)τους εσωτερικούς χώρους (γραφεία, εργαστήρια) και γ) ο εξωτερικός χώρος. Αφαιρέθηκαν τα layers που αφορούσαν τις μονώσεις, τις υδρορροές, τις συνδέσεις μεταξύ των πλακών εντός των τοιχίων, αφού αυτά δεν επηρεάζουν την μεταφορά του φωτός εντός χώρου αντιθέτως όμως, επιβαρύνουν τις αναλύσεις του προγράμματος στον τομέα των αναλύσεων εσωτερικού φωτισμού. Στην εικόνα 10 φαίνονται τα layers που επιλέχθηκαν στο περιβάλλον AutoCAD για επεξεργασία στο ecotect v5.5.



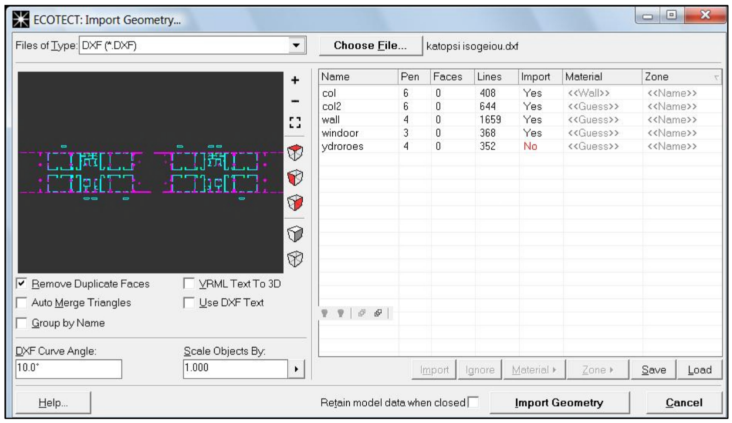
Εικόνα 10: Ομάδες σχεδίων ισογείου που επιλέχθηκαν για επεξεργασία στο ecotect v5.5

Μετά την επιλογή, έγινε αντιγραφή των επιθυμητών layers σε άλλο αρχείο του AutoCAD, ώστε να μην γίνει εισαγωγή των μη επιλεγμένων layers στο περιβάλλον του ecotect v5.5 και επιβαρυνθούν οι αναλύσεις όπως προαναφέρθηκε. Στη συνέχεια το συγκεκριμένο αρχείο αποθηκεύτηκε με διαφορετικό ακρωνύμιο (.dxf) ώστε να αναγνωρίζεται από το πρόγραμμα ecotect v5.5, ως κάτοψη του χώρου που πρόκειται να απεικονιστεί. Μετά την ολοκλήρωση την επεξεργασίας της κάτοψης στο AutoCAD, η εργασία μεταφέρεται στο ecotect όπου γίνεται η επιλογή των μονάδων στις οποίες θα βασιστεί ο σχεδιασμός του κτιρίου. Χρησιμοποιήθηκαν οι διαστάσεις που είχε το πρόγραμμα από προεπιλογής (mm), διότι αν επιλέγαμε να χρησιμοποιήσουμε μονάδες (m), τότε κάποιες σημαντικές για την ανάλυση λεπτομέρειες δεν θα γινόταν να εμφανιστούν, αφού το πρόγραμμα δέχεται μέχρι 3 δεκαδικά ψηφία. Οι επιλεγμένες ρυθμίσεις φαίνονται εικόνα 11:



Εικόνα 11 : Μονάδες επεξεργασίας

Εφόσον επιλέχθηκαν οι σωστές μονάδες, και αποθηκεύτηκε η παραπάνω αλλαγή ως μόνιμη (default), ξεκίνησε η εισαγωγή της κάτοψης στο περιβάλλον του ecotect. Το παραπάνω αποθηκευμένο αρχείο από το AutoCAD, επιλέχθηκε για να γίνει η εισαγωγή της κάτοψης προς επεξεργασία. Το περιβάλλον εισαγωγής των layers φαίνεται στην εικόνα 12 :

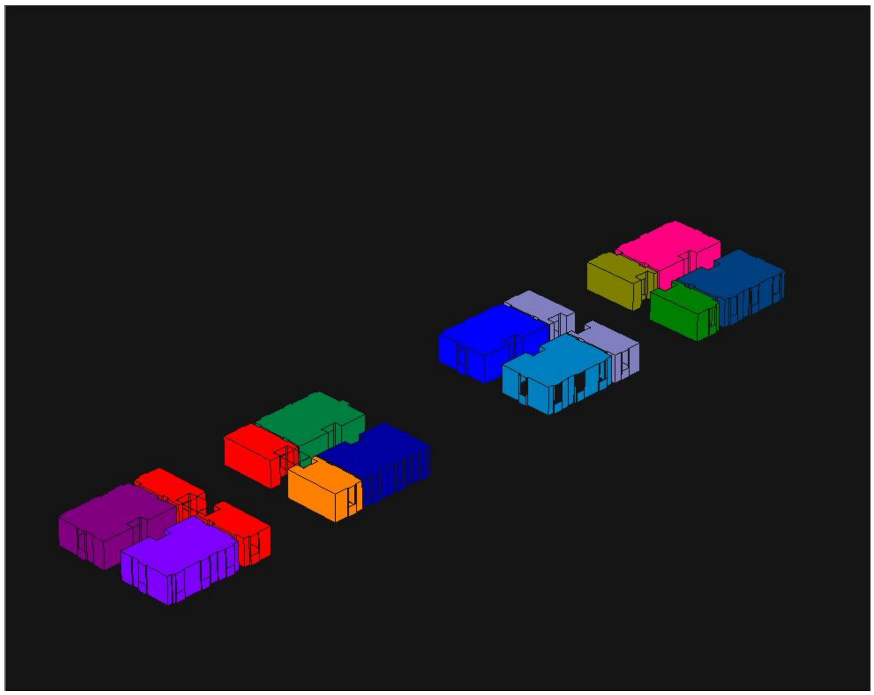


Name	Pen	Faces	Lines	Import	Material	Zone
col	6	0	408	Yes	<<Wall>>	<<Name>>
col2	6	0	644	Yes	<<Guess>>	<<Name>>
wall	4	0	1659	Yes	<<Guess>>	<<Name>>
windoor	3	0	368	Yes	<<Guess>>	<<Name>>
ydroroes	4	0	352	No	<<Guess>>	<<Name>>

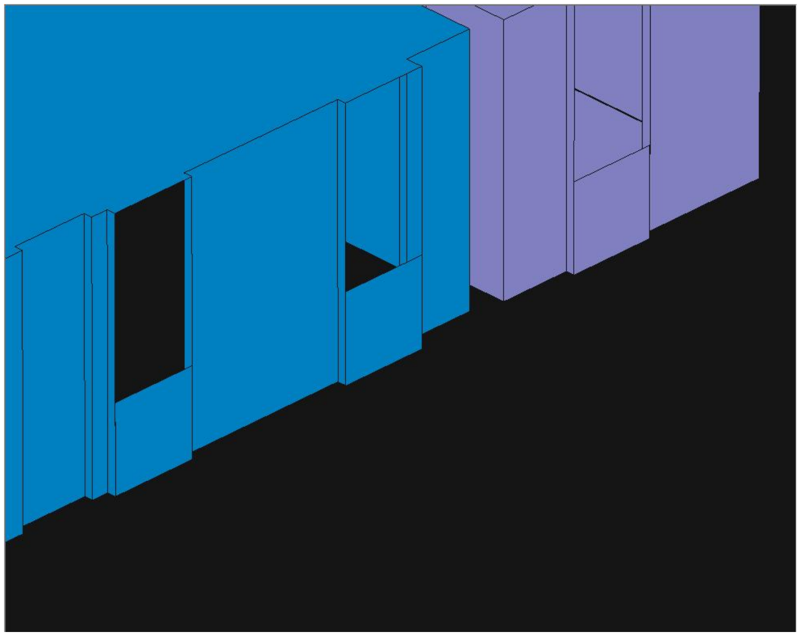
Εικόνα 12 : Πρόγραμμα εισαγωγής δεδομένων κάτοψης σχεδίου πρώτου ορόφου

4.1.2. Εργαστήρια

Δουλεύοντας στην συνέχεια στο περιβάλλον του ecotect έγινε ο τρισδιάστατος σχεδιασμός των χώρων των εργαστηρίων. Τα εργαστήρια στον χώρο του ισογείου είναι 2 διαφορετικών μεγεθών. Τα μεγάλα εργαστήρια, 8 στον αριθμό έχουν επιφάνεια 52 m^2. Τα πιο μικρά εργαστήρια, είναι και αυτά 8 και η επιφάνεια του καθενός είναι 19 m^2. Με την βοήθεια τομών που έχουμε σε ηλεκτρονική μορφή μετρήθηκαν τα ύψη των εργαστηρίων και ξεκίνησε ο σχεδιασμός καθ' ύψος. Το ύψος σε όλα τα εργαστήρια είναι 3 m. Ιδιαίτερη σημασία έχει δοθεί στο χώρο των παραθύρων όπου οι εσοχές στα παράθυρα προκαλούν φυσικές σκιάσεις στο χώρο μέσα. Πρέπει λοιπόν να σχεδιαστούν κατάλληλα ώστε να αποφευχθούν φαινόμενα λάθους στις μετέπειτα αναλύσεις. Τα παράθυρα έχουν πλάτος 1 m και η επιφάνεια που καλύπτουν είναι 2 m^2. Τα παράθυρα όπως φαίνεται στην εικόνα εξέχουν 10 cm. Αυτός ο σχεδιασμός έχει γίνει ώστε να μην επιτρέπεται η διαρροή του φωτός στον κενό ενδιάμεσο χώρο και επηρεάσει τις αναλύσεις φωτισμού. Στην πραγματικότητα υπάρχει το μονωτικό υλικό αλλά δεν σχεδιάζεται για να επιτευχθεί μείωση του χρόνου αναλύσεων. Οι εικόνες 13 και 14 δείχνουν το τελικό αποτέλεσμα:

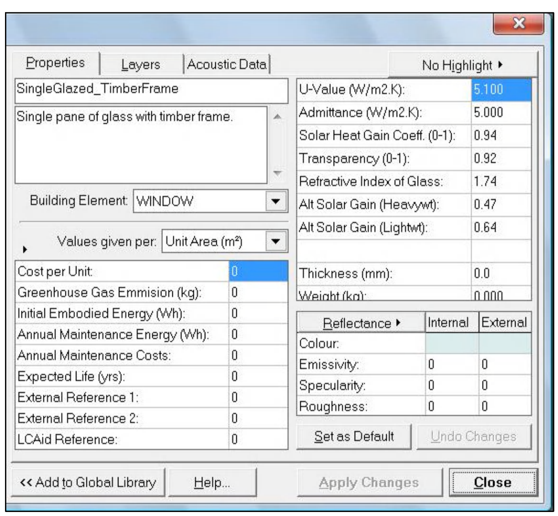


Εικόνα 13 : Γενική άποψη του σχεδίου μετά τον σχεδιασμό των εργαστηρίων



Εικόνα 14 : Λεπτομέρεια σχεδιασμού σε παράθυρο εργαστηρίου

Στην συνέχεια τοποθετήθηκαν τα παράθυρα στα εργαστήρια. Η επιφάνεια των παράθυρων είναι 2 m^2, και τα χαρακτηριστικά των τζαμιών φαίνονται στην εικόνα 15. Τα χαρακτηριστικά στα παράθυρα δεν επηρεάζουν τις αναλύσεις στην παραγωγή ρεύματος που θέλουμε να κάνουμε οπότε δεν χρειάζεται κάποια ιδιαίτερη μετατροπή σε αυτά ώστε οι ιδιότητές τους να είναι ίδιες με τα πραγματικά παράθυρα.

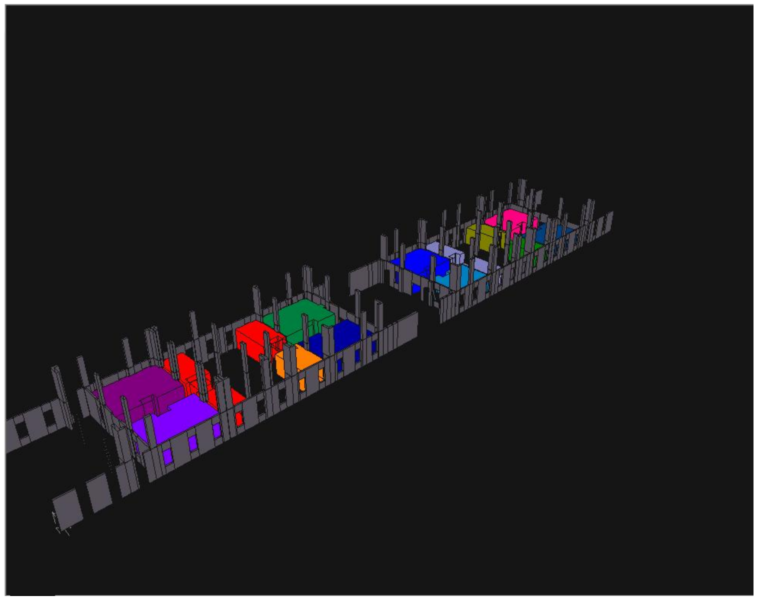


Εικόνα 15 : Χαρακτηριστικά παραθύρων

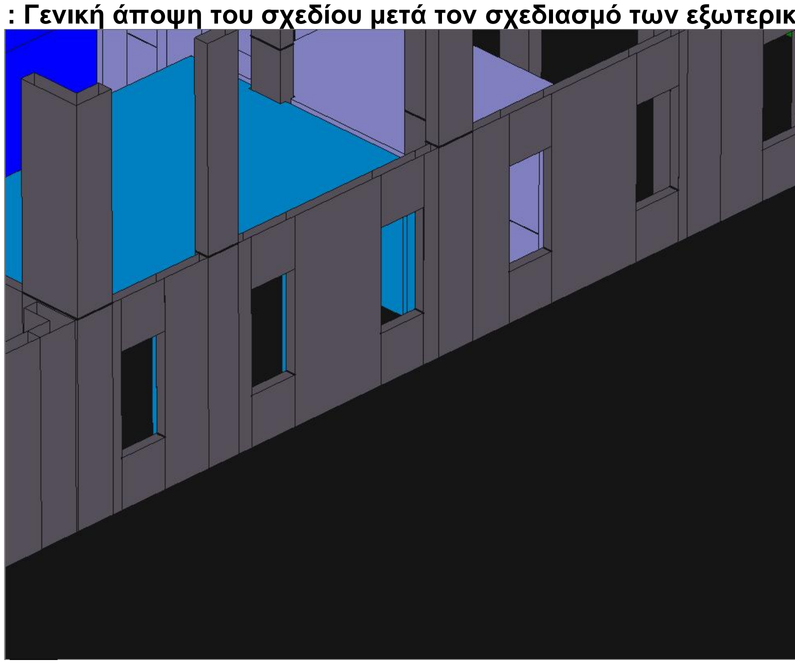
Κάθε εργαστήριο σχεδιάστηκε σε διαφορετική ζώνη ώστε να μπορεί να γίνει στην συνέχεια, με μικρές βελτιώσεις, και έλεγχος απαιτούμενων θερμικών - ψυκτικών φορτίων για όλη τη διάρκεια του έτους. Στα εργαστήρια δεν έχουν σχεδιαστεί οι πόρτες διότι στην οπτική παρουσίαση εμφανίστηκαν προβλήματα ως προς την απεικόνιση του χώρου.

4.1.3. Εξωτερική τοιχοποιία

Μετά τον σχεδιασμό των χώρων των εργαστηρίων ξεκίνησε ο σχεδιασμός των εξωτερικών τοίχων. Γνωρίζοντας τα ύψη των τοίχων από τα ηλεκτρονικά αρχεία της Τεχνικής Υπηρεσίας έγινε σχεδιασμός των εξωτερικών τοίχων. Συγκεκριμένα το ύψος σε ενιαίο τοίχο είναι 4 m, ενώ στα σημεία που η τοιχοποιία παρεμβάλλεται από παράθυρα το ύψος είναι 1m, μέχρι το παράθυρο και 1m το ύψος μετά το παράθυρο, το ύψος του οποίου είναι κοινό για όλο το κτίριο και ισούται με 2m. Η εξωτερική τοιχοποιία δεν περιβάλει όλο το χώρο του κτιρίου. Στο κεντρικό τμήμα και για μήκος 4,5 m υπάρχει χώρος ελεύθερος για την είσοδο και την έξοδο από το κτίριο. Μέρος του παραπάνω ακάλυπτου χώρου έχει πόρτες με αλουμινένιο πλαίσιο και εσωτερικό από τζάμι. Στις αναλύσεις αλλά και στον σχεδιασμό δεν έγινε σχεδιασμός των παραπάνω θυρών διότι δεν επηρεάζουν τους εσωτερικούς χώρους, όπως επίσης, επειδή βρίσκονται σε αρκετά χαμηλό ύψος για να τοποθετηθούν φωτοβολταϊκά σε αυτές λόγω σκίασης από περιβάλλοντα αντικείμενα όπως θάμνοι, αυτοκίνητα κ.α. Το αποτέλεσμα φαίνεται στις εικόνες 16 και 17.



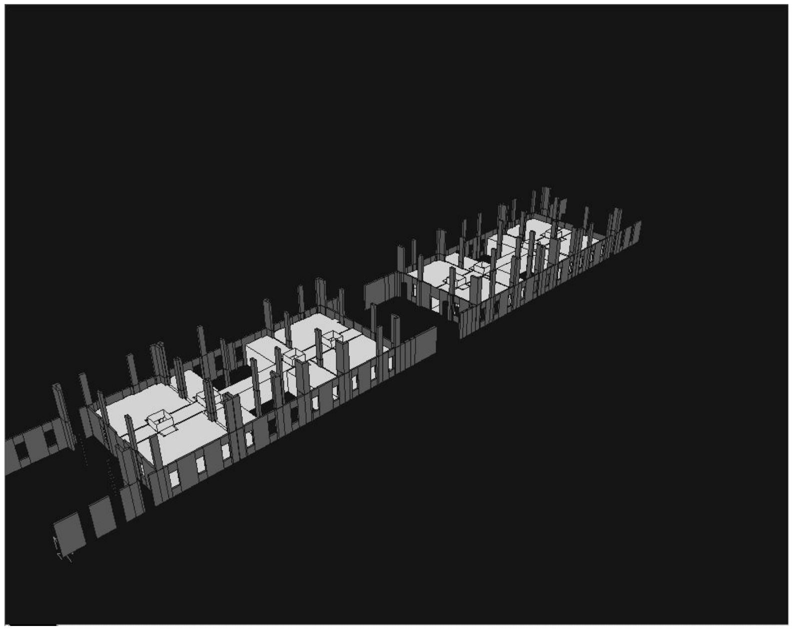
Εικόνα 16 : Γενική άποψη του σχεδίου μετά τον σχεδιασμό των εξωτερικών τοίχων



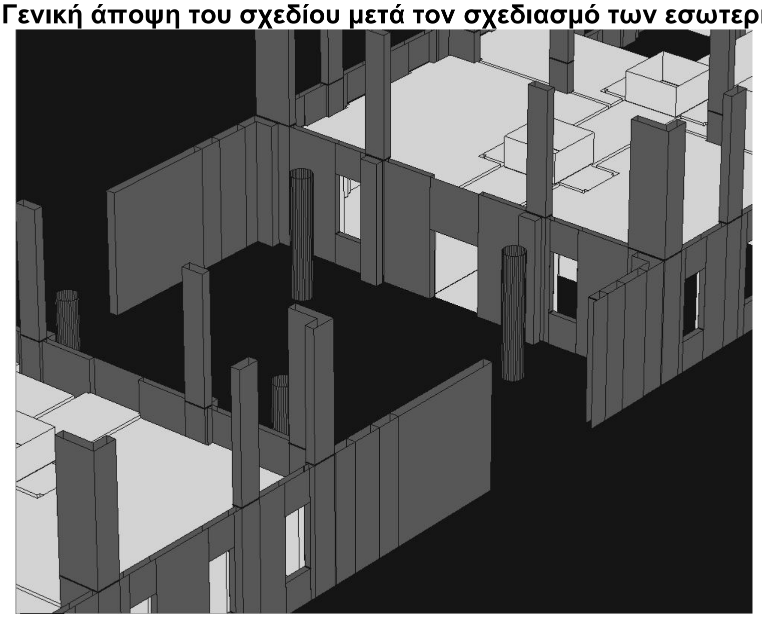
Εικόνα 17 : Λεπτομέρεια σχεδιασμού σε παράθυρο εργαστηρίου όπου φαίνεται το βάθος του παραθύρου

4.1.4. Εσωτερική τοιχοποιία

Στην συνέχεια έγινε ο σχεδιασμός των τοιχωμάτων του εσωτερικού διαδρόμου. Ο σχεδιασμός έγινε με σκοπό να δημιουργήσουμε έναν κλειστό χώρο και από τις 3 διαστάσεις που θα ορίζει τους διαδρόμους του ισογείου ώστε να καλυφθεί η έλλειψη διάστασης πάχους στα τοιχώματα. Η επιλογή του σχεδιασμού χωρίς την επιλογή διάστασης πάχους έγινε καθώς διευκολύνει τους υπολογισμούς του υπολογιστή σε αναλύσεις φωτισμού χωρίς να δημιουργεί προβλήματα στα αποτελέσματα. Το ύψος στον χώρο του διαδρόμου είναι και αυτό 3 m. και η επιφάνεια που καλύπτει σε κάθε πλευρά του κτιρίου υπολογίζεται από το πρόγραμμα 77 m^2. Κατά το σχεδιασμό της οροφής γίνεται ειδική σχεδίαση ώστε να επιτρέπεται στο φως να εισέρχεται στους κοινόχρηστους χώρους μέσω των τεσσάρων φωταγωγών σε κάθε πλευρά. Συγκεκριμένα σε προκαθορισμένα χώρους από τα ηλεκτρονικά σχέδια υπάρχουν ανοίγματα επιφάνειας 3.61 m^2 και ύψους 1 m . Το ύψος υπολογίστηκε στο 1 m και σχεδιάστηκε ώστε να αποφευχθεί ο σχεδιασμός των ενδιάμεσων υλικών που μόνο προβλήματα προκαλούν στις αναλύσεις του φωτισμού. Το αποτέλεσμα μετά τον σχεδιασμό των παραπάνω φαίνεται στις εικόνες 18 και 19.



Εικόνα 18 : Γενική άποψη του σχεδίου μετά τον σχεδιασμό των εσωτερικών τοίχων



Εικόνα 19 :Λεπτομέρεια σχεδιασμού όπου φαίνονται οι εσωτερικοί τοίχοι και οι φωταγωγοί

4.1.5. Λαμπτήρες και χαρακτηριστικά χώρων

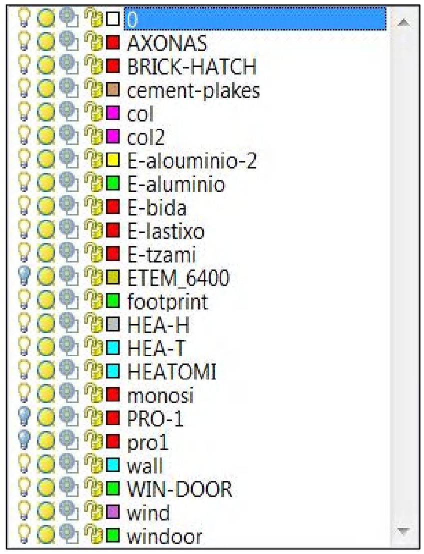
Μετά την ολοκλήρωση του σχεδιασμού του πρώτου ορόφου έγινε η τοποθέτηση των λαμπτήρων στους χώρους του εργαστηρίου αλλά και των διαδρόμων. Η λάμπες είναι τύπου φθορίου και τοποθετούνται στην οροφή μέσα σε πλαίσιο με καθρέφτες για καλύτερη μετάδοση του φωτισμού στον χώρο. Στα μεγάλα εργαστήρια τοποθετήθηκαν 32 λάμπες χωρισμένες σε ομάδες των $4^{ων}$, ενώ αντίστοιχα στα μικρά εργαστήρια τοποθέτησαν 16 λάμπες χωρισμένες πάλι σε ομάδες των $4^{ων}$. Τέλος στους διαδρόμους τοποθετήθηκαν συνολικά 168 λάμπες πάλι σε ομάδες των $4^{ων}$. Οι λάμπες έχουν ισχύ 16W η μία άρα η συνολικά απαιτούμενη ισχύ για τον χώρο του ισογείου μόνο για τις λάμπες είναι: 8.832 kW. Μετά την ολοκλήρωση των σχεδιασμών γίνεται η προσαρμογή του πατώματος της οροφής και των τοιχίων ώστε τα αποτελέσματα να είναι οπτικά κοντά στα αληθινά αλλά και για να παράγονται σωστά αποτελέσματα στην αντανάκλαση και απορρόφηση του φωτός. Τα χαρακτηριστικά που αλλάζουν αφορούν το χρώμα και γίνεται αυτόματα προσαρμογή της αντανακλαστικότητα αλλά και της απορρόφησης του φωτός.

4.2. Πρώτος όροφος

Ο σχεδιασμός του πρώτου ορόφου είναι παρόμοιος με τον σχεδιασμό του ισογείου. Η διαφορά του έγκειται πρώτον στην διαφορετικότητα των χώρων και δεύτερον στο γεγονός ότι ο πρώτος όροφος βρίσκεται 4 m πάνω από το ισόγειο.

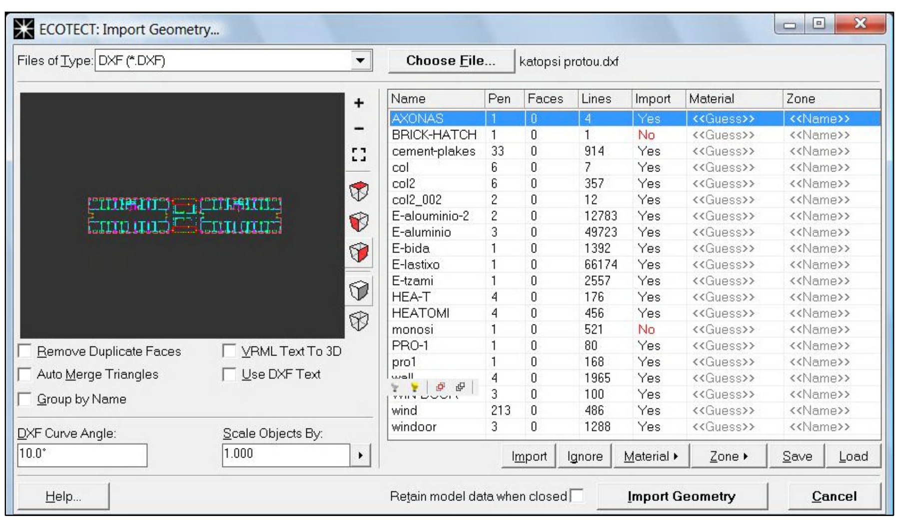
4.2.1. Εισαγωγή επιπέδων

Εφόσον ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός του ισογείου, ξεκινάει στο AutoCAD η επεξεργασία της κάτοψης του πρώτου ορόφου στα σχέδια της τεχνικής υπηρεσίας. Από το αρχείο επιλέγονται πάλι τα επιθυμητά layers. Συγκεκριμένα επιλέγονται layers που αφορούν τους εσωτερικούς τοίχους, τα αλουμίνια του χώρου της γραμματείας, τις εξωτερικές πλάκες, την αίθουσα γραμματείας, την αίθουσα συνεδριάσεων, τους εσωτερικούς διαδρόμους, το πάτωμα και την οροφή του πρώτου ορόφου. Στην εικόνα 20 φαίνονται τα layers που επιλέχθηκαν στο περιβάλλον του AutoCAD.



Εικόνα 20 : Ομάδες σχεδίων πρώτου ορόφου που επιλέχθηκαν για επεξεργασία από το ecotect

Όπως και στον σχεδιασμό του ισογείου αποφεύγονται τα layers που αφορούν τις μονώσεις, τις συνδεσμολογίες και γενικότερα τα layers τα οποία προσδίδουν δυσκολίες στις αναλύσεις χωρίς να προσφέρουν καμία βελτίωση στα αποτελέσματα αντίστοιχα. Μετά από κατάλληλη αποθήκευση του αρχείου σε μορφή αναγνωρίσιμη από το ecotect v5.5, εισάγονται τα δεδομένα στο ecotect όπως φαίνεται στην εικόνα 21.

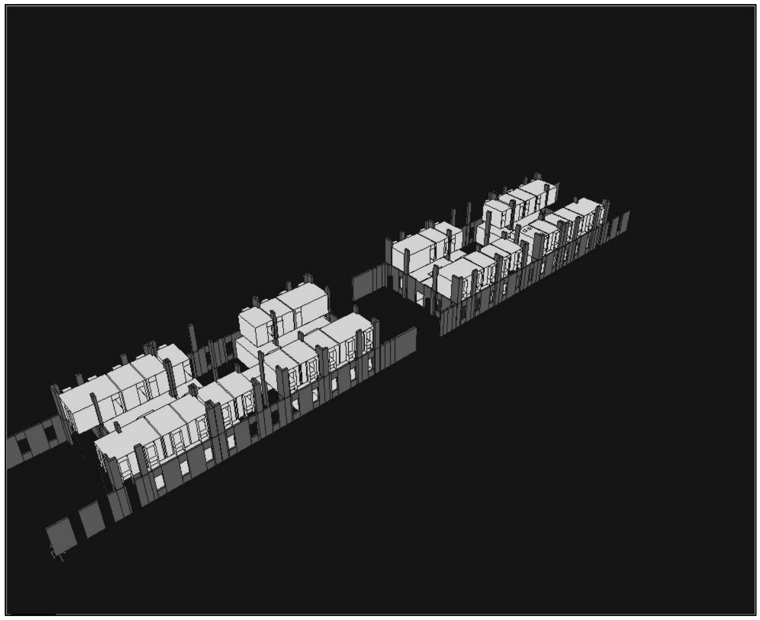


Εικόνα 21 : Πρόγραμμα εισαγωγής δεδομένων κάτοψης σχεδίου πρώτου ορόφου

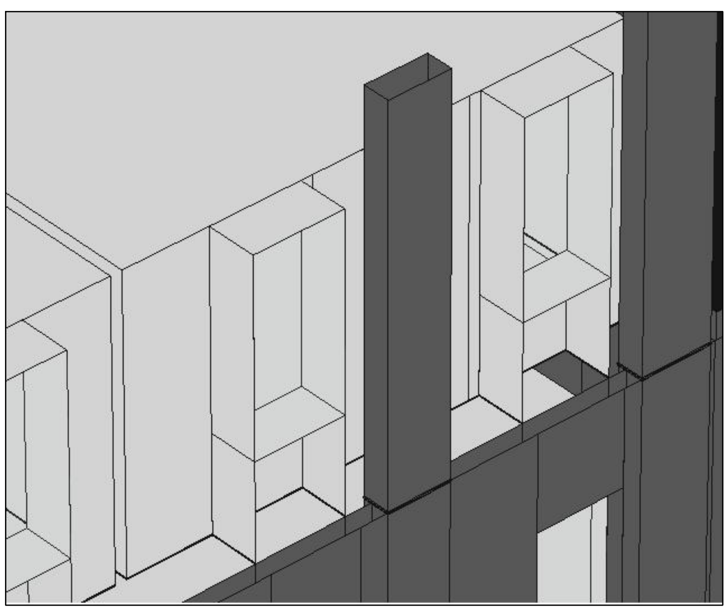
Μετά την εισαγωγή της κάτοψης του πρώτου ορόφου στο περιβάλλον σχεδίασης του ecotect, η κάτοψη μεταφέρθηκε πάνω στο υπάρχον σχεδιασμένο κτίριο με σκοπό την συνέχεια της κατασκευής στις 3 διαστάσεις. Με την βοήθεια των τομών και τον όψεων που βρίσκονται στα ηλεκτρονικά αρχεία της τεχνικής υπηρεσίας, υπολογίζονται πάλι τα ύψη σε όλους τους χώρους που θα σχεδιαστούν. Για την διευκόλυνση των σχεδιασμών, η σχεδίαση ξεκινάει από τα γραφεία, συνεχίζεται με τα αλουμίνια στο κέντρο του κτιρίου ,τους εσωτερικούς διάδρομος, τους εξωτερικούς τοίχους στο τέλος γίνεται ο χώρος της γραμματείας και της αίθουσας συνεδριάσεων.

4.2.2. Γραφεία

Τα γραφεία των καθηγητών και των μεταπτυχιακών έχουν κοινό ύψος με τα εργαστήρια 3 m και χωρίζονται σε μεγάλα και μικρά. Τα μεγάλα γραφεία έχουν επιφάνεια 24 m^2 και είναι 8 στον αριθμό ενώ τα μικρά αντίστοιχα έχουν επιφάνεια 11 m^2 και είναι 24 στον αριθμό. Αντίστοιχα με τα εργαστήρια έχει δοθεί μεγάλη προσοχή στον ακριβή σχεδιασμό των παραθύρων ώστε να υπάρχει σωστή αναπαράσταση της εισροής του φωτός στο χώρο ανάλυσης. Τα παράθυρα των γραφείων έχουν πλάτος 1 m και η επιφάνεια που καλύπτουν είναι 2 m^2. Τοποθετούνται σε ύψος 1 m από το πάτωμα του ορόφου και φτάνουν μέχρι τα 3 m Τα παράθυρα όπως φαίνεται στην εικόνα εξέχουν 55 cm. Αυτός ο σχεδιασμός έχει γίνει ώστε να μην επιτρέπεται η διαρροή του φωτός στον κενό ενδιάμεσο χώρο, και επηρεαστούν οι αναλύσεις φωτισμού που θα πραγματοποιηθούν στην συνέχεια. Στην πραγματικότητα στον χώρο αυτό βρίσκονται οι μονώσεις οι οποίες εμποδίζουν την διαρροή των θερμικών φορτίων. Η επιλογή αυτή δεν επιφέρει καμία μεταβολή στις αναλύσεις αφού με τον τρόπο αυτόν σχεδιάζεται με ακρίβεια ο εσωτερικός χώρος των γραφείων οπότε επιτυγχάνεται και η καλύτερη δυνατή ανάλυση ηλιακού φωτισμού. Το αποτέλεσμα φαίνεται στις εικόνες 22 και 23:



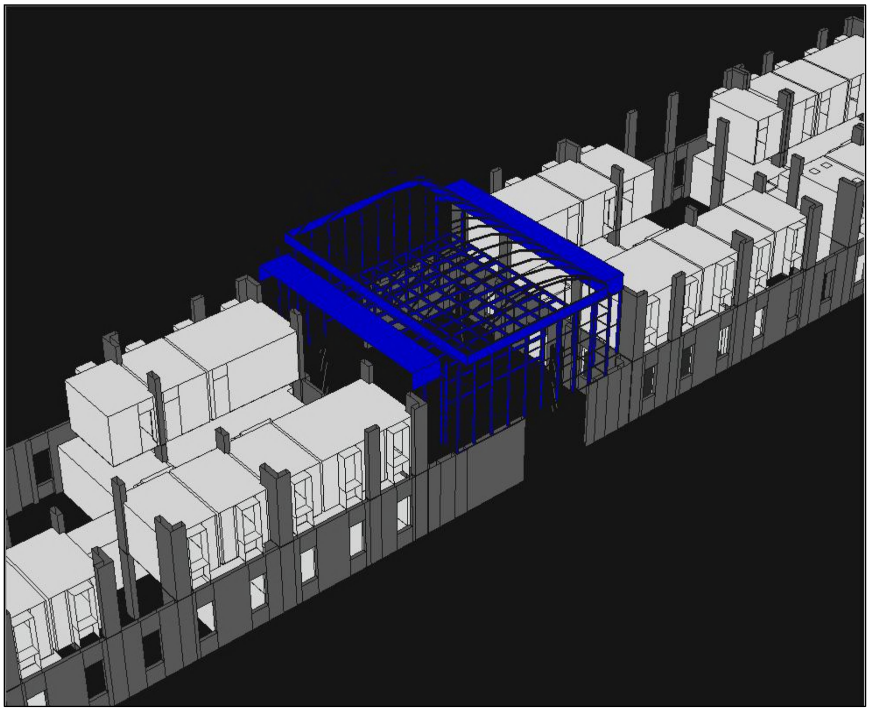
Εικόνα 22 : Γενική άποψη του σχεδίου μετά τον σχεδιασμό των γραφείων



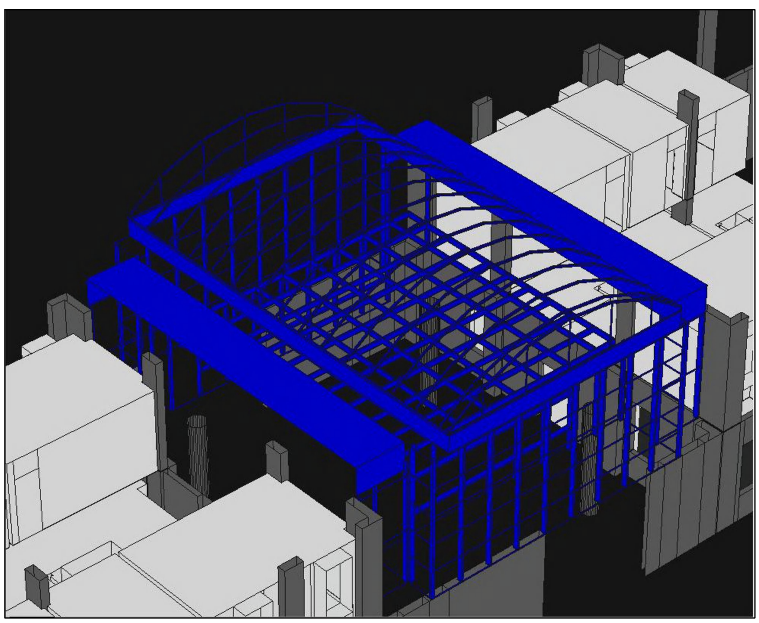
Εικόνα 23 : Λεπτομέρεια σχεδιασμού όπου φαίνεται το βάθος των παραθύρων των γραφείων

4.2.3. Κεντρικός χώρος κτιρίου

Στην συνέχεια έγινε ο σχεδιασμός του κεντρικού χώρου του κτιρίου. Στον χώρο αυτό δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή διότι τα αλουμινένια πλαίσια επηρεάζουν σε μεγάλο ποσοστό την εισροή φωτός, όπως επίσης και επειδή ο χώρος αυτός θα αποτελέσει χώρο τοποθέτησης φωτοβολταϊκών πλαισίων. Σε πρώτο στάδιο με την βοήθεια των ηλεκτρονικών σχεδίων του AutoCAD βρέθηκαν οι διαστάσεις των πλαισίων. Συγκεκριμένα υπάρχουν 10 πλαίσια με ύψος 5 m. Στα πλαίσια δόθηκαν και οι 3 διαστάσεις, ώστε να εμφανιστεί το αποτέλεσμα της σκίασης στις αναλύσεις. Στην συνέχεια έγινε ο σχεδιασμός των οριζόντιων αλουμινίων με την βοήθεια της όψης που υπάρχουν από τα ηλεκτρονικά αρχεία της τεχνικής υπηρεσίας. Τα πλαίσια στην πρόσοψη έχουν μήκος 10,5 m και το πάχος είναι σταθερό. Τελευταίο στάδιο για τον σχεδιασμό του χώρου αυτού είναι η οροφή η οποία αποτελείται από 6 κομμάτια διαφορετικής κλίσης . Η κλίση από ανατολικά προς τα δυτικά είναι 33^{o} , 20 ^{o}, 7 ^{o}, 7 ^{o}, 20 ^{o}, 33 ^{o}, αντίστοιχα. Το πλάτος των κομματιών είναι 15,2 m και είναι χωρισμένα σε 14 κομμάτια το κάθε μέρος. Το αποτέλεσμα φαίνεται στις εικόνες 24 και 25.



Εικόνα 24 : Γενική άποψη του σχεδίου μετά τον σχεδιασμό των αλουμινίων του κεντρικού χώρου



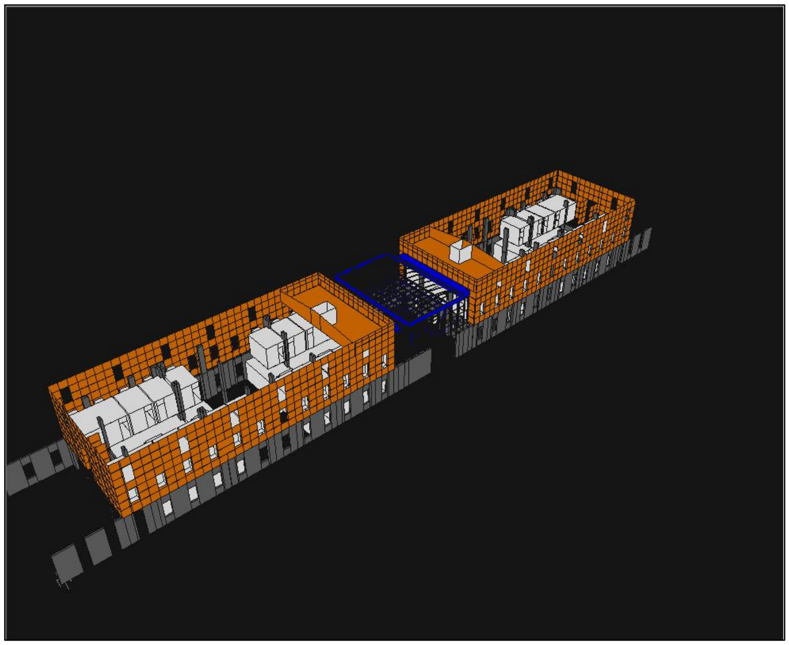
Εικόνα 25 : Λεπτομέρεια σχεδιασμού όπου φαίνονται τα αλουμινένια πλαίσια

4.2.4. Εσωτερική τοιχοποιία

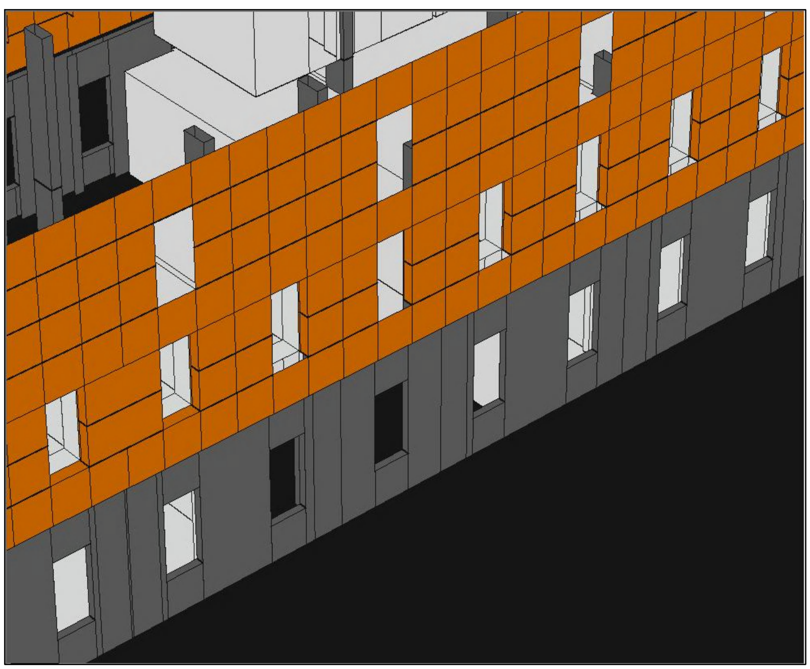
Στην γίνεται ο σχεδιασμός των εξωτερικών τοίχων των γραφείων ώστε να ληφθούν υπόψη και στον σχεδιασμό τα πάχη των τοίχων και να παραχθούν σωστά αποτελέσματα στις αναλύσεις φωτισμού. Με βάση πάλι τα σχέδια του AutoCAD σχεδιάζονται οι εξωτερικοί τοίχοι των γραφείων. Επίσης δίνεται μεγάλη προσοχή στο πάτωμα του πρώτου ορόφου όπου υπάρχουν 8 φωταγωγοί (4 σε κάθε πλευρά του κτιρίου) οι οποίοι διατρέχουν το κτίριο καθ ύψος και φροντίζουν για τον φυσικό φωτισμό του ισογείου και του πρώτου ορόφου. Πρέπει λοιπόν να σχεδιαστεί το πάτωμα του πρώτου ορόφου ώστε να μην παρεμποδίζει την διέλευση του φυσικού φωτός από την οροφή του κτιρίου στο ισόγειο. Επίσης ο φωταγωγός αυτός έχει ύψος 1 m στο πάτωμα του πρώτου ορόφου και πρέπει αυτό να φαίνεται και στο σχέδιο. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η σχεδίαση των διαδρόμων και στις 3 διαστάσεις, ώστε να πετύχουμε τις αναλύσεις σε επίπεδο φωτισμού αλλά και μετέπειτα αναλύσεις θερμικών φορτίων με τις όποιες αλλαγές απαιτούνται.

4.2.5. Εξωτερικοί τοίχοι

Κατόπιν γίνεται ο σχεδιασμός των εξωτερικών τοιχωμάτων. Το υλικό κατασκευής είναι τσιμέντο σε πλάκες πλάτους 1 m. Σε συνήθεις συνθήκες η επιφάνεια, είναι 1m^2, αλλά σε ορισμένα σημεία του κτιρίου για να γίνει η ολοκλήρωση των τοιχωμάτων το μήκος ξεπερνάει το 1 m. Το χρώμα των πλακών είναι κίτρινο και ρυθμίστηκε η απορρόφηση και η αντανάκλαση του φωτός. Οι εικόνες 26 και 27 δείχνουν το αποτέλεσμα του σχεδίου μέχρι τώρα.



Εικόνα 26 : Γενική άποψη του σχεδίου μετά τον σχεδιασμό των εξωτερικών τοίχων



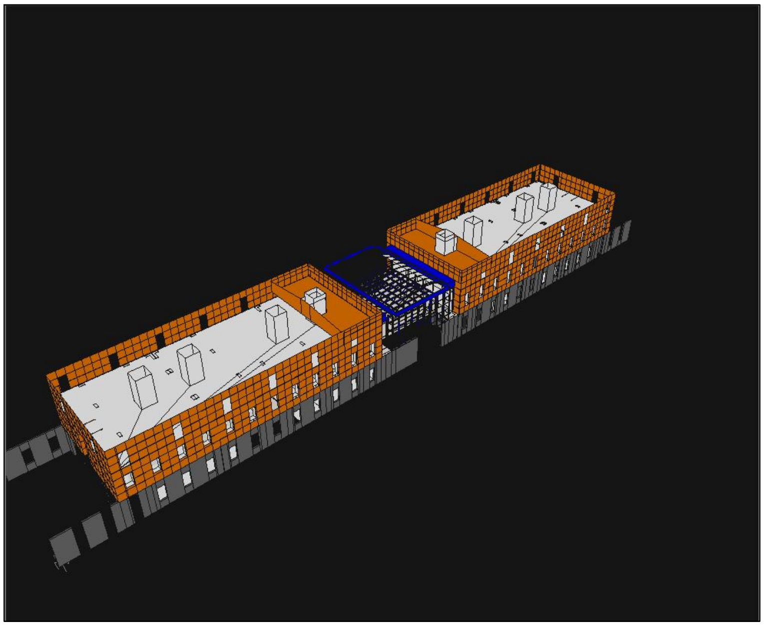
Εικόνα 27 : Λεπτομέρεια σχεδιασμού όπου φαίνεται το βάθος των παραθύρων των γραφείων

4.2.6. Χώρος γραμματείας και αίθουσας συνεδριάσεων

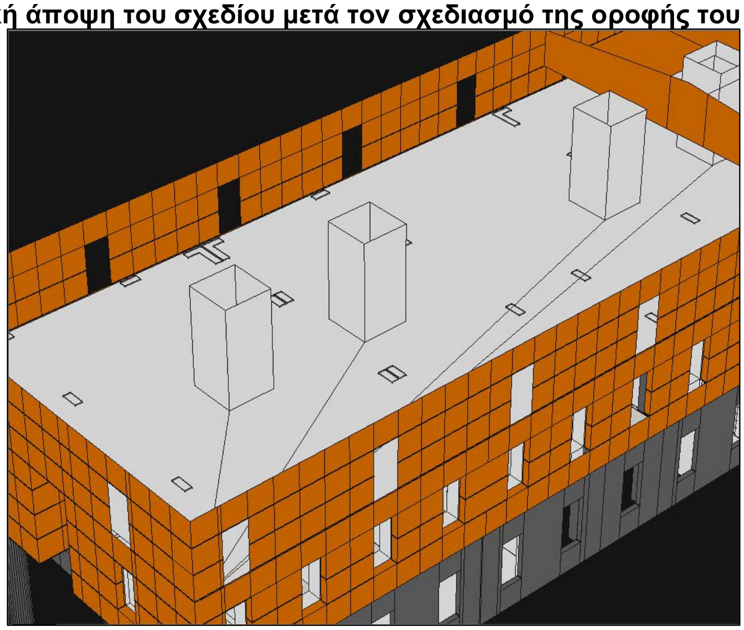
Τέλος στον μεσαίο χώρο του κτιρίου, στον πρώτο όροφο γίνεται ο σχεδιασμός του χώρου της γραμματείας και της αίθουσας συνεδριάσεων. Ο χώρος της γραμματείας έχει παράθυρα στην βόρεια πλευρά, ενώ στην νότια υπάρχουν παράθυρα αλλά είναι πάντα κλειστά με γρίλια. Ο χώρος καθ’ ύψος χωρίζεται σε 3 μέρη. Το πρώτο μέρος, ύψους 0,85 m είναι χρώματος σκούρο γκρι και από πάνω βρίσκεται παράθυρο ύψους 1,3 m. Μέχρι το ύψος του χώρου αυτού έχουν τοποθετηθεί πάλι πλαστικά χρώματος γκρι σκούρου. Στην οροφή του παραπάνω εσωτερικού χώρου έχουν τοποθετηθεί αλουμινένια πλαίσια κάθετα μεταξύ τους. Τα πλαίσια αυτά αποτελούνται από το ίδιο υλικό που είναι κατασκευασμένα τα αλουμινένια στον κεντρικό χώρο του κτιρίου. Ακόμη έχουν τοποθετηθεί τζάμια στο χώρο που σχηματίζουν τα πλαίσια μεταξύ τους. Το τζάμι είναι από το ίδιο υλικό με τα τζάμια που καλύπτουν τον χώρο του κεντρικού κτιρίου. Συγκεκριμένα υπάρχουν 70 τζάμια επιφάνειας 1 m^2 το κάθε ένα περίπου που φροντίζουν για τον φυσικό φωτισμό του χώρου.

4.3. Δεύτερος όροφος και οροφή κτιρίου

Για την απλοποίηση των αναλύσεων όσο αναφορά τον χρόνο ολοκλήρωσης και χωρίς να έχουμε κάποιο μεγάλο ποσοστό μείωσης του αποτελέσματος, δεν γίνεται ανάλυση του δεύτερου ορόφου και φροντίζουμε η οροφή του πρώτου ορόφου να είναι το τελευταίο όριο αναλύσεων πριν την οροφή. Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στον σχεδιασμό της οροφής του πρώτου ορόφου διότι πρέπει να σχεδιαστεί και ο φωταγωγός που οδηγεί το φυσικό φως από την οροφή στο ισόγειο. Η επιφάνεια του κάθε φωταγωγού είναι 1 m^2, και στην οροφή του έχει τζάμι σε σχήμα πυραμίδας ώστε να διευκολύνεται η εισροή του φωτός. Στις εικόνες 28, και 29 φαίνεται ο παραπάνω σχεδιασμός.

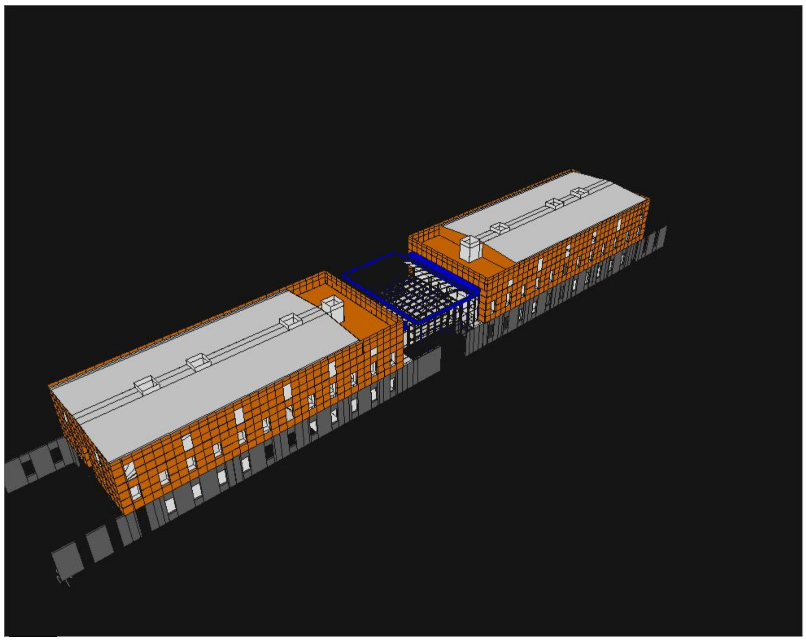


Εικόνα 28 : Γενική άποψη του σχεδίου μετά τον σχεδιασμό της οροφής του πρώτου ορόφου

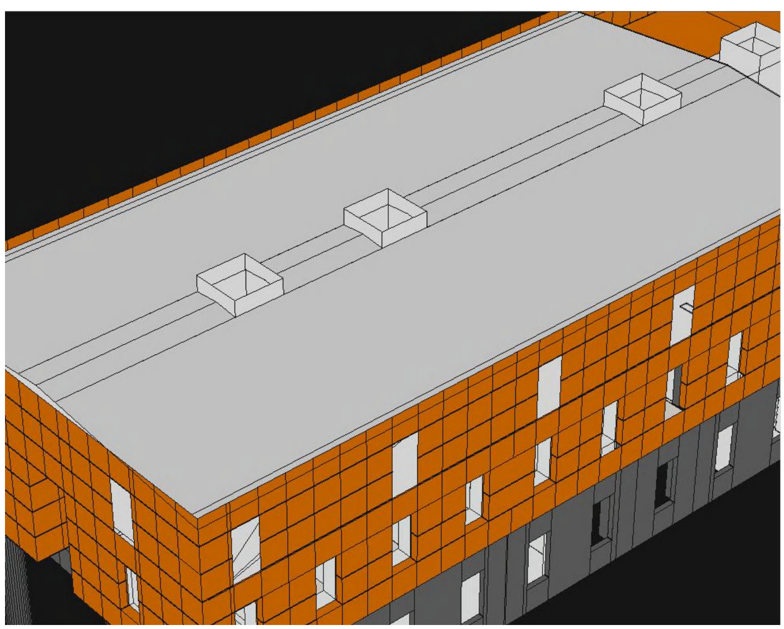


Εικόνα 29 : Λεπτομέρεια σχεδιασμού όπου φαίνονται οι φωταγωγοί

Τέλος, γίνεται η τοποθέτηση της οροφής. Ο σχεδιασμός γίνεται με βάση τα δεδομένα από τα σχέδια, και δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στην κλίση της διότι αποτελεί ενδεχόμενη περιοχή τοποθέτησης φωτοβολταϊκών. Συγκεκριμένα η κλίση στην νότια πλευρά είναι 5,5 ^{o} και στην βόρεια αντίστοιχα 5,5^{o}. Η σκεπή δεν σχεδιάστηκε ενιαία αλλά υπάρχουν κενά στον χώρο των φωταγωγών για να επιτρέπεται η εισροή φωτός. Το αποτέλεσμα φαίνεται στις εικόνες 30 και 31.



Εικόνα 30 : Γενική άποψη του σχεδίου μετά τον σχεδιασμό της



Εικόνα 31 : Λεπτομέρεια σχεδιασμού όπου φαίνεται η οροφή με τους φωταγωγούς

Μετά την ολοκλήρωση του σχεδιασμού γίνεται και η τοποθέτηση των λαμπτήρων. Σε κάθε μεγάλο γραφείο βρίσκονται 32 λάμπες σε ομάδες των $4^{ων}$. Αντίστοιχα στα μικρά γραφεία βρίσκονται 16 λάμπες σε ομάδες των $4^{ων}$. Ακόμα 208 λάμπες σε ομάδες των $4^{ων}$ βρίσκονται στους διαδρόμους. Επίσης βρίσκονται λάμπες στους χώρους της γραμματείας και στην αίθουσα συνεδριάσεων. Η ισχύς της κάθε λάμπας είναι 16 W. Η συνολική απαιτούμενη ισχύς για τις λάμπες του πρώτου ορόφου είναι: 13.568 kW.

4.4. Προγραμματισμός λειτουργίας λαμπτήρων

Στο κτίριο υπάρχουν λάμπες οι οποίες έχουν τοποθετηθεί σε προηγούμενα βήματα, και λειτουργούν σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα αν και στην πράξη εκτιμώνται κάποιες διαφορές. Έγινε προγραμματισμός των λαμπτήρων ως προς τις ώρες λειτουργίας, και επιλέχθηκαν ως παράμετροι για τον σχεδιασμό οι εποχές του χρόνου λόγω διαφορετικής ηλιοφάνειας, ο χώρος λειτουργίας, λόγω των διαφορετικών χρήσεων μέσα στο κτίριο, όπως επίσης έγινε και διαχωρισμός σε καθημερινή βάση λόγω του προγράμματος. Με βάση τα παραπάνω, οι ώρες λειτουργίας των λαμπτήρων σε ποσοστιαία βάση επί της ισχύος φαίνεται στον πίνακα 1.

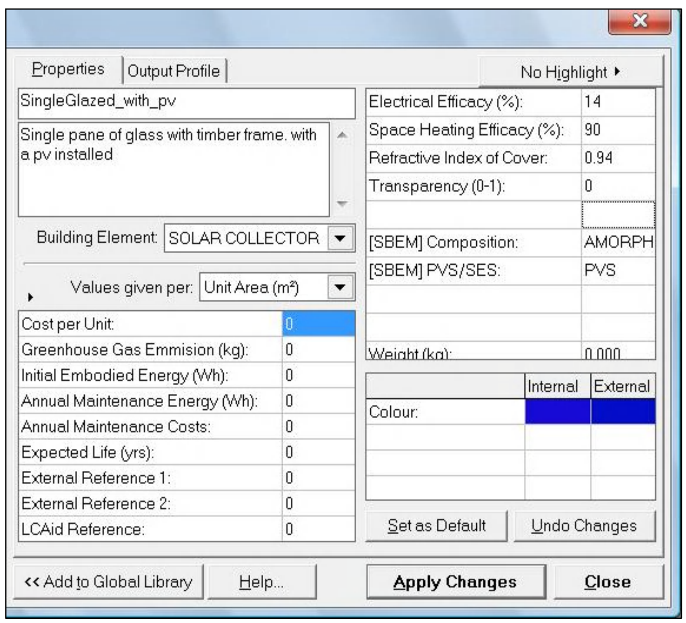
Πίνακας 1 : Χρονοδιάγραμμα λειτουργίας λαμπτήρων

Πρόγραμμα λαμπτήρων	Ώρες	Γραφείο	Εργαστήριο	Διάδρομοι
Χειμώνας (1/12-28/2)				
Καθημερινές	17:30 – 23:00	75%	100%	100%
Σαββατοκύριακα	17:30 – 23:00	25%	50%	50%
Διακοπές (21/12–7/1)	17:30 – 23:00	5%	10%	25%
Άνοιξη (1/3 – 31/5)				
Καθημερινές	18:00 – 23:00	75%	100%	100%
Σαββατοκύριακα	18:00 – 23:00	25%	50%	50%
Διακοπές (21/4–6/5)	18:00 – 23:00	5%	10%	25%
Καλοκαίρι(1/6–31/8)				
Καθημερινές	19:00 – 23:00	75%	100%	100%
Σαββατοκύριακα	19:00 – 23:00	25%	50%	50%
Διακοπές (14/7–15/8)	19:00 – 23:00	5%	10%	25%
Φθινόπωρο				
Καθημερινές	18:30 – 23:00	75%	100%	100%
Σαββατοκύριακα	18:30 – 23:00	5%	50%	50%

4.5. Σχεδιασμός φωτοβολταϊκών ενσωματωμένων στο κτίριο

Στο κτίριο σχεδιάστηκαν φωτοβολταϊκά με σκοπό την ενσωμάτωση τους στο κτίριο. Σύμφωνα με γνωστό κατασκευαστή φωτοβολταϊκών (http://www.msk.ne.jp,) για ενσωμάτωση σε κτίρια, τα παραπάνω φωτοβολταϊκά κατασκευάζονται με επιφάνεια

1 m^2, 1,5 m^2, 2 m^2 Κατά την σχεδίαση πρέπει να εισαχθούν όλα τα στοιχεία στο πρόγραμμα ώστε το οπτικό αποτέλεσμα να είναι ρεαλιστικό. Πέρα από το οπτικό αποτέλεσμα είναι απαραίτητο να γίνουν και αναλύσεις οι οποίες θα δώσουν αποτελέσματα σχετικά με την δυνατότητα παραγωγής ρεύματος. Για να γίνει κάτι τέτοιο εισάγονται στο πρόγραμμα δεδομένα σχετικά με τα φωτοβολταϊκά. Τα φωτοβολταϊκά που έχουν ενσωματωθεί στα τζάμια του χώρου της γραμματείας είναι πολυκρυσταλλικά και έχουν απόδοση 14%. Στην εικόνα 32 φαίνονται τα χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών όπως αυτά ορίζονται στα χαρακτηριστικά των υλικών του προγράμματος ecotect



Εικόνα 32 : Χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών κελιών

Για τον έλεγχο της ενσωμάτωσης από αισθητικής άποψης πρέπει να γίνει η ακριβέστερη δυνατή απεικόνιση των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Με βάση πάλι τα δεδομένα του κατασκευαστή, η διάσταση του κάθε κελιού είναι 125 mm επί 125 mm και σε κάθε τζάμι διαστάσεων 1m x 1m τοποθετούνται 36φωτοβολταϊκά κελιά σε τετράγωνη διάταξη (6 κελιά x 6 κελιά) συνολικής απόδοσης 78 W υπό ιδανικές συνθήκες. Επίσης στα τζάμια της οροφής έχουν τοποθετηθεί φωτοβολταϊκά ίδιων χαρακτηριστικών. Τα τζάμια έχουν διαστάσεις 1m x 1,5m και έχουν τοποθετηθεί 60 φωτοβολταϊκά κελιά σε παραλληλόγραμμη διάταξη 10 κελιά x 6 κελιά συνολικής απόδοσης 129 W. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια έχουν τοποθετηθεί με διαφορετικό προσανατολισμό στο σύνολό τους. Αναλυτικότερα: Τα φωτοβολταϊκά της πρόσοψης έχουν προσανατολισμό στις 37^o από τον Νότο, και έχουν τοποθετηθεί κάθετα. Τα φωτοβολταϊκά της πίσω όψης έχουν προσανατολισμό 43^o από τον Βορρά και είναι τοποθετημένα επίσης κάθετα.

Τα φωτοβολταϊκά της οροφής χωρίζονται σε 6 κατηγορίες : α) Τα πρώτα έχουν τοποθετηθεί με προσανατολισμό 53 ^{o} από την ανατολή με κλίση 33^o, β) Τα δεύτερα έχουν τοποθετηθεί με προσανατολισμό 53 ^{o} από την ανατολή και με κλίση 20^o, γ) Τα τρίτα έχουν τοποθετηθεί με προσανατολισμό 53 ^{o} από την ανατολή και κλίση 7^o, δ) Τα τέταρτα έχουν τοποθετηθεί με προσανατολισμό 37 ^{o} από την Δύση και κλίση 7^o, ε) Τα πέμπτα έχουν τοποθετηθεί με προσανατολισμό 37 ^{o} από την Δύση και κλίση 20^o,στ) Τα έκτα έχουν τοποθετηθεί με προσανατολισμό 37 ^{o} από την Δύση και κλίση 33^o.

Ακόμη, φωτοβολταϊκά έχουν τοποθετηθεί ως σκίαστρα πάνω από τα παράθυρα των γραφείων των καθηγητών με σκοπό την σκίαση αλλά και την παραγωγή ενέργειας. Η επιφάνεια που καλύπτουν είναι 2 m^2 (2m x 1m) και περιέχουν 84 φωτοβολταϊκά κελιά σε παραλληλόγραμμη διάταξη (14 κελιά x 6 κελιά) .Η κλίση των φωτοβολταϊκών είναι στις 30^o και η απόκλιση από τον Νότο είναι στις 37^o.

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, την απόδοση των φωτοβολταϊκών, την χωροθέτηση η τελική απόδοσή τους προκύπτει παρακάτω:

Πίνακας 2 : Πίνακας πτώσης απόδοσης φωτοβολταϊκών λόγω θέσης και κλίσης
(Markvart et al. 2003)

Α/α	Περιγραφή φωτοβολταϊκού	Τελική απόδοση λόγω κλίσης και προσανατολισμού
1	PV στην Βόρεια όψη (90^o κλίση)	55%
2	PV στην Νότια όψη (90^o κλίση)	65%
3	PV στην οροφή (προσανατολισμός ανατολικός) , (33^o κλίση)	82%
4	PV στην οροφή (προσανατολισμός ανατολικός) , (20^o κλίση)	85%
5	PV στην οροφή (προσανατολισμός ανατολικός) , (7^o κλίση)	87%
6	PV στην οροφή (προσανατολισμός δυτικός) , (7^o κλίση)	100%
7	PV στην οροφή (προσανατολισμός δυτικός) , (20^o κλίση)	85%
8	PV στην οροφή (προσανατολισμός δυτικός) , (33^o κλίση)	82%
9	PV σε σκίαστρα (προσανατολισμός Νότιος) , (30^o κλίση)	100%

Κάθε ομάδα φωτοβολταϊκών αποτελείται από την παρακάτω συνολική επιφάνεια και η συνολική ισχύς προκύπτει αντίστοιχα στον πίνακα 3.

Πίνακας 3 : Πίνακας υπολογισμού ισχύος φωτοβολταϊκών

Α/α	Συνολικα πλαίσια φωτοβολταϊκών	Ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας	Μερική Ισχύς	Τελική απόδοση	Τελική ισχύς
1	45 πλαίσια	78 W/Τεμάχιο	3.510 W	55%	1930 W
2	45 πλαίσια	78 W/Τεμάχιο	3.510 W	65%	2.281 W
3	14 πλαίσια	78 W/Τεμάχιο	1.092 W	82%	895 W
4	14 πλαίσια	129 W/Τεμάχιο	1.806 W	85%	1.535 W
5	14 πλαίσια	129 W/Τεμάχιο	1.806 W	87%	1.571 W
6	14 πλαίσια	129 W/Τεμάχιο	1.806 W	100%	1.806 W
7	14 πλαίσια	129 W/Τεμάχιο	1.806 W	85%	1.535 W
8	14 πλαίσια	78 W/Τεμάχιο	1.092 W	82%	895,44 W
9	24 πλαίσια	181 W/Τεμάχιο	4.344 W	100%	4.344 W
			Συνολικά παρεχόμενη ισχύς		16.792 W

Με βάση της συνολικά παραγόμενη ισχύ διαπιστώνεται πως μπορεί να καλυφθεί το 75 % των συνολικών λαμπτήρων στον χώρο του κτιρίου ταυτόχρονα, σε περίπτωση λειτουργίας όλων των συστημάτων, και σε περίπτωση που θα ήταν επιθυμητή η λειτουργία των λαμπτήρων ανεξάρτητα από το ηλεκτρικό δίκτυο

Τα παραπάνω φωτοβολταϊκά χρησιμοποιούνται σε κάποια από τα σενάρια τα οποία θα αναλυθούν παρακάτω.

4.6. Δημιουργία, επεξεργασία προσαρμογή δεδομένων ηλιακής ακτινοβολίας

Η ηλιακή ακτινοβολία παίζει σημαντικό ρόλο στην παραγωγή ρεύματος από τα φωτοβολταϊκά. Από το εργαστήριο ανανεώσιμων και βιώσιμων ενεργειακών συστημάτων πήρα δεδομένα για την ηλιακή ακτινοβολία για το έτος 2007. Τα δεδομένα ήταν αρχικά σε μορφή (txt). Με την βοήθεια του excel και του υποπρογράμματος του ecotect, weathertool μετατρέπουμε τα ηλιακά όπως και άλλα δεδομένα μετεωρολογικά σε αρχείο κατάλληλο για επεξεργασία από το πρόγραμμα ecotect. Αναλυτικά τα δεδομένα αυτά περιέχουν, θερμοκρασίες, υγρασία, ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου, ηλιακή ακτινοβολία για αναλύσεις και πέρα από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα δεδομένα είναι σε μονάδες W/m^2 και είναι όπως προαναφέρθηκε σε ωριαία βάση. Κατά συνέπεια τα δεδομένα είναι ισοδύναμα με μονάδες Wh/m^2.

4.7. Επιλογή σεναρίων προς ανάλυση

Για την παρούσα διπλωματική εργασία και με σκοπό την εύρεση των επιπτώσεων που θα έχει η εγκατάσταση των ενσωματωμένων φωτοβολταϊκών στο κτίριο σε τομείς παραγωγής ρεύματος και αισθητικής ενσωμάτωσης επιλέχθηκαν κάποια σενάρια προς ανάλυση και εύρεση αποτελεσμάτων. Μερικά από τα σενάρια αναφέρονται στην παρούσα κατάσταση και στις βελτιώσεις που μπορούν να γίνουν με την εξοικονόμηση ενέργειας. Τέλος αναλύονται κάποια σενάρια σχετικά με την δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην περίπτωση που το κτίριο είχε διαφορετικό προσανατολισμό.

4.7.1. Σενάριο 1

Το σενάριο αυτό αναφέρεται, στην παρούσα κατάσταση όπου δεν βρίσκονται φωτοβολταϊκά τοποθετημένα στο κτίριο και οι λάμπες, χωρισμένες σε τρεις κατηγορίες, (γραφεία, εργαστήρια, διάδρομοι) λειτουργούν (σχετικά αλόγιστα) με το παρακάτω χρονοδιάγραμμα,. Τέλος, γίνεται έλεγχος και για την περίπτωση που τοποθετηθούν στέγαστρα πάνω από τα γραφεία των καθηγητών στην νότια πλευρά του κτιρίου.

4.7.1.1. Σενάριο 1α: Παρούσα κατάσταση

Κατά το σενάριο αυτό η μηνιαία κατανάλωση ρεύματος υπολογίζεται από το πρόγραμμα ecotect λαμβάνοντας υπόψη τις ώρες που λειτουργούν οι λαμπτήρες και το ποσοστό επί της ισχύος τους στο οποίο λειτουργούν.

4.7.1.2. Σενάριο 1β: 100% φωτοβολταϊκή κάλυψη

Κατά το δεύτερο σενάριο, οι λαμπτήρες λειτουργούν το ίδιο χρονικό διάστημα αλλά τοποθετούνται φωτοβολταϊκά στοιχεία στα παράθυρα του χώρου της γραμματείας και της αίθουσας συνεδριάσεων, όπως επίσης και στην γυάλινη οροφή του κτιρίου. Τα χαρακτηριστικά όλων των φωτοβολταϊκών έχουν αναλυθεί στην μεθοδολογία. Το πρόγραμμα ecotect κάνει όλες τις απαραίτητες αναλύσεις και τα δεδομένα μεταφέρονται όλα σε αρχείο του Microsoft excel για συνέχεια των αναλύσεων.

4.7.1.3. Σενάριο 1γ: 50% φωτοβολταϊκή κάλυψη

Στο παρόν σενάριο γίνεται πλήρη κάλυψη της νότιας πλευράς και κάλυψη της οροφής κατά 50%. Το σενάριο αυτό ελέγχεται για την εύρεση αποτελεσμάτων που θα έχει η νέα ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών στον αισθητικό τομέα λόγω της χρήσης λιγότερων φωτοβολταϊκών.

4.7.1.4. Σενάριο 1δ: 75% φωτοβολταϊκή κάλυψη + φωτοβολταϊκά στα σκιάστρα

Σύμφωνα με το σενάριο αυτό τα φωτοβολταϊκά τοποθετούνται στην νότια όψη, στην οροφή και στα σκίαστρα που θα έχουν σχεδιαστεί με σκοπό την μείωση του φωτός που εισέρχεται στα γραφεία του πρώτου ορόφου, αλλά και τη συμβολή στην παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

4.7.2. Σενάριο 2: Μειωμένη κατανάλωση ρεύματος

Κατά τα σενάρια αυτά θα γίνει μία εκτίμηση της μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας, και της επίπτωσης που αυτή θα έχει στην κάλυψη των αναγκών από φωτοβολταϊκά. Η μείωση αυτή μπορεί να γίνει είτε με εξοικονόμηση ενέργειας από τους λαμπτήρες αλλάζοντας το χρονοδιάγραμμα και τις λάμπες που λειτουργούν, είτε μειώνοντας την ισχύ των λαμπτήρων από τα 16W στα 14W, αντίστοιχα.

4.7.2.1. Σενάριο 2α: Μείωση κατανάλωσης με αλλαγή λαμπτήρων

Μπορεί να επιτευχθεί αλλάζοντας τις λάμπες των 16 W με αντίστοιχες των 14W. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται το επιθυμητό αποτέλεσμα με μικρές επιπτώσεις στον φωτισμό του χώρου. Κατά το σενάριο αυτό επιλέγεται η τοποθέτηση φωτοβολταϊκών σύμφωνα με το σενάριο 1δ.

4.7.2.2. Σενάριο 2β: Μείωση κατανάλωσης με αλλαγές στο χρονοδιάγραμμα λειτουργίας των λαμπτήρων

Δεδομένου ότι το αρχικό χρονοδιάγραμμα με το ποσοστό λειτουργίας των λαμπτήρων είναι αρκετά ανεκτικό σε υπερβολές στην κατανάλωση ρεύματος η παραπάνω μείωση γίνεται με αλλαγή του χρόνου λειτουργίας των λαμπτήρων Για την ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών ισχύει το σενάριο 1δ. Πραγματοποιούνται οι παρακάτω αλλαγές:

1. Τις καθημερινές όλου του χρόνου, οι λάμπες του διαδρόμου λειτουργούν 100%. Αυτό σημαίνει ότι μέχρι της 12 το βράδυ όλες οι λάμπες θα λειτουργούν σε πλήρη ισχύ (6.016 kW). Αν από το σύνολο των λαμπτήρων βρίσκονται σε λειτουργία από τις 20:00 και μετά οι μισές, έχουμε μείωση στην ενέργεια που καταναλώνεται και κάποια μείωση στον φωτισμό του χώρου. Αντίστοιχες μειώσεις στο μισό θα γίνουν και για τα Σαββατοκύριακα. Αντίθετα για την περίοδο των διακοπών δεν θα γίνουν κάποιες αλλαγές.

2. Παράλληλα στα εργαστήρια μετά τις 20:00 θα γίνει μείωση στο μισό της κατανάλωσης εφόσον δεν είναι δυνατόν σε καθημερινή βάση να λειτουργούν όλα τα εργαστήρια μετά της 20:00 μέχρι τις 00:00 και να απαιτείται η λειτουργία όλων των λαμπτήρων. Αντίστοιχες μειώσεις θα γίνουν για τα Σαββατοκύριακα. Για το χρονικό διάστημα των διακοπών δεν πραγματοποιείται κάποια αλλαγή

3. Τέλος, στα γραφεία που βρίσκονται στον όροφο, γίνονται οι απαραίτητες μειώσεις στην κατανάλωση ενέργειας. Τις καθημερινές μετά τις 20:00 θεωρείται πως θα λειτουργούν τα μισά γραφεία, ενώ για τα Σαββατοκύριακα μετά τις 20:00 θα λειτουργεί το μόνο το 10% των γραφείων. Για την περίοδο των διακοπών δεν θεωρείται αναγκαία κάποια αλλαγή στην κατανάλωση ρεύματος. Σε μορφή πίνακα οι νέες καταναλώσεις ρεύματος φαίνονται στον πίνακα 4

Πίνακας 4 : Νέο μειωμένο χρονοδιάγραμμα λειτουργίας λαμπτήρων

Πρόγραμμα λαμπτήρων	Ώρες	Γραφείο	Εργαστήριο	Διάδρομοι
Χειμώνας (1/12-28/2)				
Καθημερινές	17:30 – 19:00	75%	100%	100%
	20:00 – 23:00	50%	50%	50%
Σαββατοκύριακα	17:30 – 19:00	25%	50%	50%
	20:00 – 23:00	10%	25%	25%
Διακοπές (21/12–7/1)	17:30 – 23:00	5%	10%	25%
Άνοιξη (1/3 – 31/5)				
Καθημερινές	18:00 – 19:00	75%	100%	100%
	20:00 – 23:00	50%	50%	50%
Σαββατοκύριακα	18:00 – 19:00	25%	50%	50%
	20:00 – 23:00	25%	25%	25%
Διακοπές (21/4–6/5)	18:00 – 23:00	5%	10%	25%
Καλοκαίρι(1/6–31/8)				
Καθημερινές	19:00	75%	100%	100%
	20:00 – 23:00	50%	50%	50%
Σαββατοκύριακα	19:00	25%	50%	50%
	20:00 – 23:00	10%	25%	25%
Διακοπές (14/7–15/8)	19:00 – 23:00	5%	10%	25%
Φθινόπωρο				
Καθημερινές	18:30 – 19:00	75%	100%	100%
	20:00 – 23:00	50%	50%	25%
Σαββατοκύριακα	18:30 – 19:00	25%	50%	50%
	20:00 – 23:00	25%	25%	50%

Κατά τις αναλύσεις ερευνάτε η νέα ετήσια κατανάλωση ρεύματος και η κάλυψη από την ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών.

4.7.3. Σενάριο 3: Περιστροφή του κτιρίου σε διάφορες θέσεις του ορίζοντα

Στα παρακάτω σενάρια επιλέγεται ένα υποθετικό σενάριο με το οποίο θα μελετηθεί η επίδραση που έχει στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας η θέση του κτιρίου ως προς τον Βορά. Ως σημείο αναφοράς για να προσδιοριστεί ποια πλευρά του κτιρίου είναι στραμμένη στον Βορρά, θέτουμε τα παράθυρα της γραμματείας που κοιτάνε στις 37^o

τον Βορρά. Ως προς τα φωτοβολταϊκά, επιλέγονται αυτά που αναλύθηκαν και στο σενάριο 1δ. Έχουν τοποθετηθεί δηλαδή, φωτοβολταϊκά στην νότια όψη, στην οροφή του κτιρίου και στα σκίαστρα πάνω από τα παράθυρα. Το σενάριο αυτό έχει σκοπό να δείξει την συνέπεια που έχει η επιλογή της θέσης όσο αναφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

4.7.3.1. Σενάριο 3α: Προσανατολισμός του κτιρίου στον Βορρά

Στο παρών υποθετικό σενάριο το κτίριο βρίσκεται με προσανατολισμό τέτοιο που η αίθουσα συνεδριάσεων θα βλέπει απ' ευθείας στον Νοτιά χωρίς να υπάρχει η παρούσα απόκλιση των 37^{o}. Στην συνέχεια γίνονται αναλύσεις για την παραγωγή ρεύματος και την κάλυψη επί των ηλεκτρικών αναγκών των λαμπτήρων.

4.7.3.2. Σενάριο 3β: Προσανατολισμός του κτιρίου στην Δύση

Επιπλέον ελέγχονται οι επιπτώσεις που θα έχει στην παραγωγή ρεύματος η πιθανή χωροθέτηση του κτιρίου προς την Δύση.

4.7.3.3. Σενάριο 3γ: Προσανατολισμός του κτιρίου στην Ανατολή

Τέλος μελετάτε η επίδραση της θέσης του κτιρίου ως προς την παραγωγή ρεύματος όταν είναι τοποθετημένο με κατεύθυνση προς την Ανατολή.

5. Αποτελέσματα

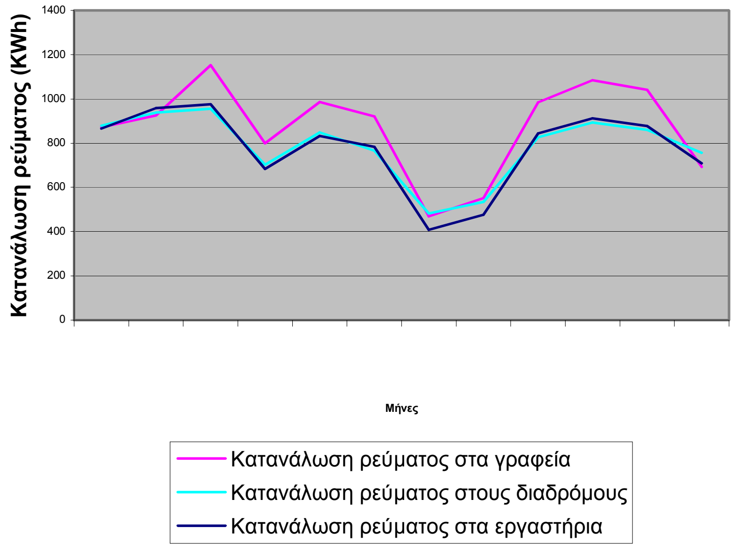
5.1. Σενάριο 1α: Παρούσα κατάσταση

Η μηνιαία κατανάλωση των λαμπτήρων βασίζεται στην ισχύ των λαμπτήρων, την διάρκεια λειτουργίας, και το ποσοστό λειτουργίας των λαμπτήρων όπως αυτό ρυθμίζεται από το χρονοδιάγραμμα λειτουργίας. Το αποτέλεσμα φαίνεται στον πίνακα 5

Πίνακας 5 : Συνολική και επιμέρους καταναλώσεις ρεύματος από τους λαμπτήρες

Μήνες	Συνολική Κατανάλωση Ρεύματος (kWh)	Κατανάλωση ρεύματος Γραφεία (kWh)	Κατανάλωση ρεύματος Εργαστήρια (kWh)	Κατανάλωση ρεύματος Διάδρομοι (kWh)
Ιαν.	2.618,51	872,81	866,60	879,08
Φεβ.	2.822,71	925,74	958,46	938,49
Μαρ.	3.085,44	1152	976,89	956,54
Απρ.	2.184,13	799,2	682,56	702,36
Μαϊ.	2.667,49	986,11	833,12	848,25
Ιούν.	2.472,00	921,6	783,36	767,04
Ιούλ.	1.358,84	469,2	408,36	481,28
Αύγ.	1.560,51	550,41	476,16	533,92
Σεπτ.	2.657,60	985,6	844,8	827,2
Οκτ.	2.889,92	1084,16	912,38	893,37
Νοε.	2.780,80	1041,92	878,59	860,28
Δεκ.	2.156,29	691,59	708,93	755,76

Η συνολική κατανάλωση σε ετήσια βάση ισούται με το άθροισμα των επιμέρους μηνών και προκύπτει: 29.254 KWh. Στην συνέχεια αναπαριστάται στο διάγραμμα 1 γραφικά την μηνιαία διακύμανση στην κατανάλωση ρεύματος και στο διάγραμμα 2 το ποσοστό στην κατανάλωση ρεύματος της κάθε ομάδας λαμπτήρων ξεχωριστά.

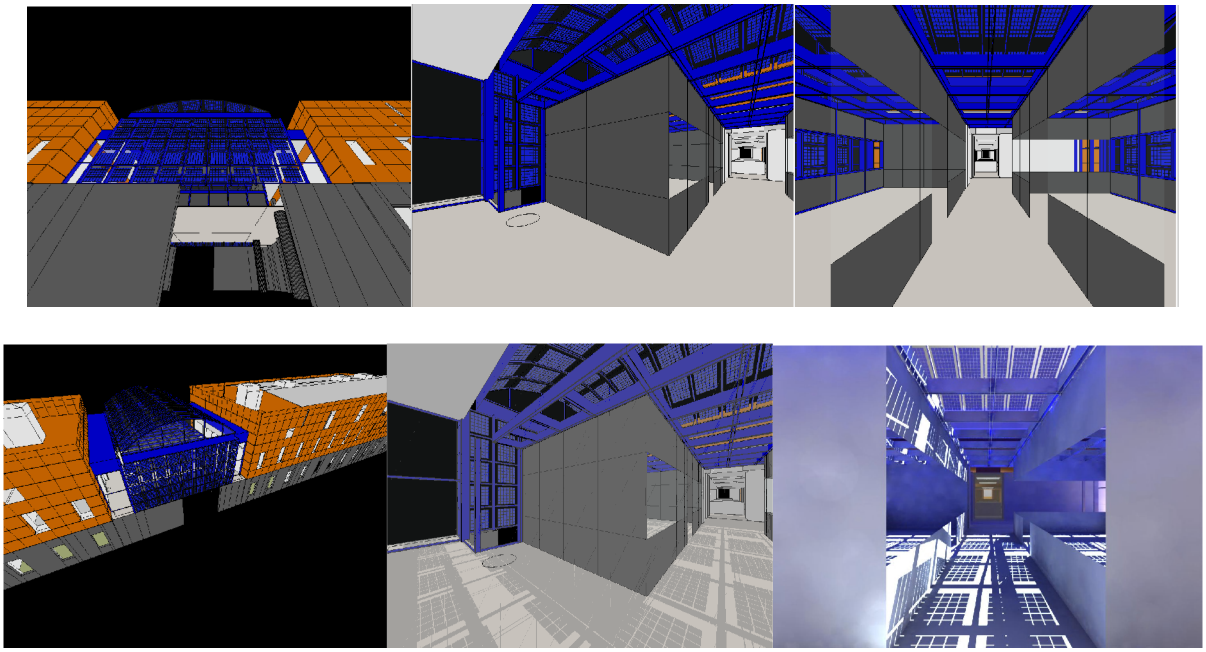


Διάγραμμα 1 : Επιμέρους μηνιαία κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος από λαμπτήρες

Διάγραμμα 2 : Ποσοστιαία κατανομή της ετήσιας κατανομής ρεύματος

5.2. Σενάριο 1β: 100% φωτοβολταϊκή κάλυψη

Μετά την προσαρμογή του προγράμματος στις επιθυμητές συνθήκες πραγματοποιούνται οι αναλύσεις. Το αισθητικό αποτέλεσμα τις ενσωμάτωσης φαίνεται στις εικόνες $33^{\alpha} - 33^{\sigma\tau}$.



Εικόνα 33^{α} – 33^{στ}: Απόψεις του κτιρίου με τα φωτοβολταϊκά ενσωματωμένα σύμφωνα με το σενάριο 1β

Πραγματοποιώντας τις αναλύσεις παραγωγής ενέργειας και κατανάλωσης λαμβάνονται κάποια αποτελέσματα τα οποία εισάγονται στο Microsoft excel για επιπλέον αναλύσεις και δημιουργία διαγραμμάτων. Στον πίνακα 6 φαίνεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά του συγκεκριμένου σεναρίου, η κατανάλωση από τους λαμπτήρες και το ποσοστό κάλυψης των ηλεκτρικών αναγκών από τους λαμπτήρες.

Πίνακας 6 : Μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ποσοστό κάλυψης ηλεκτρικών αναγκών, σενάριο 1β.

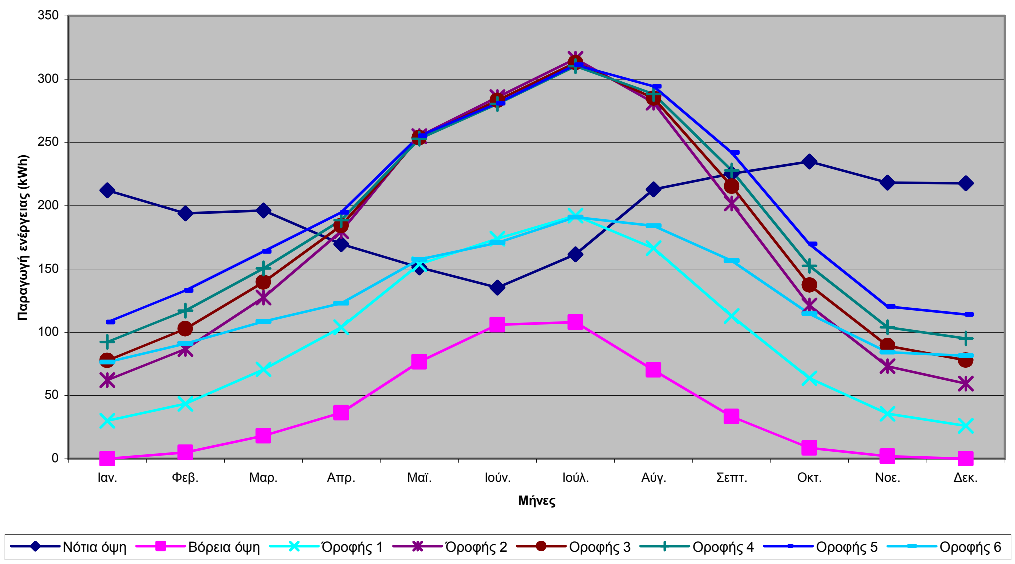
Μήνες	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (kWh)	Ποσοστό κάλυψης ηλεκτρικών αναγκών
Ιαν.	658,98	25,17%
Φεβ.	773,76	27,41%
Μαρ.	974,91	31,60%
Απρ.	1.180,50	54,05%
Μαϊ.	1.556,59	58,35%
Ιούν.	1.716,92	69,45%
Ιούλ.	1.903,56	140,09%
Αύγ.	1.783,03	114,26%
Σεπτ.	1.415,45	53,26%
Οκτ.	1.002,84	34,70%
Νοε.	727,45	26,16%
Δεκ.	672,09	31,17%

Σε ετήσια βάση, η κάλυψη από φωτοβολταϊκά στοιχεία φτάνει το 49,11 %. Στον πίνακα 7 βλέπουμε την παραγωγή ενέργειας της κάθε ομάδας φωτοβολταϊκών στοιχείων

Πίνακας 7 : Μηνιαία παραγωγή επιμέρους ομάδας φωτοβολταϊκών (kWh), σενάριο 1β

Μήνες	Νότια όψη	Βόρεια όψη	Οροφής 1	Οροφής 2	Οροφής 3	Οροφής 4	Οροφής 5	Οροφής 6
Ιαν.	212,22	0	29,96	62,00	77,68	92,35	108,13	76,622
Φεβ.	193,99	5,13	43,52	86,88	102,80	117,16	133,05	91,21
Μαρ.	196,11	18,09	70,70	127,48	139,53	150,48	163,87	108,64
Απρ.	169,78	36,40	104,10	179,69	184,29	188,69	194,67	122,86
Μαϊ.	151,38	76,68	153,77	254,96	253,79	253,12	255,27	157,59
Ιούν.	135,36	106,06	174,09	285,88	283,22	280,53	281,16	170,61
Ιούλ.	161,55	108,13	192,05	316,07	313,06	310,47	311,36	190,84
Αύγ.	212,80	70,20	166,40	281,55	285,08	288,42	294,46	184,10
Σεπτ.	225,58	33,25	112,79	201,79	215,44	227,90	242,17	156,49
Οκτ.	235,12	8,46	63,75	121,21	137,42	152,51	169,66	114,68
Νοε.	218,20	2,02	35,67	73,31	89,40	104,00	120,55	84,26
Δεκ.	217,75	0	26,05	59,31	77,99	95,29	114,12	81,55

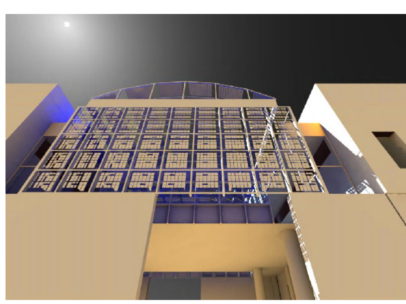
Η παραγωγή ενέργειας της κάθε ομάδας φωτοβολταϊκών φαίνεται στο διάγραμμα 3 :

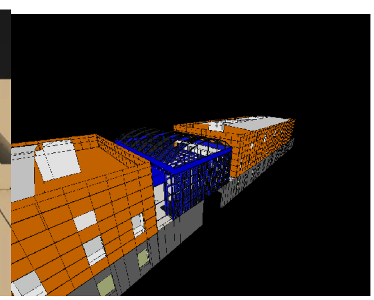


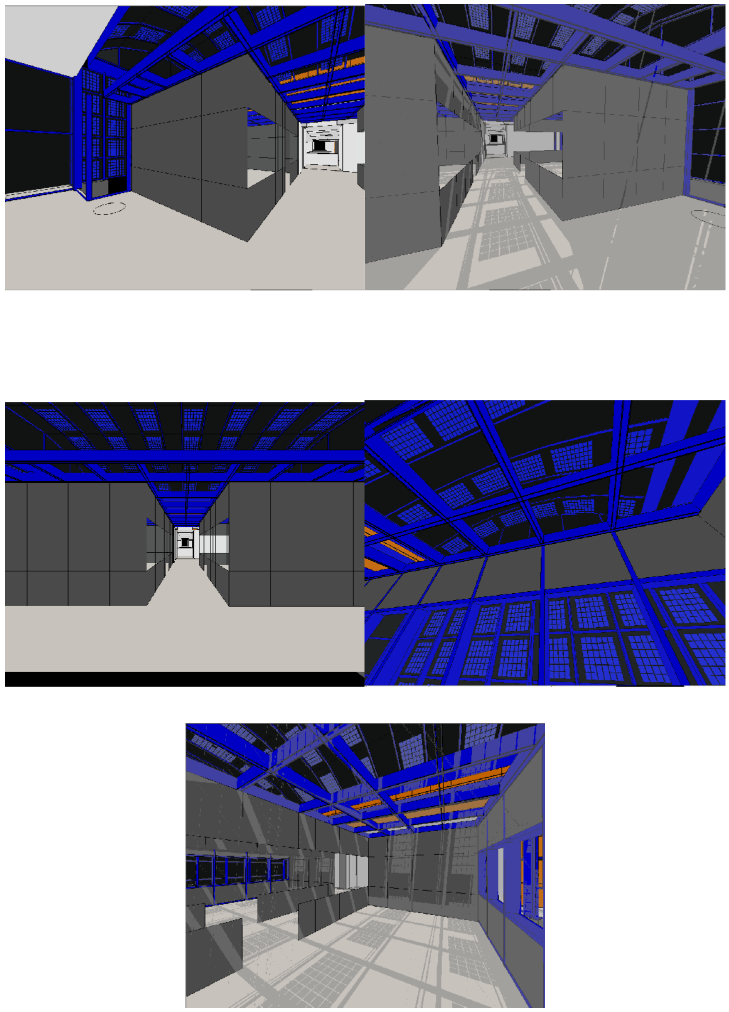
Διάγραμμα 3 : Απεικόνιση της μηνιαίας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την κάθε ομάδας φωτοβολταϊκών, σύμφωνα με το σενάριο 1β

5.3. Σενάριο 1γ: 50% φωτοβολταϊκή κάλυψη

Μετά την προσαρμογή του προγράμματος στις επιθυμητές συνθήκες πραγματοποιούνται οι αναλύσεις . Το αισθητικό αποτέλεσμα τις ενσωμάτωσης φαίνεται στις εικόνες. $34^{α}$ έως $34^{η}$







Εικόνα 34^{α} –34^{η} : Απόψεις του κτιρίου με τα φωτοβολταϊκά ενσωματωμένα σύμφωνα με το σενάριο 1γ

Η κατανάλωση ενέργειας παραμένει σταθερή αφού δεν έχει γίνει κάποια αλλαγή στο χρονοδιάγραμμα των λαμπτήρων. Σύμφωνα με το πρόγραμμα ecotect η παραγωγή και το ποσοστό κάλυψης ηλεκτρικής ενέργειας φαίνεται στον πίνακα 8.

Πίνακας 8 : Μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ποσοστό κάλυψης ηλεκτρικών αναγκών, σενάριο 1γ

Μήνες	Παραγωγή Ενέργειας (kWh)	Ποσοστό κάλυψης ηλεκτρικής ενέργειας
Ιαν.	435,60	16,64%
Φεβ.	481,31	17,05%
Μαρ.	576,46	18,68%
Απρ.	656,94	30,08%
Μαϊ.	815,64	30,58%
Ιούν.	873,11	35,32%
Ιούλ.	978,49	72,01%
Αύγ.	962,82	61,70%
Σεπτ.	803,89	30,25%
Οκτ.	614,75	21,27%
Νοε.	471,81	16,97%
Δεκ.	444,92	20,63%

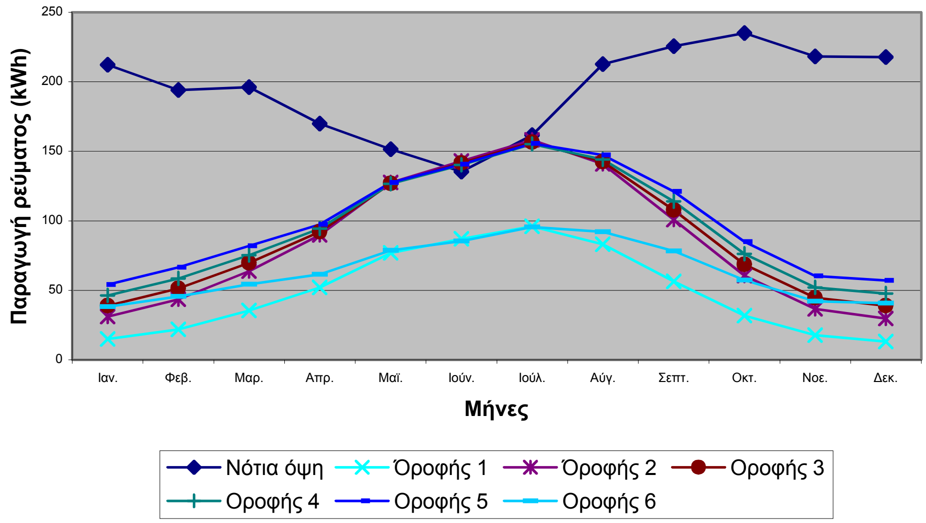
Σε ετήσια βάση, η κάλυψη από φωτοβολταϊκά στοιχεία φτάνει το 27,74 %

Στον πίνακα 9 φαίνεται η παραγωγή ενέργειας της κάθε ομάδας φωτοβολταϊκών στοιχείων

Πίνακας 9 : Μηνιαία παραγωγή επιμέρους ομάδας φωτοβολταϊκών (kWh), σενάριο 1γ

Μήνες	Νότια όψη	Οροφής 1	Οροφής 2	Οροφής 3	Οροφής 4	Οροφής 5	Οροφής 6
Ιαν.	212,22	14,98	31,00	38,84	46,17	54,06	38,31
Φεβ.	193,99	21,76	43,44	51,40	58,58	66,52	45,60
Μαρ.	196,11	35,35	63,74	69,76	75,24	81,93	54,32
Απρ.	169,78	52,05	89,84	92,14	94,34	97,33	61,43
Μαϊ.	151,38	76,88	127,48	126,89	126,56	127,63	78,79
Ιούν.	135,36	87,04	142,94	141,61	140,26	140,58	85,30
Ιούλ.	161,55	96,02	158,03	156,53	155,23	155,68	95,42
Αύγ.	212,80	83,20	140,77	142,54	144,21	147,23	92,05
Σεπτ.	225,58	56,39	100,89	107,72	113,95	121,08	78,24
Οκτ.	235,12	31,87	60,60	68,71	76,25	84,83	57,34
Νοε.	218,20	17,83	36,65	44,70	52,00	60,27	42,13
Δεκ.	217,75	13,02	29,65	38,99	47,64	57,06	40,77

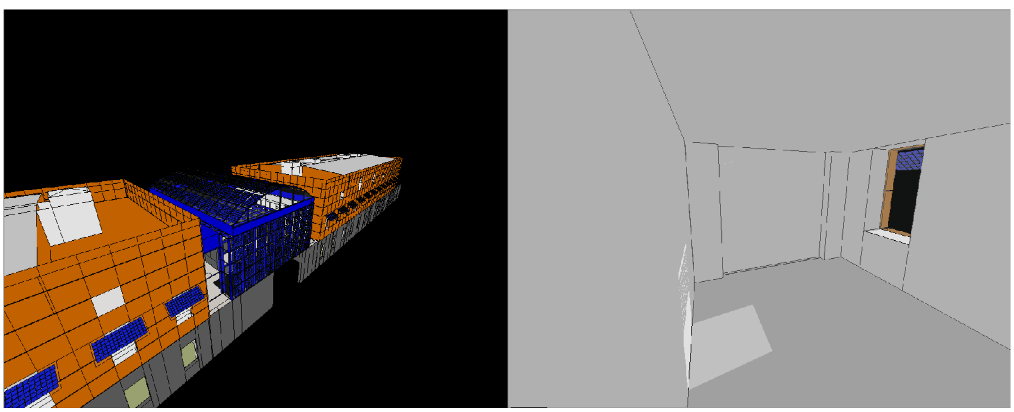
Η παραγωγή ενέργειας της κάθε ομάδας φωτοβολταϊκών φαίνεται στο διάγραμμα 4 :

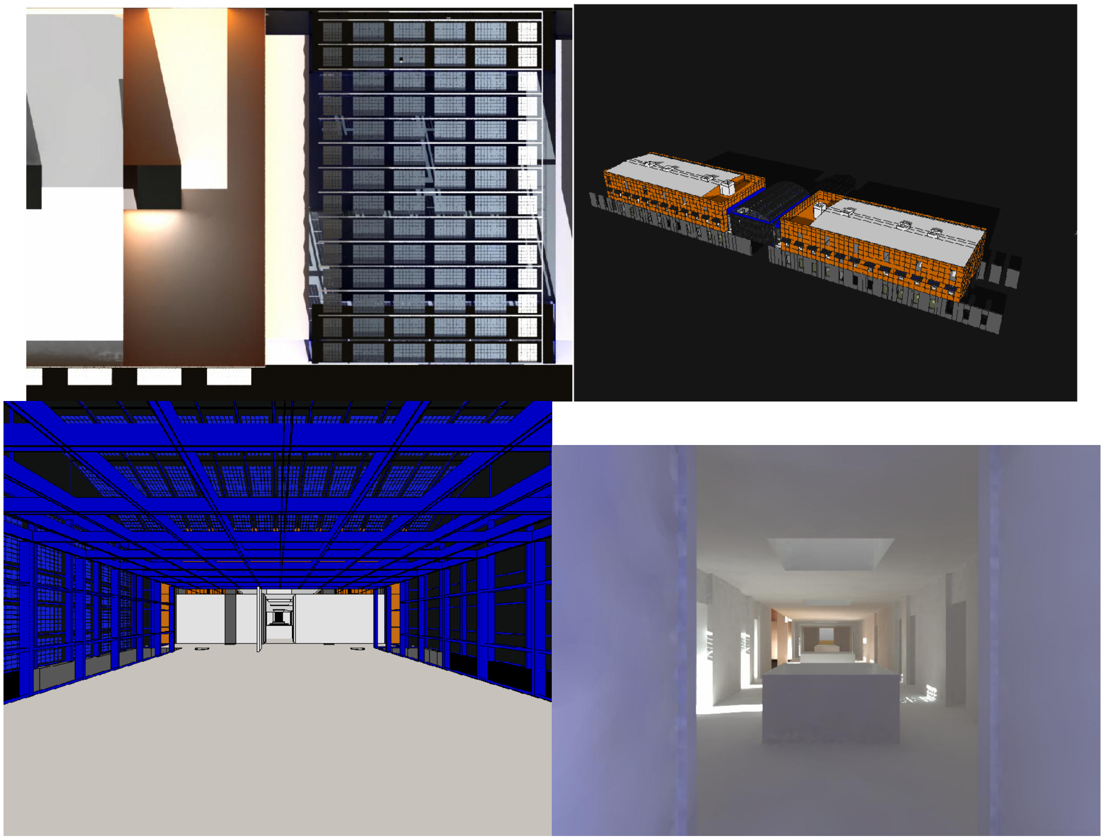


Διάγραμμα 4: Απεικόνιση της μηνιαίας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την κάθε ομάδας φωτοβολταϊκών, σύμφωνα με το σενάριο 1γ

5.4. Σενάριο 1δ: 75% φωτοβολταϊκή κάλυψη + φωτοβολταϊκά στα σκιάστρα

Το αισθητικό αποτέλεσμα τις ενσωμάτωσης φαίνεται στις εικόνες.35^{α} έως 35^{η}





Εικόνα 35^{α} – 35^{ζ} : Απόψεις του κτιρίου με τα φωτοβολταϊκά ενσωματωμένα σύμφωνα με το σενάριο 1δ

Επιλύνοντας το σενάριο αυτό λαμβάνονται αποτελέσματα σε παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και κατανάλωσης από τους λαμπτήρες του χώρου.

Τα αποτελέσματα της παραγωγής ρεύματος και το αντίστοιχο ποσοστό κάλυψης σε μηνιαία βάση φαίνεται στον πίνακα 10

Πίνακας 10 : Μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ποσοστό κάλυψης ηλεκτρικών αναγκών, σενάριο 1δ

Μήνες	Παραγωγή Ενέργειας (kWh)	Ποσοστό κάλυψης ηλεκτρικής ενέργειας
Ιαν.	934,79	35,70%
Φεβ.	1.082,79	38,36%
Μαρ.	1335,74	43,29%
Απρ.	1.580,87	72,38%
Μαϊ.	2018,71	75,68%
Ιούν.	2.177,14	88,07%
Ιούλ.	2432,85	179,04%
Αύγ.	2.353,70	150,83%
Σεπτ.	1.923,15	72,36%
Οκτ.	1.397,46	48,36%
Νοε.	1.027,89	36,96%
Δεκ.	955,89	44,33%

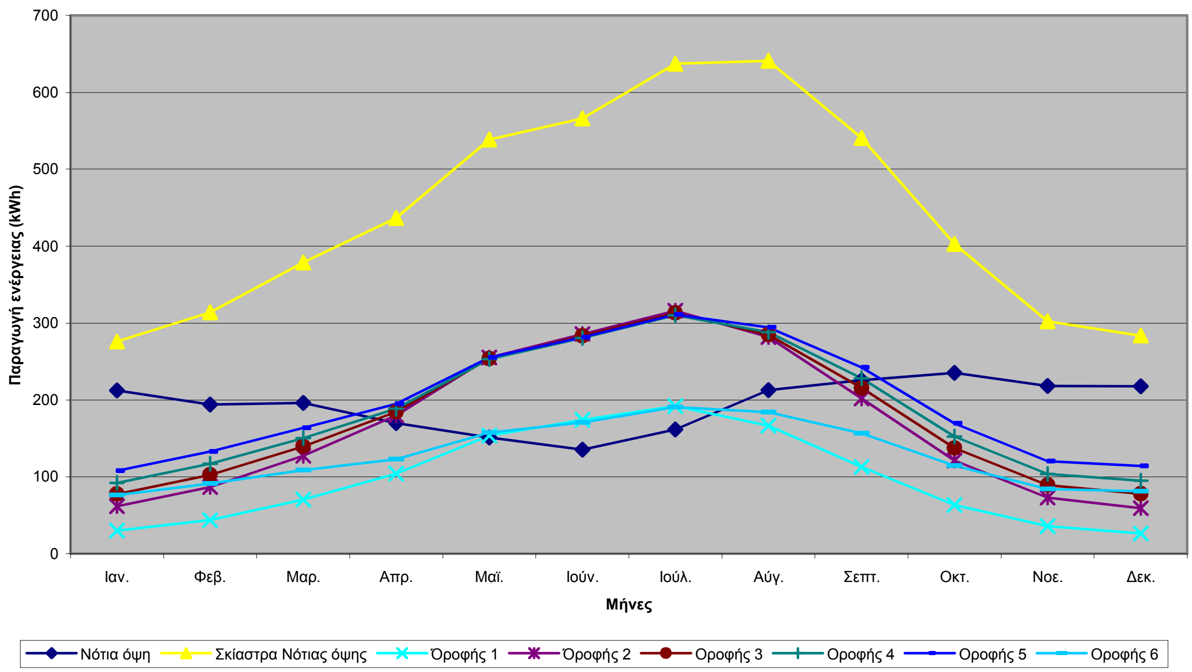
Σε ετήσια βάση το ποσοστό κάλυψης ηλεκτρικής ενέργειας φτάνει 65,70%

Στον πίνακα 11 φαίνεται η παραγωγή ενέργειας της κάθε ομάδας φωτοβολταϊκών στοιχείων

Πίνακας 11 : Μηνιαία παραγωγή επιμέρους ομάδας φωτοβολταϊκών (kWh), σενάριο 1δ

Μήνες	Νότια όψη	Σκίαστρα Νότιας όψης	Οροφής 1	Οροφής 2	Οροφής 3	Οροφής 4	Οροφής 5	Οροφής 6
Ιαν.	212,22	275,80	29,96	62,00	77,68	92,35	108,13	76,62
Φεβ.	193,99	314,16	43,52	86,88	102,80	117,16	133,05	91,21
Μαρ.	196,11	378,91	70,70	127,48	139,53	150,48	163,87	108,64
Απρ.	169,78	436,77	104,10	179,69	184,29	188,69	194,67	122,86
Μαϊ.	151,38	538,80	153,77	254,96	253,79	253,12	255,27	157,59
Ιούν.	135,36	566,28	174,09	285,8	283,22	280,53	281,16	170,61
Ιούλ.	161,55	637,41	192,05	316,07	313,06	310,47	311,36	190,84
Αύγ.	212,80	640,87	166,40	281,55	285,08	288,42	294,46	184,10
Σεπτ.	225,58	540,96	112,79	201,79	215,44	227,90	242,17	156,49
Οκτ.	235,12	403,08	63,75	121,21	137,42	152,51	169,66	114,68
Νοε.	218,20	302,47	35,67	73,31	89,40	104,00	120,55	84,26
Δεκ.	129,68	184,87	17,15	40,31	58,18	75,21	94,66	55,25

Τα αποτελέσματα του πίνακα 11 φαίνονται στο διάγραμμα 5 :



Διάγραμμα 5 : Απεικόνιση της μηνιαίας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την κάθε ομάδας φωτοβολταϊκών, σύμφωνα με το σενάριο 1δ

5.5. Σενάριο 2α: Μείωση κατανάλωσης με αλλαγή λαμπτήρων

Αλλάζοντας την ισχύ των λαμπτήρων που υπάρχουν στο κτίριο από 16 W σε 14 W, καταγράφονται στον πίνακα 12 οι νέες καταναλώσεις από τους λαμπτήρες στους χώρους του κτιρίου αλλά και την συνολική κατανάλωση.

Πίνακας 12 : Συνολική και επιμέρους κατανάλωση ρεύματος από τους λαμπτήρες μετά την αλλαγή με λαμπτήρες μικρότερης ισχύος

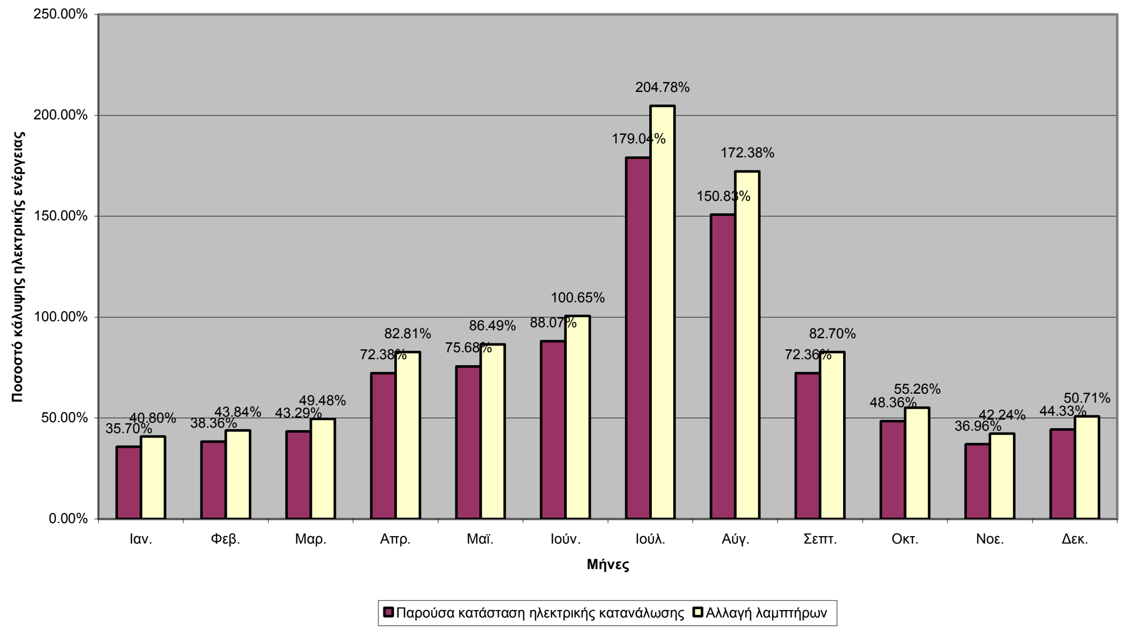
Μήνες	Συνολική Κατανάλωση Ρεύματος (kWh)	Κατανάλωση ρεύματος γραφεία (kWh)	Κατανάλωση ρεύματος εργαστήρια (kWh)	Κατανάλωση ρεύματος διάδρομοι (kWh)
Ιαν.	2.291,21	763,72	758,28	769,20
Φεβ.	2.469,91	810,06	838,65	821,18
Μαρ.	2.699,76	1.008	854,78	836,97
Απρ.	1.909,13	698,40	596,16	614,57
Μαϊ.	2.334,06	862,85	728,98	742,22
Ιούν.	2.163,00	806,40	685,44	671,16
Ιούλ.	1.188,04	409,20	357,72	421,12
Αύγ.	1.365,40	481,58	416,63	467,18
Σεπτ.	2.325,40	862,4	739,20	723,80
Οκτ.	2.528,68	948,64	798,33	781,70
Νοε.	2.433,20	911,68	768,76	752,75
Δεκ.	1.884,87	604,54	619,03	661,29

Η μείωση της συνολικής ετήσιας κατανάλωσης ρεύματος προκύπτει: 12,52 %. Το ποσοστό κάλυψης της ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία σε μηνιαία βάση στον πίνακα 13.

Πίνακας 13 : Μηνιαία παραγωγή, κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και ποσοστό κάλυψης ηλεκτρικών αναγκών μετά την αλλαγή λαμπτήρων, σενάριο 2α

Μήνες	Παραγωγή Ενέργειας (kWh)	Συνολική Κατανάλωση Ρεύματος (kWh)	Ποσοστό κάλυψης ηλεκτρικών αναγκών με αλλαγή λαμπτήρων
Ιαν.	934,79	2.291,21	40,80%
Φεβ.	1.082,79	2.469,91	43,84%
Μαρ.	1.335,70	2.699,76	49,48%
Απρ.	1.580,87	1.909,13	82,81%
Μαϊ.	2.018,71	2.334,06	86,49%
Ιούν.	2.177,14	2.163,00	100,65%
Ιούλ.	2.432,85	1.188,04	204,78%
Αύγ.	2.353,70	1.365,40	172,38%
Σεπτ.	1.923,15	2.325,40	82,70%
Οκτ.	1.397,46	2.528,68	55,26%
Νοε.	1.027,89	2.433,20	42,24%
Δεκ.	955,89	1.884,87	50,71%

Σε ετήσια βάση το ποσοστό κάλυψης προκύπτει 65,7 %. Γραφικά φαίνεται η σύγκριση της κάλυψης της ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά με τις παρούσες λάμπες και με την αλλαγή των λαμπτήρων στο διάγραμμα 6.



Διάγραμμα 6 : Σύγκριση μηνιαίας κάλυψης ηλεκτρικών αναγκών από φωτοβολταϊκά στοιχεία στην παρούσα κατάσταση και με αλλαγή λαμπτήρων μικρότερης ισχύος

5.6. Σενάριο 2β: Μείωση κατανάλωσης με αλλαγές στο χρονοδιάγραμμα λειτουργίας των λαμπτήρων

Πραγματοποιώντας τις αλλαγές στο χρονοδιάγραμμα όπως αναφέρεται στην ανάλυση των σεναρίων και ελέγχοντας την κατανάλωση του ρεύματος μέσω του ecotect προκύπτουν αποτελέσματα ως προς την κατανάλωση ηλεκτρισμού από τους λαμπτήρες όπως φαίνονται στον πίνακα 14.

Πίνακας 14 : Συνολική και επιμέρους κατανάλωση ρεύματος από τους λαμπτήρες μετά την αλλαγή χρονοδιαγράμματος λειτουργίας, σενάριο 2β

Μήνες	Συνολική Κατανάλωση Ρεύματος (KWh)	Κατανάλωση ρεύματος γραφεία (kWh)	Κατανάλωση ρεύματος εργαστήρια (kWh)	Κατανάλωση ρεύματος διάδρομοι (kWh)
Ιαν.	1.790,13	699,64	532,49	557,98
Φεβ.	1.926,63	766,98	580,60	579,04
Μαρ.	1.890,20	762,36	569,85	557,98
Απρ.	1.386,76	537,18	408,72	440,86
Μαϊ.	1.663,40	660,34	492,44	510,60
Ιούν.	1.383,85	569,88	411,26	402,69
Ιούλ.	837,62	303,49	234,07	300,04
Αύγ.	938,48	352,58	266,11	319,78
Σεπτ.	1.406,41	607,00	470,4	329
Οκτ.	1.509,48	673,76	508,03	327,68
Νοε.	1.454,69	647	489,21	318,47
Δεκ.	1.501,89	572,35	439,32	490,21

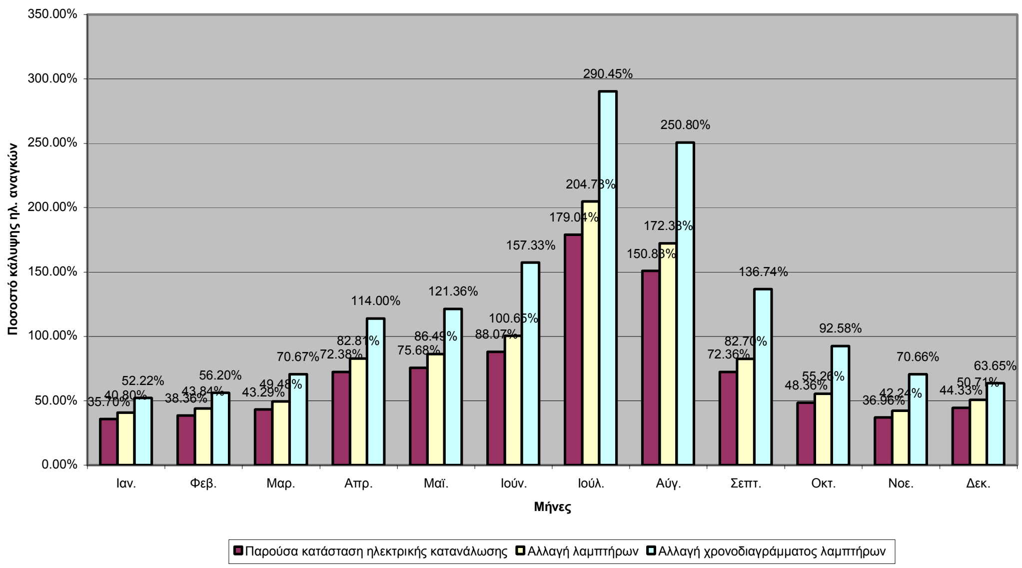
Η μείωση της συνολικής ετήσιας κατανάλωσης ρεύματος προκύπτει: 39,53 %. Το ποσοστό κάλυψης της ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία σε μηνιαία βάση παρουσιάζεται στον πίνακα 15

Πίνακας 15 : Σύγκριση μηνιαίου ποσοστού κάλυψης αναγκών από τα φωτοβολταϊκά με βάση τα σενάρια 1^{α}, 2^{α} 2^{β}

Μήνες	Παραγωγή Ενέργειας (kWh)	Ποσοστό κάλυψης ηλεκτρικής ενέργειας	Ποσοστό κάλυψης ηλεκτρικών αναγκών με αλλαγή λαμπτήρων	Ποσοστό κάλυψης ηλεκτρικών αναγκών με αλλαγές στο χρονοδιάγραμμα
Ιαν.	934.79	35.70%	40.80%	52.22%
Φεβ.	1082.79	38.36%	43.84%	56.20%
Μαρ.	1335.74	43.29%	49.48%	70.67%
Απρ.	1580.87	72.38%	82.81%	114.00%
Μαϊ.	2018.71	75.68%	86.49%	121.36%
Ιούν.	2177.14	88.07%	100.65%	157.33%
Ιούλ.	2432.85	179.04%	204.78%	290.45%
Αύγ.	2353.70	150.83%	172.38%	250.80%
Σεπτ.	1923.15	72.36%	82.70%	136.74%
Οκτ.	1397.46	48.36%	55.26%	92.58%
Νοε.	1027.89	36.96%	42.24%	70.66%
Δεκ.	955.89	44.33%	50.71%	63.65%

Σε ετήσια βάση το ποσοστό κάλυψης προκύπτει 108,66 %

Γραφικά φαίνεται η σύγκριση της κάλυψης της ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά με τις παρούσες λάμπες και με την αλλαγή των λαμπτήρων στο διάγραμμα 7.



Διάγραμμα 7 : Απεικόνιση μηνιαίου ποσοστού κάλυψης αναγκών από τα φωτοβολταϊκά με βάση τα σενάρια 1^{α}, 2^{α} 2^{β}

5.7. Σενάριο 3α: Προσανατολισμός του κτιρίου στον Βορρά

Στο υποθετικό σενάριο αυτό το κτίριο περιστρέφεται προς το βορρά και αναλύεται η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος και το ποσοστό κάλυψης επί των ηλεκτρικών αναγκών των λαμπτήρων. Στον πίνακα 16 εμφανίζεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και το ποσοστό κάλυψης της απαιτούμενης ενέργειας των λαμπτήρων, λαμβάνοντας υπόψη ότι οι λαμπτήρες λειτουργούν με βάση το σενάριο μειωμένης λειτουργίας.

Πίνακας 16 : Μηνιαία παραγωγή, ηλεκτρικής ενέργειας και ποσοστό κάλυψης ηλεκτρικών αναγκών με χωροθέτηση του κτιρίου στον Βορρά, σενάριο 3α

Μήνες	Παραγωγή Ενέργειας (kWh)	Ποσοστό κάλυψης ηλεκτρικής ενέργειας
Ιαν.	962,55	36,76%
Φεβ.	1.103,65	39,10%
Μαρ.	1.298,29	42,08%
Απρ.	1.478,18	67,68%
Μαϊ.	1.859,64	69,72%
Ιούν.	2.005,63	81,13%
Ιούλ.	2.245,82	165,28%
Αύγ.	2.187,87	140,20%
Σεπτ.	1.858,83	69,94%
Οκτ.	1.393,33	48,21%
Νοε.	1.050,49	37,78%
Δεκ.	993,28	46,06%

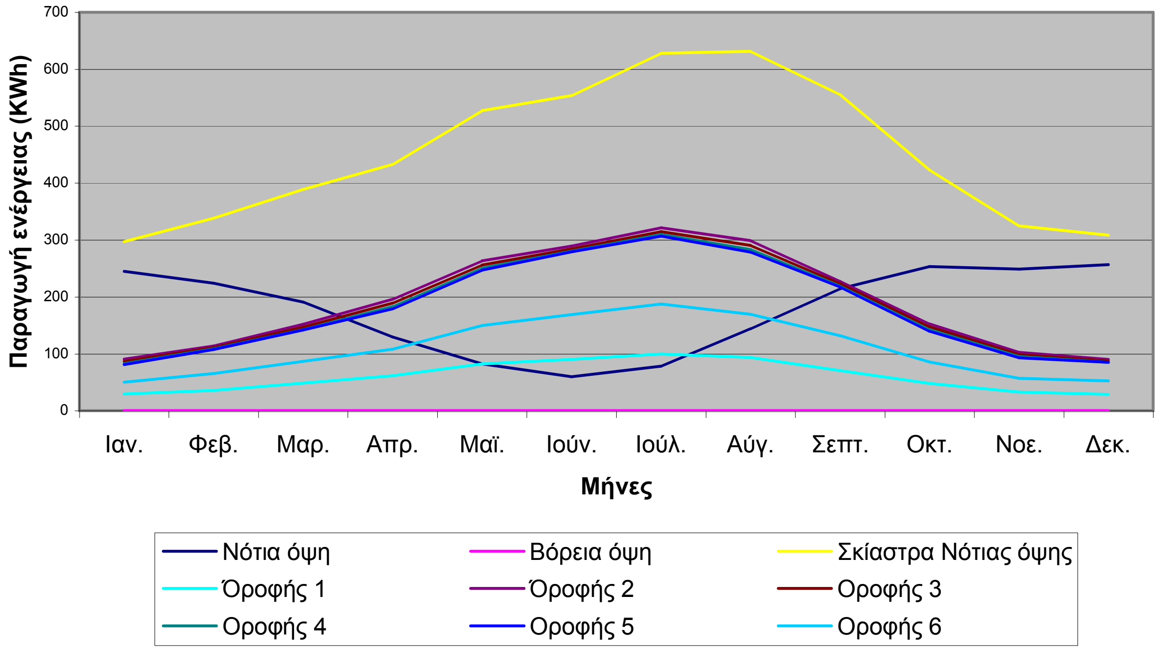
Σε ετήσια βάση το ποσοστό κάλυψης προκύπτει 104,23 %

Στον πίνακα 17 παρουσιάζεται την παραγωγή ενέργειας της κάθε ομάδας φωτοβολταϊκών στοιχείων

Πίνακας 17 : Μηνιαία παραγωγή επιμέρους ομάδας φωτοβολταϊκών (kWh), σενάριο 3α

Μήνες	Νότια όψη	Σκίαστρα Νότιας όψης	Οροφής 1	Οροφής 2	Οροφής 3	Οροφής 4	Οροφής 5	Οροφής 6
Ιαν.	245,02	297,21	29,28	90,52	86,67	82,95	81,14	49,74
Φεβ.	223,92	338,49	35,46	113,38	110,86	108,62	107,38	65,52
Μαρ.	191,25	388,99	48,43	151,56	147,02	142,63	141,48	86,91
Απρ.	128,97	432,84	61,46	195,87	189,15	182,85	178,97	108,05
Μαϊ.	82,53	526,84	82,52	263,56	256,31	250,68	247,03	150,15
Ιούν.	60,03	554,11	90,22	289,01	284,32	280,44	278,99	168,49
Ιούλ.	78,03	627,98	100,05	321,67	315,01	309,55	306,43	187,08
Αύγ.	144,04	631,15	93,48	298,83	290,10	282,71	278,22	169,31
Σεπτ.	213,93	555,07	70,67	227,33	223,30	219,07	217,56	131,89
Οκτ.	253,75	423,55	48,34	152,67	147,23	142,28	139,98	85,51
Νοε.	248,71	324,55	32,41	102,17	98,40	94,72	92,73	56,77
Δεκ.	256,41	308,35	28,44	90,20	87,62	85,06	84,65	52,52

Επίσης ο πίνακας φαίνεται στο διάγραμμα 8.



Διάγραμμα 8 : Απεικόνιση της μηνιαίας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την κάθε ομάδας φωτοβολταϊκών με προσανατολισμό του κτιρίου στο Βορρά

5.8. Σενάριο 3β: Προσανατολισμός του κτιρίου στην Ανατολή

Στον πίνακα 18 φαίνεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και το ποσοστό κάλυψης της απαιτούμενης ενέργειας των λαμπτήρων, λαμβάνοντας υπόψη ότι οι λαμπτήρες λειτουργούν με βάση το σενάριο μειωμένης λειτουργίας (Σενάριο 2β).

Πίνακας 18 : Μηνιαία παραγωγή, ηλεκτρικής ενέργειας και ποσοστό κάλυψης ηλεκτρικών αναγκών με χωροθέτηση του κτιρίου στην Ανατολή, σενάριο 3β

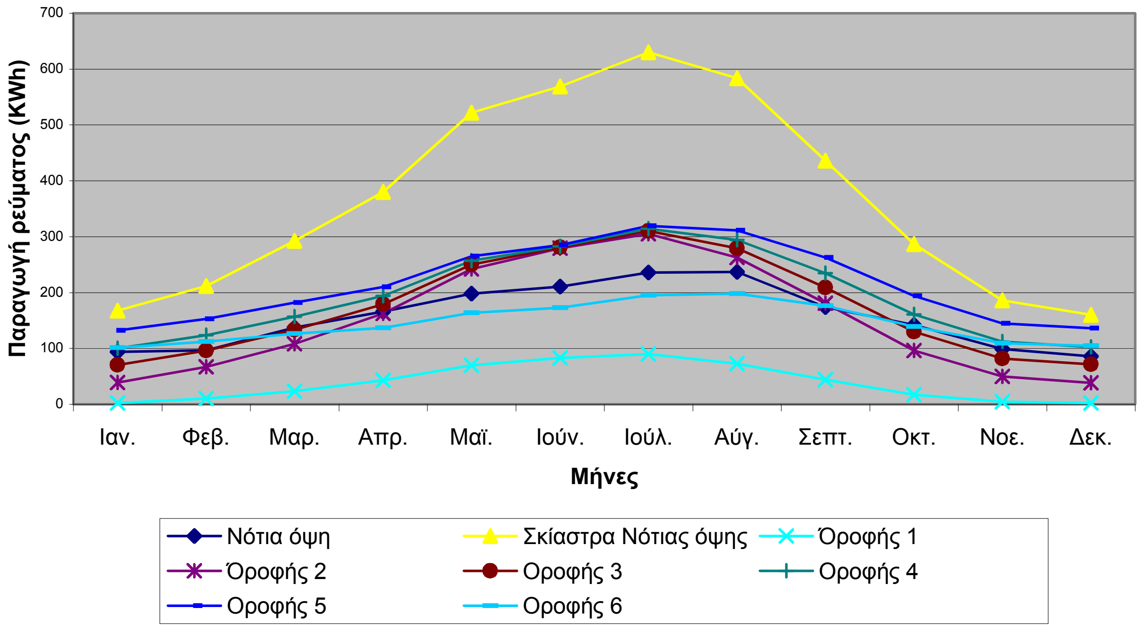
Μήνες	Παραγωγή Ενέργειας (kWh)	Ποσοστό κάλυψης ηλεκτρικών αναγκών
Ιαν.	706,48	26,98%
Φεβ.	871,04	30,86%
Μαρ.	1.160,27	37,60%
Απρ.	1471,85	67,39%
Μαϊ.	1968,30	73,79%
Ιούν.	2.164,82	87,57%
Ιούλ.	2.399,65	176,60%
Αύγ.	2.238,80	143,47%
Σεπτ.	1.717,98	64,64%
Οκτ.	1.165,36	40,33%
Νοε.	787,44	28,32%
Δεκ.	701,81	32,55%

Σε ετήσια βάση το ποσοστό κάλυψης προκύπτει 98,1 %. Στον πίνακα 19 βλέπουμε την παραγωγή ενέργειας της κάθε ομάδας φωτοβολταϊκών στοιχείων

Πίνακας 19 : Μηνιαία παραγωγή επιμέρους ομάδας φωτοβολταϊκών (kWh), σενάριο 3β

Μήνες	Νότια όψη	Σκίαστρα Νότιας όψης	Οροφής 1	Οροφής 2	Οροφής 3	Οροφής 4	Οροφής 5	Οροφής 6
Ιαν.	93,78	167,47	2,33	38,79	70,33	100,21	132,16	101,38
Φεβ.	96,97	211,68	10,29	67,15	96,37	123,70	152,85	112,00
Μαρ.	137,52	292,51	23,56	108,24	133,53	156,63	181,74	126,51
Απρ.	166,09	380,20	43,00	162,83	178,86	193,88	209,88	137,07
Μαϊ.	198,00	521,80	70,11	242,27	250,20	257,06	264,85	163,98
Ιούν.	210,91	569,16	83,17	279,39	281,26	282,92	285,19	172,80
Ιούλ.	235,75	629,95	89,95	305,31	310,01	314,38	319,31	194,97
Αύγ.	237,10	583,82	72,85	262,52	279,10	294,43	311,16	197,79
Σεπτ.	173,97	436,29	44,34	180,85	208,97	234,64	262,52	176,37
Οκτ.	141,79	286,70	17,23	96,15	129,68	160,69	193,76	139,34
Νοε.	99,04	186,04	4,592	49,63	81,83	112,22	144,62	109,45
Δεκ.	85,72	160,39	2,142	38,59	71,26	102,73	136,03	104,93

Ο πίνακας φαίνεται και στο διάγραμμα 9.



Διάγραμμα 9 : Απεικόνιση της μηνιαίας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την κάθε ομάδας φωτοβολταϊκών με προσανατολισμό του κτιρίου στην Ανατολή

5.9. Σενάριο 3γ: Προσανατολισμός του κτιρίου στην Δύση

Στον πίνακα 20 φαίνεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και το ποσοστό κάλυψης της απαιτούμενης ενέργειας των λαμπτήρων, λαμβάνοντας υπόψη ότι οι λαμπτήρες λειτουργούν με βάση το σενάριο μειωμένου χρονοδιαγράμματος λειτουργίας

Πίνακας 20 : Μηνιαία παραγωγή, ηλεκτρικής ενέργειας και ποσοστό κάλυψης ηλεκτρικών αναγκών με χωροθέτηση του κτιρίου στην Δύση, σενάριο 3γ

Μήνες	Παραγωγή Ενέργειας (kWh)	Ποσοστό κάλυψης ηλεκτρικών αναγκών
Ιαν.	590,29	22,54%
Φεβ.	781,16	27,67%
Μαρ.	1.053,08	34,13%
Απρ.	1.347,49	61,70%
Μαϊ.	1.856,72	69,61%
Ιούν.	2.088,33	84,48%
Ιούλ.	2.306,55	169,74%
Αύγ.	2.095,77	134,30%
Σεπτ.	1.603,46	60,34%
Οκτ.	1.031,44	35,69%
Νοε.	673,68	24,23%
Δεκ.	607,74	28,18%

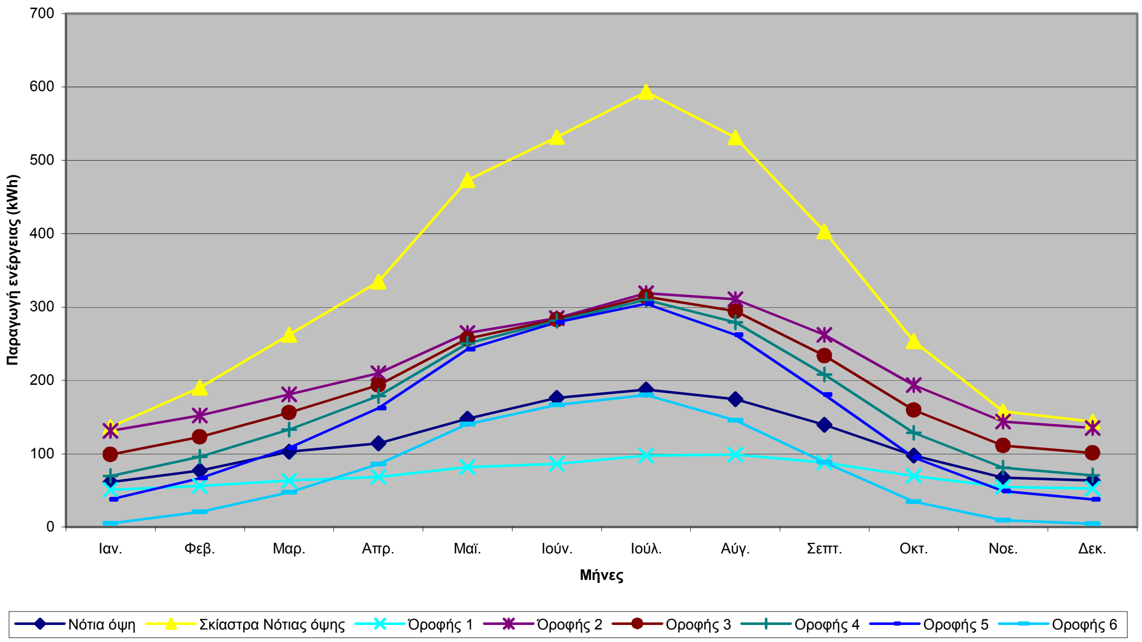
Σε ετήσια βάση το ποσοστό κάλυψης προκύπτει 90,65 %

Στον πίνακα 21 βλέπουμε την παραγωγή ενέργειας της κάθε ομάδας φωτοβολταϊκών στοιχείων

Πίνακας 21 : Μηνιαία παραγωγή επιμέρους ομάδας φωτοβολταϊκών (kWh), σενάριο 3γ

Μήνες	Νότια όψη	Σκίαστ. νότιας όψης	Οροφής 1	Οροφής 2	Οροφής 3	Οροφής 4	Οροφής 5	Οροφής 6
Ιαν.	61,0	136,2	50,6	131,2	99,0	69,7	37,6	4,6
Φεβ.	77,3	190,0	55,9	152,0	122,9	95,9	66,4	20,4
Μαρ.	102,8	262,0	63,1	180,9	156,1	133,0	107,9	46,9
Απρ.	114,3	334,8	68,4	209,4	193,4	178,5	162,3	85,9
Μαϊ.	147,8	472,9	81,9	264,4	256,8	250,1	242,2	140,3
Ιούν.	175,9	531,9	86,4	284,7	282,7	281,1	278,8	166,5
Ιούλ.	187,4	593,5	97,5	318,9	314,1	310,0	304,6	180,1
Αύγ.	174,3	531,2	98,7	310,6	294,0	278,9	261,9	145,7
Σεπτ.	139,4	403,3	88,0	262,0	233,7	208,1	180,3	88,3
Οκτ.	97,4	253,3	69,5	193,3	159,6	128,6	95,2	34,3
Νοε.	67,4	157,8	54,6	143,7	111,0	81,1	48,6	9,1
Δεκ.	63,1	143,8	52,3	135,0	101,1	70,6	37,2	4,2

Ο πίνακας φαίνεται επίσης και στο διάγραμμα 10 :



Διάγραμμα 10 : Απεικόνιση της μηνιαίας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την κάθε ομάδας φωτοβολταϊκών με προσανατολισμό του κτιρίου στην Δύση

6. Συζήτηση

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα από τα σενάρια που αναλύθηκαν παραπάνω θα κάνουμε για αρχή μία συγκέντρωσή τους στον πίνακα 22

Πίνακας 22 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αναλύσεων όλων των σεναρίων

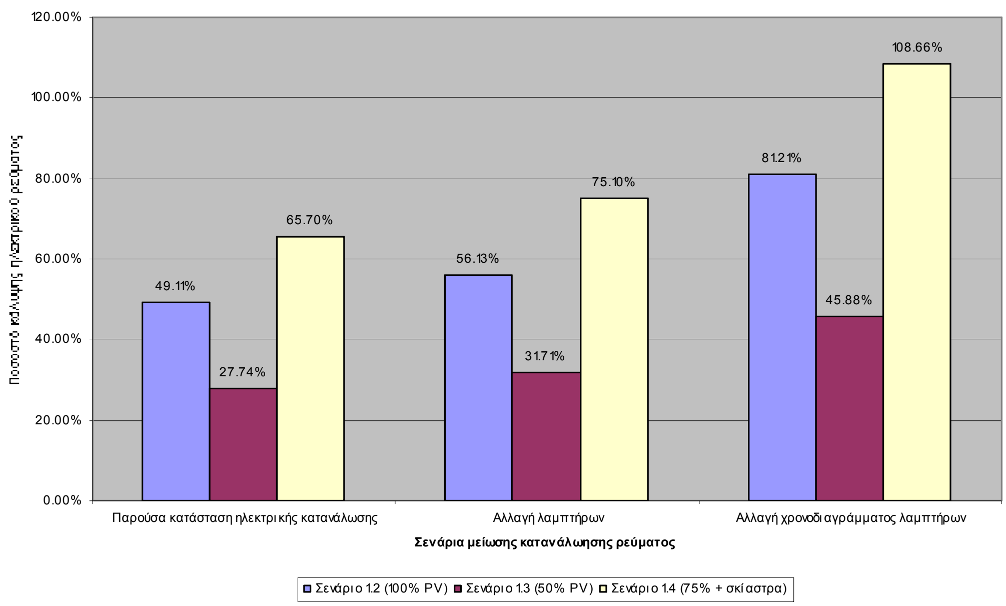
	Παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος (kWh)	**Ποσοστό κάλυψης με παρούσα κατανάλωση**	**Ποσοστό κάλυψης με αλλαγή λαμπτήρων**	**Ποσοστό κάλυψης με αλλαγή χρονοδιαγράμματος**
Καταναλώσεις (KWh)		29254,24	25.592,66	17.689,53
Παρούσα κατάσταση	0	0%	0%	0%
100% Φωτοβολταϊκή κάλυψη	14366,14	49,11%	56,13%	81,21%
50% Φωτοβολταϊκή κάλυψη	8115,78	27,74%	31,71%	45,88%
75% φωτοβολταϊκή +σκίαστρα	19221,03	65,70%	75,10%	108,66%
Προσανατολισμός του κτιρίου στον Βορρά	18437,62	63,03%	72,04%	104,23%
Προσανατολισμός του κτιρίου στην Ανατολή	17353,84	59,32%	67,81%	98,10%
Προσανατολισμός του κτιρίου στην Δύση	16035,77	54,82%	62,66%	90,65%

Με βάση τον πίνακα 22 παρατηρείται πως είναι δυνατή η κάλυψη στις ηλεκτρικές ανάγκες των λαμπτήρων υπό οποιοδήποτε σενάριο. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται, κέρδος από την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, μείωση της ρύπανσης της ατμόσφαιρας λόγω των λιγότερων εκπομπών ρύπων στο περιβάλλον, και κοινωνικά οφέλη από την προώθηση των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Διαπιστώνεται παράλληλα ότι η ενσωμάτωση είναι δυνατόν να γίνει χωρίς να υπάρχει αισθητική όχληση. Στα σενάρια $1^{β}$,$1^{γ}$,$1^{δ}$, από τις εικόνες παρατηρείται ότι δεν μειώνεται η εισαγωγή του φωτός στο χώρο και επιτυγχάνεται σκίαση τις μεσημεριανές ώρες όπου υπό τις παρούσες συνθήκες είναι απαραίτητη η χρήση τεχνητών μεθόδων σκίασης (βλ. εσωτερικά σκίαστρα). Ακόμη με τον σωστό σχεδιασμό του κτιρίου είναι εφικτές περαιτέρω αναλύσεις όπως θέρμανσης/ ψύξης. Παράλληλα συγκρίνοντας τα ποσοστά κάλυψης της ηλεκτρικής ενέργειας στην παρούσα κατάσταση και σε περίπτωση αλλαγής του χρονοδιαγράμματος λειτουργίας γίνεται κατανοητό πως με προσωπική συμβολή στην μείωση κατανάλωσης μπορεί να επιτευχτεί μεγάλο ποσοστό κάλυψης των ηλεκτρικών αναγκών των λαμπτήρων του κτιρίου, και να καλυφτούν και επιπλέον ηλεκτρικές ανάγκες του κτιρίου.

7. Συμπεράσματα

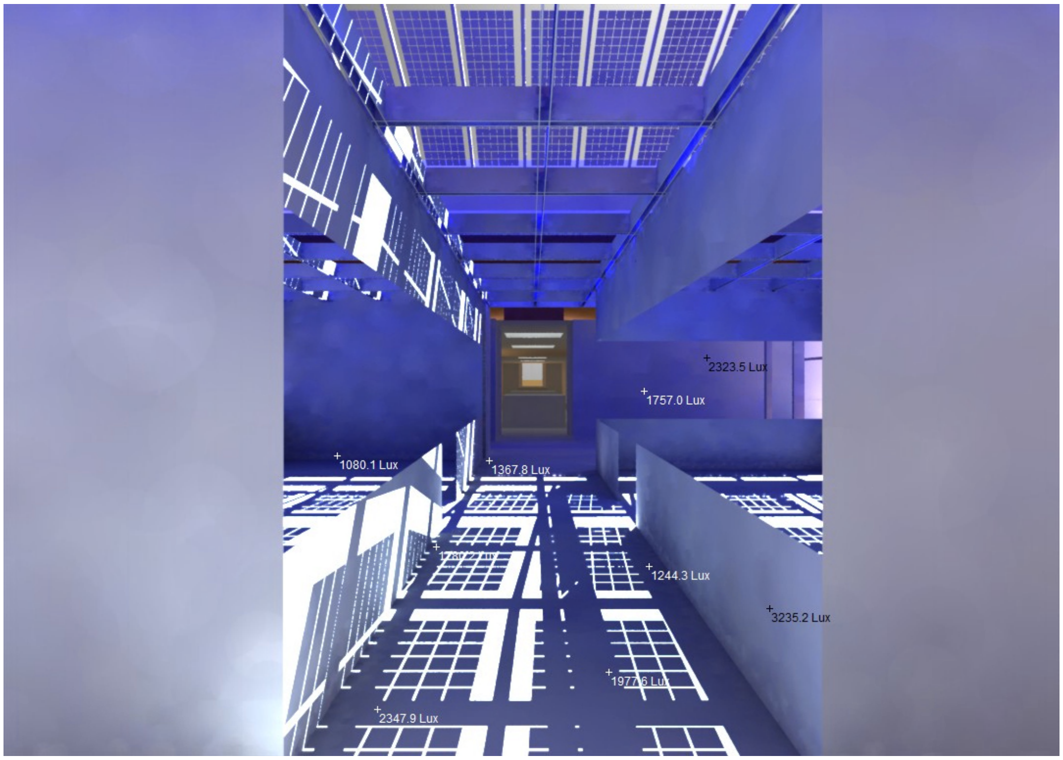
Μελετώντας προσεκτικά τα σενάρια, τα αποτελέσματα και το κεφάλαιο της συζήτησης μπορούμε να φτάσουμε σε κάποια συμπεράσματα.

- Είναι απαραίτητη η μείωση στην κατανάλωση ενέργειας αν πρέπει να έχουμε κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών από φωτοβολταϊκά στοιχεία αποκλειστικά. Στο διάγραμμα 11 φαίνεται η αύξηση του ποσοστού κάλυψης όταν γίνεται μείωση στην κατανάλωση ρεύματος.



Διάγραμμα 11 : Βελτίωση του ποσοστού κάλυψης ηλεκτρικών αναγκών λόγω μείωσης της κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος

- Τα φωτοβολταϊκά προς ενσωμάτωση δεν προκαλούν μείωση στον φωτισμό σε επίπεδα που να είναι απαραίτητη η χρήση λαμπτήρων τις μεσημεριανές ώρες. Η εικόνα 36 προέρχεται από το πρόγραμμα radiance και δείχνει την φωτεινότητα στον χώρο το μεσημέρι του καλοκαιριού



Εικόνα 36 : Φωτεινότητα του χώρου με ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών στοιχείων

- Τα στοιχεία των αναλύσεων επιβεβαιώνουν πως τα φωτοβολταϊκά πρέπει να είναι προσανατολισμένα στο Νότο. Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον σχεδιασμό νέων κτιρίων, και η οροφή ή οι μεγάλες επιφάνειες να έχουν προσανατολισμό στο νότο
- Τα φωτοβολταϊκά που είναι τοποθετημένα σε ανατολή και δύση έχουν περίπου την ίδια παραγωγή ενέργειας σε ετήσια βάση. Αυτό φαίνεται ξεκάθαρα στον πίνακα 23

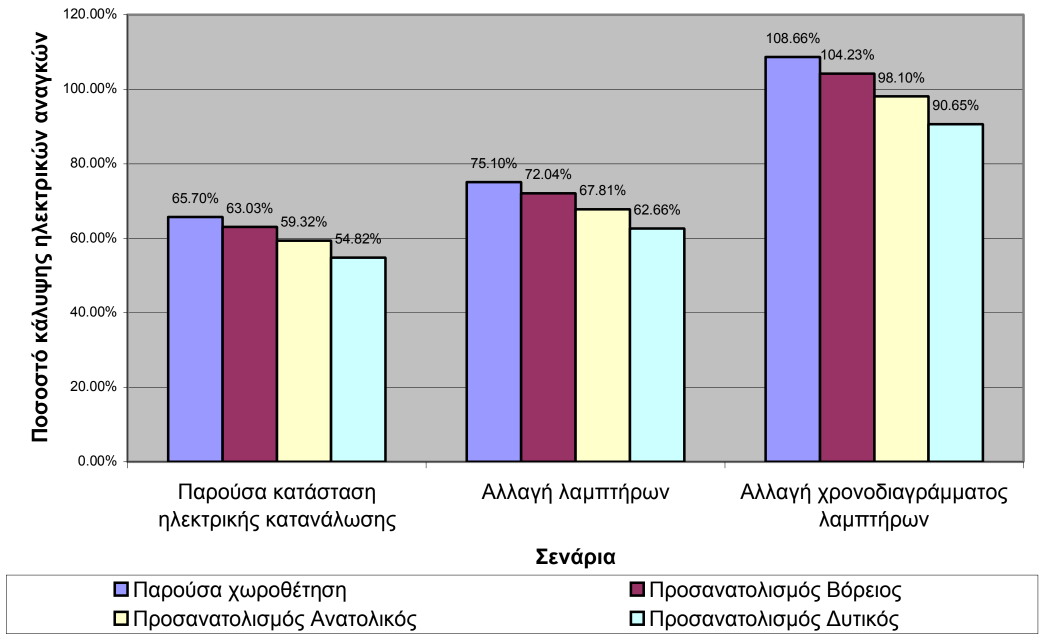
Πίνακας 23: Μηνιαία παραγωγή ενέργειας στοιχείων της οροφής όταν το κτίριο είναι προσανατολισμένο στον Βορρά (kWh)

	Οροφής 1	Οροφής 2	Οροφής 3	Οροφής 4	Οροφής 5	Οροφής 6
Ιαν.	29,28	90,52	86,67	82,95	81,14	49,74
Φεβ.	35,46	113,38	110,86	108,62	107,38	65,52
Μαρ.	48,43	151,56	147,02	142,63	141,48	86,91
Απρ.	61,46	195,87	189,15	182,85	178,97	108,05
Μαϊ.	82,52	263,56	256,31	250,68	247,03	150,15
Ιούν.	90,22	289,01	284,32	280,44	278,99	168,49
Ιούλ.	100,05	321,67	315,01	309,55	306,43	187,08
Αύγ.	93,48	298,83	290,10	282,71	278,22	169,31
Σεπτ.	70,67	227,33	223,30	219,07	217,56	131,89
Οκτ.	48,34	152,67	147,23	142,28	139,98	85,51
Νοε.	32,41	102,17	98,40	94,72	92,73	56,77
Δεκ.	28,44	90,20	87,62	85,06	84,65	52,52
Σύνολο	720,80	2.296,81	2.236,05	2.181,60	2.154,60	1.311,96

- Είναι εφικτή η σκίαση ενός χώρου (γραφεία καθηγητών) με ταυτόχρονη παραγωγή ρεύματος χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκά ενσωματωμένα σαν σκίαστρα. Το παρακάτω συμπέρασμα επαληθεύεται και από την εικόνα 37

Εικόνα 37: Εικόνα γραφείου πρώτου ορόφου όπου φαίνονται τα ενσωματωμένα φωτοβολταϊκά ως σκίαστρα και η σκίαση που προκαλούν στον χώρο

- Η παρούσα χωροθέτηση του κτιρίου ως προς τον Βορρά δείχνει να είναι καλή σε σύγκριση με μία θεωρητική χωροθέτησή του προς την Ανατολή ή προς την Δύση. Αυτό επιβεβαιώνεται και από το διάγραμμα 12**.**



Διάγραμμα 12 : Ποσοστό κάλυψης ηλεκτρικών αναγκών λαμπτήρων με βάση την χωροθέτηση του κτιρίου ως προς τον Βορρά και την κατανάλωση των λαμπτήρων

8. Βιβλιογραφία

1. G.C. Bakos, M. Soursos, N.F. Tsagas, “Technoeconomic assessment of a building integrated PV system for electrical energy savings in residential sector” Energy and buildings, Volume 35, Issue 8, Pages 757-762, September 2003

2. H. Maurus, M. Schmid, B. Blersch, P. Lechener and H. Schade “PV for buildings. Benefits and experiences with amorphous silicon in BIPV applications” Refocus, Volume 5, Issue 6, November- December 2004, Pages 22-27

3. Hagemann, “Pv in buildings – The influence of PV on the design and planning process of a building" Renewable Energy, vol. 8, Issues 1-4, pp. 467-470, May – August. 1996.

4. Joachim Benemann, Oussama Chehab, Eirc Schaar – Gabriel, “Building-integrated PV modules” Solar Energy Materials & Solar Cells, Volume 67, Issues 1-4, March 2001, Pages 345-354

5. T. Schoen, D. Prasad, P. Toggweiler, P.Eiffert-Taylor and H.Sorensen “Status report of task VII of the IEA Program: PV in building” Renewable Energy, vol. 15, Issues 1-4, pp. 251-256, September – December. 1998.

6. Tom Markvart & Luis Castaner “Practical Hanbook of photovoltaics Fundamentals and applications” Amsterdam: Elsevier, 2003, Page 733

7. C.L. Cheng, C.Y. Chan, C.L. Chen “Empirical approach to BIPV evaluation of solar irradiation for building applications” Renewable Energy, vol. 30, pages 1055 – 1074, 2005

8. Ricardo Ruther, Paulo Jose Knob, Caolina da Silva Jardim, Samuel Hilario Rebechi “Potential of building integrated photovoltaic solar energy generators in

assisting daytime peaking feeders in urban areas in Brazil" Energy conversion and Management, 2007

9. P.W. Wong, Y. Shimoda, M. Nonaka, M. Inoue, M. Mizuno "Semi-transparent PV: Thermal performance, power generation, daylight modeling and energy saving potential in a residential application" Renewable energy, 2007

10. http://www.pvdatabase.org/, May/2008

11. http://www.ecotect.com/, September/2007

12. http://www.trnsys.com/, September/2007

13. http://www.simcad.com/, September/2007

14. http://usa.autodesk.com/, September/2007

15. http://radsite.lbl.gov, September/2007

16. http://www.squ1.com/products/weathertool, September/2007

17. http://www.msk.ne.jp, December/2007

18. http://www.cler.org/info/, January/2008

19. http://www.dei.gr/, November/2007