



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ ΣΤΟ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΧΩΡΟΥ ΓΡΑΦΕΙΩΝ**

Μάντζαρης Θεοφάνης

Επιβλέποντες καθηγητές:

Καρακασίδης Θεόδωρος, Καθηγητής Τ.Π.Μ, Π.Θ
Τσαγκρασούλης Αριστείδης, Τ.Α.Μ, Π.Θ

ΒΟΛΟΣ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2019



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΥΑΛΟΠΙΑΚΩΝ ΣΤΟ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΧΩΡΟΥ ΓΡΑΦΕΙΩΝ**

Μάντζαρης Θεοφάνης

Εγκρίθηκε από την Τριμελή Επιτροπή στη 01/07/2019

Καρακασίδης Θεόδωρος, Καθηγητής Τ.Π.Μ, Π.Θ

Λιακόπουλος Αντώνιος, Καθηγητής Τ.Π.Μ, Π.Θ

Τσαγκρασούλης Αριστείδης, Καθηγητής Τ.Α.Μ, Π.Θ

ΒΟΛΟΣ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2019

Σε όσους με αγαπούν και με στήριξαν στο έργο
και τον αγώνα μου,

Η οικογένεια μου και οι καθηγητές μου.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σε μία εποχή που η ανάγκη χρήσης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας(Α.Π.Ε) καθίσταται επιτακτική για το περιβάλλον και τον άνθρωπο, η χρήση φωτοβολταϊκών υαλοπινάκων αποτελεί ένα σημαντικό μέτρο προς την ενεργειακή αυτονομία των κτιρίων. Στη παρούσα Διπλωματική Εργασία παρατέθηκε η σημαντική συνεισφορά των φωτοβολταϊκών υαλοπινάκων στο ενεργειακό ισοζύγιο ενός χώρου γραφείου, όσο και η ενεργειακή εξοικονόμηση από το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα αυτών.

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία χωρίζεται πρακτικώς σε δύο μέρη. Το πρώτο περιλαμβάνει μία βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικώς με το σύγχρονο ενεργειακό πρόβλημα, όσο και τις διάφορες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών σήμερα, ενώ στο δεύτερο και βασικό μέρος μελετάται η περίπτωση του χώρου γραφείου μας με τη βοήθεια των λογισμικών “DesignBuilder” και “RETScreen Expert”.

Όσον αφορά τα περιεχόμενα, στο **1^ο Κεφάλαιο: «Κτίρια και Ενέργεια»** είχαμε μία αναδρομή σχετικώς με τη χρησιμοποιούμενη ενέργεια από την αρχαιότητα μέχρι και τη νεότερη εποχή φτάνοντας στο σήμερα, με την ενεργειακή και περιβαλλοντική κρίση. Παράλληλα έγινε αναφορά στις Α.Π.Ε σε κτίρια, ενώ έγινε εκτενής παρουσίαση των ενεργειακών καταναλώσεων των κτιρίων. Τέλος παρατέθηκαν το νομοθετικό πλαίσιο, όσο και μακροπρόθεσμοι στόχοι στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

Στο 2^ο Κεφάλαιο: «Ενεργειακό Ισοζύγιο» παρουσιάστηκε το ενεργειακό ισοζύγιο στην Ευρώπη και τη χώρα μας όσο και το κτιριακό ενεργειακό ισοζύγιο.

Στο 3^ο Κεφάλαιο: «Φ/Β σε Υαλοπίνακες» έγινε μία παρουσίαση των διαφόρων τύπων φωτοβολταϊκών που υπάρχουν στο εμπόριο σήμερα, όσο κυρίως και η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών σε υαλοπίνακες.

Στο 4^ο Κεφάλαιο: «Μελέτη περίπτωσης Γραφείου στην Αθήνα για διάφορα W.W.R μεγέθη thin film υαλοπίνακα» είχαμε το υπό μελέτη γραφείο μας για τα διάφορα ανοίγματα φωτοβολταϊκών υαλοπινάκων, για διαφορετικές διαπερατότητες όσο και τα αποτελέσματα της μελέτης.

Στο 5^ο Κεφάλαιο: «Μελέτη των οικονομικών στοιχείων του χώρου γραφείου» έγινε μία πρότυπη προσέγγιση του αρχικού κόστους επένδυσης και εφαρμογής τέτοιων υαλοπινάκων, όσο και η χρονική περίοδος αποπληρωμής και ετήσιας εξοικονόμησης ενέργειας και χρημάτων.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ειλικρινώς τους καθηγητές που με βοήθησαν στην ολοκλήρωση του παρόντος έργου μου, Καρακασίδη.Θ και Τσαγκρασούλη. Α. για τις πολύτιμες συμβουλές και διορθώσεις τους καθ’ όλη τη διάρκεια της μελέτης και συγγραφής, αλλά κυρίως για τις γνώσεις, την υπομονή και το θάρρος που μου δίδαξαν από κοινού και θα με συνοδεύουν για όλη μου τη ζωή. Φυσικά τίποτα δε θα ήταν εξ’ αρχής δυνατόν δίχως τη συμβολή και στήριξη της οικογένειας μου, τόσο υλικής όσο κυρίως ψυχικής. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω και

όλους τους καθηγητές μου συνολικά από την αρχή της ακαδημαϊκής μου πορείας στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η χρήση υαλοπινάκων στις σύγχρονες κτιριακές δομές εξυπηρετεί διπλό ρόλο, αφού αφενός αυξάνει το αίσθημα της οπτικής άνεσης των χρηστών και της καλαισθησίας του κτιρίου, ενώ αφετέρου συνεισφέρει σημαντικά στο ενεργειακό του ισοζύγιο. Το τελευταίο, επιτυγχάνεται μέσω των βασικών θερμοφυσικών ιδιοτήτων των σύγχρονων υαλοπινάκων, όσο και τη δυνατότητας παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος με τη χρήση της προσπίπτουσας σε αυτούς ηλιακής ακτινοβολίας. Με τον τρόπο αυτό, έχουμε μία εξοικονόμηση τόσο χρημάτων, όσο και ενέργειας μέσω του περιορισμού χρήσης ορυκτών πόρων για την κάλυψη των αναγκών του κτιρίου, οδηγώντας παράλληλα στη προστασία του περιβάλλοντος. Βασικός στόχος αποτελεί η ανάγκη αποδοχής μέτρων όπως η χρήση τέτοιων ενεργειακών υαλοπινάκων τόσο για την εξοικονόμηση χρημάτων, αλλά κυρίως λόγω της ανάγκης να οδηγηθούμε στην ενεργειακή αυτονομία των νέων κτιρίων και της προστασίας του περιβάλλοντος.

Συγκεκριμένα, μελετήθηκε η συνεισφορά ενός διπλού υαλοπίνακα φωτοβολταϊκής τεχνολογίας στο ενεργειακό ισοζύγιο ενός χώρου γραφείων. Για το σκοπό αυτό, μελετήσαμε το ενεργειακό του ισοζύγιο για διάφορα ανοίγματα υαλοπινάκων με διαφορετικές διαπερατότητες κάθε φορά. Η μελέτη αυτή πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό “DesignBuilder”. Μάλιστα, για το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα από τις φωτοβολταϊκές κυψέλες των υαλοπινάκων πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό της εταιρείας “OnyxSolar”, αλλά και με το λογισμικό RETScreen προς επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων.

Στο πλαίσιο της μελέτης μας αναζητήσαμε τον υαλοπίνακα αυτόν που τελικά θα οδηγεί αφενός μεν στη χαμηλότερη πρωτογενή κατανάλωση ενέργειας και αφετέρου στο αποδοτικότερο ετήσιο ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας βάσει του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος. Έπρεπε λοιπόν να βρεθεί μία χρυσή τομή σχετικώς με το ποιο άνοιγμα υαλοπίνακα θα είχε τις χαμηλότερες πρωτογενείς καταναλώσεις, ελεγχόμενο κάθε φορά για διαφορετική διαπερατότητα και φυσικά τί παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος θα είχαμε κάθε φορά από το συνδυασμό αυτών.

Ως κύριο συμπέρασμα της παρούσας μελέτης αποτελεί το γεγονός ότι τελικώς, παρά το αρχικό του κόστος, ένας φωτοβολταϊκής τεχνολογίας υαλοπίνακας μπορεί αφενός μεν να οδηγεί σε χαμηλότερες πρωτογενείς καταναλώσεις και αφετέρου σε εξοικονόμηση ενέργειας λόγω της ικανότητας του παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Η συνεισφορά του τέλος στην προσπάθεια απεξάρτησης από τους συμβατικούς πόρους για θέρμανση και καθαρό ηλεκτρικό ρεύμα, όσο και εν τέλει στην ενεργειακή αυτονομία των κτιρίων, κρίνεται σημαντική και πρέπει να αποτελεί βάση για το μέλλον στην ευρύτερη προσπάθεια ενεργειακής εξέλιξης και προστασίας του περιβάλλοντος.

Λέξεις Κλειδιά

Φωτοβολταϊκός υαλοπίνακας, ενεργειακό ισοζύγιο, διαπερατότητα, πρωτογενής κατανάλωση, παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, εξοικονόμηση ενέργειας, ηλιακή ακτινοβολία, ενέργεια, κτίρια, περιβάλλον.

ABSTRACT

The use of glass in modern building infrastructures serves a double role, on the one hand, increasing the sense of visual comfort of the users and the beauty of the building, while contributing significantly to its energy balance. The latter is achieved through the basic thermophysical properties of modern glass panes and the capability of generating electricity by the use of the incident solar radiation. In this way, we save both money and energy by limiting the use of mineral resources to meet the building's needs, while at the same time we're protecting the environment. The main objective is the need to adopt measures such as the use of such energy glass for saving money, but mainly because of the need to lead to the energy autonomy of new buildings and the protection of the environment.

In particular, the contribution of a double photovoltaic glazing technology to the energy balance of an office space has been studied. For this purpose, we have studied its energy balance for various glass openings with different transparencies at a time. This study was carried out with the "DesignBuilder" software. Also, for the electricity generated by the photovoltaic glass panes, it was completed with the software "OnyxSolar" and the RETScreen software so that the results were confirmed.

In our study, we searched for this glass pane, which would ultimately lead to lower primary energy consumption and, on the other hand, to the most efficient annual energy savings rate based on the electricity produced. So there had to be a golden incision as to which window glass would have the lowest primary consumption, monitored each time with different transparency and of course what electricity we would have each time by the combination of both.

The main conclusion of this study is that eventually, despite its initial cost, a photovoltaic glass panel technology can both lead to a lower primary consumption and energy savings thanks to its ability to generate electricity. Finally, the contribution towards the effort to redeem from conventional resources for heating and clean electricity and also towards to the ultimately energy autonomy of buildings, is important and should be the basis for the future in the broader energy endeavor and environmental protection.

Key Words

Photovoltaic pane, energy balance, transparency, primary energy, electricity production, energy savings, solar radiation, energy, buildings, environment.

Περιεχόμενα

1 ^ο Κεφάλαιο.....	1
ΚΤΙΡΙΑ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	1
1.1 Ιστορική Αναδρομή.....	1
1.2 Α.Π.Ε σε Κτίρια	2
1.3 Ενεργειακή Κατανάλωση Κτιρίων	5
1.4 Κτίρια Χαμηλής ή Μηδενικής Κατανάλωσης Ενέργειας.....	17
1.4.1 Εισαγωγή στα Κτίρια Χαμηλής ή Μηδενικής Κατανάλωσης Ενέργειας	17
1.4.2 Βασικές Μέθοδοι προς την επίτευξη ZEB ή NZEB κτιρίων.....	18
1.4.3 Κατηγοριοποίηση κτιρίων μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας	21
1.4.4 Ισχύουσα Κατάσταση στην Ελλάδα	22
2 ^ο Κεφάλαιο.....	3
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ	3
2.1 Εισαγωγή.....	3
2.1.1 Ενεργειακό ισοζύγιο στην Ευρώπη	3
2.3 Ενεργειακό ισοζύγιο στην Ελλάδα.....	4
2.2 Διεθνές Ενεργειακό Ζήτημα και Επιπτώσεις	4
2.3 Θερμικό Ισοζύγιο	10
2.4 Νομοθετικό Πλαίσιο και Μακροπρόθεσμοι Στόχοι	16
3 ^ο Κεφάλαιο.....	19
Φ/Β ΣΕ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΕΣ	19
3.1 Ορισμός Φωτοβολταϊκών Συστημάτων	19
3.2 Η Λειτουργία του Φ/Β στοιχείου-κυψέλης	20
3.3 Τύποι Φωτοβολταϊκών Συστημάτων.....	21
.....	25
3.4 Τύποι Φωτοβολταϊκών Πλαισίων.....	26
3.5 Φωτοβολταϊκοί Υαλοπίνακες.....	28
4 ^ο Κεφάλαιο.....	44
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΓΡΑΦΕΙΟΥ ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ W.W.R ΜΕΓΕΘΗ THIN FILM ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑ	44
4.1 Εισαγωγή και Ορισμός Παραμέτρων Προγράμματος.....	44
4.2 Υαλοπίνακες Φωτοβολταϊκοί (Openings)	50
4.3 Αποτελέσματα Προσομοίωσης του προγράμματος DesignBuilder	57

4.3.1 Αποτελέσματα Ετήσιου Θερμικού Ισοζυγίου	57
4.4 Αποτελέσματα Παραγόμενης Φωτοβολταϊκής Ενέργειας σε kWh.....	62
4.4.1 Παραγόμενη Φωτοβολταϊκή Ενέργεια βάσει εργαλείων υπολογισμού της OnyxSolar.....	63
4.4.2 Παραγόμενη Φωτοβολταϊκή Ενέργεια βάσει του υπολογιστικού προγράμματος RETScreen Expert	64
4.4.3 Εξαγόμενοι Πίνακες και Διαγράμματα	67
4.4.4 Αποτελέσματα Προσομοίωσης διπλών υαλοπινάκων.....	72
4.5 Σχολιασμός και Παρατηρήσεις Αποτελεσμάτων Προσομοίωσης.....	74
5 ^ο Κεφάλαιο.....	77
ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΟΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ ΓΡΑΦΕΙΟΥ	77
5.1 Εισαγωγή	77
5.2 Επιλογή του Υαλοπίνακα Οικονομικής Μελέτης	77
5.3 Βασικές Παράμετροι Οικονομικής Μελέτης	78
5.4 Εφαρμογή Οικονομικής Μεθοδολογίας και Υπολογισμός Ετήσιας Εξοικονόμησης	81
5.5 Σύγκριση με μη Φ/Β Υαλοπίνακες και Αποτελέσματα.....	83
Βιβλιογραφικές Αναφορές	88

Ευρετήριο Γραφημάτων

Γράφημα 1. Κτιριακό απόθεμα Ελλάδος, Πηγή. ΥΠΕΝ, 2018.....	5
Γράφημα 2. Ποσοστιαία(%) κατανομή συνολικής κατανάλωσης ενέργειας ανά νοικοκυριό 2011-2012, Πηγή. ΕΛΣΤΑΤ, 2013.....	6
Γράφημα 3. Ποσοστιαία(%) κατανομή συνολικής κατανάλωσης ενέργειας ανά κτίριο, Πηγή. EUROSTAT, 2016.....	6
Γράφημα 4. Κατανομή(%) Τελικής Ενεργειακής κατανάλωσης ανά χρήση για το έτος 2016, Πηγή. ΥΠΕΝ, 2018.....	7
Γράφημα 5. Τελική Ενεργειακή Κατανάλωση σε διάφορους τομείς για την Ευρωπαϊκή Ένωση, Πηγή. EUROSTAT, 2018.....	8
Γράφημα 6. Ποσοστιαία Ενεργειακή Κατανομή Κατανάλωσης σε διάφορους τομείς για τη χώρα μας, Πηγή. EUROSTAT, 2018.....	9
Γράφημα 7. Κατανομή(%) Κατανάλωσης Ηλεκτρικής Ενέργειας για τους διάφορους τομείς χρήσης για το έτος 2016, Πηγή. ΥΠΕΝ, 2018.....	10
Γράφημα 8. Μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανά νοικοκυριό 2011-2012, Πηγή. ΕΛΣΤΑΤ, 2013.....	11
Γράφημα 9. Ποσοστό Εξοικονόμησης βάσει τύπου ανακαίνισης του κτιριακού αποθέματος, Πηγή. ΥΠΕΝ, 2018.....	14
Γράφημα 10. Ποσοστό(%) παγκόσμιας κατανάλωσης πετρελαίου ισχυρών χωρών και της Ευρώπης σε εκατομμύρια βαρέλια ανά ημέρα για το 2016, Πηγή. U.S. Energy Information Administration, 2016.....	6
Γράφημα 11. Ποσοστό(%) κατανάλωσης φυσικού αερίου ισχυρών χωρών και της Ευρώπης σε δισεκατομμύρια κυβικά πόδια για το έτος 2016, Πηγή. U.S. Energy Information Administration, 2016.....	6
Γράφημα 12. Ποσοστό(%) κατανάλωσης πετρελαίου σε εκατομμύρια βαρέλια ανά ημέρα μεταξύ των 5 ισχυρότερων κρατών της Ευρώπης και της χώρας μας για το 2016, Πηγή. Eurostat, 2018.....	7
Γράφημα 13. Ποσοστό(%) κατανάλωσης φυσικού αερίου σε δισεκατομμύρια κυβικά πόδια ανά ημέρα μεταξύ των 5 ισχυρότερων κρατών της Ευρώπης και της χώρας μας για το 2016, Πηγή. Eurostat, 2018.....	8
Γράφημα 14. Ποσοστιαία συμμετοχή εκπομπών CO ₂ για το 2017 στην Υφήλιο, Πηγή. Global Carbon Atlas, 2017.....	9
Γράφημα 15. Ποσοστιαία συμμετοχή εκπομπών CO ₂ για το 2017 στην Ευρωπαϊκή Ένωση, Πηγή. Global Carbon Atlas, 2017.....	10
Γράφημα 16. Ποσοστιαία(%) Κατανομή Ενέργειας κατά τη Τελική Χρήση, Πηγή. ΥΠΕΝ, 2018.....	11
Γράφημα 17. Ποσοστό(%) διαφόρων τύπων θερμομόνωσης τις κατοικίες, Πηγή. ΕΛΣΤΑΤ, 2013.....	12
Γράφημα 18. Ποσοστό(%) διαφόρων τρόπων παροχής Ζ.Ν.Χ, Πηγή. ΕΛΣΤΑΤ, 2013.....	13
Γράφημα 19. Ποσοστό(%) χρήσης συστημάτων ψύξης, Πηγή. ΕΛΣΤΑΤ, 2013.....	13
Γράφημα 20. Ποσοστιαία(%) Κατανομή Κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, Πηγή. ΕΛΣΤΑΤ, 2013.....	14
Γράφημα 21. Ολική Πρωτογενής Κατανάλωση Ενέργειας για τις διάφορες διαπερατότητες υαλοπίνακα, Πηγή. Ο Συντάξας.....	61
Γράφημα 22. Συγκριτική Ετήσια Παραγόμενη Φωτοβολταϊκή Ενέργεια, Πηγή. Ο Συντάξας.....	66
Γράφημα 23. Ποσοστιαία (%) Απόδοση Φωτοβολταϊκών Χαμηλής Διαπερατότητας, Πηγή. Ο Συντάξας.....	68
Γράφημα 24. Ποσοστιαία (%) Απόδοση Φωτοβολταϊκών Μέσης Διαπερατότητας, Πηγή. Ο Συντάξας.....	68

Γράφημα 25. Ποσοστιαία (%) Απόδοση Φωτοβολταϊκών Υψηλής Διαπερατότητας, Πηγή. Ο Συντάξας	69
Γράφημα 26. Ποσοστιαία (%) Απόδοση Φωτοβολταϊκών για Low/Medium/High Transparency Υαλοπίνακες, Πηγή. Ο Συντάξας.....	69
Γράφημα 27. Ποσοστιαία (%) Απόδοση Φωτοβολταϊκών επί των Ενεργειακών Αναγκών για Φωτισμό για Low/Medium/High Transparency Υαλοπίνακες, Πηγή. Ο Συντάξας	71
Γράφημα 28. Ποσοστιαία (%) Απόδοση Φωτοβολταϊκών επί των Ενεργειακών Αναγκών για Φωτισμό και Ψύξη για Low/Medium/High Transparency Υαλοπίνακες, Πηγή. Ο Συντάξας	72
Γράφημα 29. Σύγκριση αναγκών φορτίων για θέρμανση των Tint και Elec υαλοπινάκων, Πηγή. Ο Συντάξας.....	74

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1. Μερίδιο (%) της ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές στην Ευρωπαϊκή Ένωση των 27 ως προς την ολική τελική ενεργειακή τους κατανάλωση, Πηγή. Eurostat, 2017.....	4
Εικόνα 2. Μερίδιο (%) της ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές κρατών της Ευρώπης και της χώρας μας ως προς την ολική τελική ενεργειακή τους κατανάλωση, Πηγή. Eurostat, 2017.....	4
Εικόνα 3. Κλιματικές Ζώνες της Ελλάδος, Πηγή. KENAK, 2016.....	19
Εικόνα 4. Φωτοβολταϊκή Διάταξη και Λειτουργία, Πηγή. T.E.E, 2009.....	21
Εικόνα 5. Μη Ενσωματωμένα Φ/Β σε Δώμα, Πηγή. https://bit.ly/2EuXZGb	22
Εικόνα 6. Ενσωματωμένα Φ/Β σε Δώμα, Πηγή: https://bit.ly/2SzCIjS	23
Εικόνα 7. Ενσωματωμένα Φ/Β σε στέγη, Πηγή: https://bit.ly/2EuXZGb	23
Εικόνα 8. Ενσωματωμένα Φ/Β σε Αίθρια και Ανοίγματα Οροφής, Πηγή: https://bit.ly/2SzCIjS	24
Εικόνα 9. Μη Ενσωματωμένα Φ/Β σε Πρόσοψη, Πηγή: https://bit.ly/2SzCIjS	24
Εικόνα 10. Ενσωματωμένα Φ/Β σε Πρόσοψη, Πηγή: https://bit.ly/2SzCIjS	25
Εικόνα 11. Πάνελ Μονοκρυσταλλικού Πυριτίου, Πηγή: https://bit.ly/2B3FVEF	26
Εικόνα 12. Πάνελ Πολυκρυσταλλικού Πυριτίου, Πηγή: https://bit.ly/2M7AqT	27
Εικόνα 13. Πάνελ Λεπτού Υμενίου, Πηγή: https://bit.ly/2nuB9Xe	27
Εικόνα 14. Υβριδικό Πάνελ, Πηγή: https://bit.ly/2vCNfIP	28
Εικόνα 15. Αναπαράσταση Πορείας Φωτός, Πηγή: https://bit.ly/2H0yVKT	31
Εικόνα 16. Τομή Φωτοβολταϊκού Υαλοπίνακα, Πηγή. Solar facades: A review, 2015.....	34
Εικόνα 17. Δομή Φωτοβολταϊκού Υαλοπίνακα Άμορφου Πυριτίου, Πηγή. Διαδίκτυο, 30/3/2019.....	35
Εικόνα 18. Ενεργειακή παραγωγή για τους διάφορους προσανατολισμούς για Νότο, Νοτιοανατολικά & Νοτιοδυτικά και Ανατολικά & Δυτικά για όλο το έτος, Πηγή. ZHU Li, WANG Peng et al.,2018....	37
Εικόνα 19. Ευαισθησία επηρεασμού εξοικονόμησης ενέργειας βάσει των 3 προαναφερθέντων παραμέτρων, Πηγή. ZHU Li, WANG Peng et al.,2018.....	38
Εικόνα 20. Συγκριτική Απόδοση Φωτοβολταϊκών Τεχνολογίας Άμορφου Πυριτίου και Κρυσταλλικού τύπου ως προς τη πυκνότητα της Ηλιακής Ακτινοβολίας Πηγή. Polysolar, 2018.....	38
Εικόνα 21. Συγκριτική Απόδοση Φωτοβολταϊκών Τεχνολογίας Άμορφου Πυριτίου και Κρυσταλλικού τύπου ως προς την θερμοκρασία που αναπτύσσεται σε αυτά, για το Ηνωμένο Βασίλειο, Πηγή. Polysolar, 2018.....	39
Εικόνα 22. Σύγκριση θερμοκρασιών του φωτοβολταϊκού και του συμβατικού υαλοπίνακα μελέτης, Πηγή. Jun Han, Lin Lu et al. 2012.....	40
Εικόνα 23. Επίδραση της φωτοβολταϊκής παραγωγής λόγω αύξησης της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του υαλοπίνακα, Πηγή. Jun Han, Lin Lu et al. 2012.....	41
Εικόνα 24. Μεταβολή διαπερατότητας για τα διάφορα μήκη κύματος λ, Πηγή. Solar façades: A review, Chi-Ming Lai a, Shuichi Hokoi , 2015.....	43
Εικόνα 25. Προσομοίωμα Ανάλυσης στο DesignBuilder, Πηγή. Ο Συντάξας.....	45
Εικόνα 26. Χρήσεις κτιρίων προς εύρεση πυκνότητας, Πηγή. KENAK, 2016.....	45
Εικόνα 27. Πρόγραμμα λειτουργίας χώρου γραφείου με το DesignBuilder, Πηγή. Ο Συντάξας.....	46
Εικόνα 28. Συστήματα εξαερισμού, Πηγή. Διαδίκτυο(30/1/2019).....	48
Εικόνα 29. Πρόγραμμα λειτουργίας χώρου γραφείου του DesignBuilder για τη θέρμανση, Πηγή Ο Συντάξας.....	49
Εικόνα 30. Πρόγραμμα λειτουργίας χώρου γραφείου του DesignBuilder για τη ψύξη, Πηγή Ο Συντάξας.....	49
Εικόνα 31. Πίνακας Κλιματικών Ζωνών, Πηγή: Τεχνική Οδηγία Κ.ΕΝ.Α.Κ, 2017.....	53

Εικόνα 32. Πίνακας Γ.1 μέγιστων τιμών συντελεστή θερμοπερατότητας, Πηγή: Κ.ΕΝ.Α.Κ, 2017	53
Εικόνα 33. Πίνακας ιδιοτήτων Άμορφου Υαλοπίνακα Χαμηλής Διαπερατότητας, Πηγή: https://www.onyxsolar.com/product-services/technical-specifications	54
Εικόνα 34. Πίνακας ιδιοτήτων Άμορφου Υαλοπίνακα Μέσης Διαπερατότητας, Πηγή: https://www.onyxsolar.com/product-services/technical-specifications	55
Εικόνα 35. Πίνακας ιδιοτήτων Άμορφου Υαλοπίνακα Χαμηλής Διαπερατότητας, Πηγή: https://www.onyxsolar.com/product-services/technical-specifications	55
Εικόνα 36. Εισαγωγή υαλοπίνακα μελέτης μας στο DesignBuilder, Πηγή. Ο Συντάξας	56
Εικόνα 37. Ανοίγματα υαλοπίνακα για διάφορα W.W.R, Πηγή. Ο Συντάξας.....	57
Εικόνα 38. Εισαγωγή δεδομένων στο λογισμικό RETScreen προς υπολογισμό της φωτοβολταϊκής παραγωγής, Πηγή. Ο Συντάξας	65

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1. Τελική(%) Ενεργειακή Κατανάλωση σε διάφορους τομείς για την Ευρωπαϊκή Ένωση, Πηγή. EUROSTAT, 2018	8
Πίνακας 2. Τελική(%) Ενεργειακή Κατανάλωση σε διάφορους τομείς για τη χώρα μας, Πηγή. EUROSTAT, 2018	9
Πίνακας 3. Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας(GWh) και Κατανομή(%) αυτών για τους διάφορους τομείς χρήσης για το έτος 2016, Πηγή. ΥΠΕΝ, 2018.	9
Πίνακας 4. Μέτρα Εξοικονόμησης Ενέργειας για το ελληνικό κτιριακό απόθεμα, Πηγή. ΥΠΕΚΑ, 2014	12
Πίνακας 5. Ποσοστό Εξοικονόμησης Βάσει Τύπου Ανακαίνισης Κτιριακού Αποθέματος, Πηγή. ΥΠΕΝ, 2018.	14
Πίνακας 6. Εκατομμύρια βαρέλια πετρελαίου ανά ημέρα και ποσοστό κατανομής στις ισχυρότερες χώρες του κόσμου και στην Ευρώπη, Πηγή. U.S. Energy Information Administration, 2016	5
Πίνακας 7. Δισεκατομμύρια κυβικά πόδια φυσικού αερίου για το έτος 2016 και ποσοστό κατανομής στις ισχυρότερες χώρες του κόσμου και στην Ευρώπη, Πηγή. U.S. Energy Information Administration, 2016	6
Πίνακας 8. Εκατομμύρια βαρέλια πετρελαίου ανά ημέρα και ποσοστό κατανομής στις ισχυρότερες χώρες της Ευρώπης για το έτος 2016, Πηγή. Eurostat, 2018	7
Πίνακας 9. Δισεκατομμύρια κυβικά πόδια φυσικού αερίου και ποσοστό κατανομής στις ισχυρότερες χώρες της Ευρώπης για το έτος 2016, Πηγή. Eurostat, 2018	8
Πίνακας 10. Ποσοστό(%) χρήσης διαφορετικών τύπων θερμομόνωσης, Πηγή. ΕΛΣΤΑΤ, 2013	12
Πίνακας 11. Μέσα παροχής Z.N.X, Πηγή. ΕΛΣΤΑΤ, 2013	12
Πίνακας 12. Ποσοστό(%) χρήσης συστημάτων ψύξης, Πηγή. ΕΛΣΤΑΤ, 2013	13
Πίνακας 13. Στάθμη γενικού (όχι ειδικού) φωτισμού κτηρίου αναφοράς ανά χρήση κτηρίου σύμφωνα με το EN 12464-1 2011, Πηγή. Τεχνική Οδηγία, ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟΥ ΕΛΛΑΔΑΣ, Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017.	47
Πίνακας 14. Διαστάσεις υαλοπινάκων μελέτης για τα διάφορα W.W.R., Πηγή. Ο Συντάξας	57
Πίνακας 15. Ενεργειακό Ισοζύγιο Αναγκών για τα διάφορα W.W.R για Υαλοπίνακα Χαμηλής Διαπερατότητας, Πηγή. Ο Συντάξας.	58
Πίνακας 16. Ενεργειακό Ισοζύγιο Αναγκών για τα διάφορα W.W.R για Υαλοπίνακα Μέσης Διαπερατότητας, Πηγή. Ο Συντάξας.	58
Πίνακας 17. Ενεργειακό Ισοζύγιο Αναγκών για τα διάφορα W.W.R για Υαλοπίνακα Υψηλής Διαπερατότητας, Πηγή. Ο Συντάξας.	59
Πίνακας 18. Συντελεστές Αναγωγής Τελικής σε Πρωτογενή Κατανάλωση Ενέργειας, Πηγή. KENAK, 2017.	60
Πίνακας 19. Πρωτογενής Ολική Κατανάλωση Ενέργειας για τα διάφορα ανοίγματα υαλοπίνακα(W.W.R), Πηγή. Ο Συντάξας	60
Πίνακας 20 .Τελική Κατανάλωση Ενέργειας(kWh) και μετατροπή σε Πρωτογενή(kWh/m ²) με Χρήση συντελεστών KENAK για τα διάφορα W.W.R για Υαλοπίνακες Χαμηλής, Μέσης και Υψηλής Διαπερατότητας, Πηγή. Ο Συντάξας.	61
Πίνακας 21. Ετήσια Αποτελέσματα παραγόμενης φωτοβολταϊκής ενέργειας, Πηγή. Ο Συντάξας	64
Πίνακας 22. Ετήσια αποτελέσματα φωτοβολταϊκής παραγωγής του RETScreen, Πηγή. Ο Συντάξας .	65
Πίνακας 23. Ολικό Ποσοστό(%) εξοικονόμησης των φωτοβολταϊκών υαλοπινάκων διαφορετικής διαπερατότητας για κάθε άνοιγμα (W.W.R), Πηγή. Ο Συντάξας	68

Πίνακας 24. Ποσοστό(%) εξοικονόμησης ενέργειας για φωτισμό για κάθε τύπο διαπερατότητας υαλοπίνακα για κάθε άνοιγμα(W.W.R), Πηγή. Ο Συντάξας.....	70
Πίνακας 25. Ποσοστό(%) εξοικονόμησης ενέργειας για φωτισμό & ψύξη για κάθε τύπο διαπερατότητας υαλοπίνακα για κάθε άνοιγμα(W.W.R), Πηγή. Ο Συντάξας	71
Πίνακας 26. Αποτελέσματα ετήσιου θερμικού ισοζυγίου για τον Tint υαλοπίνακα, Πηγή. Ο Συντάξας	73
Πίνακας 27. Αποτελέσματα ετήσιου θερμικού ισοζυγίου για τον Elec υαλοπίνακα, Πηγή. Ο Συντάξας	73
Πίνακας 28. Σύγκριση θερμοφυσικών ιδιοτήτων μεταξύ του συνόλου των υαλοπινάκων μελέτης μας, Πηγή. Ο Συντάξας	76
Πίνακας 29.Ετήσιο Κόστος σε βάθος 20ετίας, Πηγή. Ο Συντάξας.....	84
Πίνακας 30. Ετήσιο Κόστος σε βάθος 20ετίας, για το χαμηλής διαπερατότητας υαλοπίνακα της OnyxSolar Πηγή. Ο Συντάξας.....	85
Πίνακας 31. Ετήσιο Κόστος σε βάθος 20ετίας, για το μέσης διαπερατότητας υαλοπίνακα της OnyxSolar Πηγή. Ο Συντάξας.....	85
Πίνακας 32. Ετήσιο Κόστος σε βάθος 20ετίας, για τον υψηλής διαπερατότητας υαλοπίνακα της OnyxSolar Πηγή. Ο Συντάξας.....	85
Πίνακας 33. Ετήσιο Κόστος σε βάθος 20ετίας, για τον DbI LoE Tint υαλοπίνακα Πηγή. Ο Συντάξας	86
Πίνακας 34. Ετήσιο Κόστος σε βάθος 20ετίας, για τον DbI LoE Elec υαλοπίνακα Πηγή. Ο Συντάξας	86
Πίνακας 35. Ολικό ετήσιο Κόστος, Πηγή. Ο Συντάξας	87

1^ο Κεφάλαιο

ΚΤΙΡΙΑ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

1.1 Ιστορική Αναδρομή

Ήδη από την αρχαιότητα, που άρχισαν να σχηματίζονται οι πρώτες προϊστορικές ανθρώπινες κοινωνίες, η ανάγκη για κατασκευή καταλυμάτων ήταν επιτακτική για την επιβίωση. Κύριος σκοπός αυτών των καταλυμάτων, ήταν η προστασία του ανθρώπου από τα έντονα καιρικά φαινόμενα, όπως η ακραία ζέστη και το δριμύ ψύχος. Μέσα στα πρώτα αυτά χρόνια, ο άνθρωπος αξιοποίησε όλα τα φυσικά αγαθά δόμησης που του παρείχε η φύση, όπως η ξυλεία, ο πηλός, οι πέτρες, τα άχυρα, τα κεραμίδια κλπ.

Ωστόσο, ακολουθώντας την εξελικτική του πορεία, άνθρωπος οδηγήθηκε σε αναβαθμισμένες τεχνικές σχεδιασμού που αφορούσαν την καλύτερη αξιοποίηση των φυσικών αγαθών του περιβάλλοντος. Ήδη, από την αρχαία Ελλάδα, σώζονται κείμενα του Ξενοφώντος και του Σωκράτη τα οποία καταμαρτυρούν την προσπάθεια δημιουργίας οικιών συγκεκριμένου τρόπου κατασκευής και προσανατολισμού, για την καλύτερη και αρμονικότερη διαβίωση του ανθρώπου. Σύμφωνα με το Σωκράτη, ο προσανατολισμός της κάθε οικίας έπρεπε να είναι προς το Νότο με την αντίστοιχη πρόσοψη με τα ανοίγματα υπερυψωμένη, ώστε να μην εμποδίζεται ο χειμερινός ήλιος, ενώ η βόρεια όψη έπρεπε να είναι χαμηλότερη προκειμένου να υπάρχει προστασία έναντι των ψυχρών ανέμων.

Η συνεχής τεχνολογική εξέλιξη με την Βιομηχανική Επανάσταση του 19^{ου} αιώνα ωστόσο, οδήγησαν στο ξεκίνημα μια διαρκούς και συνεχιζόμενης Βιομηχανικής ανάπτυξης και ρύπανσης του περιβάλλοντος με την καύση ορυκτών καυσίμων. Αυτό, οδήγησε σταδιακά στη δημιουργία του Φαινομένου του Θερμοκηπίου με εξαιρετικά αρνητικές συνέπειες για το περιβάλλον, αλλά και τον άνθρωπο. Σήμερα, η ανάγκη για καταστολή των δυσμενών συνθηκών της κλιματικής αλλαγής, επιτάσσει την εύρεση νέων μορφών ενέργειας, όπως οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε) οι οποίες αφορούν στην εκμετάλλευση κυρίως του ανέμου και του ήλιου. Στόχος, είναι η δόμηση τέτοιων κτιριακών μονάδων που όχι μόνο να έχουν μειωμένο περιβαλλοντικό αντίκτυπο, αλλά κυρίως να μπορούν να αυτοεξυπηρετούνται ενεργειακά, μέσα από οικολογικές λύσεις που δε μολύνουν άμεσα (ή έμμεσα) το περιβάλλον στο οποίο αναπτύσσονται.

1.2 Α.Π.Ε σε Κτίρια

Δεδομένου ότι τα αποθέματα πετρελαίου και φυσικού αερίου μπορούν δυνητικά να καλύψουν τις ανθρώπινες ανάγκες για τα επόμενα περίπου 50 και 70 έτη αντίστοιχα, οδηγούν αναπόφευκτα στην ανάγκη για λήψη νέων μεθόδων ενεργειακών υποδομών. Οι κτιριακές δομές (οικίες, γραφεία), που αντλούν και το μεγαλύτερο ποσοστό των ενεργειακών αναγκών καλύπτονται σήμερα από τις συμβατικές πηγές, όπως το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Ωστόσο, δεδομένης και της σταδιακής ελάττωσης τους, οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε), αποτελούν μία αναγκαία λύση, θεωρούμενες πρακτικώς ανεξάντλητες. Το ποσοστό της παραγόμενης ενέργειας από Α.Π.Ε ως προς την τελική κατανάλωση εμφανίζει διαρκώς αυξητικές τάσεις. Στο σχέδιο δράσης που εκπονήθηκε από το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (Υ.ΠΕ.Ν.), εκτιμάται ότι το ποσοστό χρήσης Α.Π.Ε για τις κτιριακές δομές έως το 2020 θα πρέπει να καλύπτει ένα ποσοστό της τάξης του 30%. Βάσει του άρθρου 9 του ν. 4122/2013 βάσει του οποίου ενσωματώθηκε η Οδηγία 2010/31/ΕΕ στο εθνικό δίκαιο, είχαμε σύμφωνα με το Υ.ΠΕ.Ν. ότι μετά το 2020, όλα τα νέα κτίρια θα πρέπει να είναι κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης. Η ενέργεια αυτή που απαιτείται για την κάλυψη των αναγκών θα πρέπει να καλύπτεται στο μεγαλύτερο ποσοστό ή στο σύνολο της από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Μάλιστα, η Οδηγία αυτή επιβάλλει το ίδιο μέτρο να ισχύσει από 1-1-2019 για κάθε νεόδμητο δημόσιο κτίριο.

Στα ευρωπαϊκά και κυρίως στα ελληνικά κτίρια όπου έχουμε μεγάλη ηλιοφάνεια γίνεται όσο το δυνατόν μεγαλύτερη προσπάθεια εκμετάλλευσης του ηλιακού φωτός στο πλαίσιο χρήσης των Α.Π.Ε. Σήμερα, η τεχνολογία έχει αναπτυχθεί σε πολύ σημαντικά επίπεδα, επιτρέποντας την ενσωμάτωση συστημάτων παραγωγής Ανανεώσιμων Πηγών, όσο και της ανάπτυξης διαφόρων μεθόδων για εξοικονόμηση ενέργειας.

Ορισμένα τέτοια συστήματα είναι:

- Ενσωμάτωση Φωτοβολταϊκών Στοιχείων στις στέγες ή τα δώματα κατοικιών.

Από το 2009 υπάρχει ειδικό πρόγραμμα ανάπτυξης φωτοβολταϊκών συστημάτων για όλη την ηπειρωτική χώρα, την Κρήτη και τα διασυνδεδεμένα με το σύστημα νησιά, μέχρι 10kWp. Για τα μη διασυνδεδεμένα νησιά η μέγιστη ισχύς είναι μέχρι 5kWp. Το πρόγραμμα αυτό ισχύει μέχρι τις 31-12-2019 και αφορά όλα τα φυσικά και νομικά πρόσωπα επιτηδεύματιες και μη, για εγκατάσταση στις στέγες ή το δώμα του εκάστοτε κτιρίου για παραγωγή ενέργειας που εγχέεται στο Δίκτυο. Προϋπόθεση για την ένταξη στο πρόγραμμα αυτό αποτελεί πέραν της ενεργούς σύνδεσης κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος και η κάλυψη μέρους των αναγκών για ζεστό νερό χρήσης από Α.Π.Ε.

- Χρήση διπλών ενεργειακών υαλοπινάκων με ενσωματωμένα Φ/Β στοιχεία (thin film).

Πρόκειται πρακτικά για μία νέα μέθοδο που ξεκίνησε και εφαρμόζεται κυρίως στις ΗΠΑ και χώρες της Ευρώπης με αρκετή ηλιοφάνεια όπως η Ισπανία. Σε αυτή τη μέθοδο έχουμε

αντικατάσταση των συμβατικών διπλών υαλοπινάκων με ενεργειακούς φωτοβολταϊκούς υαλοπίνακες με διπλό ρόλο. Αφενός μεν έχουν την καλύτερη κατανομή του θερμικού ισοζυγίου οδηγώντας σε εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων και αφετέρου, λόγω του ειδικού φιλμ υμενίου που διαθέτει φωτοβολταϊκά στοιχεία μπορούν να παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα. Η χρήση τέτοιων υαλοπινάκων αποτελεί αντικείμενο μελέτης της παρούσας Διπλωματικής, ενός πραγματικού συστήματος σε χώρο γραφείου στην Αθήνα.

- Ηλιακά συστήματα παροχής ζεστού νερού χρήσης (Z.N.X).

Για την παροχή ζεστού νερού μέσω ηλιακών συστημάτων, όπως μας ορίζει ο ΚΕΝΑΚ, όλα τα νέα κτίρια αλλά και τα ριζικώς ανακαινισμένα θα πρέπει να καλύπτουν μέρος των αναγκών τους σε Z.N.X από ηλιοθερμικά συστήματα. Μάλιστα όπως ορίζει, το ελάχιστο ποσοστό του ηλιακού κέρδους ανά έτος θα είναι στο 60%.

- Χρήση συστημάτων εκμετάλλευσης της Αιολικής Ενέργειας (Ανεμογεννήτριες).

Τέτοια συστήματα εφαρμόζονται σε όλο τον κόσμο, καθώς η μόνη βασική απαίτηση τους είναι η ύπαρξη ανέμου. Οι μικρές ανεμογεννήτριες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κτίρια, αφορούν αιολικά συστήματα με ονομαστική ισχύ μέχρι 10Kw. Τα συστήματα αυτά μπορούν να λειτουργήσουν είτε ως αυτόνομα είτε ως διασυνδεδεμένα με το δίκτυο χαμηλής τάσης. Τα αυτόνομα χρησιμοποιούνται για ίδια χρήση και συνδέονται με συστοιχία συσσωρευτών για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας που περισσεύει και μέσω ειδικών μετατροπέων. Τα διασυνδεδεμένα με το δίκτυο χαμηλής τάσης αποτελούνται από έναν πίνακα ελέγχου της λειτουργίας και έναν ψηφιακό μετρητή που αποστέλλει την μη καταναλισκόμενη ενέργεια ή και εξολοκλήρου την παραγόμενη στο δίκτυο.

- Συστήματα Γεωθερμίας.

Οι Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας(Γ.Α.Θ) λειτουργούν όπως τα κοινά κλιματιστικά, καθώς χρησιμοποιούν τη θερμότητα που λαμβάνουν από το υπέδαφος, τα υπόγεια και επιφανειακά ύδατα, προς τη θέρμανση, ψύξη και Z.N.X ενός κτιρίου. Η θερμοκρασία του εδάφους είναι σταθερή όλο το χρόνο, ενώ η ικανότητα τους μη ανταλλαγής θερμότητας με το εξωτερικό περιβάλλον τα καθιστά πολύ λειτουργικά. Το χειμώνα, παίρνουν τη θερμότητα από το εσωτερικό της γης και τη μεταφέρουν στο εσωτερικό του χώρου, ενώ το καλοκαίρι αντιστρόφως μεταφέρουν τη θερμότητα του εσωτερικού του χώρου στο υπέδαφος, οδηγώντας στην καλύτερη θερμική άνεση του χώρου.

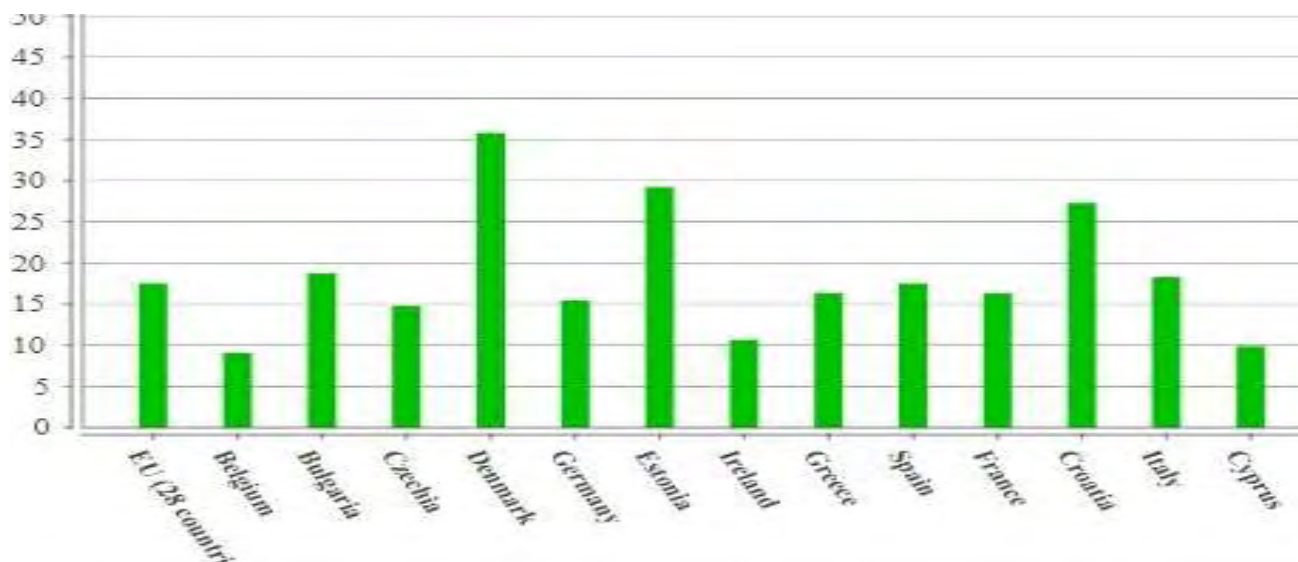
Από την Εικόνα 1, βλέπουμε το μερίδιο (%) ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές στην Ευρωπαϊκή Ένωση των 27 ως προς την ολική τελική ενεργειακή κατανάλωση. Παρατηρούμε ότι τα ποσοστά της χώρας μας ακολουθούν τα αντίστοιχα των μεγαλύτερων ευρωπαϊκών χωρών όπως η Γερμανία, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Γαλλία κλπ. Τα μεγαλύτερα ποσοστά συμμετοχής των Α.Π.Ε ως προς την τελική ενεργειακή κατανάλωση εμφανίζουν οι

Σκανδιναβικές χώρες όπως η Νορβηγία, η Σουηδία και η Φινλανδία. Το γεγονός αυτό μας δείχνει ότι και για τη χώρα μας υπάρχουν αντίστοιχες προοπτικές.



Εικόνα 1. Μερίδιο (%) της ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές στην Ευρωπαϊκή Ένωση των 27 ως προς την ολική τελική ενεργειακή τους κατανάλωση, Πηγή: Eurostat, 2017

Η χώρα μας, λαμβάνει ένα μερίδιο συμμετοχής 10 έως 20% παραγωγής ενέργειας ως προς το ολικό ποσοστό ενεργειακής της κατανάλωσης, που κυμαίνεται στα ίδια με αυτό των μεγαλύτερων ευρωπαϊκών χωρών, όπως η Γερμανία, το Βέλγιο, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Γαλλία, η Ιταλία και η Ισπανία. Τα ποσοστά αυτά φαίνονται και στο διάγραμμα της εικόνας 2 σε ποσοστό(%) της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας.



Εικόνα 2. Μερίδιο (%) της ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές κρατών της Ευρώπης και της χώρας μας ως προς την ολική τελική ενεργειακή τους κατανάλωση, Πηγή: Eurostat, 2017

1.3 Ενεργειακή Κατανάλωση Κτιρίων

Στην ελληνική επικράτεια, όπως πληροφορούμαστε σχετικά από την Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία με επίσημα στοιχεία από το έτος 2011, το 80% περίπου, συγκεκριμένα το 79,20% των κτιριακών δομών αποτελούν κατοικίες. Το υπόλοιπο 20,80% διαμοιράζεται σε κτίρια γραφείων-καταστημάτων με 4,07%, ξενοδοχεία με 0,92%, σχολεία με 0,52% νοσοκομεία-κλινικές με 0,05% και άλλα με 15,26%, όπως φαίνεται στο Γράφημα 1.



Γράφημα 1. Κτιριακό απόθεμα Ελλάδος, Πηγή: ΥΠΕΝ, 2018.

Είναι λοιπόν σαφές ότι οι κατοικίες και η ενεργειακές τους ανάγκες, τις καθιστούν ως το βασικό μέρος του ενεργειακού προβλήματος. Όπως είναι γνωστό, η Ελλάδα είναι μία χώρα εύκρατου κλίματος με αρκετά ζεστό καλοκαίρι και σχετικά ψυχρούς χειμώνες. Αυτό οδηγεί αυτομάτως στην ανάγκη για θέρμανση για 3 έως 6 μήνες και για ψύξη και εξαερισμό από 3 έως 6 μήνες αντίστοιχα. Για την ικανοποίηση της απαραίτητης θερμικής άνεσης και ψύξης, απαιτείται περίπου 30% επιπλέον ενέργεια. Αυτό, οφείλεται στο γεγονός πως στη χώρα μας υπάρχουν πολλές παλιές οικίες κατασκευασμένες πριν το 1980. Συγκεκριμένα, όπως μας ενημερώνει με επίσημα στοιχεία η ΕΛΣΤΑΤ, 2013 με την έρευνα που πραγματοποιήθηκε το έτος 2011-2012, το 43,7% των κτιρίων έχει κατασκευαστεί τις δεκαετίες '60 και '70 και μόλις το 18,6% από το 2000 και έπειτα. Οι οικίες αυτές αντιμετωπίζουν προβλήματα επαρκούς μόνωσης και άρα έχουν υψηλές απώλειες θερμότητας που οδηγούν σε μεγαλύτερα ποσά ενέργειας που πρέπει να καταναλώνονται για να επέρχεται θερμική ισορροπία και άνεση των χρηστών. Αξίζει μάλιστα να αναφερθεί ότι οι χώρες της μεσογείου όπως η Ιταλία, η Ισπανία και η Ελλάδα έχουν τη μεγαλύτερη αύξηση στην ανάγκη ενεργειακών αποθεμάτων για θέρμανση μεταξύ των χωρών μελών, υψηλότερη και από αυτές βορειότερων χωρών με δριμύτερους χειμώνες.

Για τη κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών τα κτίρια σήμερα έχουν ως κύρια βάση την καύση ορυκτών καυσίμων, όπως πετρελαίου και φυσικού αερίου, ενώ ένα ποσοστό αφορά τη χρήση ηλεκτρικού ρεύματος για την παροχή θερμικής ενέργειας. Φυσικά για τη ψύξη χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο αυτόματα σύστημα air-condition με χρήση ηλεκτρικού

ρεύματος. Αυτά, επιβεβαιώνονται και σε επίπεδο αριθμών, όπως φαίνεται στα Γραφήματα 2 και 3 της ΕΛΣΤΑΤ, 2013 και EUROSTAT, 2016 παρακάτω.



Γράφημα 2. Ποσοστιαία(%) κατανομή συνολικής κατανάλωσης ενέργειας ανά νοικοκυριό 2011-2012, Πηγή. ΕΛΣΤΑΤ, 2013



Γράφημα 3. Ποσοστιαία(%) κατανομή συνολικής κατανάλωσης ενέργειας ανά κτίριο, Πηγή. EUROSTAT, 2016

Μεταξύ των δύο γραφημάτων 2 και 3 λοιπόν που αφορούν το ενεργειακό ισοζύγιο για μία κτιριακή δομή στη χώρα μας, οι κύριες πηγές θέρμανσης το χειμώνα είναι οι ίδιες, με την εμφάνιση των Α.Π.Ε στη συμβολή για παραγωγή ενέργειας να κρίνεται σημαντική. Παρατηρούμε την πτώση στα ποσοστά χρήσης πετρελαίου θέρμανσης από 44,1% στο 29,53% κάτι που αποτυπώνει έντονα την ενεργειακή κρίση με τις αυξημένες τιμές του πετρελαίου. Η χρήση φυσικού αερίου αυξήθηκε από 5,4% στο 7,67%, ενώ η χρήση ηλεκτρισμού για συστήματα θέρμανσης αυτόνομων μονάδων air-conditioning αυξήθηκε από το 26,8% στο 40,10%. Όσον αφορά τη χρήση Α.Π.Ε αυτές αφορούν κυρίως φωτοβολταϊκές πλακέτες προσαρμοσμένες στις στέγες των σπιτιών ή σε εκτάσεις γης που παράγουν ενέργεια μεταφραζόμενη σε ηλεκτρική ενέργεια. Ο ήλιος που όπως είπαμε αποτελεί την κύρια

εξωτερική πρόσοδο ενός κτιρίου το χειμώνα έχει διπλό ρόλο. Αρχικά, οδηγεί σε αύξηση της θερμότητας ενός κτιρίου, λόγω των αυξημένων θερμικών προσόδων που διαπερνούν τόσο τα διαφανή στοιχεία, όπως τα τζάμια, όσο και τα μη διαφανή στοιχεία του κτιριακού κελύφους, όπως η μη φέρουσα τοιχοποιία. Ωστόσο η μικρότερη τιμή θερμοπερατότητας του αδιαφανούς τοίχου σε σχέση με το γυαλί το καθιστά λιγότερο επιρρεπές την αύξηση της θερμοκρασίας του εσωτερικού χώρου. Για τα διαφανή συγκεκριμένα, η ακτινοβολία που διέρχεται απορροφάται από το εσωτερικό περιβάλλον, παγιδεύεται σε αυτό αδυνατώντας να επανεκπεμπεί στο περιβάλλον με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του χώρου. Μάλιστα, όταν έχουμε ενεργειακού υαλοπίνακες που φέρουν προσαρμοσμένα φωτοβολταικά σε μία λεπτή στρώση υμενίου, τότε καθίσταται δυνατή και η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από το ίδιο τον υαλοπίνακα, όπως θα αναφερθεί αναλυτικά στο 3^ο κεφάλαιο του παρόντος συγγράμματος.

Τα τελευταία χρόνια έχουν θεσπιστεί από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή δύο οδηγίες για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων, οι οποίες αποτελούν τη βάση για την ενεργειακή τους αναβάθμιση. Οι οδηγίες αυτές είναι η 2010/31/ΕΕ και η 2012/27/ΕΕ για την Ενεργειακή Αποδοτικότητα. Όπως πληροφορούμαστε από τα επίσημα στοιχεία του Υπουργείου Περιβάλλοντος Ενέργειας και Περιβάλλοντος(ΥΠΕΝ), ο κτιριακός τομέας(οικιακός και τριτογενής) αντιπροσωπεύει ένα τεράστιο ποσοστό της συνολικής εγχώριας κατανάλωσης που αντιστοιχεί στο 39%, όπως φαίνεται στο Γράφημα 4.



Γράφημα 4. Κατανομή(%) Τελικής Ενεργειακής κατανάλωσης ανά χρήση για το έτος 2016, Πηγή. ΥΠΕΝ, 2018

Από στοιχεία της EUROSTAT του 2018 για δεδομένα που ελήφθησαν το έτος 2016 έχουμε για την τελική κατανάλωση ενέργειας για την Ευρωπαϊκή Ένωση ότι οι κατοικίες αποτελούν το 25,71%, η Βιομηχανία το 25% περίπου, τα Δημόσια Κτίρια το 13,54%, οι Μεταφορές το 33,15% και το υπόλοιπο στα λοιπά. Τα αποτελέσματα αυτά φαίνονται πινακοποιημένα στον Πίνακα 1, ενώ παρουσιάζονται και σε μορφή διαγράμματος στο Γράφημα 5 όπως φαίνεται παρακάτω.

European Union(28), 2016		
Τελική Ενεργειακή Κατανάλωση	1107818	100,00%
Βιομηχανία	276823	24,99%
Μεταφορές	367272	33,15%
Κατοικίες	284832	25,71%
Δημόσια Κτίρια	150043	13,54%
Λοιπά	28848	2,60%

Πίνακας 1. Τελική(%) Ενεργειακή Κατανάλωση σε διάφορους τομείς για την Ευρωπαϊκή Ένωση, Πηγή:EUROSTAT, 2018



Γράφημα 5. Τελική Ενεργειακή Κατανάλωση σε διάφορους τομείς για την Ευρωπαϊκή Ένωση, Πηγή: EUROSTAT, 2018.

Αντίστοιχα στοιχεία πάλι από τη EUROSTAT, 2018 για στοιχεία του 2016 λήφθηκαν οι τελικές ενεργειακές καταναλώσεις για τη χώρα μας. Βλέπουμε ότι τα αποτελέσματα είναι πολύ κοντά με τα αντίστοιχα του ΥΠΕΝ. Πιο συγκεκριμένα, έχουμε ότι οι κατοικίες συμμετέχουν σε ένα ποσοστό 25,67% στη τελική ενεργειακή κατανάλωση, ενώ τα Δημόσια Κτίρια στο 12,18%. Συνολικά μαζί αποτελούν τον Οικιακό & Τριτογενή τομέα συντελώντας συνολικά στο 37,85%, ένα ποσοστό πολύ κοντά στο 39% που λήφθηκε από το ΥΠΕΝ, 2018 όπως είδαμε στο Γράφημα 1. Ακόμη, οι μεταφορές αποτελούν το 40,64%, η Βιομηχανία το 18,40%, πολύ κοντά στο 19% που έδινε ως επίσημα στοιχεία το ΥΠΕΝ και λοιπά το 3,11%. Τα αποτελέσματα αυτά φαίνονται πινακοποιημένα στον Πίνακα 2 όπως φαίνεται παρακάτω, όσο και σε μορφή γραφήματος όπως παρουσιάζεται στο Γράφημα 6.

Ελλάδα,2016		
Τελική Ενεργειακή Κατανάλωση	16703	100,00%
Βιομηχανία	3073	18,40%
Μεταφορές	6788	40,64%
Κατοικίες	4287	25,67%
Δημόσια Κτίρια	2035	12,18%
Λοιπά	520	3,11%

Πίνακας 2. Τελική(%) Ενεργειακή Κατανάλωση σε διάφορους τομείς για τη χώρα μας, Πηγή. EUROSTAT, 2018



Γράφημα 6. Ποσοστιαία Ενεργειακή Κατανομή Κατανάλωσης σε διάφορους τομείς για τη χώρα μας, Πηγή. EUROSTAT, 2018.

Από τις καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας για τους διάφορους τομείς χρήσης, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3, ο οικιακός καταλαμβάνει γύρω στο 38% της ολικής καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ τα δεδομένα του ΥΠΕΝ αυτά, εξήχθησαν και σε μορφή διαγραμματικής πίτας στο Γράφημα 7, όπου φαίνεται το ποσοστό(%) κατανομής στην κατανάλωση μεταξύ των διαφόρων τομέων χρήσης.

Τομέας Χρήσης	Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας(GWh)	Κατανομή(%)
Βιομηχανία	11281	21,23%
Οικιακός	19992	37,63%
Αγροτικός	2407	4,53%
Τριτογενής	19445	36,60%
ΣΥΝΟΛΟ	53126	100,00%

Πίνακας 3. Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας(GWh) και Κατανομή(%) αυτών για τους διάφορους τομείς χρήσης για το έτος 2016, Πηγή. ΥΠΕΝ, 2018.



Γράφημα 7. Κατανομή(%) Κατανάλωσης Ηλεκτρικής Ενέργειας για τους διάφορους τομείς χρήσης για το έτος 2016, Πηγή. ΥΠΕΝ, 2018.

Γνωρίζουμε από τη φυσική ότι μεταξύ δύο σωμάτων διαφορετικής θερμοκρασίας, έχουμε μεταφορά θερμότητας από το θερμότερο προς το ψυχρότερο σώμα. Κατά αντίστοιχο τρόπο σε ένα κτίριο, η θερμότητα στο εσωτερικό χώρο αυτού, τείνει να διαφύγει προς το ψυχρότερο εξωτερικό περιβάλλον, ενώ τους θερμότερους μήνες η θερμότητα αυτή τείνει να μεταφέρεται από το θερμότερο εξωτερικό περιβάλλον στο εσωτερικό. Είναι προφανές ότι είναι αδύνατη η πλήρης αποτροπή αυτής της μεταφοράς θερμότητας, ωστόσο μπορούν να περιοριστούν τόσο η ένταση όσο και η διάρκεια αυτής. Για το λόγο αυτό, πολύ σημαντικό ρόλο παίζει η σωστή θερμομόνωση του κτιρίου, η οποία επιτυγχάνει να επιβραδύνει την ταχύτητα που οι θερμότερες μάζες αέρα διαφεύγουν μέσα από τις διαχωριστικές επιφάνειες μιας κατοικίας (στέγη, εξωτερικοί τοίχοι, πατώματα, κουφώματα ανοιγμάτων) που οριοθετούν τους εσωτερικούς της χώρους προς το εξωτερικό περιβάλλον και αντιστρόφως στους θερμότερους μήνες. Στη χώρα μας, όπως αναφέραμε ήδη πάρα πολλές κατοικίες είναι κατασκευασμένες πριν το 1980 (περίπου το 80% αυτών) όπως ενημερωνόμαστε από την ΕΛΣΤΑΤ, 2011, κάτι που σημαίνει ότι δεν είναι οικοδομημένα βάσει του Κανονισμού Θερμομόνωσης, γεγονός που οδηγεί σε αναπόφευκτες υψηλές απώλειες ενέργειας. Συγκεκριμένα, μόλις το 18,6% είναι κατασκευασμένα μετά το έτος 2000. Παράλληλα οι βασικές ενεργειακές πηγές είναι το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, που δεδομένων της μείωσης των αποθεμάτων και της αύξησης των τιμών τους επιβάλλουν την εύρεση νέων μορφών ενέργειας.

Ένα σημαντικό στοιχείο όσον αφορά τη καλή θερμομόνωση του κτιρίου είναι οι θερμογέφυρες. Οι θερμογέφυρες, είναι τα σημεία σε μία κατασκευή που έχουν μειωμένη θερμομόνωση, δηλαδή μειωμένη θερμική αντίσταση συγκριτικά με το υπόλοιπο κτίριο. Έχει αποδειχθεί ότι τη μεγαλύτερη συμμετοχή στις θερμικές απώλειες ενός κτιρίου έχουν τα εξωτερικά κουφώματα του, όπου προτιμώνται ανοιγόμενα συστήματα παραθύρου και όχι συρόμενα αφού τα πρώτα παρουσιάζουν καλύτερη θερμομονωτική συμπεριφορά. Τα παράθυρα αυτά, θα πρέπει να παρέχουν καλές θερμομονωτικές ιδιότητες, το ίδιο και τα ίδια τα κουφώματα ώστε ολικά τα ανοίγματα μας να είναι αεροστεγή χωρίς μεγάλες απώλειες θερμότητας, ιδιότητες που θα αναλυθούν αναλυτικότερα στο 3^ο Κεφάλαιο. Από το 1979 και έπειτα ο Κανονισμός Θερμομόνωσης επιτάσσει τη χρήση διπλών υαλοπινάκων σε κάθε νέα κατοικία και αντικατάσταση των μονών υαλοπινάκων σε κατοικίες πριν το 1979 με διπλούς και καλύτερης ποιότητας κουφώματα.

Πολύ σημαντικό στοιχείο όσον αφορά τις ενεργειακές απαιτήσεις ενός κτιρίου, έχει ο προσανατολισμός του. Είναι γενικώς αποδεκτό το κτίριο μας να είναι όσο το δυνατόν επίμηκες και ορισμένο ως προς τον άξονα Ανατολής Δύσης με τις κύριες όψεις και τα ανοίγματα του να είναι προσανατολισμένες προς το Νότο. Ο προσανατολισμός αυτός ορίζεται για την καλύτερη απορρόφηση της ηλιακής θερμότητας κατά τους ψυχρότερους μήνες. Αντίστοιχα προς το Βορρά, θα πρέπει το κτίριο να έχει μικρότερα ανοίγματα ώστε να προστατεύεται από τους ψυχρούς ανέμους. Βόρεια ανοίγματα ωστόσο, πρέπει οπωσδήποτε να υπάρχουν, ώστε να προσφέρεται φυσικός δροσισμός κατά τους θερινούς μήνες και άρα να μειώνεται η ανάγκη για χρήση κλιματισμού και άρα επιπλέον ενεργειακής κατανάλωσης.

Σύμφωνα με επίσημα στοιχεία της Ευρωπαϊκής Στατιστικής Υπηρεσίας (EUROSTAT) για το έτος 2014 από το 1990 έως το 2012, τα ελληνικά νοικοκυριά είχαν αυξημένες καταναλώσεις σε πετρέλαιο της τάξης του 64,8%. Μάλιστα, ο τριτογενής τομέας αποτελεί τον πλέον γρήγορα αναπτυσσόμενο τομέα με 6,7% αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας ετησίως. Επιπλέον, η μεγάλη σημασία του κτιριακού τομέα στην ολική κατανάλωση ενέργειας αποδεικνύεται και από το γεγονός ότι βάσει των στοιχείων του ΥΠΕΝ, 2018 το 39% του συνόλου της ενεργειακής κατανάλωσης οφείλεται στα κτίρια. Από αυτό το ποσοστό το 27% αντιστοιχεί στην κατανάλωση ενέργειας στον οικιακό τομέα. Τα στοιχεία αυτά μας καταδεικνύουν με τον πιο άμεσο τρόπο την ανάγκη μείωσης των ενεργειακών καταναλώσεων των κτιρίων μέσω της ενεργειακής τους ανακαίνισης. Συγκεκριμένα, από το ΥΠΕΝ λαμβάνουμε ως στοιχείο ότι η αναβάθμιση του κτιριακού αποθέματος στη χώρα μας με τις ελάχιστες απαιτήσεις του ΚΕΝΑΚ (ενεργειακή κατηγορία Β) θα οδηγούσε σε εξοικονόμηση κατά 61% στις κατοικίες και 41% στα κτίρια τριτογενούς τομέα. Σύμφωνα με τα στοιχεία της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛΣΤΑΤ) για μία έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε συνεργασία με το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας-ΚΑΠΕ βρέθηκαν χρήσιμες πληροφορίες. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε κατά τους χειμερινούς μήνες (Οκτώβριος 2011 – Απρίλιος 2012) και θερινούς μήνες (Μάιος 2012 - Σεπτέμβριος 2012), καθώς και οι χειμερινούς και θερινούς -πριν τη διενέργεια της έρευνας- μήνες (Οκτώβριος 2010 – Απρίλιος 2011) και (Μάιος 2011 - Σεπτέμβριος 2011), αντίστοιχα. Από τα αποτελέσματα αυτά, βρέθηκε ότι κατά μέσο όρο, κάθε νοικοκυριό καταναλώνει κατά μέσο όρο για την κάλυψη των ενεργειακών του αναγκών 13994 kWh. Από αυτές, γύρω στις 4000 kWh, συγκεκριμένα 3750 kWh περίπου αποτελούν τις ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια, ενώ οι υπόλοιπες την κάλυψη των αναγκών σε θερμική ενέργεια, όπως φαίνεται στο Γράφημα 8 παρακάτω.



Γράφημα 8. Μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανά νοικοκυριό 2011-2012, Πηγή. ΕΛΣΤΑΤ, 2013.

Από σημαντικές έρευνες προέκυψαν ένα πλήθος Μέτρων Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΜΕΕ) στον κτιριακό τομέα με κύριο σκοπό την ελάττωση της καταναλισκόμενης ενέργειας με απώτερο περιβαλλοντικό και οικονομικό όφελος. Τα βασικότερα μέτρα αυτά αφορούν παρεμβάσεις στο κτιριακό κέλυφος, στα συστήματα θέρμανσης και ψύξης, όσο και Ζεστού

Νερού Χρήσης(Z.N.X). Τα μέτρα αυτά, καθώς και το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας τόσο θερμικής όσο και ηλεκτρικής στο επί συνόλω των ενεργειακών καταναλώσεων αποτυπώνεται στον πίνακα 4 που ακολουθεί. Τα μέτρα αυτά φυσικά εφαρμόζονται ανάλογα του κτιριακού μεγέθους και της χρήσης του, ώστε η μεγιστοποίηση της εξοικονόμησης να είναι εναρμονισμένη με το κόστος τους.

α/α	Μέτρα Εξοικονόμησης Ενέργειας Κτιρίων	Ποσοστό Εξοικονόμησης(%)	
		Θερμική Ενέργεια	Ηλεκτρική Ενέργεια
1	Θερμομόνωση Εξωτερικών Τοίχων	33 έως 60	-
2	Θερμομόνωση οροφής-δαπέδων	2 έως 14	-
3	Αντικατάσταση υαλοστασίων(παράθυρα, θύρες και πλαίσια)	14 έως 20	-
4	Συντήρηση κεντρικών θερμάνσεων	10 έως 12	-
5	Εγκατάσταση νέων κεντρικών θερμάνσεων πετρελαίου υψηλής απόδοσης	έως 17	-
6	Εγκατάσταση κεντρικής θέρμανσης Φυσικού Αερίου	έως 21	-
7	Τοποθέτηση θερμοστατών αντιστάθμισης	3 έως 6	-
8	Τοποθέτηση θερμοστατών χώρων	3 έως 6	-
9	Τοποθέτηση εξωτερικής σκίασης	10 έως 20	-
10	Τοποθέτηση ανεμιστήρων οροφής	-	έως 60
11	Νυχτερινός αερισμός	-	έως 10
12	Τοποθέτηση ηλιακών συλλεκτών για Ζεστό Νερό Χρήσης	-	50 έως 80
13	Τοποθέτηση φωτιστικών συστημάτων υψηλής απόδοσης	-	έως 60
14	Τοποθέτηση αυτοματισμών-Building Management System(BMS)	έως 20	έως 30
15	Αεροστεγάνωση	16 έως 21	-
16	Αντικατάσταση κλιματιστικών με υψηλής απόδοσης-Αντλίες Θερμότητας	-	65 έως 75
17	Χρήση Γεωθερμικών Αντλιών	έως 20	-
18	Εγκατάσταση φυτεμένου δώματος	έως 10	έως 30
19	Χρήση ψυχρών υλικών	έως 15	-

Πίνακας 4. Μέτρα Εξοικονόμησης Ενέργειας για το ελληνικό κτιριακό απόθεμα, Πηγή. ΥΠΕΚΑ, 2014

Όπως καταγράφει το ΥΠΕΚΑ, 2014 τα κύρια ΜΕΕ που πρέπει πρωτίστως να ελεγχθούν, λόγω πρωτεύουσας σημασίας αφορούν:

- i. Εμπεριστατωμένη μελέτη και εφαρμογή θερμομόνωσης των εξωτερικών αδιαφανών δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους βάσει των προδιαγραφών του ΚΕΝΑΚ.
- ii. Αντικατάσταση των απλών ή κακής ποιότητας διπλών υαλοπινάκων με αντίστοιχους διπλούς υαλοπίνακες με υψηλά θερμομονωτικά χαρακτηριστικά(όπως χαμηλό u-value, υψηλό g-value, φωτοδιαπερατότητα, κλπ.) και χαμηλής εκπεμπιμότητας(low-e).
- iii. Αντικατάσταση κουφωμάτων με ενεργειακά κουφώματα με θερμοδιακοπή, όπως ορίζει ο ΚΕΝΑΚ.

- iv. Χρήση ηλιακών συστημάτων για παροχή Ζεστού Νερού Χρήσης(Z.N.X) προς πλήρη αντικατάσταση των συμβατικών ηλεκτρικών θερμοσιφώνων.
- v. Εγκατάσταση λέβητα θέρμανσης υψηλών αποδόσεων.
- vi. Εγκατάσταση συστημάτων φωτισμού υψηλής απόδοσης με αξιοποίηση και του φυσικού φωτισμού(ειδικά για τα κτίρια του τριτογενή τομέα) και παράλληλη χρήση αυτοματισμών για την καλύτερη λειτουργία των εγκαταστάσεων.
- vii. Τοποθέτηση ψυχρών υλικών στο δώμα και το προαύλιο χώρο, εφόσον υπάρχει για τον περιορισμό του φαινομένου της αστικής νησίδας.

Κρίνεται λοιπόν προφανές ότι τέτοια μέτρα μπορούν να οδηγήσουν σε μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας και να δώσουν πολλά οφέλη. Η χρήση τους πρέπει να αποτελεί προτεραιότητα και υποχρέωση για την πολιτεία.

Οι παράμετροι που επηρεάζουν την ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων, όπως λαμβάνουμε ως πληροφορία από το ΥΠΕΝ, 2018 αποτελούν:

- Ο μέγεθος και η χρήση του κτιρίου.
- Η ηλικία του, δηλαδή το έτος κατασκευής.
- Η τοποθεσία του, καθώς επηρεάζεται από την αντίστοιχη κλιματική ζώνη.

Σημειώνεται ότι ο ρυθμός με τον οποίο ανακαινίζεται το υπάρχων κτιριακό απόθεμα καθορίζει την ενεργειακή πολιτική τόσο στην Ε.Ε και άρα κατ' επέκταση και στη χώρα μας. Σύμφωνα με διεθνή εμπειρικά στοιχεία το ποσοστό αυτό είναι της τάξης του 0,36% έως 2,6%. Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία και εκτιμήσεις κατά μέσο όρο λαμβάνονται ετησίως μέτρα ενεργειακής εξοικονόμησης σε 25.000 έως 30.000 κατοικίες.

Η ελαφριά ανακαίνιση που αποδίδει 20% στην εξοικονόμηση, πρόκειται Η μέτρια ανακαίνιση με ποσοστό 40% βασίζεται στα προγράμματα «Εξοικονόμηση κατ' οίκον» του ΥΠΕΝ, χωρίς ωστόσο να αφορά κάποια μεγάλη παρέμβαση στο κτίσμα. Για την ριζική ανακαίνιση(αναβάθμιση κτιρίων σε σε κατηγορία Β) που βασίζεται στην έκδοση Πιστοποιητικών Ενεργειακής Απόδοσης, αποδίδεται 60% εξοικονόμηση.

Από το ΥΠΕΝ λαμβάνουμε τα στοιχεία σε πινακοποιημένη μορφή στον πίνακα 5 σχετικά με τον τύπο ανακαίνισης αλλά και το ποσοστό εξοικονόμησης που

λαμβάνουμε από τον κάθε τύπο, αλλά και σχηματοποιημένα στο Γράφημα 9 παρακάτω.

ΤΥΠΟΣ ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΗΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ
Μέτρια	40%
Βαθιά/Ριζική	60%
Σχεδόν Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης	80%

Πίνακας 5. Ποσοστό Εξοικονόμησης Βάσει Τύπου Ανακαίνισης Κτιριακού Αποθέματος, Πηγή. ΥΠΕΝ, 2018.



Γράφημα 9. Ποσοστό(%) Εξοικονόμησης βάσει τύπου ανακαίνισης του κτιριακού αποθέματος, Πηγή. ΥΠΕΝ, 2018.

Σημειώνεται, ότι τα βασικά σενάρια που τίθενται βάσει ΥΠΕΝ, 2018 για την ενεργειακή εξοικονόμηση των κτιρίων, είναι:

- I. Το Σενάριο (Κ1) περιλαμβάνει ένα σταθερό ποσοστό ρυθμού ανακαίνισης κατοικιών, δηλαδή 25.000 κτίρια ανά έτος με μέτριο τύπο ανακαίνιση(40% εξοικονόμηση).
- II. Το Σενάριο (Κ2) περιλαμβάνει σταθερό ποσοστό ρυθμού ανακαίνισης κατοικιών, δηλαδή 25.000 κτίρια ανά έτος με βαθιά/ριζικού τύπου ανακαίνιση(60% εξοικονόμηση).

Ένα από τα θεμελιώδη σημεία τη Οδηγίας ορίζει και τα χαρακτηριστικά των κτιρίων μηδενικής κατανάλωσης (Zero Energy Buildings). Σύμφωνα με την ευρωπαϊκή οδηγία, από

τις 31-12-2018 θα πρέπει όλα τα δημόσια κτίρια να αποτελούν κτίρια με σχεδόν μηδενική ενεργειακή κατανάλωση. Το ίδιο θα πρέπει να ισχύει και για κάθε νέο κτίριο που θα χτίζεται, από τις 31-12-2020. Τα κράτη μέλη θα πρέπει να εφαρμόσουν εθνικά σχέδια με σκοπό την εφαρμογή των προϋποθέσεων για τα σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας, κτίρια.

Βάσει της κοινοτικής **Οδηγίας 2010/31/ΕΚ** (άρθρο 2) λοιπόν έχουμε ότι:

"Κτίριο με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας" είναι ένα κτίριο με πολύ υψηλή ενεργειακή απόδοση του οποίου η σχεδόν μηδενική ή πολύ χαμηλή ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για την κάλυψη των ενεργειακών του αναγκών, καλύπτεται σε πολύ μεγάλο βαθμό από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, περιλαμβανομένης της ενέργειας που παράγεται επιτόπου ή πλησίον του κτιρίου.

Τα κτίρια αυτής τη κατηγορίας διαθέτουν:

- Υψηλών ενεργειακών προδιαγραφών δομικά στοιχεία.
- Χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις, οι οποίες θα καλύπτονται σχεδόν εξ' ολοκλήρου από συστήματα Ανανεώσιμων Πηγών, όπως φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, κλπ.

→ Στα οφέλη της ενεργειακής ανακαίνισης του κτιριακού αποθέματος, έχουμε:

- Όφελος στο Περιβάλλον.

Δεδομένου ότι ο κτιριακός τομέας κατέχει πολύ μεγάλο μερίδιο ως προς την τελική κατανάλωση ενέργειας, είναι προφανές ότι θα οδηγεί και σε σημαντικό ποσοστό εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και λοιπών ρυπογόνων αερίων, όπως τα οξείδια του αζώτου (NOx) και του θείου (Sox). Η ενεργειακή λοιπόν αναβάθμιση κρίνεται ουσιώδης και επιτακτική για τη μείωση των αερίων αυτών, που παράγονται από τη χρήση καυσίμων για την απαραίτητη κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων των κτιρίων μέσω παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για ψύξη και φωτισμό, όσο και άμεσα από την καύση ορυκτών σε συστήματα για θέρμανση.

- Όφελος στην υγεία των χρηστών.

Η βελτίωση στη μόνωση και τη θέρμανση, το φωτισμό και τον αερισμό οδηγούν σε ελάττωση των ασθενειών λόγω της βελτίωσης στη θερμική άνεση και της ποιότητας του αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου.

- Τόνωση της οικονομίας

Μέσω εφαρμογής μιας πλήρως μελετημένης στρατηγικής προς την ανακαίνιση του κτιριακού αποθέματος μπορούν δυνητικά να προκύψουν πολλαπλά οικονομικά οφέλη. Η επανέναρξη δραστηριότητας στον απαξιωμένο κατασκευαστικό τομέα, θα φέρει νέες θέσεις εργασίας λόγω του απαραίτητου εξειδικευμένου προσωπικού, όπως μηχανικών διαφόρων κλάδων σε θέματα ενεργειακής ανακαίνισης, εξοικονόμησης ενέργειας και χρήσης Α.Π.Ε.

- Ενεργειακή Ασφάλεια

Είναι προφανές ότι θεμέλιος λίθος της προσπάθειας για ενεργειακή αυτονομία των κτιρίων, αποτελεί κυρίως η σταδιακή απεξάρτηση από το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, των οποίων τόσο τα αποθέματα οδηγούνται προς εξάντληση επηρεάζοντας ταυτόχρονα τις τιμές, ενώ το περιβαλλοντικό τους αντίκτυπο είναι γνωστό. Στο πλαίσιο όμως αυτό δημιουργείται μία σύγχυση που μεταφράζεται σε ανασφάλεια τόσο των αγορών όσο και των χρηστών. Είναι λοιπόν άμεσα προφανές ότι η ενεργειακή αυτονομία των κτιριακών υποδομών αποτελεί ένα βασικό στόχο από θέμα ασφάλειας ενεργειακής.

- Αύξηση Αξίας Ακινήτου

Στα πλαίσια της αγοράς ενός ακινήτου έχει πλέον με την ενεργειακή και κατ' επέκταση οικονομική κρίση καταστεί πρωτεύουσας σημασίας η ανάγκη για χαμηλή κατανάλωση. Πλέον δηλαδή η αξία ενός ακινήτου προκαθορίζεται κυρίως από την ενεργειακή του απόδοση και λιγότερο από την αντικειμενική αξία της περιοχής. Κτίσματα με αυξημένες καταναλώσεις έχουν χαμηλή ζήτηση και ως εκ τούτου η ενεργειακή εξοικονόμηση έχει και αυτό το επιπρόσθετο όφελος.

1.4 Κτίρια Χαμηλής ή Μηδενικής Κατανάλωσης Ενέργειας

1.4.1 Εισαγωγή στα Κτίρια Χαμηλής ή Μηδενικής Κατανάλωσης Ενέργειας

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι Οδηγίες 2010/31/ΕΚ και 2002/91/ΕΚ έχουν ως κύριο σκοπό να οδηγήσουν σε μία νέα ενεργειακή βάση για τα κτίρια. Συγκεκριμένα, μέχρι τέλος του 2020 όλα τα νέα κτίρια θα πρέπει να είναι κτίρια μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας (Zero Energy Buildings-Z.E.B). Μάλιστα, επιδιώκεται η μείωση κατά 20% των αέριων εκπομπών (συγκριτικά με το 1990), αύξηση κατά 20% του μεριδίου χρήσης Α.Π.Ε και της αύξησης κατά 20% της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων μέσω της ενεργειακής αναβάθμισης τους. Τα μέτρα αυτά, αν και πριν χρόνια ίσως ακούγονταν ουτοπικά αποτελούν σήμερα μία πραγματικότητα που ξεκίνησε με αργά αλλά σταθερά βήματα.

Το προστάδιο της δημιουργίας κτιρίων μηδενικής κατανάλωσης αποτέλεσαν τα παθητικά κτίρια, ή αλλιώς κτίρια χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης. Η βασική αρχή πάνω στην οποία θεμελιωνόταν η ιδέα των παθητικών κτιρίων ήταν η όσο το δυνατόν μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων. Η επιδίωξη αυτή γινόταν με επέμβαση στο κτιριακό κέλυφος του κτίσματος και με αντικατάσταση με ενεργειακά κουφώματα, αλλά και πληρέστερες τεχνικές μόνωσης.

Φυσικά, δεδομένης της διαρκώς αυξανόμενης τεχνολογικής εξέλιξης, όσο και της ανάγκης για μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας οδηγηθήκαμε στα κτίρια μηδενικής ή σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης, δηλαδή κτιρίων με υψηλά ενεργειακά πρόσημα με τη μηδενική ή σχεδόν μηδενική ποσότητα ενέργειας να καλύπτεται σε μεγάλο βαθμό από Α.Π.Ε. Ακολουθώντας οδηγηθήκαμε στο τελικό στάδιο που αποτελεί η δημιουργία κτιρίων μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας των οποίων το ολικό ενεργειακό ισοζύγιο καλύπτεται εξ ολοκλήρου από Α.Π.Ε, χωρίς να χρειάζεται περαιτέρω ποσότητα ενέργειας για τη λειτουργία του. Μάλιστα αξίζει να τονιστεί πως η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει ως στόχο τη μείωση έως το 2050 κατά 80% των συνολικών αέριων ρύπων (συγκριτικά με το 1990).

Το υψηλό κόστος, η έλλειψη εκπαιδευμένου προσωπικού για την περάτωση τέτοιων έργων αλλά και η ελλιπής ενημέρωση των πολιτών, η δυσκολία εφαρμογής τους λόγω κακών υποδομών, αλλά και η ίδια η πολεοδομική νομοθεσία που κάποιες φορές στέκεται εμπόδιο σε τέτοια έργα, αποτελούν επί συνόλω ουσιαστική τροχοπέδη που ωστόσο οφείλει να ξεπεραστεί. Η ενημέρωση των πολιτών σχετικά με την ανάγκη εφαρμογής μέτρων για το περιβάλλον όσο και τη μακροπρόθεσμη εξοικονόμηση χρημάτων, η επισήμανση και τήρηση των ανώτατων επιτρεπόμενων ορίων καταναλισκόμενης ενέργειας κάθε κτιρίου, όσο και τέλος η κινητροδότηση για να ξεπεραστούν τα όποια νομοθετικά και οικονομικά εμπόδια αποτελούν τα σωστά βήματα προς τη δημιουργία κτιρίων μηδενικής ή σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας.

1.4.2 Βασικές Μέθοδοι προς την επίτευξη ZEB ή NZEB κτιρίων

Αρχικώς πρέπει να τονιστεί ότι το βασικό μας μέλημα ως μηχανικοί προκειμένου να οδηγηθούμε σε κτίρια μηδενικής ή σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας είναι πρωτίστως η μείωση της απαιτούμενης ενέργειας και εκ των υστέρων η παραγωγή. Θέλουμε πρακτικά λοιπόν να μειώσουμε όσο το δυνατόν περισσότερο τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου μας και οι όποιες τελικές ενεργειακές απαιτήσεις να τις καλύπτουμε με παραγωγή ενέργειας από Α.Π.Ε.

Προτού αναφερθούμε στις μεθόδους προς τη δημιουργία κτιρίου μηδενικής ή σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας οφείλουμε να ξεκαθαρίσουμε τις έννοιες.

Κτίριο μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας(Zero energy building-Z.E.B)

Πρόκειται πρακτικά για ένα κτίριο που στο ολικό ενεργειακό του ισοζύγιο έχουμε πλήρη εξίσωση των ενεργειακών απαιτήσεων και της παραγόμενης ενέργειας από Α.Π.Ε με πλήρη εκμετάλλευση του βιοκλιματικού σχεδιασμού, όπως ο ορθός προσανατολισμός του κτιρίου, ο φυσικός φωτισμός, ο φυσικός αερισμός, κλπ.

Κτίριο σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας(Nearly Zero Energy Building-NZEB)

Αποτελούν κτίρια με υψηλά ενεργειακά πρόσημα των οποίων οι όποιες ανάγκες σε ενέργεια χρειάζεται επιπλέον, καλύπτεται σε μεγάλο βαθμό από Α.Π.Ε στο πεδίο ή πολύ κοντά στο χώρο του κτιρίου.

Σύμφωνα με τους Shady et al.2017 οι κύριες προκλήσεις για εφαρμογή ενός βιώσιμου κτιρίου σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας(nZEB) είναι:

- **Καθορισμός Ενεργειακής Απόδοσης:** Για την επίτευξη υψηλής ενεργειακής απόδοσης στα κτίρια, μία επαρκής μείωση των εκπομπών αερίων πρέπει να επιτευχθεί για τα nZEB χρησιμοποιώντας καλώς ορισμένους και συμφωνημένους μεταξύ των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης συντελεστές. Αυτό, αποτελεί ένα μέτρο προς την υγιή εξέλιξη δεδομένου ότι έτσι θα υπήρχε μία κοινή γλώσσα επικοινωνίας, κάτι βασικό για την κατασκευαστική βιομηχανία ως προς την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και εφαρμογής τους σε ένα στέρεο κατασκευαστικό περιβάλλον σε όλη την Ευρώπη. Δεδομένων των αποδεκτών διαφορών μεταξύ των κρατών της Ευρώπης σε οικονομικό, κοινωνικό, κλιματικό, τεχνολογικό και κατασκευαστικό πλαίσιο επιτάσσει μία κοινή γλώσσα επικοινωνίας με καλώς ορισμένους συντελεστές για τον καθορισμό της ενεργειακής απόδοσης του κάθε κτιρίου σε όλη την επικράτεια της Ευρώπης.
- **Ισορροπία Θέρμανσης & Ψύξης:** Η ισορροπία των ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση και ψύξη είναι σημαντική για κτίρια υψηλών ενεργειακών απαιτήσεων για τον περιορισμό των μη απαραίτητων συστημάτων εξερισμού. Για παράδειγμα, σε πολύ θερμά κλίματα οι μηχανικοί επιλέγουν τον εκμηδενισμό της ενεργούς ψύξης μέσω χρήσης παθητικών συστημάτων ψύξης, κάτι που επιφέρει μεγάλη μείωση του κόστους λόγω της χρήσης ενός μόνο μηχανικού συστήματος. Στη Βόρεια Ευρώπη

είναι σχετικώς απλούστερη η διαδικασία επίτευξης θερμικής άνεσης το καλοκαίρι και το κύριο βάρος εναπόκειται στην προσπάθεια επίτευξης θερμικής άνεσης το χειμώνα. Ωστόσο, στη Νότια Ευρώπη, οι υψηλότερες θερμοκρασίες όσο και η ακτινοβολία οδηγούν σε κτιριακούς σχεδιασμούς που βασίζονται σε μία ισορροπία των ενεργειακών αναγκών για θέρμανση και ψύξη, έχοντας επομένως ανάγκη για εγκατάσταση τόσο θέρμανσης όσο και συστημάτων ψύξης(ενεργητικά, παθητικά ή υβριδικά).

Τα παθητικά συστήματα ψύξης, όπως οι σωλήνες που είναι στη γη για ψύξη και εξαερισμό είναι μία καλή λύση, προσοχή όμως χρειάζεται στο σχεδιασμό και τη προσαρμογή κάθε φορά στο αντίστοιχο κλίμα από τους μηχανικούς. Σε ζεστά κλίματα οι μικρές ενεργειακές απαιτήσεις για ψύξη τη τάξης των 15 ή 30 kWh/m² μπορούν να παρθούν ευκολότερα απ' ότι οι ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση στα ψυχρά κλίματα.

→Με τη μείωση της αγωγιμότητας και την καλύτερη μόνωση του εξωτερικού κελύφους μέσω της ορθής επιλογής κουφωμάτων και ενεργειακών υαλοπινάκων όσο και θερμοπροσόψεων, μπορούν να μειωθούν σημαντικά οι ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση.

Σκοπός των nZEB είναι η μηδενική κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση. Η χρήση του εξαερισμού θέρμανσης (HRV:Heat Recovery Ventilation) μπορεί να προσφέρει επαρκή εξαερισμό με την ελάχιστη προσθήκη ενέργειας επιτρέποντας την κατανομή της θέρμανσης άμεσα διαμέσου της παροχής αέρος. Αυτό, θα μπορούσε να καταστήσει πιθανή μία επίτευξη χαμηλής ενεργειακής απαίτησης για θέρμανση με τιμές γύρω στις 5 kWh/m². Ωστόσο, στη Νότια Ευρώπη, μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων για ψύξη κάτω των 15 kWh/m² δεν είναι πάντοτε πιθανή, λόγω της υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας και υψηλών θερμοκρασιών. Συνεπώς, κάθε σχεδιασμός για nZEB κτίρια πρέπει να λαμβάνει υπόψιν την ισορροπία θέρμανσης-ψύξης για κάθε κλιματική ζώνη, να οριστούν οι ενεργειακές απαιτήσεις και αναλόγως να προταθεί τα αντίστοιχα για κάθε περίπτωση σύστημα παθητικό ή ενεργητικό.

- **Όρια Θερμικής Άνεσης:** Ο Ευρωπαϊκός Κανονισμός EN 15251 θέτει όλα τα όρια και τις προϋποθέσεις για τη θερμική απόδοση των κατασκευών στους πίνακες που αυτός παραθέτει. Σύμφωνα με τον Κανονισμό αυτόν, όπως αναφέρουν οι Shady et al.2017, η θερμοκρασία το καλοκαίρι δεν πρέπει να τίθεται για τα συστήματα ψύξης(air-conditioning) κάτω από 26 °C. Ως υπερθέρμανση του χώρου ορίζεται η περίπτωση κατά την οποία η θερμοκρασία υπερβαίνει τους 28 °C για χρόνο μεγαλύτερο από το 1% της ετήσιας διαμονής στο χώρο χρήσης. Ωστόσο, η θερμική άνεση όπως αυτή ορίζεται από τον Κανονισμό αποτελεί πρόκληση να επιτευχθεί από τεχνικές παθητικής θέρμανσης ή ψύξης για καλές κτιριακές δομές.
- **Απόδοση ή Α.Π.Ε:** Ο Ευρωπαϊκός Κανονισμός επιτάσσει την κατ' αρχήν μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση και ψύξη και κατόπιν την κάλυψη των εναπομεινάντων ενεργειακών αναγκών από Α.Π.Ε είτε στο χώρο είτε παρακείμενα αυτού. Στην Ελβετία για παράδειγμα, για την εγκατάσταση συστήματος κλιματισμού air-conditioning απαιτείται η διασφάλιση ότι το κέλυφος του κτιρίου είναι σωστά

σχεδιασμένο προκειμένου να μειώνει τις ενεργειακές απαιτήσεις για ψύξη εξ' αρχής, ορθό προσανατολισμό για ηλιακή σκίαση με κατάλληλες τιμές ηλιακού θερμικού κέρδους(g-value) και επαρκή μόνωση βάσει Κανονισμού. Μέχρι και σήμερα, η ισορροπία μεταξύ της ελάχιστης ενεργειακής απόδοσης και τη παραγωγής από Α.Π.Ε αποτελεί πρόκληση.

- **Ποιότητα Κτιριακής Δομής:** Τα κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης(nZEB) απαιτούν υψηλή ποιότητα κατασκευής μέσω νέων τεχνολογιών δόμησης από υλικά υψηλής τεχνολογίας. Για την επίτευξη των nZEB επιπέδων είναι απαραίτητη η χρήση καινοτόμων τεχνολογιών και υλικών. Οι απαιτήσεις αυτές πρέπει να συναντώνται στην αγορά της βιομηχανίας, αλλά και να υπάρχει το κατάλληλο προσωπικό μηχανικών για να εφαρμόζουν τις τεχνολογίες αυτές.

Σύμφωνα με τους Κοσμόπουλο και Περιβολάρη, 2017, ως πιθανές μεθόδους επίτευξης κτιρίου μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας έχουμε:

1. Μείωση της απαιτούμενης ενέργειας του κτιρίου μέσω τεχνολογιών χαμηλής κατανάλωσης

Όπως ήδη αναφέρθηκε είναι προτιμότερη η προσπάθεια εξοικονόμησης ενέργειας παρά η παραγωγή επιπλέον. Σε αυτή τη λογική λοιπόν κινείται και η πρώτη μέθοδος βασική αρχή της οποίας αποτελεί η μείωση της απαιτούμενης ενέργειας για τη λειτουργία του κτιρίου. Προκειμένου να καταστεί δυνατό αυτό, έχουμε την εγκατάσταση ενεργειακών κουφωμάτων, αλλά και μόνωσης υψηλών προδιαγραφών και ενεργειακών επιδόσεων, ενώ παράλληλα έχουμε την εγκατάσταση υψηλών αποδόσεων συστημάτων φωτισμού, θέρμανσης και ψύξης. Παράλληλα, έχουμε πλήρη εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας με το σωστό προσανατολισμό του κτιρίου προς το Νότο για τη θέρμανση, την παροχή ζεστού νερού χρήσης(Z.N.X) όσο και φυσικού φωτός. Τέλος, έχουμε φυσικό δροσισμό και αερισμό.

2. Χρήση Α.Π.Ε σε κτίρια

Πρόκειται πρακτικά για μία από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους κατά την οποία έχουμε σε συνδυασμό με όλους τους παραπάνω τρόπους που εφαρμόζονται στην 1^η μέθοδο, χρήση και φωτοβολταϊκών συστημάτων ως επιπλέον στοιχείο στην ανάλυση μας. Πρακτικά, έχουμε χρήση φωτοβολταϊκών πάνελ στη στέγη, το δώμα και σε κάποιες περιπτώσεις προσαρμοσμένα και στο κτιριακό κέλυφος.

Φυσικά μία πολύ καλή μέθοδος την οποία και πραγματεύεται η παρούσα Διπλωματική αποτελεί η χρήση ενεργειακών υαλοπινάκων που δύναται να παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα. Μάλιστα στη μέθοδο αυτή έχουμε χρήση και μικρών ανεμογεννητριών και ηλιακών συλλεκτών. Απώλειες ενέργειας δεν υφίστανται και γι' αυτό η μέθοδος αυτή είναι πολύ καλή.

3. Χρήση Α.Π.Ε στο Οικόπεδο του Κτιρίου

Στη μέθοδο αυτή έχουμε πρακτικά πάλι χρήση Α.Π.Ε που απλώς δεν είναι εγκατεστημένα πάνω στο κτίριο αλλά στο ευρύτερο οικόπεδο στο οποίο ανήκει το κτίριο ενδιαφέροντος μας. Πρακτικά πρόκειται για μικρής ισχύος ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά πάνελ, μικρής ισχύος υδροηλεκτρικοί σταθμοί, κ.α.

4. Παροχή ενέργειας από εξωτερικές πηγές

Πρόκειται πρακτικά για Α.Π.Ε όπως βιομάζα, βιοκαύσιμα, pellets όσο και άλλες. Αυτές, μπορούν να εισαχθούν στο κτίριο μας για την κάλυψη μέρους ή και του συνόλου των ενεργειακών μας αναγκών. Τέλος, είναι πιθανή και μία αγορά ενέργειας παραγόμενης από Α.Π.Ε όπως από εγκαταστάσεις πάρκων φωτοβολταϊκών ή ανεμογεννητριών με σκοπό την κάλυψη των μη καλυπτόμενων ενεργειακών αναγκών κατόπιν όλων των παραπάνω.

1.4.3 Κατηγοριοποίηση κτιρίων μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας

I. Κατηγοριοποίηση βάσει της σύνδεσης ή μη του κτιρίου στο δίκτυο

Off-grid Κτίρια

Off-grid κτίρια μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας, αποτελούν πρακτικά κτίρια τα οποία δεν είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο διανομής και μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό σημαίνει πρακτικά δύο πράγματα. Αφενός μεν ότι την ενέργεια που χρειάζεται το κτίριο την παράγει αποκλειστικά από μόνο του, δίχως να έχει τη δυνατότητα να εισάγει ενέργεια σε περίπτωση ανάγκης από το σύστημα, ενώ αφετέρου δεν υπάρχει η δυνατότητα παροχής της εν δυνάμει πλεονάζουσας ενέργειας στο σύστημα. Το κόστος για την επίτευξη του off-grid κτιρίου είναι υψηλό κυρίως λόγω των υψηλών κοστολογίων για τους συσσωρευτές. Η ύπαρξη αυτών είναι πολύ σημαντική καθώς εκεί αποθηκεύεται η πλεονάζουσα ενέργεια προκειμένου να χρησιμοποιηθεί σε ημέρες ή ώρες της ημέρας όπου έχουμε μειωμένες ενεργειακές εισδοχές, ό πως τις βραδινές ώρες, ή συννεφιασμένες ημέρες.

On-grid Κτίρια

Στην περίπτωση αυτή, που αποτελεί και τη συνήθη μορφή για ένα κτίριο μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας, το κτίριο μας είναι συνδεδεμένο με το σύστημα και μπορεί να εισάγει και να εξάγει ενέργεια όταν κρίνεται αναγκαίο έτερο εξ αυτών. Αυτό δίνει τη δυνατότητα εκμετάλλευσης και της πώλησης ρεύματος στη Δ.Ε.Η με το οποίο οικονομικό όφελος για κάθε νομικό ή φυσικό πρόσωπο έως 31/12/2019. Φυσικά δύναται να παρασχεθεί ρεύμα στις περιπτώσεις που οι ανάγκες δεν καλύπτονται από το ίδιο το κτίριο.

→Σύμφωνα με τους Κοσμόπουλο και Περιβολάρη, 2017, οι 4 διαφορετικοί τύποι κτιρίου Z.E.B είναι:

Net Zero Site Energy

Πρόκειται για κτίριο μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας που παράγει εξ ολοκλήρου όσες ανάγκες έχει κατά τη διάρκεια ενός έτους με χρήση Α.Π.Ε που είναι εγκατεστημένες εντός του πεδίου του υπό ενδιαφέροντος κτιρίου μας.

Net Zero Source Energy

Τα κτίρια της κατηγορίας αυτής παράγουν όση πρωτογενή ενέργεια χρειάζονται κατά τη διάρκεια ενός έτους. Ο υπολογισμός γίνεται με τη μετατροπή της κάθε είδους εισερχόμενης και εξερχόμενης ενέργειας σε πρωτογενή με χρήση κατάλληλων συντελεστών βάσει ΚΕΝΑΚ.

Net Zero Energy Costs

Είναι πρακτικά τα κτίρια στα οποία τα χρήματα που καταβάλλει η εταιρεία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στον ιδιοκτήτη για την παραγόμενη και εξερχόμενη από αυτόν στο δίκτυο ενέργειας, η οποία πρέπει να είναι ίση ή μεγαλύτερη από την εισερχόμενη που αγοράζει για την κάλυψη των ετήσιων αναγκών, ενέργειας.

Net Zero Energy Emissions

Σε ένα τέτοιο κτίριο μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης έχουμε ότι η ενέργεια που παράγεται από Α.Π.Ε αντισταθμίζει τις όποιες εκπομπές αέριων ρύπων από την καύση συμβατικών καυσίμων για θέρμανση

1.4.4 Ισχύουσα Κατάσταση στην Ελλάδα

Η χώρα μας είναι χωρισμένη σε 4 κλιματικές ζώνες (A,B,C & D) που ορίζονται από το ποσοστό θερμικών ημερών βάσει του ΚΕΝΑΚ χωρίζοντας έτσι την Ελλάδα σε 4 ζώνες.

Γενικώς, η υιοθέτηση κτιρίων μηδενικής ή σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας είναι σε πρώιμα στάδια. Μέχρι τώρα δεν έχουν οριστεί ακόμη τα πλαίσια των ενεργειακών προδιαγραφών και σκυροδέματος. Στο σύνολο των περιοχών της Ελλάδος είναι σχετικώς πιο μικρές οι απαιτήσεις για θέρμανση συγκριτικά με τις ενεργειακές απαιτήσεις για ψύξη.

Οι ελάχιστες ενεργειακές προδιαγραφές σχετικώς με τα ZEB ή NZEB δεν έχουν ακόμη καθοριστεί, όπως επίσης ούτε και οι ελάχιστες εκπομπές Co₂. Μάλιστα, δεν υπάρχει αρχείο καταγραφής των υπό ανακαίνιση κτιρίων. Οι οδηγίες για την κατασκευή και την πλήρη

ανακαίνιση των υφιστάμενων κτιρίων βασίζονται στα ευρωπαϊκά δεδομένα και ορίζονται από το ΚΕΝΑΚ του 2010.

Ο Κανονισμός για τη θερμική άνεση βασίζεται στον ευρωπαϊκό Κανονισμό EN15251 που περιλαμβάνει το προσαρμοσμένο σχεδιαστικό μοντέλο κατασκευής ZEB ή nZEB τεχνολογίας. Τα επίπεδα άνεσης ορίζονται βάσει Κανονισμού στην Ελλάδα που αναφέρονται στο συνδυασμό θερμοκρασίας και υγρασίας κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και του χειμώνα. Τα επίπεδα άνεσης αυτά διαφέρουν ανάλογα της χρήσης και λειτουργίας του εκάστοτε κτιρίου. Ωστόσο, σήμερα στη χώρα μας παρατηρείται ελάχιστη χρήση φωτοβολταϊκών που αποτελούν και το θεμέλιο λίθο των Α.Π.Ε για τα κτίρια ZEB & nZEB. Κύριος λόγος για αυτό αποτελεί το γεγονός ότι στη χώρα μας οι περισσότερες οικογένειες διαμένουν σε πολυκατοικίες όπου λόγω σκίασης αλλά και μικρού χώρου ανάπτυξης δεν επιτρέπουν τη σημαντική εφαρμογή φωτοβολταϊκών πάνελ.

Τέλος, μία βασική ανησυχία για την επίτευξη nZEB και ZEB στη χώρα μας είναι η ποιότητα των κατασκευαστικών υλικών και η αδυναμία της αγοράς να προσαρτήσει τέτοια υλικά δόμησης. Φυσικά, η έλλειψη υλικών υψηλής τεχνολογίας αλλά και εξειδικευμένου προσωπικού μηχανικών για τη μελέτη και την εφαρμογή σύγχρονων μεθόδων κατασκευής αποτελούν τη μεγαλύτερη τροχοπέδη ανάπτυξης των συστημάτων αυτών.

Επομένως, τα μέτρα που πρέπει να παρθούν από την Ευρωπαϊκή Ένωση ως προς την περαιτέρω ανάπτυξη και εφαρμογή νέων τεχνολογιών προς επίτευξη ZEB και NZEB είναι:

- i. Τεχνική Ανάπτυξη με περαιτέρω έρευνα και τεχνικό προσωπικό**
- ii. Συνεργασία μεταξύ των χωρών της Ε.Ε προς εύρεση νέων τεχνολογιών**
- iii. Ανάπτυξη γνωστικού επιπέδου ανθρώπινου δυναμικού μέσω επαρκούς μόρφωσης και σεμιναρίων**
- iv. Ενίσχυση των Κανονισμών και μεγαλύτερη χρηματοδότηση**
- v. Επαρκής διαπαιδαγώγηση της κοινωνίας για τις αξίες και τη σημασία των τεχνολογιών αυτών**

2^ο Κεφάλαιο

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

2.1 Εισαγωγή

Σήμερα, η διαρκώς αυξανόμενη ενεργειακή κρίση, καθιστά επιτακτική την ανάγκη ενός ορθού ενεργειακού σχεδιασμού των κτιρίων. Κάθε κτίριο, παρουσιάζει ανάλογα με το μέγεθος και τη χρήση του(οικιακή, βιομηχανική, κλπ.) διαφορετικές ενεργειακές απαιτήσεις. Ο σωστός ενεργειακός σχεδιασμός, στοχεύει αφενός μεν στην ελάττωση της καταναλισκόμενης ενέργειας μέσω της μείωσης των απωλειών και αφετέρου την αξιοποίηση κατά βάση της ηλιακής προσόδου, με ταυτόχρονη επίτευξη του αισθήματος άνεσης του χρήστη και μείωσης των εκπεμπόμενων ρύπων. Σε μεγαλύτερης κλίμακας έργα, έχουμε και χρήση της αιολικής ενέργειας. Ο ορθός ενεργειακός σχεδιασμός βασίζεται στο **ενεργειακό ισοζύγιο**. Από τα παραπάνω καταλαβαίνουμε πως πρέπει ως μηχανικοί να έχουμε μία καλή αντίληψη του ενεργειακού ισοζυγίου του κτιρίου μελέτης μας που ανάλογα του μεγέθους ή της χρήσης του θα διαφοροποιείται, ώστε ο σχεδιασμός να ανταποκρίνεται στην απαίτηση μας για ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας. Κατά βάση μας ενδιαφέρει το **θερμικό ισοζύγιο**, δηλαδή το μέρος του ενεργειακού ισοζυγίου του που αφορά την επίτευξη της θερμικής άνεσης, μιας βασικής παραμέτρου για τον άνθρωπο. Δεδομένου ωστόσο της διαφορετικής κατανάλωσης ανά κτίριο, θα έχουμε και διαφορετικό θερμικό ισοζύγιο το οποίο θα συνίσταται από τις ανάγκες σε θέρμανση, ψύξη, φωτισμό, ανάγκες σε ρεύμα, αερισμό και ζεστό νερό χρήσης(Z.N.X). Στα κτίρια, το σύνολο των ενεργειακών αυτών αναγκών καλύπτονται επί το πλείστον από τον ηλεκτρισμό. Η θέρμανση καλύπτεται κατά βάση από τη χρήση πετρελαίου, φυσικού αερίου και καυσόξυλων. Αναλόγως εάν η περιοχή ενδιαφέροντος εμφανίζει υψηλά ποσοστά ηλιακών προσόδων έχουμε και από εκεί προσφορά ενέργειας μέσω των ημιδιαφανών υαλοπινάκων που μεταφράζεται σε ηλεκτρική ενέργεια για την κάλυψη μέρους των αναγκών. Αντίστοιχα ποσά θερμότητας φυσικά προκύπτουν, όπως αναλύεται και στην ενότητα του θερμικού ισοζυγίου 2.3 παρακάτω και από τα μη διαφανή-μη φέροντα στοιχεία πλήρωσης της κατασκευής μας, όπως η τοιχοποιία όταν προσπίπτει σε αυτήν ηλιακή ακτινοβολία.

2.1.1 Ενεργειακό ισοζύγιο στην Ευρώπη

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση ο κτιριακός τομέας (τα νοικοκυριά και ο τριτογενής τομέας) αντιπροσωπεύει το σημαντικότερο τομέα κατανάλωσης της ενέργειας με ποσοστό 40%. Η τελική κατανάλωση των κτιρίων είναι της τάξης των 350 Mtoe (1 Mtoe: μετρικός τόνος ισοδύναμου πετρελαίου) ανά έτος. Το μεγαλύτερο μέρος της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων καλύπτεται από το φυσικό αέριο με ποσότητα 116 Mtoe, από το πετρέλαιο με 99 Mtoe και ακολουθούν ο ηλεκτρισμός και τα στερεά καύσιμα με 91 και 11 Mtoe αντίστοιχα. Με βάση τα παραπάνω προκύπτει ότι αντιστοιχεί περίπου 1 Mtoe ανά έτος και ανά κάτοικο για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των κτιρίων στην Ευρώπη.

2.3 Ενεργειακό ισοζύγιο στην Ελλάδα

Η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων στην Ελλάδα, είναι της τάξης των 4.6 Mtoe και αντιστοιχούν περίπου 0.55 Mtoe ανά κάτοικο το έτος, ποσότητα που είναι το μισό της αντίστοιχης κατανάλωσης στην Ευρώπη. Οι ανάγκες για θέρμανση των κατοικιών ανέρχονται σε 70% της συνολικής κατανάλωσης ενώ η κατανάλωση ενέργειας για τις οικιακές συσκευές, το φωτισμό και τον κλιματισμό ανέρχεται στο 18% του συνολικού ενεργειακού ισοζυγίου.

Αρνητικά πρωτεία μεταξύ των κρατών μελών κατέχει η χώρα μας, μαζί με την Ισπανία, σημειώνοντας τη μεγαλύτερη αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση. Αντίθετα, χώρες που βρίσκονται βορειότερα στο ημισφαίριο, όπως η Σουηδία και το Βέλγιο, που πλήττονται από δριμύτερους χειμώνες κατάφεραν να μειώσουν κατά 5% την ενεργειακή τους κατανάλωση. Στην Ελλάδα, μια χώρα εύκρατη με πολύ λιγότερες θερμικές απαιτήσεις λόγω του ήπιου χειμώνα, οι απαιτήσεις για θέρμανση κατοικιών ανέρχονται περίπου στο 70% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης. Η κατανάλωση ενέργειας για τις οικιακές συσκευές, το φωτισμό και τον κλιματισμό ανέρχεται στο 18% του συνολικού ενεργειακού ισοζυγίου. Οι κατοικίες με κεντρικό σύστημα θέρμανσης, όπου χρησιμοποιείται ως καύσιμο αποκλειστικά το πετρέλαιο, αντιστοιχούν στο 35,5% του συνόλου. Το υπόλοιπο 64% είναι αυτόνομα θερμαινόμενες κατοικίες που χρησιμοποιούν πετρέλαιο, φυσικό αέριο, ηλεκτρικό ρεύμα και καυσόξυλα.

Σε αντίθεση με το σύνολο της Ε.Ε., στην Ελλάδα η κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια παρουσιάζει αυξητική τάση με μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης 7%

2.2 Διεθνές Ενεργειακό Ζήτημα και Επιπτώσεις

Το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, αποτελούν σήμερα τους δύο βασικότερους μοχλούς ενεργειακής υπόστασης στην Ευρώπη και τον κόσμο, με τις κύριες πηγές αυτών να προέρχονται από τις χώρες της Μέσης Ανατολής και τη Ρωσία αντίστοιχα. Ωστόσο, σύμφωνα με διεθνείς εκτιμήσεις, τα μέχρι σήμερα γνωστά αποθέματα πετρελαίου και φυσικού αερίου, μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες σε παγκόσμιο επίπεδο για τα επόμενα περίπου 50 και 70 έτη αντίστοιχα. Κρίνεται λοιπόν βάσιμα το ζήτημα της ανάγκης, αφενός μεν περιορισμού της ζήτησης και αφετέρου εύρεσης νέων μορφών ενέργειας. Η ανάγκη αυτή τίθεται προκειμένου να περιοριστούν και εντέλει να αντικατασταθούν οι δύο αυτοί ενεργειακοί πόροι, που αποτελούν και τους βασικούς λόγους ρύπανσης του περιβάλλοντος. Η διαρκής μείωση των αποθεμάτων, οδηγεί σταδιακά στην αύξηση των τιμών και εν τέλει στην μείωση της ζήτησης, άρα και στην στροφή σε άλλες μορφές ενέργειας.

Οι χώρες που σήμερα έχουν και τη μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση πετρελαίου και φυσικού αερίου, είναι οι χώρες που έχουν ανεπτυγμένη τη βιομηχανία τους, με κυρίαρχες την Κίνα, τις ΗΠΑ, την Ινδία, την Ιαπωνία και τη Ρωσία. Για την κατανάλωση του πετρελαίου συλλέχθηκαν τα αποτελέσματα του 2016 της “U.S. Energy Information Administration”(E.I.A) βάσει των οποίων βρέθηκαν τόσο τα ολικά εκατομμύρια βαρέλια πετρελαίου ανά ημέρα, όσο και τα ποσοστά κατανομής αυτών ανηγμένα στην ολική παγκόσμια κατανάλωση όπως φαίνεται στα Γραφήματα 10 και 11. Οι ΗΠΑ καταναλώνουν

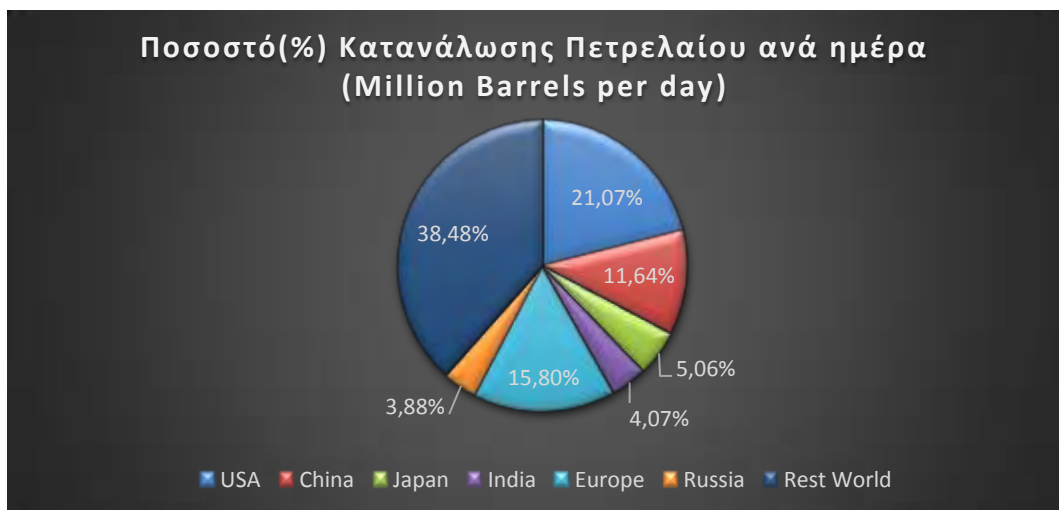
περίπου το 1/5 του συνολικού καταναλωμένου πετρελαίου, συγκεκριμένα το 21,07%. Ακολουθούν η Ευρώπη με 15,80% και η Κίνα με 11,64%. Παρατηρούμε ότι η Ιαπωνία και η Ινδία εμφανίζουν μικρότερα ποσοστά της τάξεως του 5,06% και 4,07% αντίστοιχα. Η Ρωσία εμφανίζει μειωμένο ποσοστό κατανάλωσης πετρελαίου συγκριτικά με το πληθυσμό της, ωστόσο όπως θα δούμε στη συνέχεια εμφανίζει μεγαλύτερο ποσοστό στην κατανάλωση φυσικού αερίου. Παρατηρούμε λοιπόν, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 6 ότι το 61,52% του πετρελαίου που καταναλώνεται καθημερινά κατανέμεται στις ισχυρότερες χώρες του κόσμου και την Ευρώπη, με το υπόλοιπο 38,48% να διαμοιράζεται στον υπόλοιπο κόσμο.

Για την κατανάλωση του φυσικού αερίου, συλλέχθηκαν πάλι τα αποτελέσματα του 2016 της “U.S. Energy Information Administration”(E.I.A) βάσει των οποίων βρέθηκαν τόσο τα ολικά δισεκατομμύρια κυβικά πόδια φυσικού αερίου, όσο και τα ποσοστά κατανομής αυτών ανηγμένα στην ολική παγκόσμια κατανάλωση. Βάσει αυτών, βρέθηκε ότι οι ΗΠΑ συμμετέχουν πάλι σε ένα ποσοστό 1/5 της ολικής κατανάλωσης και συγκεκριμένα κατά 21,43% . Η Ευρώπη καταναλώνει όπως φαίνεται στον πίνακα 7, συνολικά 20.053,1 δισεκατομμύρια κυβικά πόδια, με ένα ποσοστό 16,45%. Ακολουθούν η Ρωσία με 12,80% και στη συνέχεια η Κίνα, Ιαπωνία και Ινδία με 4,72%, 3,81% και 1,49% αντίστοιχα. Οι χώρες αυτές μαζί με την Ευρώπη συνιστούν το 60,71% της παγκόσμιας κατανάλωσης φυσικού αερίου, ενώ το υπόλοιπο 39,29% αφορά κατανάλωση του υπόλοιπου κόσμου. Στον Πίνακα 6 παρακάτω έχουμε τις τιμές των εκατομμυρίων βαρελιών ανά ημέρα και το ποσοστό κατανομής αυτών.

Χώρες	Εκατομμύρια Βαρέλια Πετρελαίου ανά ημέρα	Ποσοστό κατανομής (%)
ΗΠΑ	18.961	21,07%
Κίνα	10.480	11,64%
Ιαπωνία	4.557	5,06%
Ινδία	3.660	4,07%
Ευρώπη	14.223,7	15,80%
Ρωσία	3.493	3,88%
Υπόλοιπος Κόσμος	34.631,62	38,48%
Ολικά	90.006,32	100,00%

Πίνακας 6.Εκατομμύρια βαρέλια πετρελαίου ανά ημέρα και ποσοστό κατανομής στις ισχυρότερες χώρες του κόσμου και στην Ευρώπη, Πηγή. U.S. Energy Information Administration, 2016

Τα ποσοστιαία αποτελέσματα κατανομής της κατανάλωσης πετρελαίου του Πίνακα 6 συνοψίζονται στο Γράφημα 10 παρακάτω:

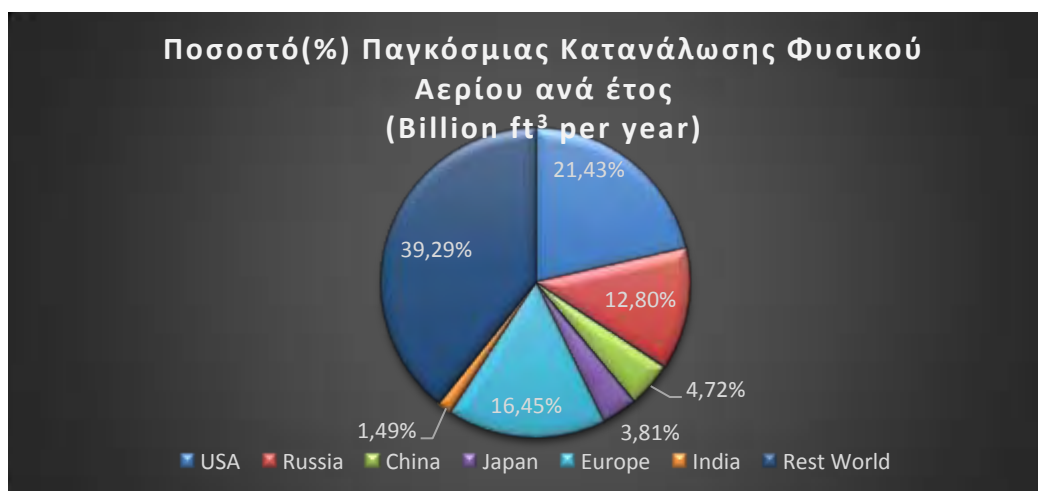


Γράφημα 10. Ποσοστό(%) παγκόσμιας κατανάλωσης πετρελαίου ισχυρών χωρών και της Ευρώπης σε εκατομμύρια βαρέλια ανά ημέρα για το 2016, Πηγή. U.S. Energy Information Administration, 2016

Χώρες	Δισεκατομμύρια κυβικά πόδια Φυσικού Αερίου	Ποσοστό κατανομής (%)
USA	26.131	21,43%
Russia	15.599	12,80%
China	5.760	4,72%
Japan	4.648	3,81%
Europe	20.053,1	16,45%
India	1.822	1,49%
Rest World	47.900,3	39,29%
World Total	121.913,4	100,00%

Πίνακας 7. Δισεκατομμύρια κυβικά πόδια φυσικού αερίου για το έτος 2016 και ποσοστό κατανομής στις ισχυρότερες χώρες του κόσμου και στην Ευρώπη, Πηγή. U.S. Energy Information Administration, 2016

Τα παραπάνω αποτελέσματα του πίνακα 7 συνοψίζονται στο Γράφημα 11 που ακολουθεί.

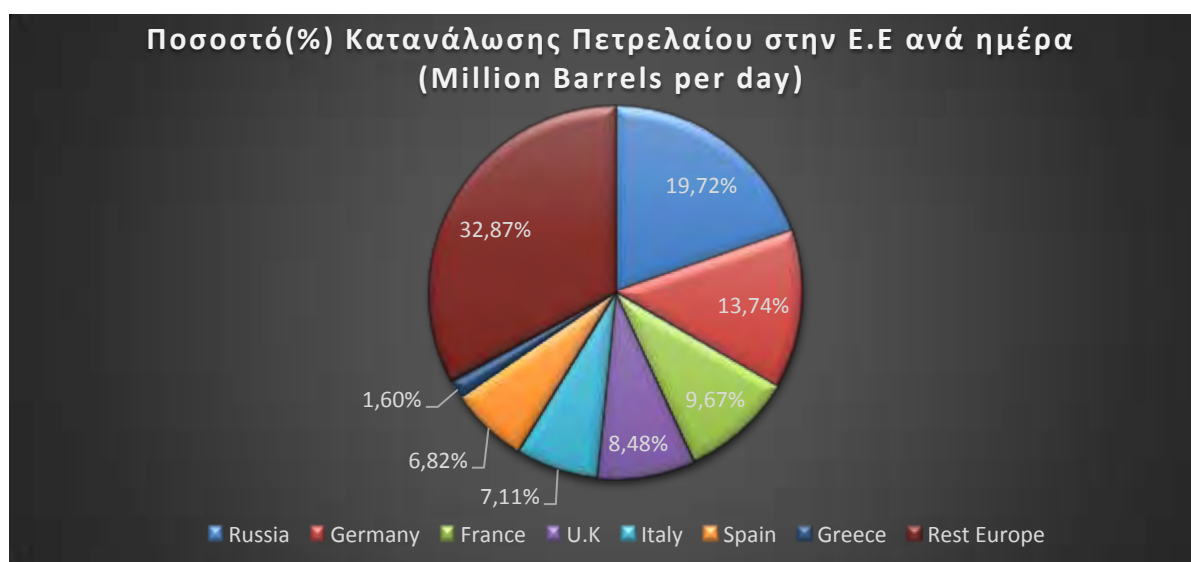


Γράφημα 11. Ποσοστό(%) κατανάλωσης φυσικού αερίου ισχυρών χωρών και της Ευρώπης σε δισεκατομμύρια κυβικά πόδια για το έτος 2016, Πηγή. U.S. Energy Information Administration, 2016

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση στην οποία ανήκει και η χώρα μας, οι ισχυρότερες οικονομικά και πολυπληθέστερες χώρες όπως η Γερμανία, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Γαλλία, η Ισπανία και η Ιταλία δεσπόζουν στην τελική ενεργειακή κατανάλωση πετρελαίου και φυσικού αερίου, όπως φαίνεται στα Γράφημα 12 και 13. Συγκεκριμένα, η χώρα μας καταλαμβάνει μόλις το 1,60% της ολικής ευρωπαϊκής κατανάλωσης. Η Ρωσία έρχεται πρώτη με ένα ποσοστό περίπου 20%, συγκεκριμένα 19,72% με τις Γερμανία και Γαλλία να ακολουθούν με 13,74% και 9,67% αντίστοιχα. Το Ηνωμένο Βασίλειο έχει 8,48%, ενώ η Ιταλία και Ισπανία έχουν 7,11% και 6,82% αντίστοιχα. Οι ποσοστιαίες αυτές κατανομές εμφανίζονται στο Πίνακα 8 παρακάτω αλλά και στο Γράφημα 12 με τη μορφή πίτας.

Ευρωπαϊκές Χώρες	Εκατομμύρια Βαρέλια πετρελαίου ανά ημέρα	Ποσοστό Κατανομής(%)
Ρωσία	3493	19,72%
Γερμανία	2435	13,74%
Γαλλία	1713	9,67%
Ηνωμένο Βασίλειο	1502	8,48%
Ιταλία	1260	7,11%
Ισπανία	1208	6,82%
Ελλάδα	283	1,60%
Υπόλοιπη Ευρώπη	5822,7	32,87%
Ολικά	17716,7	100,00%

Πίνακας 8. Εκατομμύρια βαρέλια πετρελαίου ανά ημέρα και ποσοστό κατανομής στις ισχυρότερες χώρες της Ευρώπης για το έτος 2016, Πηγή. Eurostat, 2018



Γράφημα 12. Ποσοστό(%) κατανάλωσης πετρελαίου σε εκατομμύρια βαρέλια ανά ημέρα μεταξύ των 5 ισχυρότερων κρατών της Ευρώπης και της χώρας μας για το 2016, Πηγή. Eurostat, 2018

Αντίστοιχα με την ποσοστιαία κατανομή πετρελαίου, στον πίνακα 9 παρακάτω έχουμε και την αντίστοιχη κατανομή στην κατανάλωση του φυσικού αερίου για τις 5 ισχυρότερες χώρες της Ευρώπης και της χώρας μας. Πρωταθλήτρια την κατανάλωση έρχεται η Ρωσία με 43,69% επί

του συνόλου, ενώ συγκριτικά πολύ μικρότερα ποσοστά καταλαμβάνουν οι υπόλοιπες χώρες. Η χώρα μας έχει μόλις το 0,38% της ολικής κατανάλωσης στην Ευρώπη με 136 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται και σε μορφή πίτας του Γραφήματος 13.

Ευρωπαϊκές Χώρες	Δισεκατομμύρια Κυβικά Πόδια Φυσικού Αερίου Ετησίως	Ποσοστό(%)
Ρωσία	15559	43,69%
Γερμανία	3099	8,70%
Γαλλία	2601	7,30%
Ηνωμένο Βασίλειο	1552	4,36%
Ιταλία	2474	6,95%
Ισπανία	1056	2,97%
Ελλάδα	136	0,38%
Υπόλοιπη Ευρώπη	9135,1	25,65%
Ολικά	35612,1	100,00%

Πίνακας 9. Δισεκατομμύρια κυβικά πόδια φυσικού αερίου και ποσοστό κατανομής στις ισχυρότερες χώρες της Ευρώπης για το έτος 2016, Πηγή. Eurostat, 2018



Γράφημα 13. Ποσοστό(%) κατανάλωσης φυσικού αερίου σε δισεκατομμύρια κυβικά πόδια ανά ημέρα μεταξύ των 5 ισχυρότερων κρατών της Ευρώπης και της χώρας μας για το 2016, Πηγή. Eurostat, 2018

Η καύση των ορυκτών καυσίμων απελευθερώνει στην ατμόσφαιρα παθογόνους ρύπους, όπως Διοξείδιο του Άνθρακα (CO₂), Μονοξείδιο του Άνθρακα (CO), Οξειδία του Αζώτου (NO_x) Μεθάνιο (CH₄), όσο και διάφορους χλωροφθοράνθρακες οδηγώντας στο **Φαινόμενο του Θερμοκηπίου**. Λόγω του Φαινομένου αυτού, που οφείλεται στην ανακλώμενη ακτινοβολία του ηλίου που παγιδεύεται από το στρώμα των αερίων που αναφέρθηκαν, οδηγούμαστε στην

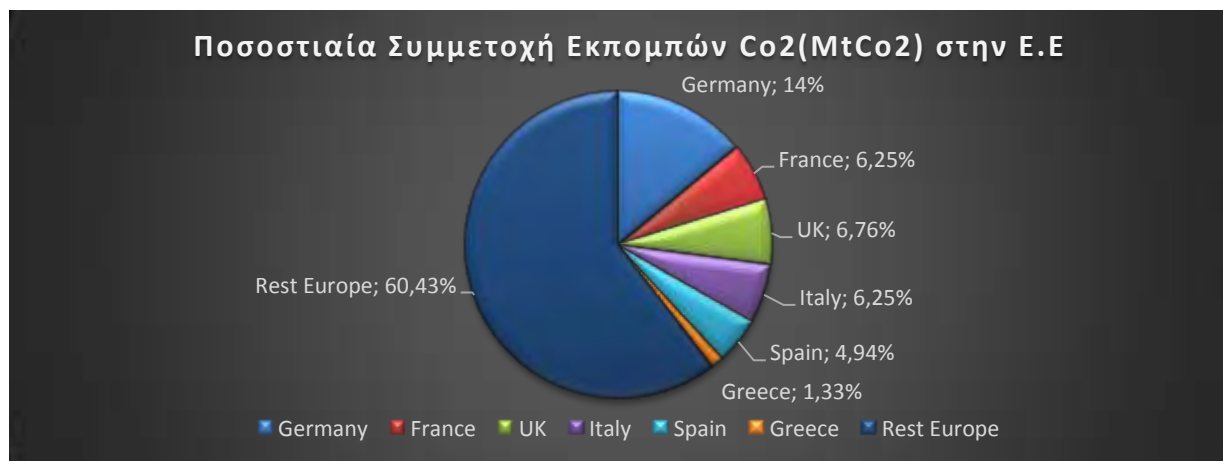
υπερθέρμανση του πλανήτη, που συνοδεύεται από την αλλαγή των κλιματικών συνθηκών του. Το φαινόμενο αυτό, οφείλεται - όπως έχει αποδειχθεί από τις διεθνείς έρευνες- κατά κύριο λόγο στο εκλυόμενο CO₂ από την καύση των ορυκτών καυσίμων (πετρελαίου και φυσικού αερίου). Ένα ακόμη πρόβλημα που δημιουργείται από την καύση των ορυκτών καυσίμων είναι η **Όξινη Βροχή**. Τα οξείδια Αζώτου (NO_x), το Μεθάνιο και κυρίως τα Μονοξείδιο και Διοξείδιο του άνθρακα, δημιουργούν οξέα (Νιτρικό, Θεικό), τα οποία συσσωρεύονται στην ατμόσφαιρα και πέφτουν στο έδαφος με τη μορφή κατακρημνισμάτων (Βροχή, χιόνι, χαλάζι).

Από τις πιο ρυπογόνες χώρες όσον αφορά την εκπομπή CO₂, η Ευρώπη συμμετέχει κατά 16% περίπου, η Κίνα κατά 27% περίπου, οι Η.Π.Α κατά 15%, η Ρωσία κατά 5% περίπου, ενώ το υπόλοιπο 31% των εκπομπών διαμοιράζεται στις υπόλοιπες χώρες της υφής, όπως φαίνεται στο Γράφημα 14. Η μονάδα μέτρησης αυτών είναι σε MTCO₂, δηλαδή σε εκατομμύρια τόνους CO₂.



Γράφημα 14. Ποσοστιαία συμμετοχή εκπομπών CO₂ για το 2017 στην Υφήλιο, Πηγή. Global Carbon Atlas, 2017

Σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, όπως φαίνεται στο Γράφημα 15, μεταξύ των 5 ισχυρότερων κρατών της Γηραιάς Ηπείρου, όσο και της χώρας μας η συνολική εκπομπή ανέρχεται στο 40% περίπου, ενώ το υπόλοιπο 60% των εκπομπών διαμοιράζεται μεταξύ των υπολοίπων χωρών της Ε.Ε.



Γράφημα 15. Ποσοστιαία συμμετοχή εκπομπών CO₂ για το 2017 στην Ευρωπαϊκή Ένωση, Πηγή: Global Carbon Atlas, 2017

Συνοψίζοντας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο αποτέλεσαν το μοχλό κίνησης τόσο της βιομηχανίας όσο και των ολικών αναγκών του ανθρώπου όπως αυτές της θέρμανσης και των μεταφορών. Ωστόσο, λόγω της εξάντλησης των πόρων αυτών με παράλληλη αύξηση των τιμών όσο και οι όλο και αυξανόμενες συνέπειες στο περιβάλλον και την υγεία του ανθρώπου απαιτεί λύσεις. Αυτές, οφείλουν να είναι συλλογικές και άμεσα εφαρμόσιμες από τις ισχυρότερες οικονομικά χώρες του πλανήτη μας, που θα δείξουν το δρόμο σε παγκόσμιο επίπεδο και για τις οικονομικά ασθενέστερες. Ήδη έχουν αρχίσει να αναζητούνται τα τελευταία 10 έτη νέες μορφές ενέργειας, όπως η φωτοβολταϊκή και η αιολική, ωστόσο το σχετικά αυξημένος ακόμη κόστος, η σχετικώς ελλιπής ενημέρωση και κινητροδότηση εφαρμογής στις περισσότερες χώρες του κόσμου, καθιστά το πρόβλημα διαιωνιζόμενο. Η λύση οφείλει να έχει συλλογικότητα και κυρίως χρονικό ορίζοντα εφαρμογής με στήριξη στα προγράμματα των ασθενέστερων χωρών, ώστε να καταστεί άμεσα εφαρμόσιμη σε παγκόσμια κλίμακα.

2.3 Θερμικό Ισοζύγιο

Ως **Θερμικό Ισοζύγιο** του κτιρίου, ορίζεται το άθροισμα όλων των θερμικών ροών από και προς το κτίριο. Οι θερμικές αυτές ροές αναφέρονται σε προσόδους και σε απώλειες του κτιρίου που οφείλονται στη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του εξωτερικού και του εσωτερικού περιβάλλοντος. (Αξαρχλή Κ., 2003).

Σύμφωνα με τον Κοσμόπουλος 2008, η μαθηματική εξίσωση περιγραφής του ενεργειακού ισοζυγίου, είναι:

$$Q_{ΕΙΣΟΔΟΥ} = Q_{ΧΡΗΣΗΣ} + Q_{ΑΠΩΛΕΙΩΝ} (\Sigma_1)$$

Σε μία πιο σύνθετη μαθηματική περιγραφή, το θερμικό ισοζύγιο μπορεί να περιγραφεί και όπως παρακάτω:

$$Q = Q_I + Q_S \pm Q_C \pm Q_V \pm Q_M - Q_E (\Sigma_1')$$

Όπου:

Q: Συμπληρωματική θερμική ή ψυκτική ενέργεια

Q_I: Η θερμότητα που αποδίδεται από τους χρήστες, τον τεχνητό φωτισμό, τις διάφορες συσκευές, κ.α.

Q_S: Οι θερμικές πρόσοδοι από την ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται στο κτίριο

Q_C: Οι θερμικές απώλειες ή οι πρόσοδοι με αγωγιμότητα από το κτιριακό κέλυφος

Q_V : Οι θερμικές απώλειες ή πρόσδοι με αερισμό (φυσικό, τεχνητό ή διαφυγές αέρα)

Q_M : Οι θερμοαντικές ή ψυκτικές ανάγκες του χώρου

Q_E : Οι θερμικές απώλειες από την εξάτμιση

- ➔ Ανάλογα της χρήσης και του τρόπου λειτουργίας του κάθε κτιρίου, κάθε μία από τις άνω παραμέτρους αποκτά διαφορετική βαρύτητα. (Αξαρχλή, 2003), (Αξαρχλή, 2009), (Αξαρχλή, 2001), (Θεοδοσίου, 2012), (Κοσμόπουλος, 2008).

Γνωρίζουμε πως κάθε κτιριακή δομή, είτε αποτελεί κατοικία είτε οποιασδήποτε άλλης χρήσης όπως επαγγελματική, βιομηχανική έχει συγκεκριμένες ενεργειακές απαιτήσεις. Οι απαιτήσεις αυτές που καθορίζονται από τη τάξη μεγέθους της κτιριακής δομής αλλά και τη χρήση του, θεμελιώνονται στο ενεργειακό του ισοζύγιο. Όπως ήδη αναφέρθηκε, για εμάς τους μηχανικούς βασικό μας μέλημα είναι η ικανοποίηση του θερμικού ισοζυγίου για το κτίριο, που αποτελεί μέρος του ενεργειακού ισοζυγίου και βασικό παράγοντα επίτευξης της θερμικής άνεσης για τον άνθρωπο. Το θερμικό ισοζύγιο καθορίζεται από τις ανάγκες της εκάστοτε κτιριακής δομής μας σε θέρμανση, ψύξη, φωτισμό και Ζεστό Νερό Χρήσης (Z.N.X). Σε μεγαλύτερης κλίμακας κτίρια όπως αυτά που αφορούν βιομηχανίες ή εταιρείες κρίσιμο ρόλο έχει και ο αερισμός τους. Συγκεκριμένα, από τα στοιχεία του ΥΠΕΝ, 2018 λάβαμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας κατά τελική χρήση αφορά τη θέρμανση των χώρων και συγκεκριμένα κατά 63,7%. Η παραγωγή Ζεστού Νερού Χρήσης (Z.N.X) καταλαμβάνει ένα ποσοστό της τάξεως του 5,7%, το ρεύμα για τις ηλεκτρονικές συσκευές 27,5%, ενώ οι ανάγκες είναι πολύ μικρότερες για τη ψύξη και το φωτισμό. Συγκεκριμένα αυτές καταλαμβάνουν 1,3% και 1,7% αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα αυτά συνοψίζονται στο Γράφημα 16 παρακάτω:



Γράφημα 16. Ποσοστιαία(%) Κατανομή Ενέργειας κατά τη Τελική Χρήση, Πηγή. ΥΠΕΝ, 2018

Βάσει των στοιχείων της ΕΛΣΤΑΤ, 2013 που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο εύρεσης του τύπου θερμομόνωσης των κατοικιών πάρθηκαν τα αποτελέσματα όπως φαίνονται στον Πίνακα 10 παρακάτω αλλά και σε μορφή διαγράμματος στο Γράφημα 17.

Τύπος Θερμομόνωσης	Ποσοστό(%)
Στέγη/Δώμα	38,5
Δάπεδο	2,9
Εξωτερική Τοιχοποιία	77,8
Τοιχοποιία Εσωτερικά	31,3
Στον Φέροντα Οργανισμό	18,3
Άλλη Μόνωση	0,5
Δε γνωρίζω τον τύπο	1,4

Πίνακας 10. Ποσοστό(%) χρήσης διαφορετικών τύπων θερμομόνωσης, Πηγή. ΕΛΣΤΑΤ, 2013



Γράφημα 17. Ποσοστό(%) διαφόρων τύπων θερμομόνωσης τις κατοικίες, Πηγή. ΕΛΣΤΑΤ, 2013

Ως μέσα για την παροχή Ζ.Ν.Χ εμφανίζονται σύμφωνα με την ΕΛΣΤΑΤ, 2013 ο ηλεκτρικός θερμοσίφωνας κατά 74,5%, ο ηλιακός κατά 37,6% ενώ μόλις 25,2% καταλαμβάνει η κεντρική θέρμανση Boiler όπως φαίνονται τόσο πινακοποιημένα στον Πίνακα 11 όσο και στο Γράφημα 18.

Ζ.Ν.Χ	Ποσοστό(%)
Ηλεκτρικός Θερμοσίφωνας	74,5
Ηλιακός Θερμοσίφωνας	37,6
Σύστημα συνδεδεμένο με Κεντρική Θέρμανση(Boiler)	25,2

Πίνακας 11. Μέσα παροχής Ζ.Ν.Χ, Πηγή. ΕΛΣΤΑΤ, 2013



Γράφημα 18. Ποσοστό(%) διαφόρων τρόπων παροχής Ζ.Ν.Χ, Πηγή. ΕΛΣΤΑΤ, 2013

Όσον αφορά την ψύξη, σύμφωνα με την ΕΛΣΤΑΤ, 2013 περίπου 6 στα 10 νοικοκυριά χρησιμοποιούν κάποιο σύστημα ψύξης για τους θερμούς μήνες. Συγκεκριμένα, το 99,7% εξ' αυτών χρησιμοποιεί αυτόνομες μονάδες κλιματισμού, όπως air-conditioning ενώ μόλις το υπόλοιπο 0,3% χρησιμοποιεί κεντρικά συστήματα ψύξης. Από αυτούς το 66,1% που κάνουν χρήση των συστημάτων αυτών για τη ψύξη χρησιμοποιούν 2-4 μήνες το χρόνο, ενώ το 30,9%, λιγότερο από δύο μήνες το χρόνο, όπως φαίνεται πινακοποιημένα στο Πίνακα 12 όσο και σε μορφή πίτσας στο Γράφημα 19.

Χρήση Συστημάτων Ψύξης	Ποσοστό(%)
< 2 μήνες	30,9
2-4 μήνες	66,1
5-6 μήνες	3,1
> 6 μήνες	0

Πίνακας 12. Ποσοστό(%) χρήσης συστημάτων ψύξης, Πηγή. ΕΛΣΤΑΤ, 2013



Γράφημα 19. Ποσοστό(%) χρήσης συστημάτων ψύξης, Πηγή. ΕΛΣΤΑΤ, 2013

Από την ΕΛΣΤΑΤ, 2013 λαμβάνουμε επίσης την ποσοστιαία κατανομή κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, όπως φαίνεται στο Γράφημα 20. Συγκεκριμένα, βλέπουμε ότι οι δύο πιο κοστοβόρες λειτουργίες σε ένα σπίτι αποτελούν το μαγείρεμα και το Ζ.Ν.Χ κατά 38,4% και 9,4% αντίστοιχα. Η θέρμανση καταλαμβάνει μόλις το 3,0%, η ψύξη το 4,9% ενώ ο φωτισμός το 6,4%



Γράφημα 20. Ποσοστιαία(%) Κατανομή Κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2013

2.3.1 Κτιριακό Θερμικό Ισοζύγιο

Το χειμώνα, η εξωτερική θερμοκρασία είναι πολύ χαμηλότερη από την εσωτερική θερμοκρασία του κτιρίου μας. Δεδομένης της ανάγκης για θερμική άνεση των χρηστών, επιδιώκεται η καλύτερη δυνατή αξιοποίηση των εξωτερικών προσόδων με παράλληλη ελαχιστοποίηση των απωλειών θερμότητας. Όσον αφορά μάλιστα το δεύτερο, θεμελιώδη ρόλο έχει η σωστή θερμομόνωση του κτιρίου, όρο για τον οποίο ήδη έγινε αναφορά στην ενότητα 1.3 «Ενεργειακή Κατανάλωση Κτιρίων», του 1^{ου} κεφαλαίου: «Κτίρια και Ενέργεια» Ακριβώς διότι η θερμομόνωση έχει κρίσιμο ρόλο για τη μείωση των θερμικών απωλειών στο κτίριο μας, πρέπει να γίνεται σωστή μελέτη από το μηχανικό για την ελαχιστοποίηση πιθανών οπών στο κτιριακό κέλυφος.

Με αυτό τον τρόπο, έχουμε την όσο το δυνατόν καλύτερη μείωση του ακούσιου αερισμού στο κτίριο μας, που τους χειμερινούς μήνες οδηγεί σε αυξημένες καταναλώσεις θερμικής ενέργειας προς αποκατάσταση της θερμικής άνεσης. Φυσικά, ο αναγκαίος για την υγεία εκούσιος αερισμός συνίσταται τις μεσημβρινές ώρες όπου έχουμε τις μέσες υψηλότερες τιμές και για περιορισμένη ώρα. Στις εξωτερικές προσόδους, αναφερόμαστε στον ήλιο που αποτελεί και τη μοναδική πηγή θερμότητας το χειμώνα. Φυσικά, δεδομένου ότι δεν επαρκεί η ηλιακή ακτινοβολία για την κάλυψη των θερμικών αναγκών, έχουμε χρήση και συμβατικών συστημάτων ενέργειας. Ως βασική πηγή θερμότητας αποτελούν κυρίως η χρήση πετρελαίου και φυσικού αερίου.

Σε έρευνα της ΕΛΣΤΑΤ που πραγματοποιήθηκε τους χειμερινούς μήνες Οκτώβριο έως Απρίλιο για τα έτη 2010 και 2011 τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η κατανομή της μέσης ετήσιας συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας κατά χρησιμοποιούμενο καύσιμο, έθεσε το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο ως τους κύριους τρόπους θέρμανσης ενός νοικοκυριού.

Φυσικά, δεδομένης της ενεργειακής κρίσης με την αύξηση των τιμών του πετρελαίου, όσο και η ανάγκη για στροφή σε φιλικότερες προς το περιβάλλον ενεργειακών πηγών, οδήγησαν στην εφαρμογή νέων μεθόδων. Σε αυτές συγκαταλέγονται κατά βάση Ανανεώσιμες Πηγές με χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας για παραγωγή καθαρής ενέργειας. Τα αποτελέσματα της έρευνας της Eurostat για το ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας μας που δημοσιεύτηκε το 2016 έδειξε ότι συγκριτικά με τα αποτελέσματα της μελέτης της ΕΛΣΤΑΤ περνώντας τα έτη είχαμε ανάπτυξη των Α.Π.Ε και σημαντική μείωση στο ποσοστό χρήσης του πετρελαίου για θέρμανση. Η χρήση του φυσικού αερίου είχε μία αύξηση, παρέμεινε ωστόσο σε σχετικά χαμηλά επίπεδα, ενώ αύξηση παρατηρήθηκε στη χρήση του ηλεκτρικού ρεύματος. Η χρήση Α.Π.Ε εμφανίζει αυξητικές τάσεις κάθε χρόνο.

2.3.2 Κτιριακό Θερμικό Ισοζύγιο το Καλοκαίρι

Το καλοκαίρι στη χώρα μας είναι πάντοτε πολύ θερμό με τις θερμοκρασίες να είναι τέτοιες που η θερμική άνεση καθίσταται δύσκολα επιτεύξιμη. Κύριος στόχος ενός μηχανικού είναι ο περιορισμός των θερμικών προσόδων από το εξωτερικό περιβάλλον και η απόρριψη τους πίσω σε αυτό. Μία βασική για την προστασία από την ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί ο σωστός προσανατολισμός των κυρίως ανοιγμάτων του κτιρίου μας προς το Νότο. Ακόμη, βασικό στοιχείο αποτελεί και η σωστή θερμομόνωση, καθώς η ορθή σφράγιση των όποιων οπών περιορίζει την είσοδο θερμού αέρα. Τεχνικές όπως η φυσική ηλιοπροστασία με εκμετάλλευση της βλάστησης συνιστώνται. Βασικό στοιχείο ωστόσο αποτελεί και η ελάττωση των θερμικών προσόδων που προκύπτουν από το φωτισμό του κτιρίου. Για το λόγο αυτό συνίσταται η χρήση λαμπτήρων τεχνολογίας led μειωμένης παραγωγής θερμότητας και φυσικά χρήση όσο το δυνατόν μεγαλύτερων ανοιγμάτων υαλοπινάκων για εισροή φυσικού φωτός. Πέρα όλων των μέτρων η απαραίτητη θερμική άνεση επέρχεται με τη χρήση συστημάτων εξαερισμού και κλιματιστικών.

2.4 Νομοθετικό Πλαίσιο και Μακροπρόθεσμοι Στόχοι

Νομοθετικό Πλαίσιο Ευρωπαϊκής Ένωσης

Το βασικό Νομοθετικό Πλαίσιο στο οποίο θεμελιώνεται η πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ορίζεται στην ανάγκη εκπλήρωσης δύο βασικών παραμέτρων:

- 1) Στη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας των κτιρίων και τη κατασκευή κτιριακών δομών χαμηλής ή και μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (Zero Energy Buildings).
- 2) Στη μείωση των εκπεμπόμενων αερίων του θερμοκηπίου και κυρίως του CO₂ με την εγκατάσταση ενεργειακά αποδοτικών συστημάτων.

Βασικοί στόχοι της Ευρωπαϊκής Ένωσης αποτελούν:

- 1) Η αύξηση στο 20% μέχρι το 2020, ποσοστό που αφορά τη χρήση Α.Π.Ε για την κάλυψη των αναγκών σε θέρμανση, ψύξη και φωτισμό των κτιριακών υποδομών των χωρών, όσο και των μεταφορών. Το ποσοστό αυτό, ανέρχεται στο 18% για τη χώρα μας.
- 2) Η μείωση κατά 20% των ρυπογόνων αερίων του θερμοκηπίου του θερμοκηπίου σε σύγκριση με αυτά του 1990. Για τη χώρα μας το ποσοστό αυτό εμφανίζει μείωση της τάξης του μόλις 4%.
- 3) Σταδιακή αύξηση σε ενεργειακή επάρκεια, στόχο που αποτελεί το 20%. Το ευτυχές για τη χώρα μας, βάσει των στατιστικών στοιχείων που μας δίνει η Ευρωπαϊκή Στατιστική Αρχή, είναι μέσα στα όρια και συγκεκριμένα στο 24,7%.

Στα πλαίσια αυτά, η Ευρωπαϊκή Αρχή, προχώρησε στη λήψη μέτρων και σύνταξης οδηγιών για την ενεργειακή επίδοση των κτιριακών δομών. Δεδομένου μάλιστα ότι το 35% περίπου των εκπομπών του CO₂ προέρχεται από τις κτιριακές δομές, καθιστά επιτακτική την ανάγκη λήψης ουσιαστικών μέτρων. Ένα από τα βασικότερα αυτά μέτρα, αποτελεί η χρήση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε) για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Η Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (Σ.Η.Θ) αποτελεί ακόμη ένα ουσιαστικό μέτρο. Η επίτευξη των στόχων αυτών, απαιτεί υψηλά κονδύλια, η κάλυψη των οποίων προέρχεται σε μεγάλο μέρος από τη χρηματοδότηση του ευρωπαϊκού τραπεζικού τομέα. Στο πλαίσιο της ευρωπαϊκής περιβαλλοντικής πολιτικής, θεσπίστηκαν οδηγίες και κανονισμοί που κάθε χώρα μέλος της οφείλει να εναρμονιστεί και να ενσωματώσει στο δικό της εκάστοτε νομοθετικό πλαίσιο. Η χώρα μας, ακολουθεί σε ένα αρκετά μεγάλο ποσοστό αυτές τις ευρωπαϊκές περιβαλλοντικές επιταγές.

Μία από τις θεμελιώσεις οδηγίες-κανονισμούς, αποτελεί η **οδηγία 2002/91/ΕΚ** που θεσπίστηκε στις 16-12-2002 και αφορά στην ενεργειακή απόδοση των κτιρίων (EPBD). Η οδηγία αυτή ενσωματώθηκε στην πλειοψηφία των πολεοδομικών νόμων των κρατών μελών της Ένωσης, έχοντας λάβει υπόψιν τα κλιματολογικά, οικονομικά και κοινωνικά δεδομένα της κάθε χώρας μέλους. Η οδηγία αυτή ανανεώθηκε με σκοπό την αποσαφήνιση των όποιων κενών είχαν προκύψει. Έτσι, ορίστηκε η **οδηγία 2010/31/ΕΚ** (19-05-2010).

Βασικοί στόχοι της οδηγίας αυτής είναι:

- 1) Η μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων, όπως του CO₂ και περιορισμός των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που απορρέουν από αυτούς.
- 2) Η ορθολογικότερη χρήση της ενέργειας
- 3) Η καλύτερευση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων με την εφαρμογή των κοινοτικών οδηγιών.
- 4) Η χρήση σε όλο και μεγαλύτερο εύρος των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε).

Στα πλαίσια της οδηγίας αυτής, ορίστηκε μία μεθοδολογία για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων σύμφωνα με:

- i. Τη μόνωση και τη θερμοχωρητικότητα του εκάστοτε κτιρίου.
- ii. Τις εγκαταστάσεις κλιματισμού.
- iii. Τις εγκαταστάσεις φωτισμού.
- iv. Τον ορθό προσανατολισμό του κτιρίου για την επίδραση της ηλιοφάνειας.
- v. Το σύστημα θέρμανσης και ζεστού νερού χρήσης.
- vi. Την παραγωγή ενέργειας από Σ.Η.Θ.

Νομοθετικό Πλαίσιο της Ελλάδας

Η χώρα μας, αποτελώντας χώρα-μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όφειλε από την πρώτη στιγμή να εναρμονιστεί με την ισχύουσα ευρωπαϊκή νομοθεσία. Ήδη από το 1979 η Ελλάδα ξεκίνησε την προσπάθεια της εξοικονόμησης ενέργειας μέσω της σύστασης του Κανονισμού Θερμομόνωσης Κτιρίων (Κ.Θ.Κ) και στη συνέχεια, του Κανονισμού Ορθολογικής Χρήσης και Εξοικονόμησης Ενέργειας (Κ.Ο.Χ.Ε.Ε.) Στα σύγχρονα πλαίσια της εναρμόνισης αυτής, λαμβάνοντας υπόψιν τις ισχύοντες τοπικές, κλιματολογικές, οικονομικές, και κοινωνικές συνθήκες ορίστηκε ένας νέος ενιαίος κανονισμός.

Ο κανονισμός αυτός, που ονομάζεται **Κ.Εν.Α.Κ(Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων)** έχει ως σκοπό τη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας που απαιτείται για ψύξη,

θέρμανση, φωτισμό, κλιματισμό και παραγωγής ζεστού νερού χρήσης (ZNX), μέσω της αναβάθμισης του κτιριακού τομέα με ταυτόχρονη διασφάλιση της άνεσης για τον άνθρωπο. Πρακτικά δηλαδή, ο Κ.Εν.Α.Κ ορίζει έναν ολοκληρωμένο ενεργειακό σχεδιασμό για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του εκάστοτε κτιρίου, την εξοικονόμηση ενέργειας και την προστασία εν γένει του περιβάλλοντος. Αυτά, επιτυγχάνονται μέσω:

- i) Της εκπόνησης της Μελέτης Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων για τα νέα κτίρια, όσο και για τα υφιστάμενη ανακαίνισης για την εκτίμηση των ενεργειακών τους καταναλώσεων.
- ii) Θέσπισης ελαχίστων απαιτήσεων και ενεργειακής τους κατάστασης σύμφωνα με την έκδοση του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης (Π.Ε.Α).
- iii) Καθορισμού ελαχίστων προδιαγραφών για τον ορθολογικό ενεργειακό σχεδιασμό των κτιρίων, των θερμικών χαρακτηριστικών των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους, όσο και των προδιαγραφών των ηλεκτρομαγνητικών εγκαταστάσεων.
- iv) Επιθεώρησης λεβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης και κλιματισμού.

Παράλληλα σημειώνεται ότι η ενεργειακή επιθεώρηση με τον Κ.Εν.Α.Κ αποτελεί ένα βασικό εργαλείο αποτύπωσης της ενεργειακής κατάστασης ενός κτιρίου όσο και για τη βελτίωση του. Μάλιστα, η έκδοση του Π.Ε.Α όσο και οι ενεργειακές επιθεωρήσεις προσδίδουν χρήσιμα στοιχεία σχετικά με το ετήσιο λειτουργικό κόστος για τη θέρμανση, τη ψύξη, το φωτισμό, το ZNX, κλπ. Με τον τρόπο αυτό, το κτίριο αποκτά την ενεργειακή του ταυτότητα στην οποία αποτυπώνεται το ενεργειακό του ισοζύγιο καθιστώντας ευκολότερη οποιαδήποτε προσπάθεια βελτίωσης της ενεργειακής του απόδοσης. Τέλος με τον Κ.Εν.Α.Κ καθορίζονται και οι κλιματικές ζώνες και τα κλιματολογικά δεδομένα της εκάστοτε περιοχής, όπως φαίνεται στην εικόνα 3. Σε αυτή, βλέπουμε ότι η ελληνική επικράτεια είναι διαχωρισμένη σε 4 κλιματικές ζώνες από τη θερμότερη στη ψυχρότερη.



Εικόνα 3. Κλιματικές Ζώνες της Ελλάδος, Πηγή: ΚΕΝΑΚ, 2016

3^ο Κεφάλαιο

Φ/Β ΣΕ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΕΣ

3.1 Ορισμός Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα, χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος με χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας. Μία τυπική διάταξη ενός φωτοβολταϊκού (Φ/Β) περιλαμβάνει το Φ/Β πλαίσιο, τον αντιστροφέα (inverter) εναλλασσόμενου-συνεχούς ρεύματος, τους συσσωρευτές(μπαταρίες), έναν ρυθμιστή φόρτισης και τον πίνακα ελέγχου.

Ο Φ/Β πίνακας (πλαίσιο) αποτελείται από ηλεκτρονικώς συνδεδεμένα στοιχεία/κυψέλες που απορροφούν την ηλεκτρική ενέργεια και τη μετατρέπουν σε ρεύμα. Το ρεύμα αυτό, διαμέσου του αντιστροφέα τροφοδοτείται στις ηλεκτρικές συσκευές, αφού πρώτα μετατραπεί από συνεχές σε εναλλασσόμενο. Οι συσσωρευτές, αποτελούν ένα πολύ σημαντικό στοιχείο του Φ/Β συστήματος και χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας. Δεδομένου ότι αυτοί είναι πολύ ευαίσθητοι σε περιπτώσεις υπερφόρτισης ή αποφόρτισης χρειάζονται ιδιαίτερη διαχείριση με καθημερινή πλήρη φόρτιση, μέσω της ρύθμισης διαχείρισης από το ρυθμιστή φόρτισης(που είναι υπεύθυνος για τη φόρτιση των συσσωρευτών) και τον πίνακα ελέγχου.

Όσον αφορά τώρα εάν τα Φ/Β συστήματα παράγουν ενέργεια για ίδια κατανάλωση ή όχι, διακρίνονται στα αυτόματα και τα διασυνδεδεμένα, τα

οποία απλώς έχον και έναν μετρητή της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού (Δ.Ε.Η).

Τα Φ/Β αποτελούν σήμερα, εν μέσω της ενεργειακής κρίσης, εάν πολύ προσοδοφόρο και ελπιδοφόρο τρόπο επίλυσης των προβλημάτων των ενεργειακών. Ωστόσο, η απόδοση τους εξαρτάται από την περιοχή εγκατάστασης τους, όσον αφορά το κλίμα και το γεωγραφικό πλάτος που ανήκει η περιοχή αυτή. Φυσικά η σωστή μελέτη εγκατάστασης τους αποτελεί μία επιπλέον κρίσιμη παράμετρο.

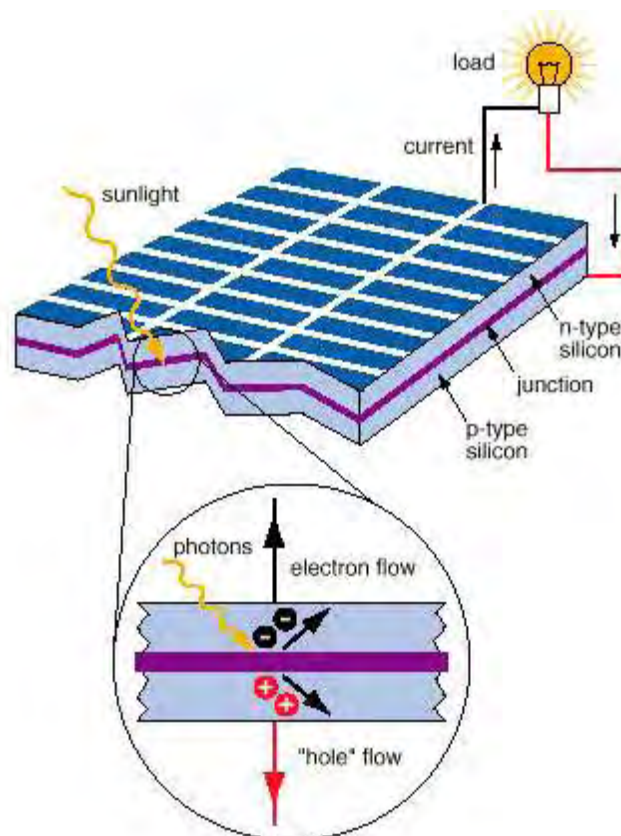
Το ποσοστό απορρόφησης της διαθέσιμης ακτινοβολίας εξαρτάται άμεσα από την ορθή τοποθέτηση των Φ/Β πλαισίων όσον αφορά τον **προσανατολισμό** τους, που πρέπει βέλτιστα να είναι προς το Νότο και με κλίση περίπου 30 μοίρες ως προς την οριζόντιο για μέγιστη απόδοση. Αποδεκτές, είναι και οι περιπτώσεις προσανατολισμού προς τα νοτιοανατολικά και νοτιοδυτικά, όσο και ανατολικά και δυτικά με κλίσεις από 0° έως 90° ($0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 90^\circ$) με μειωμένες φυσικά ενεργειακές αποδόσεις. Σημειώνεται ωστόσο, ότι ο βόρειος, βορειοανατολικός και βορειοδυτικός προσανατολισμός απορρίπτονται λόγω αρκετά μειωμένων ενεργειακών αποδόσεων. Η απόδοση ενός Φ/Β επηρεάζεται ακόμη και από τις όποιες **σκιάσεις** προκαλούνται, είτε από γειτονικές οικίες, πολυκατοικίες, είτε από τη μορφολογία της περιοχής, όπως δένδρα, λόφοι κλπ. Φυσικά, επηρεάζεται και από την **αυτοσκίαση** που δημιουργείται σε περιπτώσεις φωτοβολταϊκών συστοιχιών, όσο και σε προσωρινές σκιάσεις, λόγω σκόνης, φύλλων, χιονιού, κουτσουλιών, κλπ.

Αναγκαίος κρίνεται ακόμη και αερισμός του Φ/Β συστήματος με την μικρή αναγκαία απόσταση μεταξύ δαπέδου εφαρμογής και βάσης του συστήματος. Μάλιστα, η εγκατάσταση της εξελιγμένης πρόσφατα τεχνολογίας εγκατάστασης στη βάση στήριξης, ανίχνευσης της πορείας του ήλιου οδηγεί σε βελτιώσεις της απόδοσης της τάξης του 35%. (Κοσμόπουλος και Περιβολάρης, 2017)

Σύμφωνα με την πειραματική προσέγγιση του Δημοκρίτειο Πανεπιστημίου Θράκης (Δ.Π.Θ) σχετικά με τον πειραματικό οικισμό ZED-KIM (Zero Energy Demand-Kimmeria) που ανέπτυξαν, στο “Εργαστήριο Περιβαλλοντικού και Ενεργειακού Σχεδιασμού Κτιρίων και Οικισμών Δ.Π.Θ” στη Ξάνθη είχαμε, ότι ακόμη και στη Βόρειο Ελλάδα όπου στερεί σε ήλιο συγκριτικά ε τη Νότιο Ελλάδα, ένα μικρό φωτοβολταϊκό σύστημα και μία μικρή ανεμογεννήτρια μπορούν να καλύψουν τις μέσες ενεργειακές ανάγκες σε ηλεκτρικό ρεύμα ενός μέσου νοικοκυριού με μέση ετήσια κατανάλωση 4500 kWh/έτος .

3.2 Η Λειτουργία του Φ/Β στοιχείου-κυψέλης

Η λειτουργία ενός Φ/Β συστήματος βασίζεται στο Β/Β στοιχείο-κυψέλη του. Αυτό, αποτελείται από δύο τεχνητούς ημιαγωγούς, συνήθως από πυρίτιο, με ανάστροφα πολωμένες στρώσεις που δημιουργούν μία επαφή (θετικό-αρνητικό). Η ένωση τους, οδηγεί σε κίνηση τα φωτόνια που απορροφώνται από τις κυψέλες λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας, παράγοντας τελικώς ηλεκτρικό ρεύμα. Η διαδικασία αυτή πάνω στην οποία βασίζεται η λειτουργία του φωτοβολταϊκού, ονομάζεται «**Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο**». Το φαινόμενο αυτό ανακαλύφθηκε από τον Εντμόντ Μπεκερέλ (Alexandre-Endond Bequerel). Πρακτικά, το φαινόμενο αυτό ορίζεται ως η απορρόφηση της ενέργειας του φωτός από τα ηλεκτρόνια των ατόμων του Φ/Β στοιχείου και η απόδραση-κίνηση αυτών, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος από το θετικό προς τον αρνητικό πόλο. Εξήγηση στο φαινόμενο αυτό δίνουν και οι Κοσμόπουλος και Περιβολάρης, 2017 σύμφωνα με τους οποίους: «Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στο Φ/Β στοιχείο απελευθερώνει ηλεκτρόνια στις 2 στρώσεις, τα οποία υπό την παρουσία κάποιου τύπου n(negative) στη στρώση τύπου p(positive), μέσω πολύ λεπτών καλωδίων δημιουργώντας έτσι ηλεκτρικό ρεύμα». Η μορφή του φαίνεται στην εικόνα 4 παρακάτω:



Εικόνα 4. Φωτοβολταϊκή Διάταξη και Λειτουργία, Πηγή. Τ.Ε.Ε, 2009

3.3 Τύποι Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

3.3.1 Εγκατάσταση στην Οριζόντια Επιφάνεια του Κτιρίου (Δώμα, Στέγη).

- Μη ενσωματωμένα Φ/Β σε δώμα.

Η επιλογή αυτή που μας επιτρέπει τη δυνατότητα καθορισμού από το μηχανικό-μελετητή του προσανατολισμού και της βέλτιστης γωνίας κλίσης (30°) για την καλύτερη απόδοση τους. Παράλληλα, παρέχει σκίαση στο δώμα της οικίας/πολυκατοικίας, ωστόσο απαιτείται επιπλέον κόστος για τις βάσεις στήριξης που θα πατάνε τα Φ/Β συστήματα. Προσοχή χρειάζεται στην αυτοσκίαση, σε περιπτώσεις συστοιχίας Φ/Β, δηλαδή προσοχή στη διάταξη τους, όπου πρέπει να τηρείται μία απόσταση αυτών. Τέλος, πρέπει να γίνει έλεγχος από το δομοστατικό μηχανικό εάν αντέχει το επιπλέον στατικό φορτίο. Η εικόνα ενός μη ενσωματωμένου φωτοβολταϊκού σε δώμα φαίνεται στην εικόνα 5 παρακάτω:



Εικόνα 5. Μη Ενσωματωμένα Φ/Β σε Δώμα, Πηγή: <https://bit.ly/2EuXZGb>

- Ενσωματωμένα Φ/Β σε δώμα.

Στην περίπτωση αυτή έχουμε πλήρη αξιοποίηση της διαθέσιμης επιφάνειας του δώματος, έχουμε χρήση των Φ/Β ως δομικό υλικό, ωστόσο δεν υπάρχει δυνατότητα προσανατολισμού και κλίσης. Έτσι, υπάρχει προφανώς μειωμένη απόδοση. Απαιτούνται πάλι φυσικά στατικός έλεγχος, εάν αυτά τοποθετηθούν μεταγενέστερα της κατασκευής και έλεγχος στεγανότητας. Αναμεταξύ των συστημάτων υπάρχει και δυνατότητα μόνωσης. Στην εικόνα 6 παρακάτω έχουμε μία περίπτωση ενσωματωμένου φωτοβολταϊκού σε δώμα.



Εικόνα 6. Ενσωματωμένα Φ/Β σε Δώμα, Πηγή: <https://bit.ly/2SzCljS>

- Ενσωματωμένα Φ/Β σε στέγες.

Η απόδοση εδώ, εξαρτάται από την κλίση της στέγης. Υπάρχει πλήρης αξιοποίηση της επιφάνειας τοποθέτησης, ενώ απαραίτητος είναι και ο έλεγχος στεγανότητας. Μάλιστα, εάν η στέγη είναι εύκαμπτη, λόγω ασύμμετρων γωνιών, δεν υπάρχει κάποια βέλτιστη γωνία και άρα βέλτιστη απόδοση. Έχουμε χρήση εύκαμπτων Φ/Β συστημάτων με πλήρη αξιοποίηση της επιφάνειας, ενώ απαραίτητοι κρίνονται οι έλεγχοι στεγανότητας και στατικής επάρκειας. Στην εικόνα 7 έχουμε παρακάτω μία περίπτωση ενσωματωμένων φωτοβολταϊκών σε στέγη.



Εικόνα 7. Ενσωματωμένα Φ/Β σε στέγη, Πηγή: <https://bit.ly/2EuXZGb>

- Ενσωματωμένα Φ/Β σε Αίθρια και Ανοίγματα Οροφής.

Στην περίπτωση αυτή, η απόδοση εξαρτάται πάλι από τον προσανατολισμό και την κλίση της επιφάνειας τοποθέτησης, ενώ απαραίτητος κρίνεται ο έλεγχος στεγανότητας. Το σύστημα, μας παρέχει και φυσικό φωτισμό, με πλήρη αξιοποίηση της διαθέσιμης επιφάνειας,

αντικαθιστώντας πρακτικά τα συμβατικά δομικά στοιχεία, όπως φαίνεται στην εικόνα 8 παρακάτω:



Εικόνα 8. Ενσωματωμένα Φ/Β σε Αίθρια και Ανοίγματα Οροφής, Πηγή: <https://bit.ly/2SzCIjS>

3.3.2 Εγκατάσταση στην Κάθετη Επιφάνεια του Κτιρίου.

- Μη ενσωματωμένα Φ/Β σε Πρόσοψη.

Στην περίπτωση αυτή, μπορούμε να τα χρησιμοποιήσουμε στις κατακόρυφες επιφάνειες πρόσοψης, όπου μπορούμε να ελέγξουμε τη γωνία κλίσης, ενώ ο προσανατολισμός εξαρτάται φυσικά από αυτόν του κτιρίου. Η γωνία κλίσης, μπορεί να κάνει το Φ/Β να λειτουργήσει και ως σκίαστρο φυσικό, ελέγχου του εξωτερικού φωτός. Στην εικόνα 9 έχουμε μία αναπαράσταση της περίπτωσης αυτής



Εικόνα 9. Μη Ενσωματωμένα Φ/Β σε Πρόσοψη, Πηγή: <https://bit.ly/2SzCIjS>

- Ενσωματωμένα Φ/Β σε Πρόσοψη.

Σε αυτή την περίπτωση, μπορούμε να έχουμε είτε αδιαφανή, είτε ημιδιαφανή φωτοβολταϊκά, ελέγχοντας έτσι έτσι το φυσικό φως που έρχεται στην προσαρμοσμένη από Φ/Β πρόσοψη. Η κλίση εδώ, είναι υποχρεωτικά 90° και ως εκ τούτου η απόδοση δεν είναι η μέγιστη

(βέλτιστη). Απαραίτητοι κρίνονται οι έλεγχοι μόνωσης και στεγανότητας. Αυτά, αφορούν και την περίπτωση μελέτης μας, τη γυάλινη πρόσοψη (υαλοπίνακας) που αναπτύσσεται στην ενότητα 3.4, ενώ στην εικόνα 10 έχουμε μία εικόνα σχετική.



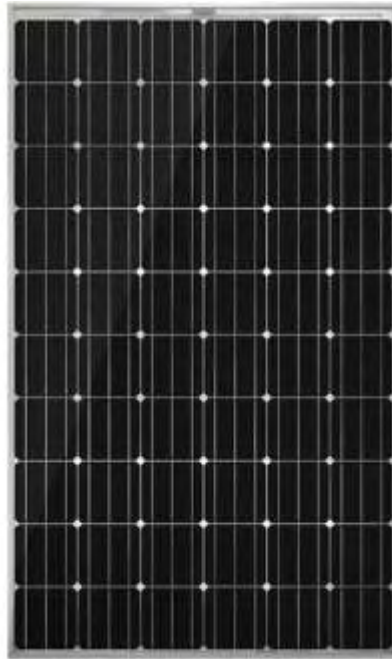
Εικόνα 10. Ενσωματωμένα Φ/Β σε Πρόσοψη, Πηγή: <https://bit.ly/2SzCIjS>

3.4 Τύποι Φωτοβολταϊκών Πλαισίων

Η απόδοση των Φ/Β πλαισίων ανεξαρτήτως τύπου μειώνεται από 0,5% έως 1,0% ανά έτος.

- Μονοκρυσταλλικού Πυριτίου

Τα μονοκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα είναι κατασκευασμένα από κυψέλες πυριτίου με πολύ υψηλές αποδόσεις μετατροπής ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρικό ρεύμα που προσεγγίζουν το 20%. Μπορεί να είναι τετράγωνα με στρογγυλεμένες άκρες ή κυκλικά, αλλά προτιμώνται τα πρώτα αφού καλύπτουν μεγαλύτερη επιφάνεια, παρότι είναι πιο ακριβά. Κύριο μειονέκτημα αυτού του τύπου φωτοβολταϊκού είναι το ψηλό κόστος παραγωγής. Το χρώμα τους είναι είτε μαύρο, είτε σκούρο μπλε με αντι-ανακλαστική επιφάνεια και με διάρκεια ζωής περίπου τα 30 έτη, ενώ στην εικόνα 11 έχουμε τη μορφή ενός τέτοιου τύπου φωτοβολταϊκού πάνελ.



Εικόνα 11. Πάνελ Μονοκρυσταλλικού Πυριτίου, Πηγή: <https://bit.ly/2B3FVEF>.

- Πολυκρυσταλλικού Πυριτίου

Τα πολυκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα είναι επίσης κατασκευασμένα από λεπτά τετραγωνισμένες ράβδους πυριτίου. Η ενεργειακή τους απόδοση είναι μικρότερη από αυτή των μονοκρυσταλλικών, αφού αποδίδουν έως 16% περίπου. Τα πολυκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα είναι τετράγωνα, χωρίς στρογγυλεμένες γωνίες και η παρασκευή τους είναι λιγότερο δαπανηρή. Το χρώμα τους είναι γαλάζιο μπλε, ενώ λόγω της καλής σχέσης τιμής-απόδοσης είναι τα πλέον διαδεδομένα στη χώρα μας, όπως φαίνεται στην εικόνα 12 παρακάτω.



Εικόνα 12. Πάνελ Πολυκρυσταλλικού Πυριτίου, Πηγή: <https://bit.ly/2M7AqtT>.

- Λεπού Υμενίου (Thin-film)

Τα ηλιακά κύτταρα αυτά κατασκευάζονται κατά βάση από άμορφο πυρίτιο. Τα άτομα του πυριτίου είναι διατεταγμένα τυχαία, ενώ λόγω της χαμηλότερης ποσότητας πυριτίου που αυτά έχουν, κοστίζουν λιγότερο, ενώ αποδίδουν καλύτερα σε ψηλότερες θερμοκρασίες. Κύριο μειονέκτημα τους αποτελεί η πολύ χαμηλή τιμή απόδοσης, σε σχέση με τις άλλες δύο κατηγορίες Φ/Β, αφού φτάνει έως 11%. Η χρήση τους περιορίζεται σε περιπτώσεις που έχουμε κακό προσανατολισμό (μεικτές γωνίες), όσο και έντονων σκιάσεων. Το χρώμα τους είναι σκούρο μπλε ή σκούρο μαύρο, όπως φαίνεται στην εικόνα 13 παρακάτω



Εικόνα 13. Πάνελ Λεπού Υμενίου, Πηγή: <https://bit.ly/2nuB9Xe>.

- Υβριδικά Φ/Β Πάνελ

Τα υβριδικά πάνελ, αποτελούν έναν συνδυασμό των άνω κατηγοριών φωτοβολταϊκών, ενώ διακρίνονται για τις πολύ υψηλές αποδόσεις τους της τάξης του περίπου 20%, τη μεγάλη

δυνατότητα απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας και αντοχής σε υψηλές θερμοκρασίες. Βασικό τους μειονέκτημα αποτελεί το πολύ υψηλό τους κόστος, γι' αυτό και δύσκολα προτιμώνται έναντι των υπολοίπων. Μάλιστα στην εικόνα 14 παρακάτω έχουμε μία εικόνα της μορφής του συγκεκριμένου υβριδικού τύπου φωτοβολταϊκού πάνελ.



Εικόνα 14. Υβριδικό Πάνελ, Πηγή: <https://bit.ly/2vCNfIP>.

3.5 Φωτοβολταϊκοί Υαλοπίνακες

3.5.1 Γενικές Ιδιότητες Ενεργειακών Υαλοπινάκων

Οι **υαλοπίνακες** που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή για την πλήρωση ως μη φέροντες οργανισμοί, αποτελούν βασικό στοιχείο της κατασκευής όσον αφορά το διαχωρισμό του εσωτερικού χώρου από το εξωτερικό περιβάλλον, διασφαλίζοντας μία ικανοποιητική οπτική επαφή με αυτό. Η επιλογή του κατάλληλου υαλοπίνακα, τόσο όσον αφορά τις διαστάσεις του, όσο φυσικά και τις ιδιότητες αυτού, είναι καθοριστική για ένα πλήθος λειτουργικών παραγόντων του κτιρίου.

Σε αυτά, συμπεριλαμβάνονται οι ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις του κτιρίου μας, υπό το πρίσμα των αναγκών για θέρμανση, ψύξη, φωτισμό και αερισμό για τις διάφορες τιμές των ιδιοτήτων **Θερμοπερατότητας** (u-value), **Ηλιακού κέρδους** (g-value) και **Οπτικής Διαπερατότητας-Φωτοδιαπερατότητας** (Light Transparency), **Ανακλαστικότητας** (Light Reflection) και **Απορροφητικότητας**. Μάλιστα, τα φωτοβολταϊκά συστήματα που χρησιμοποιούνται ως ενσωματωμένα συστήματα στους υαλοπίνακες σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να απορροφούν και να επαναχρησιμοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία, όπως θα αναπτυχθεί στη συνέχεια. Τα φωτοβολταϊκά αυτά είναι κατηγορίας thin film. Ιδιαίτερη σημασία αποτελεί και το κλίμα της περιοχής που εγκαθίστανται οι υαλοπίνακες στην κατασκευή μας και ως εκ τούτου, πρέπει να επιτρέπεται ο επαρκής φωτισμός και θέρμανση σε ψυχρότερα κλίματα, ενώ στα θερμότερα το θερμικό κέρδος πρέπει να μειώνεται. Ο υαλοπίνακας δεδομένου ότι αποτελεί το μέρος με το μεγαλύτερο ποσοστό θερμικών ανταλλαγών, η ανάγκη για τη δημιουργία θερμικής άνεσης και ρύθμιση του εσωτερικού

κλίματος επιτάσσει πέρα των ιδιοτήτων που αναφέρθηκαν και σωστή θερμομόνωση με την ελαχιστοποίηση των θερμογεφυρών.

Ορισμένες από τις βασικές ιδιότητες ενός υαλοπίνακα, είναι:

- **Συντελεστής Θερμοπερατότητας (U-value):** Αντιπροσωπεύει την ποσότητα της θερμότητας ανά μονάδα χρόνου που περνά μέσα από τη μονάδα επιφανείας του υλικού (1m^2), στοιχείου κατασκευής πάχους d (m) όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των επιφανειών αυτών είναι ίση με 1K .
(όπου: K: Kelvin = 273 + Celcius).
Εκφράζεται σε βατ ανά τετραγωνικό μέτρο*kelvin, ($\text{W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$ ή $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$).

→ Τα καλά μονωμένα τμήματα ενός κτιρίου έχουν χαμηλή θερμοπερατότητα U, δηλαδή πρακτικά χαμηλή μεταφορά θερμότητας, ενώ τα κακώς μονωμένα μέρη ενός κτιρίου έχουν υψηλή θερμοπερατότητα U.

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας για ένα διπλό υαλοπίνακα εξαρτάται από:

- i) Το εύρος του διάκενου μεταξύ των 2 στρώσεων.
- ii) Τα μόρια αέρα ή κάποιου αερίου πλήρωσης του διάκενου.
- iii) Την ανακλαστικότητα της εξωτερικής επιφάνειας του υαλοπίνακα.

Η **θερμοπερατότητα** υπολογίζεται από τις σχέσεις:

- I. Για αδιαφανή υλικά η 1 διάστασης (1-d) τιμή u-value υπολογίζεται από τη σχέση:

$$U_{1d} = \frac{1}{R_{si} + \sum R_n + R_{se}} \quad (\Sigma_2)$$

όπου:

R_{si} : Η αντίσταση της εσωτερικής επιφανείας.

R_{se} : Η αντίσταση της εξωτερικής επιφανείας.

$\sum R_n$: Το άθροισμα της θερμικής αντίστασης n στρωμάτων.

Όπου: $R_n = \frac{d}{\lambda}$ με:

d = πάχος στρώσης και λ =Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας υλικού.

Παρατηρούμε λοιπόν από τη σχέση ότι φαίνεται και πρακτικά ότι όσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση ενός υλικού, άρα τόσο καλύτερα μονωμένο, τόσο μικρότερος θα είναι και ο συντελεστής θερμοπερατότητας U-value.

II. Για 2 διαστάσεων (2-d) τιμή U-value η διαπερατότητα υπολογίζεται βάσει μίας αριθμητικής θερμικής ροής σε W σύμφωνα με τη σχέση:

$$\Phi = A \times U \times (T_1 - T_2) \quad (\Sigma_4)$$

Όπου:

Φ είναι η μεταφορά θερμότητας σε W,

U είναι η θερμοπερατότητα,

T_1 είναι η θερμοκρασία στη μία πλευρά της δομής,

T_2 είναι η θερμοκρασία στην άλλη πλευρά της δομής

A είναι η επιφάνεια σε τετραγωνικά μέτρα.

Άρα, συνεπώς εμείς, θέλουμε **μικρή μεταφορά ενέργειας Φ** μέσα από το στοιχείο κατασκευής μας (τοιχοποιία ή υαλοπίνακας) και ως εκ τούτου **για σταθερό A και T_1-T_2** θα ζητήσουμε **χαμηλές τιμές θερμοπερατότητας U** , ώστε **Φ μικρό και επομένως καλά μονωμένο στοιχείο κατασκευής.**

- **Συντελεστής Ηλιακού Θερμικού Κέρδους**
(Solar Heat Gain Coefficient ή G-value):

Ο Συντελεστής ηλιακού θερμικού κέρδους είναι ίσος με το λόγο της ηλιακής θερμικής ενέργειας που διαπερνά τον υαλοπίνακα μας προς την ηλιακή θερμική ενέργεια που προσπίπτει συνολικά στην επιφάνεια αυτού.

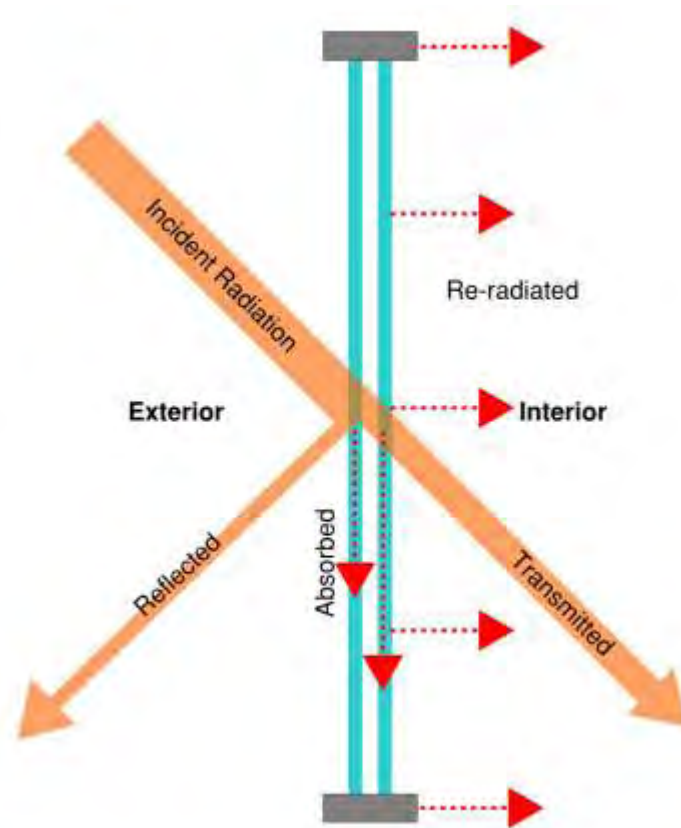
$$\text{G-value} = \frac{\text{Διαπερασθείσα Ηλιακή Θερμική Ενέργεια}}{\text{Ολική Προσπίπτουσα Ηλιακή Θερμική Ενέργεια}} \quad (\Sigma_5)$$

Με τιμές: $0 < \text{G-value} < 1$

Πρακτικά προσπίπτει το ηλιακό φως στο παράθυρο. Ένα κομμάτι του ήλιου περνάει κατευθείαν, ένα άλλο κομμάτι του απορροφάται και εκπέμπεται δευτερογενώς, ζεσταίνοντας το παράθυρο και τελικώς (δευτερογενώς περνά στο εσωτερικό του χώρου η θερμότητα).

Εάν αθροίσουμε αυτό που περνάει δευτερογενώς και αυτό που περνάει κατευθείαν, το άθροισμα που προκύπτει είναι το G-value. Δηλαδή, αν **G-value =50%** , τότε από το **100%**

της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει αρχικώς στον υαλοπίνακα το 50% μετά, θα είναι αυτό που περνάει άμεσα και αυτό που είναι δευτερογενώς εκπεμπόμενο.



Εικόνα 15. Αναπαράσταση Πορείας Φωτός, Πηγή: <https://bit.ly/2H0yVKT>

→ Γενικώς, ως μηχανικοί επιλέγουμε να χρησιμοποιούμε στις κατασκευές μας υαλοπίνακες με χαρακτηριστικά G-value ανάλογα των επικρατουσών συνθηκών του περιβάλλοντος στο κτίριο το οποίο θα έχουμε.

Έτσι, σε περιοχές όπου το έχουμε υψηλές θερμοκρασίες το καλοκαίρι και σχετικά ήπιους χειμώνες θα ήταν προτιμότερη η χρήση υαλοπινάκων με χαμηλές τιμές συντελεστή ηλιακού θερμικού κέρδους (G-value), ώστε να έχουμε λιγότερες ανάγκες για ψύξη μέσω χρήσης κλιματιστικών και άρα εξοικονόμηση ενέργειας. Αντίστοιχα, θα ήταν προτιμότερη η χρήση υαλοπινάκων με σχετικά υψηλότερες τιμές συντελεστή ηλιακού θερμικού κέρδους (G-value), όπου σε συνδυασμό πάντα με χαμηλές τιμές θερμοπερατότητας (U-value) για την καλύτερη μόνωση, θα ήταν ιδανικές για ψυχρότερα κλίματα και χρήση στη Νότια πρόσοψη της κατασκευής μας.

Σημειώνεται ότι ο συντελεστής σκίασης(Shading Coefficient) (Ίσος με το λόγο της διαπερασθείσας ηλιακής ακτινοβολίας στον υαλοπίνακα προς την διαπερασθείσα ηλιακή ακτινοβολία ενός υαλοπίνακα πάχους 3mm) αποτελεί μία ιδιότητα που πλέον δε χρησιμοποιείται, αφού έχει αντικατασταθεί από το Συντελεστή Ηλιακού Θερμικού Κέρδους (G-value).

→ Η επιλογή ενός σωστού υαλοπίνακα ως προς τις ιδιότητες του κρίνεται καθοριστική, διότι σε αντίθετη περίπτωση μπορεί να οδηγήσει σε μη αναμενόμενα αποτελέσματα. Οι 3 ποιοτικές ιδιότητες των διαφανών υλικών, όπως αυτές αναφέρθηκαν είναι οι παρακάτω:

- **Φωτοδιαπερατότητα (Light Transparency)**

Η φωτοδιαπερατότητα είναι ίση με το ποσοστό της (ορατής) ηλιακής ακτινοβολίας που διέρχεται μέσα από έναν υαλοπίνακα. Για απλούς, μη φωτοβολταϊκούς υαλοπίνακες η φωτοδιαπερατότητα είναι ίση με 70% περίπου. Αντίστοιχα για φωτοβολταϊκούς υαλοπίνακες το ποσοστό αυτό είναι σημαντικά μειωμένο και εξαρτάται από τις ιδιότητες του εκάστοτε υαλοπίνακα, όπως εάν είναι χαμηλής, μέσης ή υψηλής οπότε και έχουμε από μικρότερες σε μεγαλύτερες τιμές διαπερατότητας.

- **Ανακλαστικότητα (External Light Reflection)**

Πρόκειται για την ιδιότητα των υαλοπινάκων να ανακλούν ένα μέρος της προσπίπτουσας σε αυτούς ηλιακής ακτινοβολίας, μη απορροφώντας την και έτσι έχουμε σημαντική μείωση των θερμικών κερδών του κτιρίου μας. Αυτό, είναι επιθυμητό σε περιπτώσεις όπου έχουμε υψηλές θερμοκρασίες και επιδιώκουμε τη θερμική άνεση με ταυτόχρονη εξοικονόμηση ενέργειας από τα φορτία του κλιματισμού. Η ανακλαστική επίστρωση τοποθετείται πάντοτε στον εξωτερικό υαλοπίνακα, ενώ αυτή αυξάνεται μέσω χρήσης λεπτών υμένων ή λεπτών στρωμάτων διηλεκτρικού υλικού υψηλών τιμών συντελεστή διάθλασης.

- **Απορροφητικότητα (Light Absorption)**

Πρόκειται για την ιδιότητα των υαλοπινάκων να απορροφούν ένα σημαντικό μέρος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, χωρίς να εμποδίζουν τη διέλευση του φωτός και άρα την φωτοδιαπερατότητα, ενώ παράλληλα διατηρούν χαμηλές τιμές της θερμοπερατότητας οδηγώντας πρακτικά σε καλές συνθήκες μόνωσης. Υαλοπίνακες αυτού του τύπου συνιστώνται για τη μείωση των θερμικών προσόδων ενός κτιρίου, ενώ πλεονεκτούν έναντι των ανακλαστικών, διότι αποφεύγεται ο κίνδυνος θάμβωσης γειτονικών κτιρίων. Κύριο μειονέκτημα ωστόσο, αποτελεί μέρος της ενέργειας που απορροφάται, μεταδίδεται και στο εσωτερικό του κτιρίου, οδηγώντας έτσι σε αυξημένα φορτία ψύξης. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε ανατολικά ή δυτικά ανοίγματα αλλά και σε νότια. Οι απαιτήσεις ηλιοπροστασίας σε αυτό το είδος υαλοπινάκων με αυξημένη την απορροφητικότητα είναι μειωμένες.

Οι 3 παράμετροι που αναφέρθηκαν, της Φωτοδιαπερατότητας(t), της Ανακλαστικότητας(r) και της Απορροφητικότητας(a) συνδέονται με τη σχέση:

$$(a) + (t) + (r) = 1 (\Sigma_6)$$

Μία κατηγορία υαλοπινάκων είναι οι **3^{ης} γενιάς υαλοπίνακες χαμηλού συντελεστή εκπεμπιμότητας(low-e)**. Οι υαλοπίνακες της κατηγορίας αυτής εμποδίζουν ένα μεγάλο μέρος της υπέρυθρης και της θερμικής ακτινοβολίας από τη μετάδοση του μεταξύ του κτιρίου και του περιβάλλοντος, ανάλογα με την επιφάνεια στην οποία τοποθετούνται. Έτσι, εξασφαλίζουν τη μείωση των θερμικών απωλειών το χειμώνα, όσο και των κερδών αντίστοιχα το καλοκαίρι,

αναλόγως των θερμικών απαιτήσεων του κτιρίου, βάσει του κλίματος της περιοχής στην οποία αυτό βρίσκεται. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ένας κοινός υαλοπίνακας έχει μία φυσιολογική ικανότητα εκπομπής περίπου στο $e = 0,89$ (11%), ενώ ένας υαλοπίνακας low-e μπορεί να φτάνει έως και $e = 0,02$ (98%).

Βάσει των παραπάνω καταλαβαίνουμε ότι η ενεργειακή απόδοση ενός παραθύρου, εκτός του τύπου κουφώματος και του υλικού κατασκευής, επηρεάζεται και από τον τύπο του υαλοπίνακα που θα χρησιμοποιηθεί για την πλήρωση του ανοίγματος μας. Συνεπώς, υπάρχει ένα τεράστιο εύρος ενεργειακά αποδοτικών υαλοπινάκων που ένας μηχανικός μπορεί να επιλέξει βάσει των επικρατούσων κλιματικών συνθηκών, της χρήσης του κτιρίου, όσο φυσικά και της αναλογίας κόστους και απόδοσης. Κατά γενική παραδοχή ωστόσο, βάσει επιστημονικής τεκμηρίωσης, γνωρίζουμε ότι ένας διπλός υαλοπίνακας είναι αποδοτικότερος θερμομονωτικά από έναν μονό υαλοπίνακα. Συγκεκριμένα, η χρήση ενός διπλού υαλοπίνακα μειώνει τις ηλιακές προσόδους, όσο και τις θερμικές απώλειες συγκριτικά με τον μονό υαλοπίνακα. Μάλιστα, η χρήση τριπλών υαλοπινάκων οδηγεί σε περαιτέρω αύξηση της θερμομονωτικής ικανότητας. Τα διάκενα πληρώνονται όπως είπαμε με αέρια με σκοπό τη μείωση της θερμοπερατότητας, χωρίς ωστόσο να επηρεάζονται η φωτοδιαπερατότητα και ο συντελεστής θερμικού κέρδους (G-value).

3.5.2 Φωτοβολταϊκοί Υαλοπίνακες Λεπού Υμενίου (Thin Film)

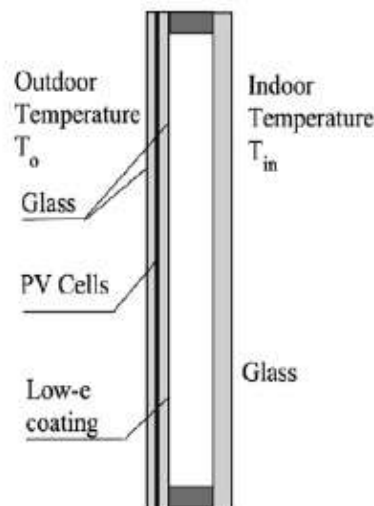
Πρόκειται πρακτικά για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση πυριτίου σε υπόστρωμα υποστήριξης. Σύμφωνα με την Polysolar, 2018 τα μόρια του thin-film φωτοβολταϊκού στοιχείου αποτελούνται από έναν ημιαγωγό πάχους μερικών μικρόμετρων εγκατεστημένων σε ένα αγωγίμο γυαλί μέσω απόθεσης ατμών με χρήση μεταλλικής υποστήριξης. Η τελική δομή υποδιαιρείται έπειτα σε λεπτά γραμμικά μεμονωμένα κύτταρα τα οποία χωρίζονται μέσω μεταλλικών και διαφανών γραμμών. Το μέγεθος των μορίων αυτών προκαθορίζεται από το μέγεθος του φέροντος πλακιδίου και για το λόγο αυτό είναι δύσκολο να υποδιαιρεθεί σε μικρότερα τμήματα. Μεγάλα μεγέθη υαλοπινάκων σχηματίζονται με την ένωση πολλών μικρών πανέλων μαζί.

Σύμφωνα με την Polysolar, 2018 επίσης, η ημιδιαφανής ιδιότητα τους επιτυγχάνεται σε μερικά φωτοβολταϊκά thin-film πάνελ μέσω επιλεκτικής αφαίρεσης των στρωμάτων του φωτοβολταϊκού μορίου με χρήση laser. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μοτίβων στο πάνελ, επιτρέποντας το φυσικό φως να διαπεράσει τα κενά, ωστόσο έχουμε αναπόφευκτα και τη μείωση της παραγόμενης ενέργειας από αυτά, δηλαδή της επίδοσης τους.

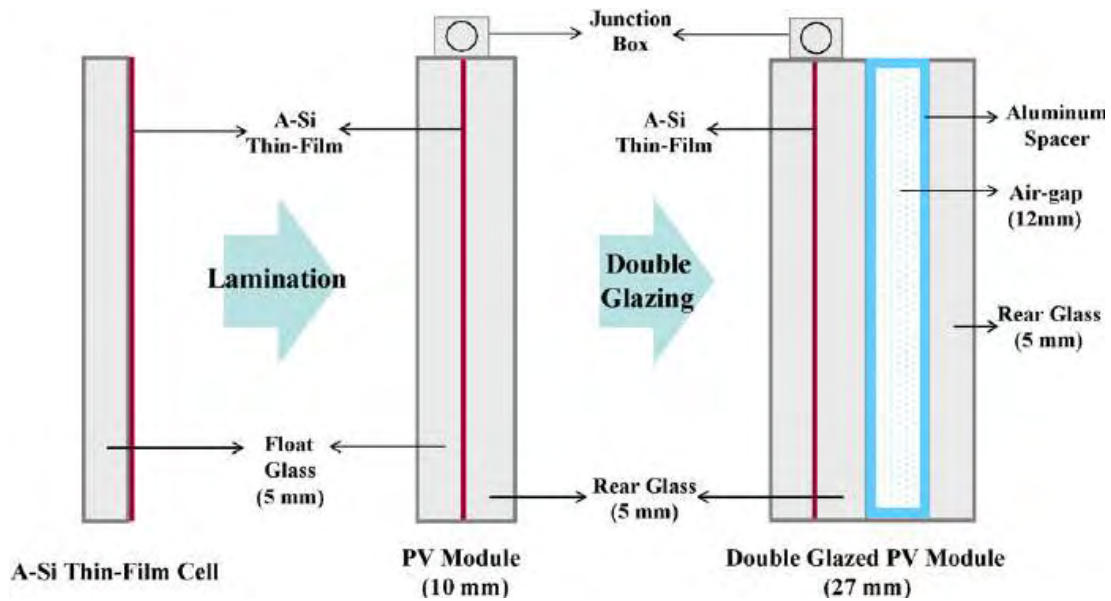
Οι επιδόσεις τους κυμαίνονται σύμφωνα με τους Ming Lai, Hokoι, 2015, περίπου στο 6 έως 8%, ενώ η ικανότητα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος επηρεάζεται από διάφορες παραμέτρους όπως η γωνία διάταξης τους, που είναι συνήθως 90° , οι καιρικές συνθήκες, η σκόνη αλλά και η θερμοκρασία των ηλιακών κυψελών. Μάλιστα για το τελευταίο, βρέθηκε ότι όσο η θερμοκρασία των κυψελών αυξάνει τόσο μειώνεται και η ενεργειακή απόδοση του φωτοβολταϊκού υαλοπίνακα. Για το λόγο αυτό είναι αναγκαία η χρήση συστημάτων

εξαερισμού και θερμομόνωσης στο εσωτερικό του υαλοπίνακα για την αποφυγή ανάπτυξης υψηλών θερμοκρασιών.

Οι φωτοβολταϊκοί υαλοπίνακες αποτελούνται από φωτοβολταϊκές κυψέλες που είναι μη διαφανείς και συνεπώς τους καθιστά συχνά ολοκληρωτικά αδιαφανείς λόγω της επιρροής των μη διαφανών υλικών που τον συνθέτουν. Ωστόσο, πολλές προσεγγίσεις μπορούν να οδηγήσουν όπως αναφέρουν οι Ming Lai, Hokoi, 2015, στην αύξηση της διαπερατότητας των φωτοβολταϊκών υαλοπινάκων. Κατά την κατασκευή τους οι φωτοβολταϊκές κυψέλες δεν πρέπει να είναι πολύ στενά συγκολλημένες μεταξύ τους, διότι τα κενά μεταξύ τους παρέχουν διαδρόμους ηλιακής ακτινοβολίας. Ένας τυπικός φωτοβολταϊκός υαλοπίνακας αποτελείται στο εξωτερικό του κέλυφος από ένα γυαλί πάχους ορισμένων mm (Από 2 έως 5mm), τη φωτοβολταϊκή επίστρωση και έναν ακόμη υαλοπίνακα αντίστοιχου πάχους, ωστόσο χαμηλού συντελεστή εκπεμπιμότητας (low-e). Έπειτα, παρεμβάλλεται ένα κενό (περίπου 10-15 mm) το οποίο πληρώνεται με μόρια αέρα ή μόρια αργού (Arg) τα οποία είναι στατικά ή κινούμενα. Τέλος, η δομή του ολοκληρώνεται με το εσωτερικό του κέλυφος το οποίο αποτελείται από έναν υαλοπίνακα αντίστοιχου πάχους, όπως φαίνεται στο σχήμα των εικόνων 16 και 17 παρακάτω.



Εικόνα 16. Τομή Φωτοβολταϊκού Υαλοπίνακα, Πηγή. Solar facades: A review, 2015.



Εικόνα 17. Δομή Φωτοβολταϊκού Υαλοπίνακα Άμορφου Πυριτίου, Πηγή. Διαδίκτυο, 30/3/2019

Ένα βασικό μειονέκτημα τους ωστόσο αποτελεί η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα συγκριτικά με τα Μονοκρυσταλλικού και Πολυκρυσταλλικού τύπου φωτοβολταϊκά. Βέβαια, πέρα των ήδη αναφερθέντων παραμέτρων οι παράμετροι του προσανατολισμού, των τιμών του συντελεστή θερμικού κέρδους(g-value) όσο και της διαπερατότητας παίζουν σημαντικό ρόλο.

Οι βασικές κατηγορίες των thin-film υαλοπινάκων είναι σύμφωνα με τη Polysolar, 2018:

- i. Άμορφου Πυριτίου(Amorphous Silicon, a-Si)
- ii. Μικρόμορφα (Micro-Morph I a-Si/μc-Si)
- iii. Τελλουριδικού Καδμίου(Cadmium Telluride)

Άμορφου Πυριτίου(Amorphous Silicon, a-Si)

This technology utilises the equivalent of powdered silicon in very small quantities. This is vacuum deposited along with transparent, conductive oxides on both glass surfaces with the active PV material between as a semiconductor. The glass is then laminated together as a sandwich to create a uniquely translucent module.

Μικρόμορφα (Micro-Morph I a-Si/μc-Si)

Πρόκειται για φωτοβολταϊκό υαλοπίνακα του οποίου η τεχνολογία βασίζεται σε μία πολυσχιδή δομή αποτελούμενη από δύο στρώσεις, μιας ενός άμορφου πυριτίου και μιας Πολυκρυσταλλικού πυριτίου. Η πρώτη, απορροφά ακτινοβολίες μήκους κύματος που ανήκει στο μπλε φωτεινό φάσμα, ενώ η δεύτερη στο κόκκινο τμήμα του φάσματος. Η απόδοση του υαλοπίνακα αυτού του τύπου thin-film είναι αρκετά υψηλότερη του άμορφου πυριτίου.

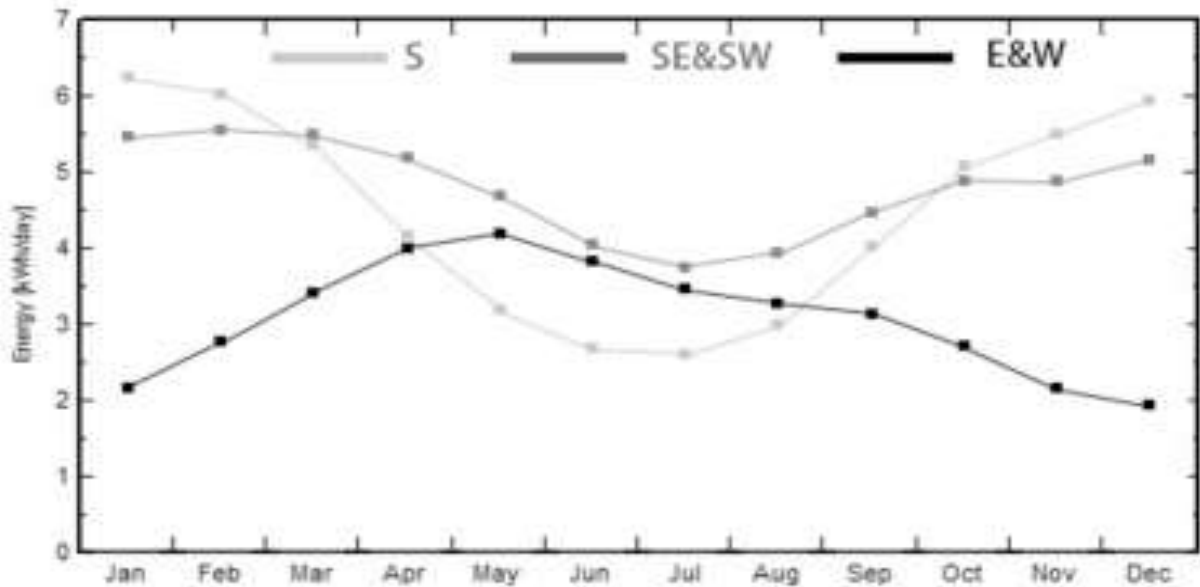
Τελλουριδικού Καδμίου(Cadmium Telluride)

Πρόκειται για σχεδόν ολοκληρωτικά διαφανή τύπου thin-film φωτοβολταϊκούς υαλοπίνακες που προσφέρουν την υψηλότερη απόδοση μεταξύ και των τριών προαναφερθέντων thin-film τύπου φωτοβολταϊκούς υαλοπίνακες. Η ικανότητα τους να απορροφούν όλο το μήκος κύματος του φωτεινού φάσματος, αλλά και η διαφανής του δομή κατόπιν **laser ablation** το καθιστούν κορυφαίο για οπτική άνεση μεταξύ των τριών, αλλά και το πλέον κοστοβόρο. Η μελέτη προς εύρεση υαλοπινάκων ολοκληρωτικά διαφανών, αλλά και με ακόμη υψηλότερες αποδόσεις αποτελεί προϊόν εντατικής μελέτης για το μέλλον.

Στην αναμενόμενη αναζήτηση ενός μηχανικού όσο και απλού πολίτη, ως προς ποιον υαλοπίνακα Άμορφου Πυριτίου ή Καδμίου, βλέπουμε ότι η δεύτερη επιλογή είναι προσφορότερη όσον αφορά την παραγόμενη ενέργεια. Από τη μελέτη σε ένα εμπορικό κέντρο της Κίνας των Wang Meng et al. 2018 για δύο ημιδιαφανείς φωτοβολταϊκούς υαλοπίνακες ενός Άμορφου Πυριτίου(a-Si) και ενός Καδμίου(Cd-Te). Τα αποτελέσματα της ανάλυσης έδειξαν το αναμενόμενο, αφού ο Καδμίου είχε υψηλότερες αποδόσεις συγκριτικά με τον πυριτίου. Συγκεκριμένα ο Καδμίου είχε ετήσια ενεργειακή παραγωγή 52,3kWh/m², ενώ ο Πυριτίου 41,8kWh/m². Μάλιστα στην ίδια μελέτη, η ολική εξοικονόμηση ενέργειας για το υπό μελέτη εμπορικό κέντρο ήταν 19,6% για τον Καδμίου φωτοβολταϊκό υαλοπίνακα, έναντι 15,3% σε σχέση με τον Πυριτίου.

Από την πειραματική διάταξη για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης ενός χώρου γραφείων στη Σανγκάη της Κίνας, οι ZHU Li et al. 2018 βρήκαν χρήσιμα συμπεράσματα όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση αλλά και το ποσοστό εξοικονόμησης που είχαν για διαφορετικές παραμέτρους διαπερατότητας, g-value και προσανατολισμού δύο φωτοβολταϊκοί υαλοπίνακες με $U=5.18\text{W/m}^2\text{K}$, $\text{SHGC}=0.26$ & 0.41 και Διαπερατότητας $0,2$ & $0,31$ αντίστοιχα.

Αυτό που βρήκαν λοιπόν ήταν ότι η μέγιστη ενεργειακή απόδοση στο χώρο γραφείου της μελέτης τους, προέκυψε όταν η φωτοβολταϊκή πρόσοψη ήταν προσανατολισμένη προς το Νότο. Συγκεκριμένα, είχαμε 61,22% ποσοστό εξοικονόμησης με την καμπύλη παραγωγής να είναι παραβολική με τα κοίλα κάτω ενώ μόλις 13,7% όταν η ίδια φωτοβολταϊκή πρόσοψη, έχοντας τις ίδιες παραμέτρους g-value και διαπερατότητας, αλλά και ίδιας θερμοπερατότητας, κοιτούσε προς την Ανατολή. Γενικώς, τα συμβατικά φωτοβολταϊκά κρυσταλλικής τεχνολογίας τείνουν να πρέπει να βρίσκονται στις ιδανικές συνθήκες τοποθέτησης(αζιμούθιο, προσανατολισμός) για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης τους. Τα φωτοβολταϊκά thin-film τεχνολογίας ωστόσο, μπορούν να έχουν την ίδια απόδοση συγκριτικά με τα πρώτα, ακόμη και σε συνθήκες κατακόρυφης τοποθέτησης(90μοίρες) ή σε μη Νότιο προσανατολισμό, όπως φαίνεται στο διάγραμμα της εικόνας 18 που ακολουθεί.



Εικόνα 18. Ενεργειακή παραγωγή για τους διάφορους προσανατολισμούς για Νότο, Νοτιοανατολικά & Νοτιοδυτικά και Ανατολικά & Δυτικά για όλο το έτος, Πηγή: ZHU Li, WANG Peng et al., 2018

Ακόμη, η προκύπτουσα διαφορά όταν η πρόσοψη κοιτούσε προς τα Νοτιοανατολικά και Νοτιοδυτικά δεν ήταν μεγαλύτερη από 1,08% όσον αφορά την ενεργειακή τους επίδοση. Προφανώς ήταν βέβαια υψηλότερη προς τα Νοτιοδυτικά, ενώ όταν ήταν προσανατολισμένη προς τη Δύση είχαμε υψηλότερες επιδόσεις και άρα μεγαλύτερα ποσοστά εξοικονόμησης ενέργειας με τις οποίες διαφορές να κυμαίνονται από 0,55% έως 3,59%.

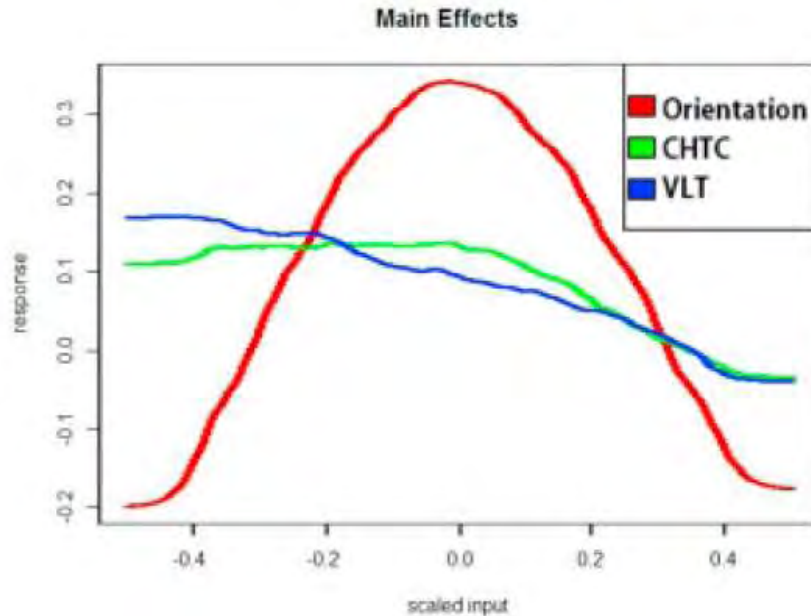
Παράλληλα στην ίδια έρευνα έγινε προσπάθεια να μελετηθεί ποιος παράγοντας μεταξύ του προσανατολισμού, του συντελεστή θερμικού κέρδους (g-value) και της διαπερατότητας είχε μεγαλύτερο βαθμό επηρεασμού στη ικανότητα φωτοβολταϊκής παραγωγής. Βρέθηκε λοιπόν επαναλαμβάνοντας την ίδια πειραματική διάταξη με το χώρο γραφείου στη Σανγκάη και για συγκεκριμένων ιδιοτήτων διπλό φωτοβολταϊκό υαλοπίνακα, ότι η ικανότητα παραγωγής φωτοβολταϊκής ενέργειας και άρα το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας επηρεάζονταν περισσότερο από τον προσανατολισμό του υαλοπίνακα και λιγότερο από το συντελεστή θερμικού κέρδους (g-value).

Βρέθηκε παράλληλα ότι όταν η φωτοβολταϊκή πρόσοψη ήταν προσανατολισμένη προς τα Ανατολικά ή τα Νοτιοανατολικά ο προσανατολισμός επηρέαζε λιγότερο συγκριτικά με τη διαπερατότητα η οποία όταν μεγάλωνε είχαμε μεγαλύτερα ποσοστά παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος συγκριτικά με την αντίστοιχη παραγωγή όσο η πρόσοψη προσανατολιζόταν όλο και νοτιότερα.

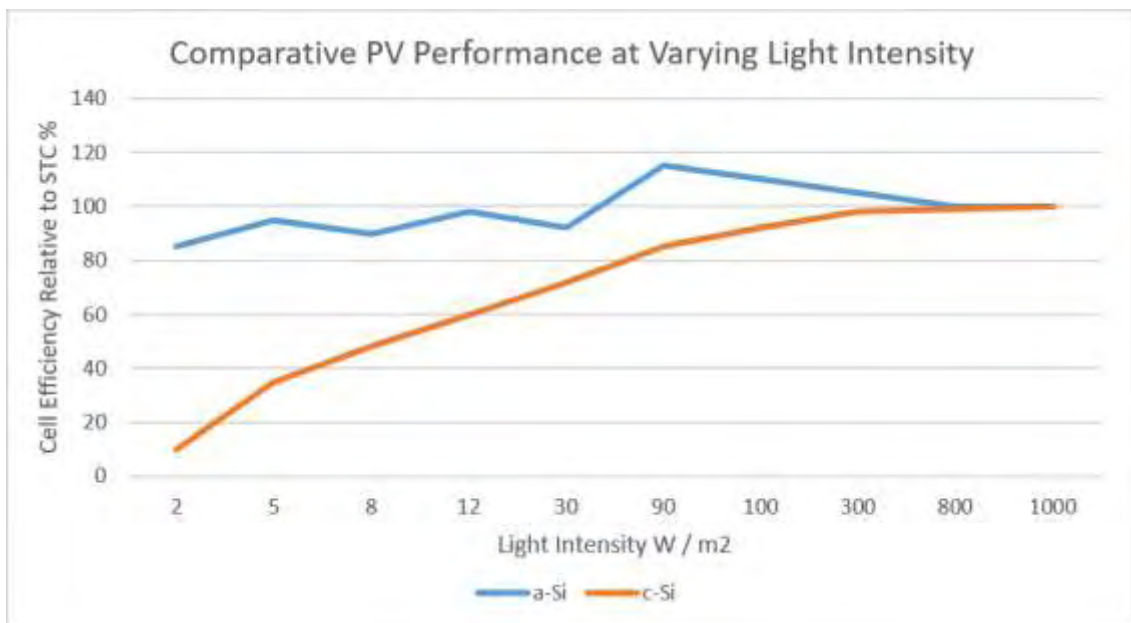
Τέλος όταν η φωτοβολταϊκή πρόσοψη ήταν προσανατολισμένη προς τη Δύση ή Νοτιοδυτικά, οι παράμετροι της φωτοδιαπερατότητας και του συντελεστή θερμικού κέρδους είχαν την ίδια βαρύτητα επηρεασμού. Στην αντίστοιχη μάλιστα περίπτωση που αυτή ήταν προσανατολισμένη στο Νότο βρήκαμε ότι από τον υψηλότερο προς το χαμηλότερο όσον αφορά την επίδραση στην φωτοβολταϊκή παραγωγή και άρα εν τέλει στην εξοικονόμησης ενέργειας στο χώρο γραφείου ήταν:

- 1) Προσανατολισμός φωτοβολταϊκής πρόσοψης
- 2) Τιμή συντελεστή θερμικού κέρδους(g-value)
- 3) Διαπερατότητα υαλοπίνακα

→ Η συγκεκριμένη διάταξη και ο βαθμός επηρεασμού φαίνονται στο γράφημα της Εικόνας 19 που ακολουθεί, ενώ στην εικόνα 20 έχουμε τη συγκριτική απόδοση Άμορφου και Κρυσταλλικού Πυριτίου ως προς την πυκνότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει.

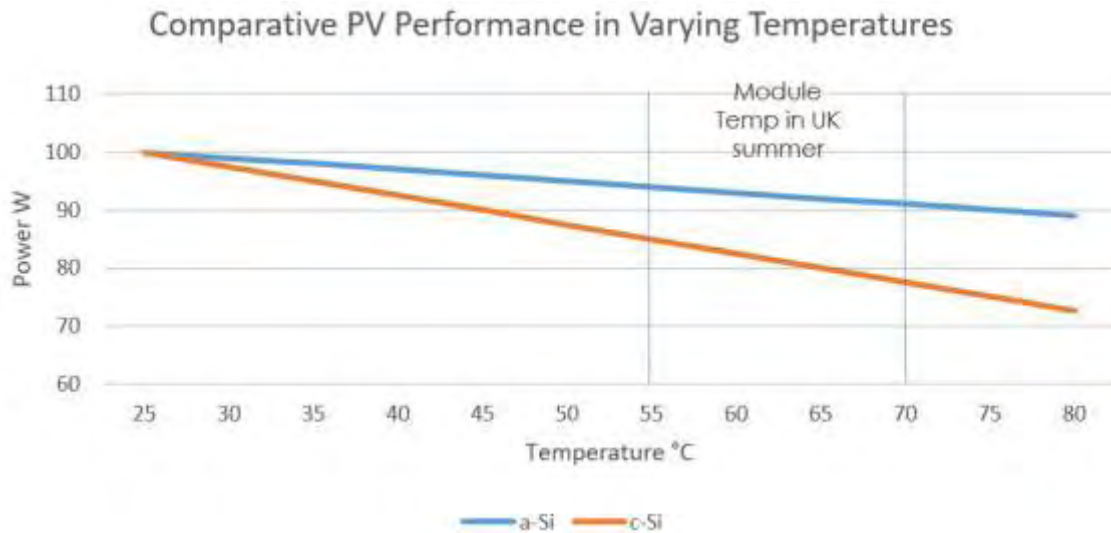


Εικόνα 19. Ευαισθησία επηρεασμού εξοικονόμησης ενέργειας βάσει των 3 προαναφερθέντων παραμέτρων, Πηγή. ZHU Li, WANG Peng et al.,2018



Εικόνα 20. Συγκριτική Απόδοση Φωτοβολταϊκών Τεχνολογίας Άμορφου Πυριτίου και Κρυσταλλικού τύπου ως προς τη πυκνότητα της Ηλιακής Ακτινοβολίας Πηγή. Polysolar, 2018.

Ακόμη, σύμφωνα με τη Polysolar, 2018, καθώς όλα τα φωτοβολταϊκά κύτταρα τείνουν να αποδίδουν καλύτερα σε χαμηλότερες θερμοκρασίες με τα Κρυσταλλικού τύπου να έχουν δραματικά μειωμένες επιδόσεις, τα thin-film εμφανίζουν μικρότερες επιδράσεις, όπως φαίνεται στο διάγραμμα της εικόνας 21 παρακάτω. Ως εκ τούτου τα δεύτερα επιλέγονται σε τροπικά κλίματα όπου οι θερμοκρασίες είναι πολύ υψηλές.

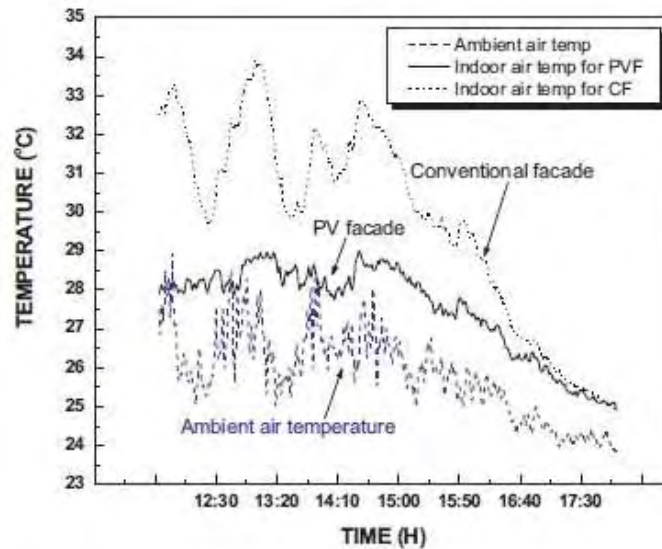


Εικόνα 21. Συγκριτική Απόδοση Φωτοβολταϊκών Τεχνολογίας Άμορφου Πυριτίου και Κρυσταλλικού τύπου ως προς την θερμοκρασία που αναπτύσσεται σε αυτά, για το Ηνωμένο Βασίλειο, Πηγή. Polysolar, 2018.

Ακόμη, γνωστοποιούμαστε από τους Han, Lu et al. 2012, ότι σε περιπτώσεις όπου γίνεται χρήση συστημάτων εξαερισμού(ventilated system) σε διπλούς thin-film φωτοβολταϊκής τεχνολογίας υαλοπίνακες μπορεί να έχει ελάχιστη επίδραση στην απόδοσή τους για περιπτώσεις ανάπτυξης πολύ υψηλών θερμοκρασιών. Συγκεκριμένα, η ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών από την απορρόφηση της ηλιακής προσπίπτουσας ακτινοβολίας προκαλεί μείωση της παραγωγής ενέργειας. Φυσικά η ανάπτυξη τέτοιων υψηλών θερμοκρασιών οδηγεί και σε συνθήκες θερμικής δυσφορίας για τους χρήστες στο εσωτερικό τέτοιων υαλοπινάκων. Για την αποφυγή τέτοιων φαινομένων, όσο και για την επίτευξη της μέγιστης μετατροπής ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρικό ρεύμα, χρησιμοποιείται συνήθως ανοιχτός αγωγός φυσικού ή μηχανικού εξαερισμού στο πίσω μέρος του φωτοβολταϊκού υαλοπίνακα. Ο πρώτος επιτυγχάνεται μέσω της δύναμης Buoyancy ενώ ο δεύτερος μέσω χρήσης ηλεκτρικού ρεύματος.

Σύμφωνα με την πειραματική διάταξη των Han, Lu et al. 2012, για τη διερεύνηση της σχέσης ενεργειακής απόδοσης για αύξηση της θερμοκρασίας με χρήση μηχανικού εξαερισμού περιλάμβανε δύο δωμάτια ίδιων διαστάσεων. Γενικώς, είναι πλήρως αποδεκτό από την επιστημονική κοινότητα σήμερα, ότι η χρήση εξαερισμού παίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της ολικής απόδοσης μιας φωτοβολταϊκής πρόσοψης. Στο πείραμα η ροή του αέρα θεωρήθηκε σταθερή και λήφθηκε είτε ως στρωτή είτε ως τυρβώδης. Ο αέρας στην εσοχή ψυχόταν και θερμαινόταν από δύο ισοθερμικούς, ένα θερμό και ένα ψυχρό κατακόρυφους τοίχους, ενώ στις οριζόντιες επιφάνειες τοποθετήθηκαν δύο οριζόντιοι αδιαβατικοί τοίχοι, όπου οι ιδιότητες των συνεχών ροών βρέθηκαν μέσω Boussinesq.

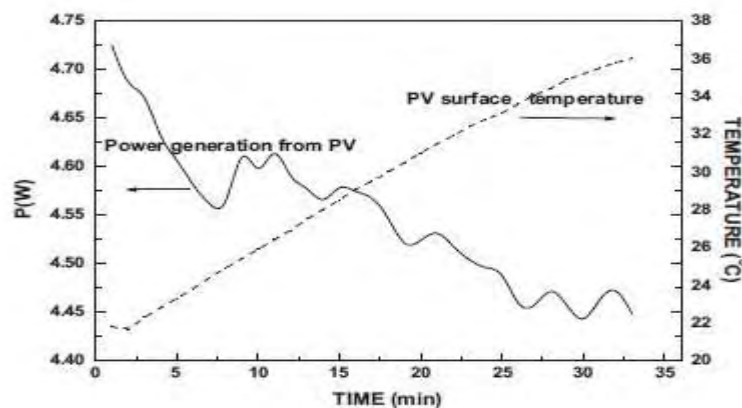
Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η εσωτερική θερμοκρασία είχε μικρές μεταβολές όσον αφορά το δωμάτιο με το μηχανικό εξαερισμό που εκτέθηκε στην ηλιακή ακτινοβολία με το μέσο όρο αυτής της να είναι στους $27,5^{\circ}\text{C}$ και τη μέγιστη στους $28,9^{\circ}\text{C}$. Ωστόσο, στο δωμάτιο με το συμβατικό υαλοπίνακα με το σκίαστρο οι αντίστοιχες τιμές ήταν $29,8^{\circ}\text{C}$ και $33,9^{\circ}\text{C}$ αντίστοιχα. Η σύγκριση των θερμοκρασιών του φωτοβολταϊκού και του συμβατικού υαλοπίνακα φαίνονται παρακάτω στο διάγραμμα της εικόνας 22 παρακάτω:



Εικόνα 22. Σύγκριση θερμοκρασιών του φωτοβολταϊκού και του συμβατικού υαλοπίνακα μελέτης, Πηγή: Jun Han, Lin Lu et al. 2012.

Μάλιστα, όσον αφορά την επίδραση της θερμοκρασίας στην ικανότητα μετατροπής της ηλεκτρικής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα, βρέθηκε στην ίδια έρευνα ότι έχουμε πτώση της απόδοσης από $4,72\%$ σε $4,43\%$ για αύξηση της θερμοκρασίας κατά $15,6^{\circ}\text{C}$ για έναν φωτοβολταϊκό υαλοπίνακα άμορφου πυριτίου (amorphous silicon a-Si), όπως φαίνεται στο διάγραμμα της εικόνας 23.

Βλέπουμε λοιπόν ότι η χρήση τέτοιων συστημάτων εξαερισμού θα μπορούσε να οδηγήσει στη μείωση των φορτίων για ψύξη ειδικά σε κλίματα όπου επικρατούν πολύ υψηλές θερμοκρασίες.



Εικόνα 23. Επίδραση της φωτοβολταϊκής παραγωγής λόγω αύξησης της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του υαλοπίνακα, Πηγή: Jun Han, Lin Lu et al. 2012.

Ορισμένες από τις λειτουργίες που καθιστούν τους φωτοβολταϊκούς υαλοπίνακες χρήσιμους σε πάρα πολλά επίπεδα είναι οι πολλές μηχανικές τους ιδιότητες. Χάρη σε αυτές μπορούμε να οδηγηθούμε σε μία πλήρη αντικατάσταση των συμβατικών υλικών δόμησης. Η επένδυση του κτιριακού κελύφους με φωτοβολταϊκούς υαλοπίνακες τους καθιστά λύση οικονομικότερη από τα παραδοσιακά υλικά δόμησης και μία λύση οικονομική και οικολογική για το μέλλον, παρά το αρχικό κόστος της επένδυσης.

Οι σημαντικότερες ιδιότητες είναι:

- i. **Οπτική Άνεση:** Αυξάνουν την ευφορία του χρήστη τόσο λόγω ευήλιου εσωτερικού χώρου όσο και της γενικότερης αρχιτεκτονικής προοπτικής που προσδίδει στο εξωτερικό χώρο του κτίσματος.
- ii. **Ηλιακή Προστασία:** Η Διαπερατότητα των υαλοπινάκων ποικίλει(Χαμηλή, Μέση, Υψηλή) καθιστώντας τους ικανούς να παράσχουν την επιθυμητή ηλιακή μετάδοση βάσει των αρχικών τους ιδιοτήτων σχεδίασης.
- iii. **Έλεγχος Θερμότητας:** Η θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού στοιχείου αυξάνεται σημαντικά με την έκθεση του στην ηλιακή ακτινοβολία. Η θερμότητα που τα φωτοβολταϊκά στοιχεία ακτινοβολούν πίσω στο περιβάλλον μπορεί να αξιοποιηθεί για να παράσχει θέρμανση ή για να ενισχύσει τα παθητικά συστήματα εξαερισμού.
- iv. **Ηχητική Μόνωση:** Τα φωτοβολταϊκά πάνελ μπορούν να αντανακλούν ή να διαχέουν τον ήχο ανάλογα με την κατασκευή τους, οπότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως στοιχεία ηχομόνωσης. Γενικώς, οι φωτοβολταϊκές προσόψεις ή τα στοιχεία της οροφής έχουν από μόνα τους ήδη ηχομονωτικές ιδιότητες λόγω των πολλαπλών στρώσεων γυαλιού από τις οποίες αυτά συνίστανται. Ωστόσο και τα ίδια τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μπορούν επίσης να σχεδιαστούν βάσει συγκεκριμένων ηχομονωτικών ιδιοτήτων, οι οποίες μπορούν να επιτευχθούν μέσω της αύξησης του πάχους του γυαλιού ή κυρίως χρησιμοποιώντας ασύγχρονα στρώματα και ενδιάμεσες στρώσεις πολυανθρακικού.
- v. **Θερμική Μόνωση:** Ανάλογα του πάχους τους οι πολυστρωματικοί(2 ή 3 στρώσεις) φωτοβολταϊκοί υαλοπίνακες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προσδώσουν θερμική μόνωση, με χρήση είτε ως υαλοπίνακες σε προσόψεις είτε ως επένδυση του κτιριακού κελύφους ή ως υλικό μόνωσης στην οροφή.

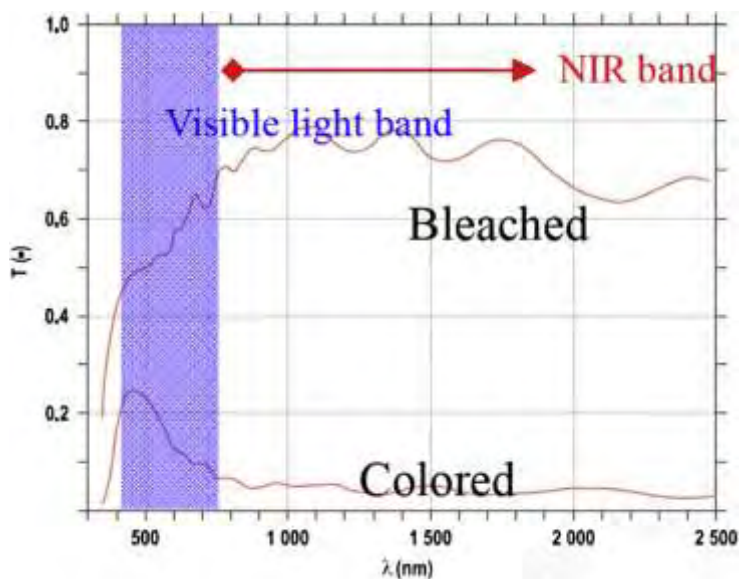
Η χαμηλή απόδοση στη θερμική μόνωση των μονών ημιδιαφανών φωτοβολταϊκών υαλοπινάκων έχει περιορίσει τη χρήση τους σε περιοχές με ψυχρά κλίματα. Η σωστή μόνωση των υαλοπινάκων αποτελεί μία αναγκαία λύση από κάθε άποψη, τόσο οικολογική όσο και οικονομική.

Σύμφωνα με τους Zhang, Lu, 2018 σε πείραμα σύγκρισης σε χώρο γραφείου της εν συνόλω ενεργειακής απόδοσης φωτοβολταϊκών ενεργειακών (μονωμένων) υαλοπινάκων(PV-IGU: Photovoltaic Insulated Glass Unit) διαφορετικών διαπερατοτήτων γυαλιού όψης και πίσω σε σχέση με τους συμβατικούς ενεργειακούς υαλοπίνακες σε 5 διαφορετικές κλιματικές ζώνες στην Κίνα.

→ Τα αποτελέσματα που προέκυψαν έδειξαν ότι:

1. Όσο υψηλότερη η διαπερατότητα του μπροστινού γυαλιού του ενεργειακού(μονωμένου) φωτοβολταϊκού υαλοπίνακα (PV-IGU), τόσο χαμηλότερη η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από αυτόν. Το εσωτερικό γυαλί του PV-IGU είχε μικρή επίδραση στην ετήσια παραγωγή ρεύματος αν και η παραγωγή του ίδιου υαλοπίνακα(PV-IGU) με καθαρό γυαλί ήταν ελαφρώς υψηλότερη σε σχέση με αυτόν με το χαμηλής εκπεμπιμότητας υαλοπίνακα. Η εφαρμογή των PV-IGU σε περιοχές ψυχρού κλίματος δύναται να έχει μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.
2. Οι ανάγκες του γραφείου για το οποίο έγινε η μελέτη σε φορτία για ψύξη μπορούν να μειωθούν αντικαθιστώντας τους συμβατικούς ενεργειακούς υαλοπίνακες (IGU) με τους αντίστοιχους φωτοβολταϊκούς (PV-IGU). Για PV-IGU υαλοπίνακες ίδιας ποιότητας εσωτερικού γυαλιού στην φωτοβολταϊκή πρόσοψη του διπλού υαλοπίνακα, όσο υψηλότερη ήταν η διαπερατότητα του μπροστά(όψης) γυαλιού τόσο υψηλότερες ήταν οι ενεργειακές απαιτήσεις του χώρου γραφείου της μελέτης σε φορτία για ψύξη. Μάλιστα, όταν το εσωτερικό καθαρό γυαλί αντικαταστάθηκε από γυαλί χαμηλής εκπεμπιμότητας, οι ετήσιες ανάγκες σε φορτία για ψύξη του δωματίου μας με τους PV-IGU μειώθηκαν ελαφρώς για την μελέτη του γραφείου στη θερμή ζώνη της Κίνας.
3. Χρησιμοποιώντας PV-IGU με γυαλί μπροστά υψηλότερης διαπερατότητας μπορούσαν να περιοριστούν οι ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις σε φορτία για θέρμανση. Οι ετήσιες αυτές ανάγκες σε θέρμανση μάλιστα μπορούσαν να μειωθούν αντικαθιστώντας το πίσω καθαρό γυαλί με γυαλί χαμηλής εκπεμπιμότητας. Η υιοθέτηση γυαλιών χαμηλής εκπεμπιμότητας(Low-e) ως εσωτερικό γυαλί των PV-IGU αποδείχτηκε περισσότερο επιθυμητή για εφαρμογές σε κρύα κλίματα, για τη μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων σε φορτία για θέρμανση.
4. Όσο υψηλότερη ήταν η διαπερατότητα, τόσο πιο χαμηλή ήταν η ετήσια απαίτηση σε ηλεκτρικό ρεύμα για φωτισμό. Η χρήση PV-IGU μείωνε τον εσωτερικό φωτισμό που εισερχόταν στο χώρο γραφείου, οδηγώντας σε μεγαλύτερες ανάγκες σε φορτία για τεχνητό φωτισμό. Ωστόσο, η χρήση PV-IGU καλυτερεύει την ποιότητα του φωτός και επιτρέπει τον καλύτερο έλεγχο της δημιουργούμενης αντηλίας.
5. Σε όρους ετήσιας καθαρής εξοικονόμησης ενέργειας σε σύγκριση με τους IGU, οι PV-IGU επέτυχαν ενεργειακή εξοικονόμηση άνω του 50%. Μάλιστα, σε περιοχές με χαμηλές θερμοκρασίες ήταν προτιμότερη η εφαρμογή φωτοβολταϊκών υαλοπινάκων υψηλότερης διαπερατότητας προκειμένου να αυξηθεί το ηλιακό θερμικό κέρδος. Κατά

προσέγγιση οι PV-IGU με πίσω γυαλί χαμηλής εκπεμψιμότητας μπορούσαν να επιτύχουν υψηλότερη ενεργειακή εξοικονόμηση σε σχέση με αυτούς με καθαρό γυαλί πίσω, ειδικά σε περιοχές με υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις σε φορτία για θέρμανση. Τέλος, μία τελευταία κατηγορία αποτελούν τα έξυπνα παράθυρα (smart windows), τα οποία είναι ικανά να αλλάζουν τα μεταδιδόμενα ορατά και θερμικά τους χαρακτηριστικά, προκειμένου να αποκτήσουν ένα επιθυμητό επίπεδο φωτισμού ή θέρμανσης από την ηλιακή ενέργεια, τροποποιώντας τη μετάδοση στο ορατό και το ολικό ηλιακό φάσμα ανταποκρινόμενο στις εξωτερικές επιδράσεις (χειροκίνητα, ή βάσει χρονικής καιρικής μεταβολής), όπως φαίνεται στην εικόνα 24 παρακάτω.



Εικόνα 24. Μεταβολή διαπερατότητας για τα διάφορα μήκη κύματος λ , Πηγή. Solar façades: A review, Chi-Ming Lai a, Shuichi Hokoï , 2015

4^ο Κεφάλαιο

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΓΡΑΦΕΙΟΥ ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ W.W.R ΜΕΓΕΘΗ ΤΗΝ FILM ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑ

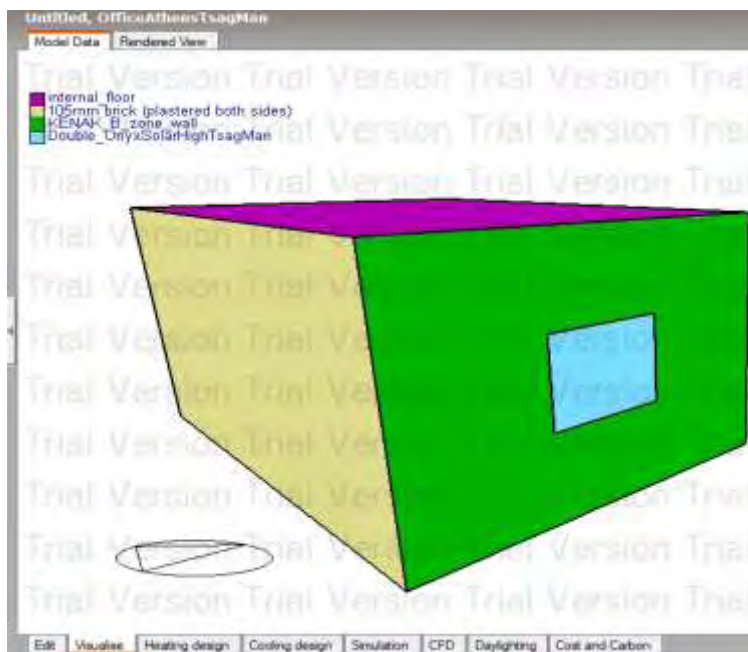
4.1 Εισαγωγή και Ορισμός Παραμέτρων Προγράμματος

Στα πλαίσια εργασίας της παρούσας Διπλωματικής, μελετήσαμε πειραματικά με τη χρήση του προγράμματος “DesignBuilder” τις ενεργειακές ανάγκες ενός χώρου γραφείου σε θέρμανση, ψύξη, φωτισμό και ανάγκες σε ηλεκτρικό ρεύμα (σε kWh) για τα διάφορα ανοίγματα ενός υαλοπίνακα που το γραφείο αυτό έφερε στη μία πρόσοψη του. Το κτίριο μας, συνολικού εμβαδού $E=24 \text{ m}^2$ ($22,806\text{m}^2$ ωφέλιμο εμβαδό) και όγκου $V=72\text{m}^3$ ($68,4 \text{ m}^3$ ωφέλιμος όγκος) προσανατολίστηκε προς το Νότο, ώστε να έχει την καλύτερη ενεργειακή απόδοση. Οι υαλοπίνακες που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη ήταν Φωτοβολταϊκοί με διπλή στρώση γυαλιού, τα δεδομένα και οι ιδιότητες των οποίων αντλήθηκαν από την εταιρία Onyx Solar και οι οποίες περιγράφονται αναλυτικά στην επόμενη ενότητα. Το μονώροφο κτίριο μας (γραφείο) μελετήθηκε για την περιοχή της Αθήνας και συγκεκριμένα στο Ελληνικό, στη χώρα μας. Η προσομοίωση αυτή πραγματοποιείται με την εισαγωγή κατάλληλων παραμέτρων και χαρακτηριστικών στο πρόγραμμα.

Συγκεκριμένα έχουμε:

Construction: Ο χώρος γραφείων μας αποτελεί στην προσομοίωση του DesignBuilder ένα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο κουτί, διαστάσεων μήκους, πλάτους και ύψους 4.00(m), 6.00(m), 3.00(m) αντίστοιχα. Οι περιμετρικοί του τοίχοι είναι κεραμικοί με πάχος τούβλων 105 mm με συντελεστή θερμοπερατότητας (u-value) ίσο με $u = 0,130$ για την εσωτερική επιφάνεια και $u = 0,040$ για την εξωτερική. Η πρόσοψη που περιλαμβάνει τον υαλοπίνακα όπως θα μελετήσουμε στην ενότητα 4.2 είναι ορισμένος βάσει του Κ.Εν.Α.Κ, με συντελεστή θερμοπερατότητας (u-value) ίσο με $u = 0,040$. Τέλος, το πάτωμα και η οροφή είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα πάχους 200mm με θερμοπερατότητα ίση με $u = 0,100$.

Στην εικόνα 25 παρακάτω έχουμε τη μορφή του υπό μελέτη χώρου γραφείου μας όπως αυτή ορίστηκε στο πρόγραμμα μελέτης μας, DesignBuilder.



Εικόνα 25. Προσομοίωμα Ανάλυσης στο DesignBuilder, Πηγή. Ο Συντάξας

Αδιαβατικοί Τοίχοι: Οι τοίχοι που χρησιμοποιήθηκαν στην προσομοίωση μας είναι αδιαβατικοί, δηλαδή δεν ανταλλάσσουν θερμοκρασία με το περιβάλλον, είναι συνεπώς θερμομονωτικοί.

Shading: Στη μελέτη μας δε συμπεριλάβαμε καθόλου σκίαστρα.

Occupancy (άνθρωποι/m²): Στην καρτέλα των δραστηριοτήτων (Activity), ορίσαμε ως **πυκνότητα (occupancy density): 0,1** δηλαδή 10 άτομα ανά 100m², όπως ορίζει η τεχνική οδηγία του Κ.Εν.Α.Κ για χώρους γραφείων όπως η υπό μελέτη περίπτωση μας που φαίνεται στην εικόνα 26 παρακάτω:

Χρήσεις κτιρίων ή θερμικών ζωνών	Άτομα / 100 m ² επιφ. δαπέδου	Νωπός αέρας [m ³ /h/άτομο]	Νωπός αέρας [m ³ /h/m ²]
Αίθουσες αναμονής	55	45	24,75
Αγροτικό ιατρείο, υγειονομικός σταθμός, κέντρα υγείας, ιατρείο	15	50	7,50
Ψυχιατρείο, ίδρυμα απόμιν με ειδικές ανάγκες, ίδρυμα χρονίως πασχόντων, οίκος ευγηρίας, βρεφοκομεία*	15	25	3,75
Βρεφικός σταθμός, παιδικός σταθμός	25	45	11,25
Κρατητήριο, αναμορφωτήριο, φυλακή	20	22	4,40
Αστυνομική διεύθυνση	10	30	3,00
Εμπορικό κέντρο, αγορά και υπεραγορά	30	22	6,60
Κατάστημα, φαρμακείο,	14	22	3,08
Ινστιτούτο γυμναστικής,	15	45	6,75
Κουρείο, κομμωτήριο	15	30	4,50
Γραφείο	10	30	3,00
Βιβλιοθήκη	22	30	6,60

Εικόνα 26. Χρήσεις κτιρίων προς εύρεση πυκνότητας, Πηγή. KENAK, 2016

Ορίσαμε μάλιστα ένα νέο πρόγραμμα (schedule) με τις ιδιότητες που φαίνονται στον πίνακα της εικόνας 18. Σε αυτό θεωρούμε για το ετήσιο πρόγραμμα, από 1 Ιανουαρίου μέχρι τις 31 Δεκεμβρίου, ότι από τις 12 τα ξημερώματα έως στις 8 ήρα το πρωί δεν είναι κανένας στο χώρο του γραφείου και το δηλώνουμε με το συντελεστή "0". Από τις 8 το πρωί μέχρι τις 6 το απόγευμα ο συντελεστής θα είναι "1" που σημαίνει ότι το γραφείο θα είναι γεμάτο, ενώ από την ώρα αυτή και μέχρι τις 12 το βράδυ θα είναι πάλι άδειο και άρα συντελεστής "0". Το πρόγραμμα επαναλαμβάνεται το ίδιο για όλες τις ημέρες της εβδομάδας, ενώ για Σαββατοκύριακα και αργίες θα θεωρούμε ότι το γραφείο θα είναι άδειο, άρα και ορίζουμε ότι ο συντελεστής είναι "0" όπως φαίνεται την εικόνα 27 παρακάτω:

```
Schedule:Compact
Office_OpenOff_Occ,
Fraction,
Through: 31 Dec,
For: Weekdays SummerDesignDay,
Until: 08:00, 0,
Until: 18:00, 1,
Until: 24:00, 0,
For: Weekends,
Until: 24:00, 0,
For: Holidays,
Until: 24:00, 0,
For: WinterDesignDay AllOtherDays,
Until: 24:00, 0;
```

Εικόνα 27. Πρόγραμμα λειτουργίας χώρου γραφείου με το DesignBuilder, Πηγή. Ο Συντάξας

Το ίδιο ακριβώς schedule που ορίστηκε για το occupancy ορίστηκε και για τη λειτουργία των ηλεκτρικών υπολογιστών που χρησιμοποιούνται το χώρο γραφείου μελέτης μας, **ισχύος 15,00W/m²**.

Dimming: Με τον όρο αυτό ορίζεται το σύστημα ελέγχου του τεχνητού φωτισμού σε ένα κτίριο. Πρόκειται για μία λειτουργία που οδηγεί σε εξοικονόμηση ενέργειας στο κτίριο μας, αφού ελέγχεται ο τεχνητός φωτισμός του κτιρίου ανάλογα με το φυσικό φωτισμό που εισέρχεται σε αυτό από τον ήλιο, όσο και βάσει των ατόμων που βρίσκονται σε αυτό κατά τη διάρκεια της ημέρας. Έτσι, σε ώρες της ημέρας που έχουμε επαρκή επίπεδα φυσικού φωτισμού, ο τεχνητός φωτισμός χαμηλώνει σε επίπεδα που προσφέρουν οπτική άνεση, εξοικονομώντας παράλληλα και σε ανάγκες για ηλεκτρικό ρεύμα. Το ίδιο συμβαίνει και όταν το σύστημα ελέγχου του φωτισμού (dimming) αντιλαμβάνεται μείωση ή αύξηση των ατόμων σε μία ζώνη-χώρο του κτιρίου μας με ειδικούς αισθητήρες, οπότε και χαμηλώνει ή αυξάνει αντίστοιχα το φωτισμό. Συγκεκριμένα, ορίσαμε τα επίπεδα του τεχνητού φωτισμού στα 500 lux, διότι πρόκειται για χώρο γραφείου, όπως ορίζει η τεχνική οδηγία του Κ.Εν.Α.Κ.

Συγκεκριμένα ο KENAK ορίζει ως ελάχιστο τα **14 W/m²** για τα **500 lux**, όπως φαίνεται στον πίνακα 1 παρακάτω.

Στο πρόγραμμα μας, εμείς ορίσαμε 3 W/m^2 (στα 100 lux), αφού είναι:

3 W/m^2 ανά 100 lux = 15 W/m^2 στα 500 lux, άρα είμαστε στα ανεκτά όρια που θέτει ο Κ.Εν.Α.Κ για ελάχιστο τα 14 W/m^2 ωφέλιμου χώρου.

Το πρόγραμμα λειτουργίας που ορίσαμε για το φωτισμό, είναι το ίδιο που ορίστηκε για το occupancy και τη λειτουργία των ηλεκτρονικών συστημάτων, όπως φαίνεται στην εικόνα 13 παρακάτω:

Χρήσεις Κτιρίων ή Θερμικών Ζωνών	Στάθμη Φωτισμού [lx]	Επίπεδο αναφοράς μέτρησης [m]	Δείκτης θάμβωσης UGR	Ομοιομορφία Φωτισμού U_0 (min/μέση τιμή)
Γραφείο	500	0.8	19	0.6
Βιβλιοθήκη	500	0.8	19	0.9

Πίνακας 13. Στάθμη γενικού (όχι ειδικού) φωτισμού κτηρίου αναφοράς ανά χρήση κτηρίου σύμφωνα με το EN 12464-1 2011, Πηγή. Τεχνική Οδηγία, ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟΥ ΕΛΛΑΔΑΣ, Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017.

DHW: Πρόκειται πρακτικά για το ποσοστό κατανάλωσης σε λίτρα νερού (lt) ανά m^2 την ημέρα. Ορίστηκε στο πρόγραμμα μας ίσο με $0,2 \text{ lt/m}^2$.

HVAC: Αποτελεί συντομογραφία του Heating, Ventilation Air Conditioning. Πρακτικά το HVAC αποτελεί μία τεχνολογία που κύριος σκοπός της είναι η διασφάλιση της θερμικής άνεσης και της ποιότητας του αέρα των χρηστών ενός εσωτερικού χώρου, όπως ένας χώρος γραφείων. Στο πρόγραμμα μας, ορίσαμε ως το σύστημα μας το Fan Coil Unit(4-Pipe) με απόδοση λειτουργίας των ανεμιστήρων 70% με θέρμανση, ψύξη και τεχνητό εξαερισμό.

Mechanical Ventilation: Ως ventilation ορίζεται ο εξαερισμός σε ένα κτίριο. Στο χώρο γραφείων του κτιρίου που μελετούμε, χρησιμοποιήσαμε μόνο μηχανικό εξαερισμό (mechanical ventilation) και όχι και φυσικό εξαερισμό (natural ventilation). Ως μηχανικό εξαερισμό σε ένα κτίριο, ορίζουμε τη διαδικασία ανταλλαγής ή αντικατάστασης του αέρα σε ένα χώρο με καθαρό ποιοτικό αέρα που πληροί τις συνθήκες υγιούς διαβίωσης στο χώρο αυτό με χρήση ειδικών μηχανικών συστημάτων. Στις συνθήκες αυτές, συμπεριλαμβάνονται ο έλεγχος της θερμοκρασίας, ο καθαρός αέρας και η απομάκρυνση μικροβίων, υγρασίας, σκόνης, οσμών, καπνού, όσο και διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) ορίζοντας στο περιβάλλον εργασίας όλες τις απαραίτητες συνθήκες οπτικής άνεσης και υγιεινής. Στη λειτουργία του εξαερισμού υπάγεται τόσο η απομάκρυνση του εσωτερικού αέρα και η εισδοχή στο κτίριο καθαρού αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον, όσο και η κυκλοφορία του αέρα στο εσωτερικό αυτού. Το πρόγραμμα λειτουργίας του μηχανικού εξαερισμού είναι το ίδιο, όπως ορίστηκε προηγουμένως.

Δύο υποκατηγορίες του μηχανικού εξαερισμού που τον συμπληρώνουν (ή αντικαθιστούν εν μέρει) είναι οι επιλογές στο πρόγραμμα μας, Economizer(Free Cooling) και Heat Recovery τις οποίες δε ενεργοποιήσαμε στην ανάλυση μας, ωστόσο χρήζουν επεξήγησης.

Economizer(Free Cooling): Πρακτικά το σύστημα αυτό βάζει στο κτίριο μας κρύο φρέσκο αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον, εξοικονομώντας έτσι σε ανάγκες για ηλεκτρικό ρεύμα. Το σύστημα μπορεί ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του να ελέγχει μόνο τη θερμοκρασία ή και την υγρασία. Ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να οδηγήσει σε εξοικονόμηση σε ανάγκες για ψύξη έως και 10%.

Heat Recovery: Πρόκειται πρακτικά για συστήματα εξαερισμού που φιλτράρουν τον εισερχόμενο κρύο αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον, θερμαίνοντας τον χρησιμοποιώντας τον θερμό εξερχόμενο αέρα που βγαίνει από το κτίριο μας. Η εικόνα 28 παρακάτω είναι κατατοπιστική.

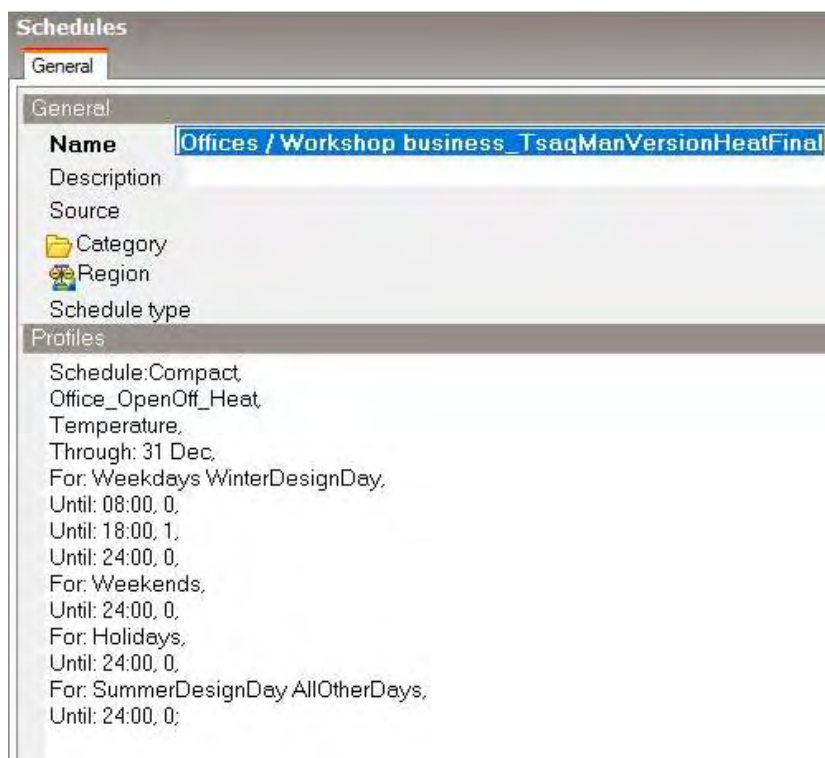


Εικόνα 28. Συστήματα εξαερισμού, Πηγή. Διαδίκτυο(30/1/2019)

Heating Design: Κάνει προσομοίωση για τις θερμικές ανάγκες του κτιρίου τη χειρότερη ημέρα το καλοκαίρι, ώστε να ξέρουμε πρακτικά τη μέγιστη ισχύς που καταναλώνουμε για να επιλέξουμε το κατάλληλο σύστημα ψύξης.

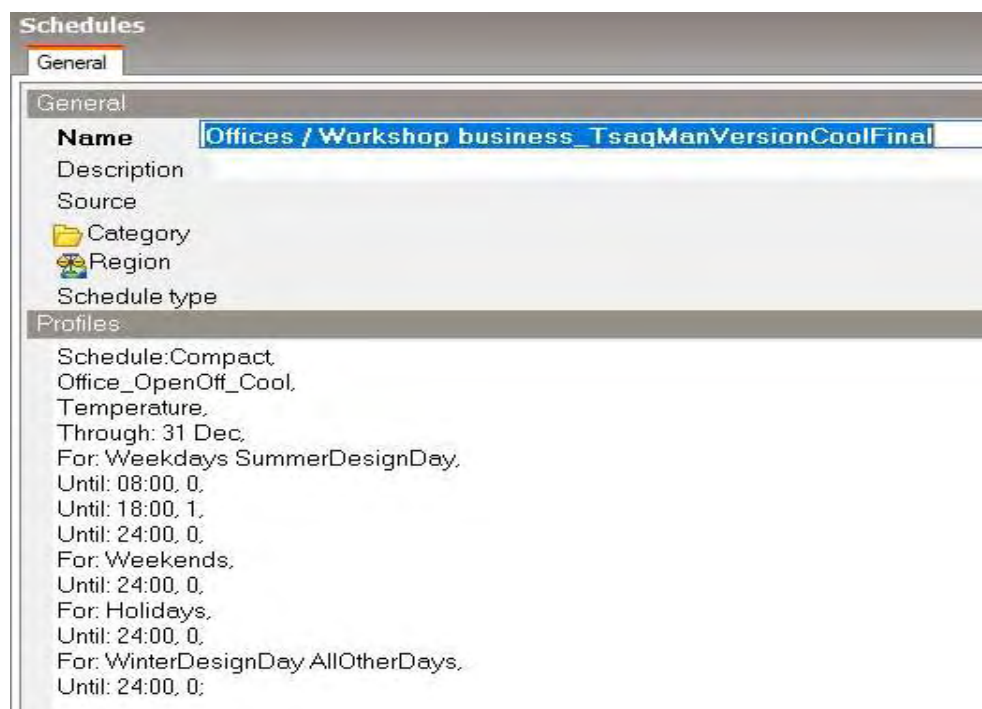
Cooling Design: Κάνει προσομοίωση για τις θερμικές ανάγκες του κτιρίου τη χειρότερη ημέρα το καλοκαίρι, ώστε να ξέρουμε πρακτικά τη μέγιστη ισχύς που καταναλώνουμε για να επιλέξουμε το κατάλληλο σύστημα ψύξης.

Heating: Ως σύστημα θέρμανσης ορίστηκε στο χώρο γραφείων μας, το φυσικό αέριο με προγραμματισμό λειτουργίας για την πιο κρύα ημέρα του χειμώνα για τις εργάσιμες ημέρες της εβδομάδας. Το πρόγραμμα λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης είναι το ίδιο που ορίστηκε προηγουμένως, όπως φαίνεται στην εικόνα 29 παρακάτω:



Εικόνα 29. Πρόγραμμα λειτουργίας χώρου γραφείου του DesignBuilder για τη θέρμανση, Πηγή Ο Συντάξας

Cooling: Ως σύστημα ψύξης, ορίστηκε η λειτουργία συστήματος Air Conditioning με χρήση ηλεκτρικού ρεύματος, με προγραμματισμό λειτουργίας για την πιο θερμή ημέρα του καλοκαιριού για τις εργάσιμες ημέρες της εβδομάδας. Το πρόγραμμα λειτουργίας του συστήματος ψύξης είναι επίσης το ίδιο, όπως ορίστηκε προηγουμένως, όπως φαίνεται στην εικόνα 30 παρακάτω:



Εικόνα 30. Πρόγραμμα λειτουργίας χώρου γραφείου του DesignBuilder για τη ψύξη, Πηγή Ο Συντάξας

Simulation: Η προσομοίωση μας έγινε προκειμένου να εξάγουμε τα αποτελέσματα για τις ανάγκες του υπό μελέτη χώρου γραφείου σε θέρμανση, ψύξη, φωτισμό, όσο και τις ανάγκες σε ρεύμα για ηλεκτρικές συσκευές. Η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε για ένα ημερολογιακό έτος 365 ημερών. Ο αριθμός των βημάτων για την προσομοίωση ορίστηκε ως 6 ανά ώρα. Ο αριθμός των βημάτων αυτών είναι ικανοποιητικός για να επιτευχθεί ένα ακριβές αποτέλεσμα. Ως temperature control ορίσαμε το “1-Air temperature”, δηλαδή τη θερμοκρασία αέρα μέσα στο χώρο του γραφείου μας, ενώ ως επιλογή δινόταν και το “Operative Temperature”. Αυτή, είναι πρακτικά η θερμοκρασία λειτουργίας την οποία χρησιμοποιούμε για τον υπολογισμό της θερμικής άνεσης. Η θερμοκρασία αυτή είναι η μέση τιμή μεταξύ της θερμοκρασίας των τοίχων (radiant temperature) και της θερμοκρασίας του αέρα (Air temperature).

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης εξήχθησαν σε πίνακες στο προγραμματιστικό φύλλο excel για τις ετήσιες, όσο και τις μηνιαίες ανάγκες θέρμανσης, ψύξης, φωτισμού και αναγκών σε ρεύμα ηλεκτρικών συσκευών, σε kWh για τα διάφορα ανοίγματα υαλοπινάκων και για κάθε διαφορετική διαπερατότητα (χαμηλή, μέση και υψηλή) αυτών, όπως θα αναλυθεί στην επόμενη ενότητα 4.2. Οι υπόλοιπες ιδιότητες της προσομοίωσης στο πρόγραμμα (simulation) παρέμειναν ως είχαν (από default επιλογές).

4.2 Υαλοπίνακες Φωτοβολταϊκοί (Openings)

Η επιλογή το κατάλληλου **υαλοπίνακα** για τη μελέτη στο πρόγραμμα μας, DesignBuilder έγινε βάσει κάποιων αποδεκτών ιδιοτήτων βάσει θεωρίας.

Συγκεκριμένα αναζητήσαμε έναν υαλοπίνακα ο οποίος να έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

A) Να είναι **επαρκώς διαφανής**, επιτρέποντας έτσι τη διέλευση του φυσικού φωτός, μελετώντας στην προσομοίωση μας για υψηλή (high), μέτρια (medium) και χαμηλή (low) διαπερατότητα.

B) Να εμφανίζει καλές **θερμοφυσικές ιδιότητες**, όπως:

i) Όσο το δυνατόν πιο **μικρή τιμή συντελεστή θερμοπερατότητας (u-value)**, άρα χαμηλή μεταφορά θερμότητας και συνεπώς καλή μόνωση.

ii) Σχετικώς **χαμηλή τιμή συντελεστή θερμικού κέρδους (g-value)**, κρίνοντας με γνώμονα ότι το κλίμα της Ελλάδος είναι σχετικά θερμό.

Γ) Να μας παρέχει **ενέργεια** λόγω των ενσωματωμένων **Φωτοβολταϊκών** που αυτός φέρει εκ κατασκευής (**thin film**).

Δ) Να είναι σχετικώς **χαμηλού κόστους**, δηλαδή το κόστος του να είναι σε λογικά πλαίσια και όχι υψηλά, προκειμένου να μπορεί να εφαρμοστεί και εν τέλει σε σύντομο χρονικό διάστημα να επιφέρει κάλυψη κόστους και κέρδος.

Σκοπός ήταν η επιλογή ενός τέτοιου φωτοβολταϊκού υαλοπίνακα ο οποίος να είναι ικανός να παράγει επαρκή ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος, χωρίς ωστόσο να είναι πολύ σκοτεινός, αλλά με επαρκή διαπερατότητα για τη διέλευση του φυσικού φωτός. Σημειώνεται, ότι όσο πιο διαφανείς είναι οι υαλοπίνακες, τόσο το g-value μεγαλώνει, αλλά παράλληλα μικραίνει και η ικανότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αντίστοιχα, όσο πιο σκούρος είναι ο φωτοβολταϊκός υαλοπίνακας, άρα φαίνεται σαν σκίαστρο από τον εσωτερικό χώρο, τόσο αυξάνεται και η παραγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος.

Είναι λοιπόν προφανές, ότι δε μπορούμε να έχουμε τόσο διαφανείς υαλοπίνακες που όχι μόνο να εξασφαλίζουν οπτική άνεση και ομαλή διέλευση του φυσικού φωτός αλλά και παράλληλα μεγάλη παραγωγή ρεύματος, κάτι που φυσικά αποτελεί αντικείμενο διαρκούς μελέτης και βελτίωσης των επιστημόνων για το μέλλον. Φυσικά η διαπερατότητα έχει να κάνει και με το κλίμα της περιοχής, αφού σε θερμότερες ή ψυχρότερες περιοχές επιλέγονται το δυνατόν χαμηλότερης και υψηλότερης διαπερατότητας υαλοπίνακες αντίστοιχα, αφού αυτό συνεπάγεται μικρότερα ή μεγαλύτερα ηλιακά κέρδη(G-value) αντίστοιχα. Αυτό το επιδιώκουμε, ώστε να έχουμε λιγότερα φορτία για ψύξη.

Βάσει των ιδιοτήτων λοιπόν αυτών, αναζητήθηκαν διάφοροι τύποι υαλοπινάκων διπλής στρώσης με διάκενο πληρωμένο με αέρα. Το εσωτερικό γυαλί του υαλοπίνακα θέλαμε να είναι χαμηλού συντελεστή εκπεμπιμότητας (Low-e). Αυτό το έχουν όλοι οι νέας γενιάς φωτοβολταϊκοί υαλοπίνακες προκειμένου να έχουμε μείωση των θερμικών απωλειών το χειμώνα και μείωση των κερδών το καλοκαίρι. Οι πιο κοινοί εξ αυτών είναι σε πάχη 6mm/12mm/6mm. Οι διαστάσεις αυτές αναφέρονται στο πάχος της πρώτης στρώσης γυαλιού, το διάκενο ανάμεσα με τον αέρα και τέλος το πάχος του δεύτερου γυαλιού αντίστοιχα.

Με αναζήτηση στο διαδίκτυο πάρθηκε η απόφαση μελέτης των υαλοπινάκων της εταιρείας Onyx Solar με τις ιδιότητες αυτών, όπως αναγράφονται στους πίνακες της εταιρείας, τύπου **Άμορφος Φωτοβολταϊκός Υαλοπίνακας Πυριτίου** (Amorphous Silicon Photovoltaic Glass) έναντι του έτερου προσφερόμενου υαλοπίνακα, **Κρυσταλλικού Τύπου Φωτοβολταϊκός Υαλοπίνακας**(Crystalline Silicon PV Glass) (Σύμφωνα με τα στοιχεία της Onyx Solar οι ιδιότητες των δύο προσφερόμενων προϊόντων της όπως αυτές αναφέρονται, είναι:

❖ Ιδιότητες Amorphous Silicon PV Glass

Αυτός ο τύπος υαλοπίνακα αποτελεί έναν εξαιρετικό συνδυασμό τόσο αισθητικής, όσο και λειτουργικότητας. Επιδεικνύει τις ίδιες μηχανικές ιδιότητες που έχει και το συμβατικό γυαλί, προσφέροντας επαρκή διατμητική αντοχή έναντι σεισμού, ενώ παράλληλα προσδίδει

ιδιότητες υψηλής αρχιτεκτονικής αισθητικής. Παράλληλα, παράγει καθαρή ενέργεια με χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας χάρη στις φωτοβολταϊκές του ιδιότητες. Μάλιστα, οι διαφορετικές προσφερόμενες διαπερατότητες (χαμηλή, μέτρια ή υψηλή) το καθιστούν εύκολα προσαρμοζόμενο για κάθε κλίμα. Η ικανότητα του να φιλτράρει την υπεριώδη ακτινοβολία, ενισχύει τη θερμική του απόδοση.

❖ Ιδιότητες Crystalline Silicon PV Glass

Αυτός ο τύπος υαλοπίνακα αποτελεί μία εξαιρετική λύση σε περιπτώσεις φωτοβολταϊκών στεγών, δαπέδων και αιθρίων που έχουν άμεση επαφή με τον ήλιο. Μπορούν να λάβουν οποιοδήποτε σχήμα, ενώ η άμεση επαφή του με την ηλιακή ακτινοβολία το καθιστούν δύο φορές πιο αποδοτικό στην παραγωγή ενέργειας. Παρουσιάζει και αυτό τις ίδιες μηχανικές ιδιότητες με ένα κοινό υαλοπίνακα, ωστόσο δε μπορεί λόγω της αδιαπερατότητας του να χρησιμοποιηθεί σε προσόψεις κτιρίων.

Όσον αφορά την επιλογή μας, του Άμορφου Φωτοβολταϊκού υαλοπίνακα έναντι του Κρυσταλλικού, η ανάγκη για χρήση διαφανών υαλοπινάκων για τη πρόσοψη του χώρου γραφείου μας, προς κάλυψη της ανάγκης για οπτική άνεση των χρηστών του, οδήγησε σε αυτή. Μάλιστα, ο πρώτος παράγει περισσότερη ενέργεια κάτω υπό συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών και διάχυτου φωτός, για τις κατακόρυφες προσόψεις όπως αυτή της μελέτης του υαλοπίνακα στην πρόσοψη του χώρου γραφείου. Επιπλέον, προσφέρει καλύτερες ιδιότητες στη θερμική και ηχητική μόνωση. Έτσι, δεδομένου ότι η μελέτη μας αφορά την Ελλάδα, που παρουσιάζει υψηλές θερμοκρασίες, ενώ ο υαλοπίνακας προορίζεται για πρόσοψη, άρα έχουμε την ανάγκη οπτικής άνεσης και όχι για χρήση ως οριζόντιο στοιχείο (στέγη, δάπεδο, κλπ.) ο Άμορφος Φωτοβολταϊκός Υαλοπίνακας Πυριτίου αποτελεί την καταλληλότερη επιλογή.

Τα μέγιστα των τιμών u-value καθορίζονται από τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.ΕΝ.ΑΚ). Βέβαια, οι ελάχιστες τιμές δεν αναγράφονται, αφού αυτό αποτελεί παράμετρο επιλογής που επηρεάζεται μόνο από το κόστος. Είναι δηλαδή προφανές πως όσο μικρότερος ο συντελεστής U-value, τόσο καλύτερη η θερμομόνωση και άρα τόσο αυξάνεται δυνητικά το κόστος.

Τα μέγιστα λοιπόν επιτρεπτά όρια θερμοπερατότητας (u-value) όπως αυτά ορίζονται από τον Κ.ΕΝ.Α.Κ και για κλιματική ζώνη Β (πίνακας εικόνας 31) στην οποία ανήκει ο χώρος γραφείων μελέτης μας στην Αττική, θα είναι **u-value= 2,00** όπως αναγράφεται στον πίνακα της εικόνας 32 του Κ.ΕΝ.Α.Κ 2017.

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	ΝΟΜΟΙ
ΖΩΝΗ Α	Ηρακλείου, Χανίων, Ρεθύμνου, Λασιθίου, Κυκλάδων, Δωδεκανήσου, Σάμου, Μεσσηνίας, Λακωνίας, Αργολίδας, Ζακύνθου, Κεφαλληνίας και Ιθάκης, Κύθηρα και νησιά Σαρωνικού (Αττικής), Αρκαδίας (πεδινή)
ΖΩΝΗ Β	Αττικής (εκτός Κυθήρων και νησιών Σαρωνικού), Κορινθίας, Ηλείας, Αχαΐας, Αιτωλοακαρνανίας, Φθιώτιδας, Φωκίδας, Βοιωτίας, Ευβοίας, Μαγνησίας, Λέσβου, Χίου, Κέρκυρας, Λευκάδας, Θεσπρωτίας, Πρέβεζας, Άρτας
ΖΩΝΗ Γ	Αρκαδίας (ορεινή), Ευρυτανίας, Ιωαννίνων, Λάρισας, Καρδίτσας, Τρικάλων, Πιερίας, Ημαθίας, Πέλλας, Θεσσαλονίκης, Κιλκίς, Χαλκιδικής, Σερρών (εκτός ΒΑ τμήματος), Καβάλας, Ξάνθης, Ροδόπης, Έβρου
ΖΩΝΗ Δ	Γρεβενών, Κοζάνης, Καστοριάς, Φλώρινας, Σερρών (ΒΑ τμήμα), Δράμας

Εικόνα 31. Πίνακας Κλιματικών Ζωνών, Πηγή: Τεχνική Οδηγία Κ.ΕΝ.Α.Κ, 2017

Κούφωμα ανοίγματος χωρίς υαλοπίνακα σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	3,20	3,00	2,80	2,60
Κούφωμα ανοίγματος χωρίς υαλοπίνακα σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	5,70	5,20	4,80	4,40
Γυάλινη πρόσοψη κτιρίου μη ανοιγόμενη ή μερικώς ανοιγόμενη σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	2,20	2,00	1,80	1,80
Γυάλινη πρόσοψη κτιρίου μη ανοιγόμενη ή μερικώς ανοιγόμενη σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	4,00	3,60	3,10	2,90

Εικόνα 32. Πίνακας Γ.1 μέγιστων τιμών συντελεστή θερμοπερατότητας, Πηγή: Κ.ΕΝ.Α.Κ, 2017

Μία από τις βασικές αποφάσεις της πειραματικής μελέτης ήταν η επιλογή του κατάλληλου υαλοπίνακα από τους διάφορους διαθέσιμους για την κατηγορία τύπου **Amorphous Silicon Photovoltaic Glass** που δίνονται σε πινακοποιημένη μορφή για τις διάφορες

διαπερατότητες(χαμηλή, μέτρια και υψηλή), όπως φαίνονται στις εικόνες 13,14 και 15, πίνακες οι οποίοι άρθησαν από την ίδια την εταιρεία.

Η επιλογή μας βασίστηκε στην απαίτηση να έχουμε χαμηλή τιμή θερμοπερατότητας (u-value), άρα να έχουμε έναν καλώς θερμομονωμένο υαλοπίνακα, κάτι που βέβαια μπορούμε να ρυθμίσουμε σχετικά εύκολα αλλάζοντας ανάλογα τις ιδιότητες το εσωτερικού γυαλιού του υαλοπίνακα, όσο και το διάκενο με το πληρωμένο με αέρα ή αέριο (συνήθως αργό). Αυτό που ωστόσο δε μπορούμε να ρυθμίσουμε τόσο εύκολα και μας ενδιαφέρει, είναι ο καλός συνδυασμός διαπερατότητας και θερμικού κέρδους (g-value). Επιλέγουμε υαλοπίνακα με διάκενο πληρωμένο με αέρα και όχι αέριο για οικονομικούς λόγους κυρίως, καθώς οι όποιες διαφορές στην απόδοση υπέρ του δεύτερου δεν είναι τόσο πιο υψηλές. Όσο πιο διαφανή τα φωτοβολταϊκά, τόσο μεγάλο συντελεστή θερμικού κέρδους(G-value) θα έχουμε, ωστόσο θα έχουμε λιγότερη παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Συνεπώς, προσπαθούμε να βρούμε τη χρυσή τομή που να συνδυάζει πέρα της καλής θερμομόνωσης, μία υψηλή διαπερατότητα και έναν μεγάλο συντελεστή θερμικού κέρδους (G-value)

Ο υαλοπίνακας που τελικώς επιλέξαμε για κάθε κατηγορία διαπερατότητας φαίνεται με τις φωτισμένες τιμές στους πίνακες των εικόνων 33,34 και 35. Ο υαλοπίνακας αυτός πρακτικά αποτελείται από δύο στρώσεις γυαλιού στην εξωτερική πλευρά με ένα μικρό κενό πάχος 3,2 mm στο οποίο φέρει το φωτοβολταϊκό στοιχείο υμενίου (thin film) του υαλοπίνακα. Ακόμη, μεταξύ των δύο αυτών εξωτερικών στρώσεων γυαλιού και του εσωτερικού γυαλιού, έχουμε 12 mm διάκενο το οποίο είναι πληρωμένο με μόρια αέρα. Τέλος, η εσωτερική πλευρά του, φέρει μία στρώση γυαλιού, πάχους 6 mm που είναι χαμηλού συντελεστή εκπεμπιμότητας(low-e).

❖ Ιδιότητες Άμορφου Φωτοβολταϊκού Υαλοπίνακα Πυριτίου για τις διάφορες διαπερατότητες.

LOW TRANSPARENCY					
THICKNESS CONFIGURATION (mm)**	SHGC	U value m ²	U value ft ²	External Light Reflection	Transparency
	%	**W/m ² K	Btu/h ft ² F	%	%
3,2+4	29%	5,7	1.00	7,6%	10,0%
6T+3,2+6T*	29%	5,2	0.92	7,3%	10,0%
6T+3,2+6T/12Air/6T	11%	2,7	0.48	7,3%	10,0%
6T+3,2+6T/12Air/6T low-e	9%	1,6	0.28	7,3%	10,0%
6T+3,2+6T/12Argon/6T low-e	9%	1,2	0.21	7,3%	10,0%
6T+3,2+6T/12Argon/4/12Argon/6T low-e	9%	1,0	0.18	7,3%	10,0%

Εικόνα 33. Πίνακας ιδιοτήτων Άμορφου Υαλοπίνακα Χαμηλής Διαπερατότητας, Πηγή: <https://www.onyx-solar.com/product-services/technical-specifications>

MEDIUM TRANSPARENCY

THICKNESS CONFIGURATION (mm)**	SHGC	U value m ²	U value ft ²	External Light Reflection	Transparency
	%	**W/m ² K	Btu/h ft ² F	%	%
3.2+4	34%	5,7	1.00	7,6%	20,0%
6T+3.2+6T*	32%	5,2	0.92	7,3%	20,0%
6T+3.2+6T/12Air/6T	14%	2,7	0.48	7,3%	20,0%
6T+3.2+6T/12Air/6T low-e	12%	1,6	0.28	7,3%	20,0%
6T+3.2+6T/12Argon/6T low-e	12%	1,2	0.21	7,3%	20,0%
6T+3.2+6T/12Argon/4/12Argon/6T low-e	12%	1,0	0.18	7,3%	20,0%

Εικόνα 34. Πίνακας ιδιοτήτων Άμορφου Υαλοπίνακα Μέσης Διαπερατότητας, Πηγή:
<https://www.onyx-solar.com/product-services/technical-specifications>

HIGH TRANSPARENCY

THICKNESS CONFIGURATION (mm)**	SHGC	U value m ²	U value ft ²	External Light Reflection	Transparency
	%	**W/m ² K	Btu/h ft ² F	%	%
3.2+4	41%	5,7	1.00	7,6%	30,0%
6T+3.2+6T*	37%	5,2	0.92	7,3%	30,0%
6T+3.2+6T/12Air/6T	19%	2,7	0.48	7,3%	30,0%
6T+3.2+6T/12Air/6T low-e	17%	1,6	0.28	7,3%	30,0%
6T+3.2+6T/12Argon/6T low-e	17%	1,2	0.21	7,3%	30,0%
6T+3.2+6T/12Argon/4/12Argon/6T low-e	17%	1,0	0.18	7,3%	30,0%

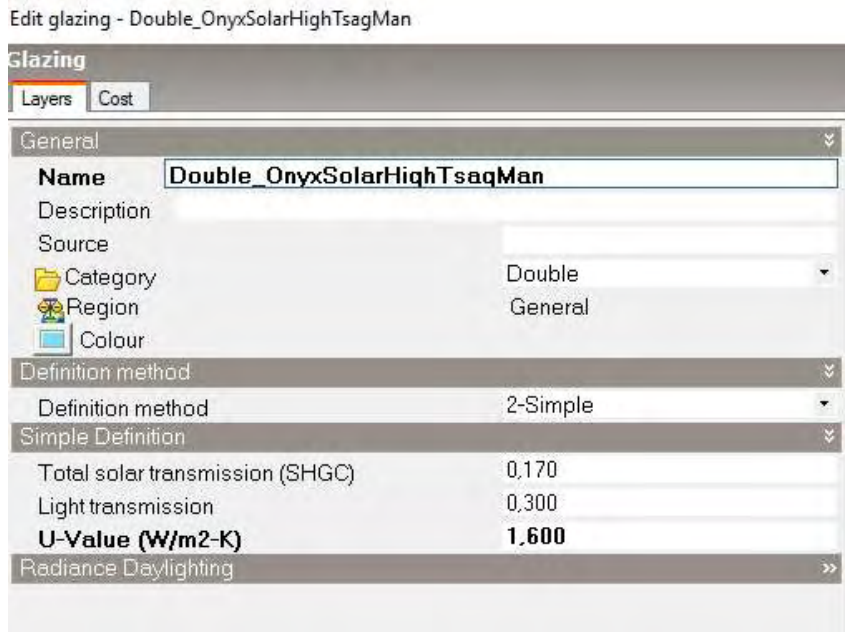
Εικόνα 35. Πίνακας ιδιοτήτων Άμορφου Υαλοπίνακα Χαμηλής Διαπερατότητας, Πηγή:
<https://www.onyx-solar.com/product-services/technical-specifications>

Εμάς δε μας ενδιαφέρει σε πρώτο επίπεδο η μέγιστη παραγόμενη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία (Peak power), αφού θα μελετηθεί στο επόμενο στάδιο της μελέτης. Συνεπώς, ερευνούμε ακόμη τα αποτελέσματα που θα έχει ο υαλοπίνακας στο ενεργειακό ισοζύγιο του μονώροφου χώρου γραφείου μας.

Στην καρτέλα Openings του προγράμματος μας DesignBuilder, ορίσαμε τον υαλοπίνακα της μελέτης μας με το όνομα **“Double_Onyx_TsagMan”**.

Αφού ορίστηκε ο αριθμός των επιστρώσεων (2), στη συνέχεια εισήχθησαν τα χαρακτηριστικά του υαλοπίνακα, όπως η θερμοπερατότητα (u-value), το θερμικό κέρδος (g-value) και η διαπερατότητα (transparency), χαμηλή, μέση και υψηλή, βάσει των χαρακτηριστικών τιμών των πινάκων της εταιρείας.

Παρακάτω στην εικόνα 36 φαίνονται οι ιδιότητες που αναφέρθηκαν συμπληρωμένες στη φόρμα του προγράμματος DesignBuilder για τον υαλοπίνακα υψηλής διαπερατότητας (high transparency).



Εικόνα 36. Εισαγωγή υαλοπίνακα μελέτης μας στο DesignBuilder, Πηγή. Ο Συντάξας

Στη συνέχεια, προχωρήσαμε στην προσομοίωση (simulation) όπου πήραμε τα ετήσια αποτελέσματα του θερμικού ισοζυγίου για τον κάθε τύπο υαλοπίνακα για την χαμηλή, μέση και υψηλή διαπερατότητα για τα διάφορα ανοίγματα υαλοπινάκων από W.W.R=10% έως W.W.R=100%.

Ως “Window to Wall Ratio” (W.W.R) ορίζεται το επί τις εκατό άνοιγμα του υαλοπίνακα ως ποσοστό επί τις εκατό της εξωτερικής τοιχοποιίας.

Είναι:

$$W.W.R(\%) = \frac{\text{Εμβαδόν Υαλοπίνακα}(m^2)}{\text{Εμβαδόν εξωτερικής Τοιχοποιίας}(m^2)} (\Sigma_w)$$

Όπου: Ως εξωτερική τοιχοποιία νοείται η περιμετρική τοιχοποιία του χώρου γραφείου που περιβάλλει το εσωτερικό και έρχεται σε επαφή με την εξωτερική ατμόσφαιρα, ενώ ως εμβαδόν υαλοπίνακα ορίζεται το ολικό εμβαδόν που περιλαμβάνει και τα κουφώματα αυτού. Στην περίπτωση μας θεωρούμε ότι σε επαφή έρχεται μόνο η πρόσοψη που θα τοποθετηθεί ο υαλοπίνακας αφού οι υπόλοιπες περιμετρικές τοιχοποιίες είναι εσωτερικές (εντός του κτιρίου).

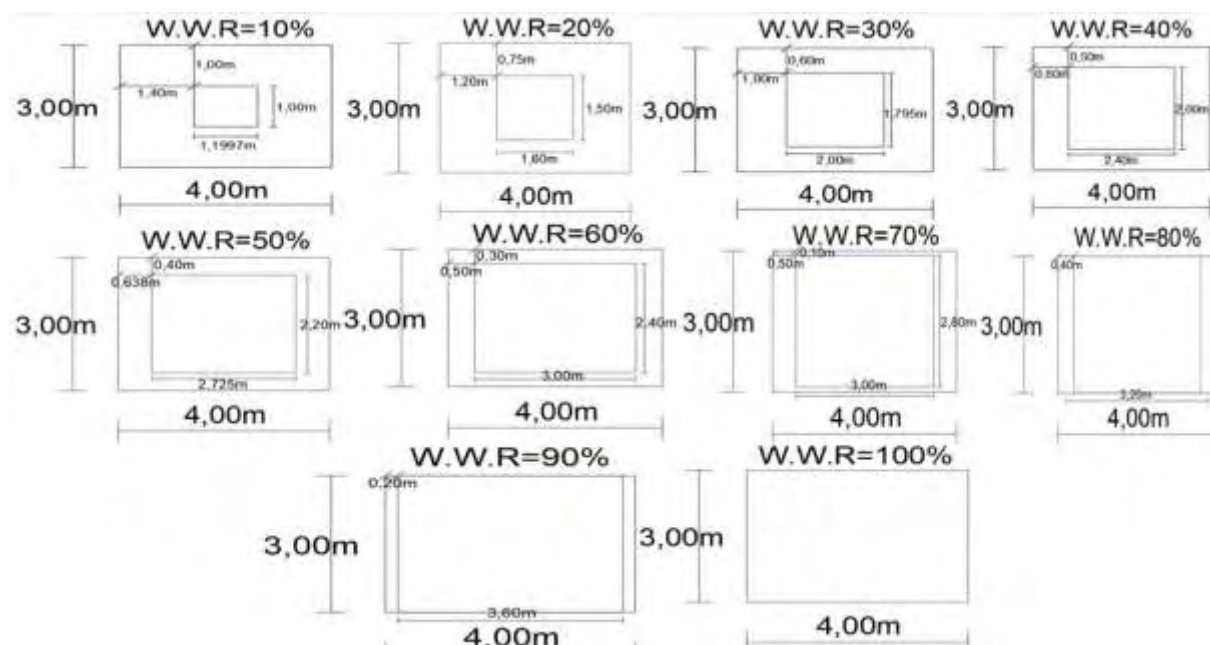
Το ολικό εμβαδόν της εξωτερικής τοιχοποιίας στην περίπτωση μας είναι:

$$E_{ολ} = 11,997m^2$$

Δεδομένου ότι η εξωτερική πρόσοψη με προσανατολισμό προς το Νότο έχει διαστάσεις (3,00*4,00) για κάθε ποσοστό W.W.R θα έχουμε στον πίνακα 14, αλλά και σχηματικά στην εικόνα 37:

W.W.R(%)	Υαλοπίνακας(m ²)	Ύψος(m)	Πλάτος(m)
10	1,1997	1,00	1,1997
20	2,3994	1,60	1,50
30	3,5991	1,795	2,00
40	4,7988	2,00	2,40
50	5,9985	2,20	2,725
60	7,198	2,40	3,00
70	8,3979	2,80	3,00
80	9,598	3,00	3,20
90	10,797	3,00	3,60
100	11,1997	3,00	4,00

Πίνακας 14. Διαστάσεις υαλοπινάκων μελέτης για τα διάφορα W.W.R., Πηγή. Ο Συντάξας



Εικόνα 37. Ανοίγματα υαλοπίνακα για διάφορα W.W.R, Πηγή. Ο Συντάξας

4.3 Αποτελέσματα Προσομοίωσης του προγράμματος DesignBuilder

4.3.1 Αποτελέσματα Ετήσιου Θερμικού Ισοζυγίου

Τα αποτελέσματα θερμικού ισοζυγίου της ανάλυσης που έδωσε το πρόγραμμα DesignBuilder σε (kWh) για τις ανάγκες του γραφείου μελέτης μας σε **Θέρμανση, Ψύξη, Φωτισμό και Αναγκών σε Ρεύμα Συσκευών** για τα διάφορα ανοίγματα του υαλοπίνακα (W.W.R(%)) για τη χαμηλή, τη μέση και την υψηλή διαπερατότητα παρατίθενται στη συνέχεια στους πίνακες 15, 16 και 17 αντίστοιχα.

	Low Transparency			
	U-Value	SHGC	Transparency	
	1,60	0,09	0,10	
W.W.R	Θέρμανση(kWh)	Ψύξη(kWh)	Φωτισμός(kWh)	Ανάγκες σε Ρεύμα Συσκευών(kWh)
100	148,21	516,61	329,55	892,85
90	134,09	529,24	362,71	892,85
80	118,72	543,79	401,07	892,85
70	103,03	560,21	445,89	892,85
60	85,28	580,84	504,84	892,85
50	68,23	602,58	567,60	892,85
40	52,14	624,71	632,47	892,85
30	37,52	648,06	699,08	892,85
20	25,58	672,45	763,18	892,85
10	15,54	699,08	830,42	892,85

Πίνακας 15. Ενεργειακό Ισοζύγιο Αναγκών για τα διάφορα W.W.R για Υαλοπίνακα Χαμηλής Διαπερατότητας, Πηγή: Ο Συντάξας.

	Medium Transparency			
	U-Value	SHGC	Transparency	
	1,60	0,12	0,20	
W.W.R	Θέρμανση(kWh)	Ψύξη(kWh)	Φωτισμός(kWh)	Ανάγκες σε Ρεύμα Συσκευών(kWh)
100	123,76	514,45	137,72	892,85
90	117,11	515,87	157,57	892,85
80	109,95	519,92	184,27	892,85
70	101,02	527,39	218,71	892,85
60	90,68	542,28	271,16	892,85
50	79,02	560,78	334,83	892,85
40	65,65	582,27	408,70	892,85
30	49,83	611,24	508,44	892,85
20	32,64	646,57	633,59	892,85
10	17,94	686,35	768,09	892,85

Πίνακας 16. Ενεργειακό Ισοζύγιο Αναγκών για τα διάφορα W.W.R για Υαλοπίνακα Μέσης Διαπερατότητας, Πηγή: Ο Συντάξας.

	High Transparency			
	U-Value	SHGC	Transparency	
	1,60	0,17	0,30	
W.W.R	Θέρμανση(kWh)	Ψύξη(kWh)	Φωτισμός(kWh)	Ανάγκες σε Ρεύμα Συσκευών(kWh)
100	64,15	623,66	81,83	892,85
90	63,91	608,66	90,82	892,85
80	63,60	595,49	105,17	892,85
70	62,43	584,96	125,54	892,85
60	60,81	579,17	152,20	892,85
50	58,03	578,71	205,94	892,85
40	54,37	585,08	269,68	892,85
30	47,24	603,34	367,65	892,85
20	35,92	633,83	507,25	892,85
10	19,26	679,64	705,82	892,85

Πίνακας 17. Ενεργειακό Ισοζύγιο Αναγκών για τα διάφορα W.W.R για Υαλοπίνακα Υψηλής Διαπερατότητας, Πηγή: Ο Συντάξας.

Στα αποτελέσματα που προκύπτουν παρατηρούμε ότι όσο το μέγεθος του ανοίγματος αυξάνεται, μειώνονται οι απαιτήσεις για φωτισμό που είναι απολύτως λογικό αφού θα έχουμε όλο και περισσότερο φυσικό φως, ενώ προφανώς οι ανάγκες σε ρεύμα για συσκευές παραμένουν σταθερές. Το παράδοξο ωστόσο εδώ που παρατηρούμε είναι ότι οι ενώ θα περιμέναμε οι ανάγκες για φορτία σε θέρμανση να μειώνονται, αφού αυξανόμενου του ανοίγματος έχουμε μεγαλύτερα θερμικά κέρδη και τα αντίστοιχα σε φορτία σε ψύξη να αυξάνονται, κάτι τέτοιο δεν παρατηρείται. Αυτό το μη αναμενόμενο αποτέλεσμα, μας οδήγησε στην ανάγκη μίας νέας πειραματικής διαδικασίας με χρήση στην προσομοίωση δύο υαλοπινάκων από τη βιβλιοθήκη του DesignBuilder. Αυτοί ήταν οι “**Double Glazing/DbL LoE (e2=.1) Tint 6mm/13mm Air**” και “**Colored Double Glazing/DbL LoE Elec Ref Colored 6mm/13m Arg**”, πρακτικά δηλαδή δύο διπλοί υαλοπίνακες χαμηλής εκπεμψιμότητας, ο ένας πληρωμένος με μόρια αέρα και ο έτερος με μόρια αερίου(Αργό) στο διάκενο τους. Στη συνέχεια, έχουμε:

Τα ολικά αποτελέσματα που αφορούν το άθροισμα των ενεργειακών αναγκών για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό δίνουν την **Τελική Κατανάλωση Ενέργειας (kWh)**.

Θα έχουμε λοιπόν:

Τελική Κατανάλωση Ενέργειας = Άθροισμα Αναγκών (Θέρμανση, Ψύξη, Φωτισμός & Ανάγκες σε Ρεύμα Συσκευών)

Ωστόσο, εμείς θέλουμε την εύρεση της **Πρωτογενούς Κατανάλωσης Ενέργειας(kWh)**, η οποία βρίσκεται από την Τελική Κατανάλωση Ενέργειας με χρήση συντελεστών που ορίζονται από τον ΚΕΝΑΚ και πολλαπλασιάζουν τις ενεργειακές απαιτήσεις της θέρμανσης, ψύξης και φωτισμού.

Σύμφωνα λοιπόν με τον ΚΕΝΑΚ, η αναγωγή της Τελικής Κατανάλωσης σε Πρωτογενή γίνεται με τους συντελεστές που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα 18:

Πηγή Ενέργειας	Συντελεστής Μετατροπής σε Πρωτογενή Ενέργεια
Φυσικό Αέριο	1,05
Πετρέλαιο Θέρμανσης	1,10
Ηλεκτρική Ενέργεια	2,90
Υγραέριο	1,05
Βιομάζα	1,00
Τηλεθέρμανση από Θερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής	0,70
Τηλεθέρμανση από ΑΠΕ	0,50

Πίνακας 18. Συντελεστές Αναγωγής Τελικής σε Πρωτογενή Κατανάλωση Ενέργειας, Πηγή. ΚΕΝΑΚ,2017.

Δεδομένου ότι θεωρούμε τις ανάγκες για **Θέρμανση** ότι καλύπτονται με χρήση φυσικού αερίου, θεωρούμε **συντελεστή 1,05**. Αντίστοιχα για **Ψύξη** και **Φωτισμό**, θεωρούμε ότι οι ανάγκες καλύπτονται με χρήση ηλεκτρικού ρεύματος, οπότε και έχουν σύμφωνα με τον πίνακα 19 **συντελεστή 2,90**.

W.W.R	Πρωτογενής Ολική Κατανάλωση Ενέργειας(kWh) (Low)	Πρωτογενής Ολική Κατανάλωση Ενέργειας(kWh) (Medium)	Πρωτογενής Ολική Κατανάλωση Ενέργειας(kWh) (High)
100	5198,75	4610,506	4702,544
90	5316,71	4665,207	4684,863
80	5454,02	4746,864	4687,959
70	5615,14	4859,026	4715,267
60	5827,28	5043,455	4774,089
50	6054,43	5269,505	4925,682
40	6289,83	5532,011	5125,158
30	6535,37	5888,659	5454,738
20	6779,45	6336,001	5936,113
10	7041,13	6825,978	6627,322

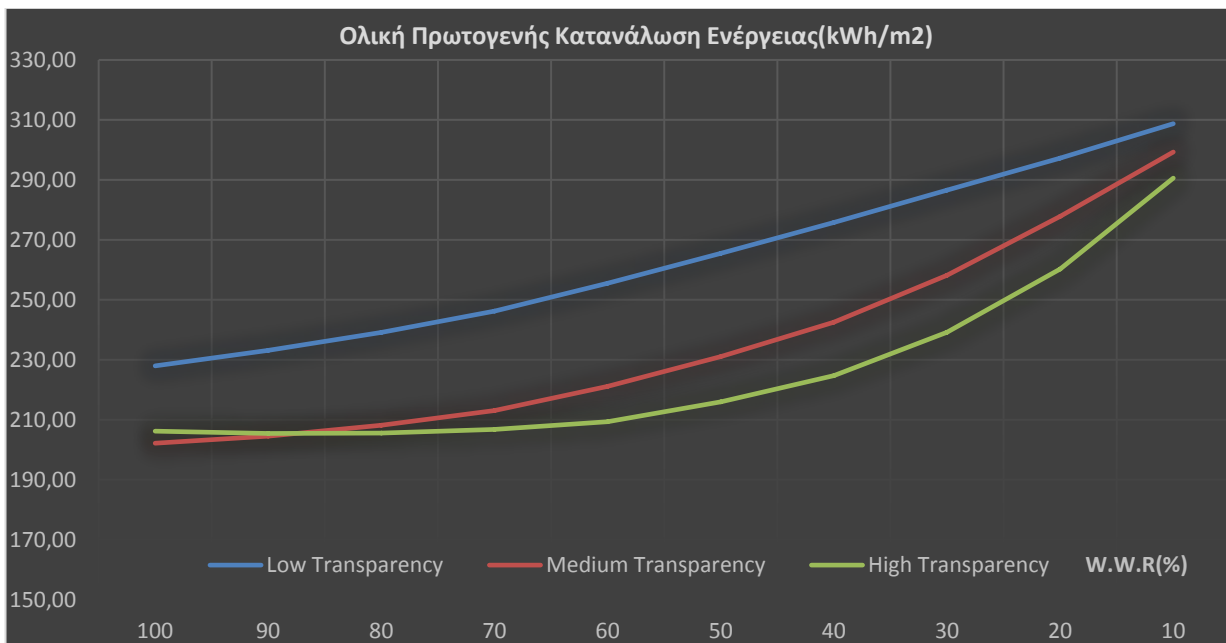
Πίνακας 19. Πρωτογενής Ολική Κατανάλωση Ενέργειας για τα διάφορα ανοίγματα υαλοπίνακα(W.W.R), Πηγή. Ο Συντάξας

Επειδή θέλουμε τις ανάγκες σε kWh/m², διαιρούμε την προκύπτουσα Ολική Πρωτογενή Κατανάλωση Ενέργειας με τα ολικά m² του ωφέλιμου εμβαδού του χώρου γραφείου μας, όπως φαίνεται στον Πίνακα 20 παρακάτω:

W.W.R	Υπολογισμός Κατανάλωσης Ενέργειας(Low)		Υπολογισμός Κατανάλωσης Ενέργειας(Medium)		Υπολογισμός Κατανάλωσης Ενέργειας(High)	
	Τελική Κατανάλωση Ενέργειας	Πρωτογενής Κατανάλωση Ενέργειας(kWh)/m ²	Τελική Κατανάλωση Ενέργειας	Πρωτογενής Κατανάλωση Ενέργειας(kWh)/m ²	Τελική Κατανάλωση Ενέργειας	Πρωτογενής Κατανάλωση Ενέργειας(kWh)/m ²
100	1887,22	227,96	1668,78	202,16	1662,49	206,20
90	1918,89	233,13	1683,4	204,56	1656,24	205,42
80	1956,43	239,15	1706,99	208,14	1657,11	205,56
70	2001,98	246,21	1739,97	213,06	1665,78	206,76
60	2063,81	255,52	1796,97	221,15	1685,03	209,33
50	2131,26	265,48	1867,48	231,06	1735,53	215,98
40	2202,17	275,80	1949,47	242,57	1801,98	224,73
30	2277,51	286,56	2062,36	258,21	1911,08	239,18
20	2354,06	297,27	2205,65	277,82	2069,85	260,29
10	2437,89	308,74	2365,23	299,31	2297,57	290,60

Πίνακας 20 .Τελική Κατανάλωση Ενέργειας(kWh) και μετατροπή σε Πρωτογενή(kWh/m²) με Χρήση συντελεστών KENAK για τα διάφορα W.W.R για Υαλοπίνακες Χαμηλής, Μέσης και Υψηλής Διαπερατότητας, Πηγή: Ο Συντάξας.

Αλλά και συγκεντρωτικά στο Γράφημα 21 παίρνουμε:



Γράφημα 21. Ολική Πρωτογενής Κατανάλωση Ενέργειας για τις διάφορες διαπερατότητες υαλοπίνακα, Πηγή: Ο Συντάξας

Από το εξαχθέν διάγραμμα της Ολικής Πρωτογενούς Κατανάλωσης Ενέργειας ανά m² ωφέλιμου εμβαδού παρατηρούμε τα εξής:

- Τις λιγότερες ενεργειακές απαιτήσεις σε kWh εμφανίζει για μικρές τιμές ανοιγμάτων υαλοπίνακα(W.W.R), μέχρι περίπου το W.W.R=80% , ο υψηλής διαπερατότητας(high transparency) υαλοπίνακας. Οπότε για αυτές τις τιμές ανοιγμάτων ο υψηλής

διαπερατότητας υαλοπίνακας κρίνεται ο καταλληλότερος για το χώρο μελέτης μας, αφού θα είναι ο λιγότερο κοστοβόρος εκ των τριών.

- ii. Για $90\% < W.W.R < 100\%$ τις μικρότερες απαιτήσεις τις έχει ο μέσης διαπερατότητας υαλοπίνακας (medium transparency). Συνεπώς, για αυτές τις τιμές ανοιγμάτων ο μέσης διαπερατότητας υαλοπίνακας κρίνεται πλέον ο καταλληλότερος για το χώρο μελέτης μας.
- iii. Για $85\% < W.W.R < 90\%$ παρατηρούμε μία ταύτιση των δύο καμπυλών μέσης και υψηλής διαπερατότητας, άρα έχουν για αυτά τα εύρη τιμών ανοίγματος υαλοπίνακες τις ίδιες ενεργειακές απαιτήσεις. Συνεπώς και οι δύο κρίνονται εξίσου κατάλληλοι.
- iv. Ο χαμηλής διαπερατότητας υαλοπίνακας είχε κατά πολύ μεγαλύτερες ενεργειακές απαιτήσεις συγκριτικά με τους άλλους δύο, για όλα τα εύρη τιμών των ανοιγμάτων υαλοπίνακα (W.W.R), οπότε σε φάση μελέτης ενεργειακού ισοζυγίου απορρίπτεται ως ο πλέον κοστοβόρος.
- v. Τις χαμηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις ανεξαρτήτου διαπερατότητας υαλοπινάκων εμφανίζουν για μεγάλες τιμές ανοιγμάτων, οπότε κι θα προτιμούνταν. Αποδοτικότερη επιλογή όλων ο μέσης διαπερατότητας υαλοπίνακας με $W.W.R=100\%$.

Σημειώνεται ότι η τελική επιλογή του υαλοπίνακα που συμφέρει να τοποθετήσουμε στο χώρο μελέτης μας θα εξαρτηθεί όχι μόνο από το ενεργειακό ισοζύγιο που μόλις αναλύσαμε, αλλά και από τις τιμές της παραγόμενης φωτοβολταϊκής ενέργειας σε kWh, όπως θα παρουσιαστεί στην ενότητα 4.4.1

4.4 Αποτελέσματα Παραγόμενης Φωτοβολταϊκής Ενέργειας σε kWh

Στην ανάλυση μας, αφού ολοκληρώσαμε την εύρεση του θερμικού ισοζυγίου με τον υπολογισμό των αναγκών (σε kWh) για θέρμανση, ψύξη, φωτισμό και αναγκών σε ρεύμα συσκευών, έπρεπε να υπολογίσουμε πόση ενέργεια παράγεται από τον κάθε φωτοβολταϊκό υαλοπίνακα. Ο υπολογισμός πραγματοποιήθηκε για κάθε άνοιγμα υαλοπίνακα από $W.W.R=10\%$, έως και $W.W.R=100\%$ και για κάθε διαπερατότητα αυτού (χαμηλή, μέση και υψηλή). Αυτό έγινε, προκειμένου αφενός να συγκρίνουμε ποιος υαλοπίνακας παράγει τα μεγαλύτερα ποσοστά ενέργειας ανάλογα με το άνοιγμα του και αφετέρου να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα με τις ενεργειακές μας ανάγκες, ώστε να γνωρίζουμε σε τι ποσοστό αυτές καλύπτονται από το παραγόμενο από τις φωτοβολταϊκές κυψέλες, ηλεκτρικό ρεύμα. Για τον υπολογισμό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, χρησιμοποιήσαμε τόσο το εργαλείο υπολογισμού της ίδιας της εταιρείας, όσο και το υπολογιστικό πρόγραμμα “**RETScreen Expert**” για επαλήθευση των παραγόμενων αποτελεσμάτων, παίρνοντας πρακτικά τιμές πολύ κοντά μεταξύ τους.

4.4.1 Παραγόμενη Φωτοβολταϊκή Ενέργεια βάσει εργαλείων υπολογισμού της OnyxSolar

Με χρήση της ειδικής φόρμας υπολογισμού από τη σελίδα της εταιρείας, αφού εισάγαμε την Ελλάδα και συγκεκριμένα την Αθήνα ως την τοποθεσία για τον υπολογισμό, την αζιμούθια γωνία στις 90 μοίρες λόγω καθετότητας των υαλοπινάκων σε σχέση με την οριζόντια, τον προσανατολισμό μας προς το Νότο, όσο και τις ιδιότητες του άμορφου υαλοπίνακα που χρησιμοποιούσαμε στη μελέτη μας, πήραμε τα αποτελέσματα ανά μήνα για κάθε άνοιγμα υαλοπίνακα.

Συγκεκριμένα, έπρεπε, δεδομένου ότι κάθε υαλοπίνακας ανάλογα με την διαπερατότητα του έχει διαφορετική ισχύ παραγόμενης φωτοβολταϊκής ενέργειας, να υπολογίσουμε ανάλογα με τα m^2 του υαλοπίνακα για τα διάφορα ανοίγματα, το ολικό ποσό παραγόμενης ενέργειας. Έτσι, ο χαμηλής διαπερατότητας (low transparency) μας έδινε ότι αποδίδει σε μέγιστη ισχύ $40Wp/m^2$, ο μέσης διαπερατότητας (medium transparency) μέγιστη ισχύ $34Wp/m^2$, ενώ αντίστοιχα ο υψηλής διαπερατότητας (high transparency), $28Wp/m^2$ αντίστοιχα.

Βάσει των τιμών αυτών εξάγονται και οι αποδόσεις των τριών διαφορετικής διαπερατότητας υαλοπινάκων ως 4%, 3,4% και 2,8% αντίστοιχα. Πρακτικά αυτό υπολογίζεται από το γεγονός ότι τεστάρονται υπό συνθήκες 1000W ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε αυτά και αποδίδουν αντίστοιχα 40W, 34W και 28W. Διαιρώντας τα με την προσπίπτουσα ακτινοβολία λαμβάνουμε την απόδοση ως 0.04, 0.034 και 0.028 αντίστοιχα

Η μείωση στις αποδιδόμενες αυτές τιμές είναι λογική, διότι όπως αναφέρθηκε ήδη, όσο πιο διαφανής ο υαλοπίνακας, τόσο μικρότερη είναι η δυνατότητα παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τις φωτοβολταϊκές κυψέλες.

Ο τύπος υπολογισμού ήταν πρακτικά:

Παραγόμενη Φωτοβολταϊκή Ενέργεια(kWp) = Εμβαδόν Υαλοπίνακα(m^2)*W.W.R(%)* Μέγιστη Αποδιδόμενη Ισχύς(kWp/m^2)

Με πρόσθεση των αποτελεσμάτων για κάθε μήνα ανά W.W.R(από 10% έως 100%) βρήκαμε τα ετήσια παραγόμενα ποσά σε ηλεκτρικό ρεύμα από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία των άμορφων πυριτιούχων υαλοπινάκων.

Συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα φαίνονται οργανωμένα στον πίνακα 21 όπως φαίνεται παρακάτω:

Ετήσια Αποτελέσματα

Παραγόμενης Φωτοβολταϊκής Ενέργειας(kWh)		
Low Transparency	Medium Transparency	High Transparency
1013,06	1031,13	849,15
1091,75	927,49	763,22
970,44	823,87	679,82
849,15	722,78	593,90
727,84	619,16	510,50
606,52	515,40	424,58
485,22	411,96	338,38
363,92	308,32	255,25
242,61	207,03	169,33
121,30	103,62	85,93

Πίνακας 21. Ετήσια Αποτελέσματα παραγόμενης φωτοβολταϊκής ενέργειας, Πηγή. Ο Συντάξας

Από τα αποτελέσματα βλέπουμε το αναμενόμενο, δηλαδή αφενός μεν όσο μεγαλύτερος ο φωτοβολταϊκός υαλοπίνακας τόσο υψηλότερη η παραγόμενη φωτοβολταϊκή ενέργεια και αφετέρου τα υψηλότερα ποσοστά παρουσιάζει ο χαμηλής διαπερατότητας (low transparency) υαλοπίνακας, τα χαμηλότερα ο υψηλής διαπερατότητας (high transparency).

4.4.2 Παραγόμενη Φωτοβολταϊκή Ενέργεια βάσει του υπολογιστικού προγράμματος RETScreen Expert

Αρχικώς, εισάγαμε στο πρόγραμμα την τοποθεσία στην οποία θέλαμε να τρέξουμε την ανάλυση, ώστε να ενσωματώσει τα αντίστοιχα κλιματικά δεδομένα της περιοχής μελέτης μας. Στη συνέχεια, αναζητήσαμε στη βιβλιοθήκη του προγράμματος την εταιρεία OnyxSolar της οποίας τη φωτοβολταϊκή τεχνολογία μελετούμε, χωρίς να υπάρχει καταχωρημένη ως επιλογή. Ωστόσο, χρησιμοποιήσαμε έναν υαλοπίνακα Άμορφου Πυριτίου (Amorphous Silicon), άλλης εταιρείας, με το όνομα “**SolarPlus**” της τεχνολογίας δηλαδή ενδιαφέροντος μας με τις ίδιες τιμές μέγιστης ισχύος(σε kWp), 40, 32 και 28 για τη χαμηλής, μέσης και υψηλής διαπερατότητας υαλοπίνακα αντίστοιχα. Ο βαθμός απόδοσης του φωτοβολταϊκού της εταιρείας αυτής δινόταν, ως 5,06%. Ως λοιπές απώλειες ορίσαμε 4% που είναι μία σχετικά καλή χαρακτηριστική τιμή. Τέλος, για το μετατροπέα(inverter) ορίσαμε ως βαθμό απόδοσης 97% που δε θα έπρεπε να είναι πιο μικρή και δύσκολα βέβαια και μεγαλύτερα, ισχύ 20kW και λοιπές απώλειες 0%. Τα στοιχεία αυτά, όπως ζητούνταν στο υπολογιστικό πρόγραμμα φαίνονται στην εικόνα 38 παρακάτω.

Φωτοβολταϊκό

Περιγραφή Φωτοβολταϊκό

Σημείωση OnyxSolarTsagMan

Επίπεδο

Επίπεδο 1

Επίπεδο 2

Φωτοβολταϊκό - Επίπεδο 2

Αξιολόγηση πηγών

Λειτουργία παρακολούθησης του ήλιου Σταθεροποιημένα

Κλίση 90

Αζιμούθιο 0

Δείξε δεδομένα

Φωτοβολταϊκό

Τύπος a-Si

Ηλεκτρική ισχύς kW 0,04

Κατασκευαστής SolarPlus

Μοντέλο a-Si - SP 40W

Αριθμός μονάδων 1

Βαθμός απόδοσης 5,06%

Ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας κελιού °C 45

Συντελεστής θερμοκρασίας % / °C 0,11%

Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη m² 0,79

Λοιπές απώλειες 4%

Μετατροπέας (inverter)

Βαθμός απόδοσης 97%

Ισχύς kW 20

Λοιπές απώλειες 0%

Εικόνα 38. Εισαγωγή δεδομένων στο λογισμικό RETScreen προς υπολογισμό της φωτοβολταϊκής παραγωγής, Πηγή. Ο Συντάξας

Τα αποτελέσματα που μας έδωσε το πρόγραμμα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα 22.

Low Transparency		Medium Transparency		High Transparency	
Ετήσια Αποτελέσματα					
481,316	1395,8164	409,114	1186,431	336,923	977,0767
433,185	1256,2365	368,21	1067,809	303,231	879,3699
385,051	1116,6479	327,296	949,1584	269,539	781,6631
336,928	977,0912	286,385	830,5165	235,847	683,9563
288,794	837,5026	245,471	711,8659	202,152	586,2408
240,659	697,9111	204,562	593,2298	168,462	488,5398
192,526	558,3254	163,648	474,5792	134,768	390,8272
144,391	418,7339	122,738	355,9402	101,076	293,1204
96,287	279,2323	81,824	237,2896	67,384	195,4136
48,144	139,6176	40,914	118,6506	33,693	97,7097
sum	KENAK	sum	KENAK	sum	KENAK

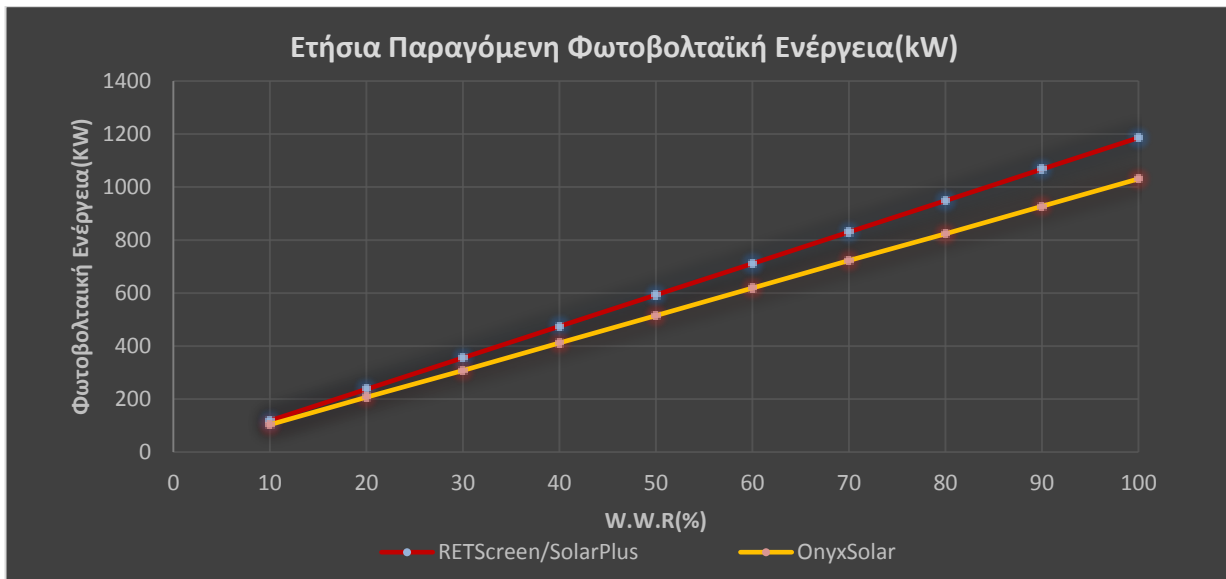
Πίνακας 22. Ετήσια αποτελέσματα φωτοβολταϊκής παραγωγής του RETScreen, Πηγή. Ο Συντάξας

Στην πρώτη στήλη έχουμε το άθροισμα των ολικών ποσών παραγόμενης ενέργειας από κάθε μήνα για κάθε ένα W.W.R από 10 έως 100%. Ωστόσο, τα αποτελέσματα αυτά τα ετήσια έπρεπε να τα πολλαπλασιάσουμε με το συντελεστή **2,90** που είναι ο συντελεστής μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια για προσφερόμενη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας όπως δίνεται στον

πίνακα Β1 του άρθρου 5, παράγραφος 7 του Κ.Εν.Α.Κ στη σελίδα 23908 που εκδόθηκε με υπ' αριθμό «Τεύχος Β' 2367/12.07.2017». Συνεπώς μετά το γινόμενο παίρνουμε τη στήλη με τη τελική ετήσια παραγόμενη φωτοβολταϊκή ενέργεια για κάθε διαπερατότητα και για κάθε άνοιγμα υαλοπίνακα, όπως φαίνεται με εντονότερους αριθμούς στον πίνακα 22.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της ετήσιας παραγόμενης φωτοβολταϊκής ενέργειας μεταξύ του εργαλείου υπολογισμού της OnyxSolar και του αντίστοιχης τεχνολογίας και ιδιοτήτων υαλοπίνακα της SolarPlus από το υπολογιστικό πρόγραμμα της RETScreen Expert, παρατηρούμε ότι οι αριθμοί είναι πολύ κοντά, όπως βέβαια ήταν αναμενόμενο. Οι όποιες αποκλίσεις, οφείλονται στα χαρακτηριστικά του μετατροπέα για τον οποίον δεν είχαμε πληροφορίες από την OnyxSolar για τις ιδιότητές τους, όπως την απόδοση του, όσο και το γεγονός ότι ο βαθμός απόδοσης του φωτοβολταϊκού στοιχείου που η SolarPlus έδινε ως 5,06% έχει μία μικρή απόκλιση από αυτόν της OnyxSolar για τον οποίον δεν είχαμε περαιτέρω στοιχεία από την εταιρεία. Πάντως σε γενικές γραμμές αποδείχθηκε η ορθότητα των δοσμένων στοιχείων απόδοσης-ανοιγμάτων και ιδιοτήτων της δοσμένης τεχνολογίας από την OnyxSolar.

Στη συνέχεια παρατίθεται το συγκριτικό Γράφημα 22 για την ετήσια παραγόμενη φωτοβολταϊκή ενέργεια μεταξύ των δύο υπολογισμών για έστω, τον μέσης διαπερατότητας (medium transparency) υαλοπίνακα.



Γράφημα 22. Συγκριτική Ετήσια Παραγόμενη Φωτοβολταϊκή Ενέργεια, Πηγή. Ο Συντάξας

Παρατηρούμε ότι τα διαγράμματα έχουν μία μικρή διαφορά στην κλίση και τις τιμές τους, ωστόσο η διαφορά αυτή είναι ανεκτή και στα όρια του επιτρεπτού λόγω των πειραματικών υποθέσεων όπως εξηγήθηκε προηγουμένως. Ο πιο πιθανός λόγος της μεγαλύτερης αναλογικά ετήσιας φωτοβολταϊκής παραγωγής που βρέθηκε στην RETScreen/SolarPlus να οφείλεται στο βαθμό απόδοσης 5,06% που απέδιδε το σύστημα της εταιρείας αυτής, ενώ οι υαλοπίνακες της OnyxSolar γνωρίζουμε ότι αποδίδουν με 4% ο χαμηλής διαπερατότητας, με 3,4% ο μέσης και με 2,8% ο υψηλής διαπερατότητας. Μάλιστα, δεδομένου ότι πρόκειται για την ετήσια

παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, οι όποιες μικρές μηνιαίες αποκλίσεις οδηγούν σε μεγαλύτερη ετήσια για κάθε άνοιγμα υαλοπίνακα (W.W.R). Παρόλα αυτά με τη χρήση του RETScreen Expert επαληθεύσαμε τα παραγόμενα αποτελέσματα της OnyxSolar

4.4.3 Εξαγόμενοι Πίνακες και Διαγράμματα

Κατόπιν, αφού βρήκαμε την ετήσια παραγόμενη φωτοβολταϊκή ενέργεια σε kWh, θέλαμε να έχουμε μία εικόνα της τάξης αυτών των μεγεθών. Πρακτικά δηλαδή, επειδή γνωρίζαμε εξ αρχής ότι ένας φωτοβολταϊκός υαλοπίνακας θα έχει υψηλότερο κόστος από ένα συμβατικό διπλό υαλοπίνακα, θέλαμε να δούμε βάσει του υπολογισμένου θερμικού ισοζυγίου τί ποσοστό των ενεργειακών αυτών αναγκών μας καλύπτεται από τις φωτοβολταϊκές κυψέλες των υαλοπινάκων μελέτης μας. Προκειμένου λοιπόν να το πραγματοποιήσουμε αυτό, διαιρέσαμε για κάθε άνοιγμα υαλοπίνακα, κάθε διαπερατότητας, την ετήσια παραγωγή φωτοβολταϊκής ενέργειας με τις αντίστοιχες τιμές της πρωτογενούς ολικής κατανάλωσης ενέργειας. Το αποτέλεσμα της πράξης αυτής μας έδινε πρακτικά το ποσοστό συμμετοχής της παραγόμενης ενέργειας στις ενεργειακές απαιτήσεις του χώρου γραφείου μας και άρα της εξοικονόμησης ενέργειας. Ο τύπος δηλαδή ήταν πρακτικά:

Ποσοστό Εξοικονόμησης Φ/Β Υαλοπινάκων (%)

=

$$\frac{\text{Ετήσια Ενεργειακή Απόδοση Φωτοβολταϊκών}}{\text{Ολική Πρωτογενής Κατανάλωση Ενέργειας}} * 100 (\Sigma_{\xi})$$

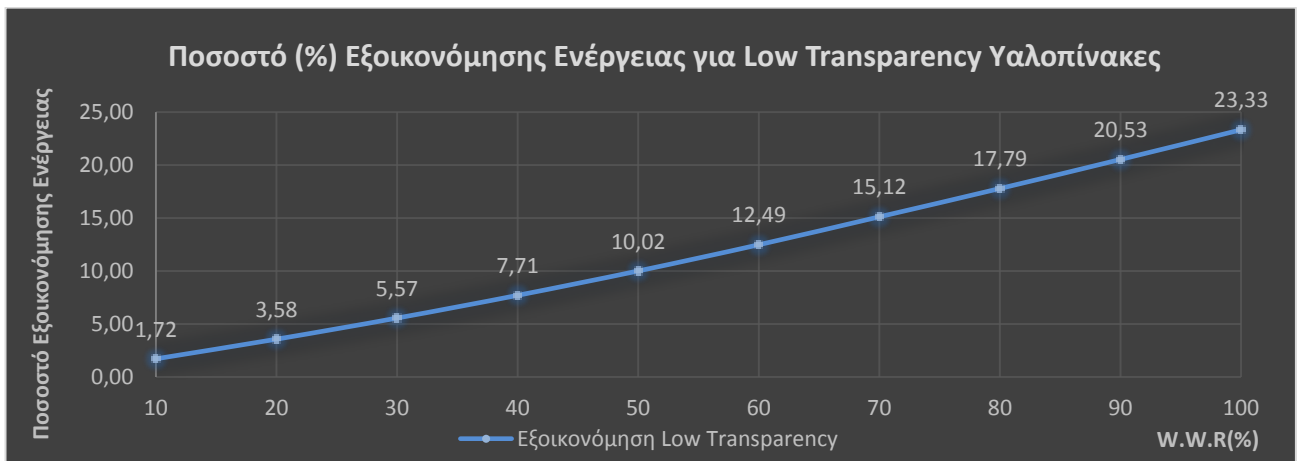
Κάνοντας χρήση της σχέσης λοιπόν εξάγαμε τα παρακάτω αποτελέσματα όπως φαίνονται πινακοποιημένα στους πίνακες 23, 24, και 25 για τον χαμηλής, μέσης και υψηλής διαπερατότητας αντίστοιχα.

W.W.R	Ολικό Ποσοστό (%) Εξοικονόμησης Λόγω Φωτοβολταϊκών Υαλοπινάκων Low Transparency Ετησίως	Ολικό Ποσοστό (%) Εξοικονόμησης Λόγω Φωτοβολταϊκών Υαλοπινάκων Medium Transparency Ετησίως	Ολικό Ποσοστό (%) Εξοικονόμησης Λόγω Φωτοβολταϊκών Υαλοπινάκων High Transparency Ετησίως
100	23,33	22,36	18,06
90	20,53	19,88	16,29
80	17,79	17,36	14,50
70	15,12	14,88	12,60
60	12,49	12,28	10,69
50	10,02	9,78	8,62
40	7,71	7,45	6,60
30	5,57	5,24	4,68
20	3,58	3,27	2,85
10	1,72	1,52	1,30

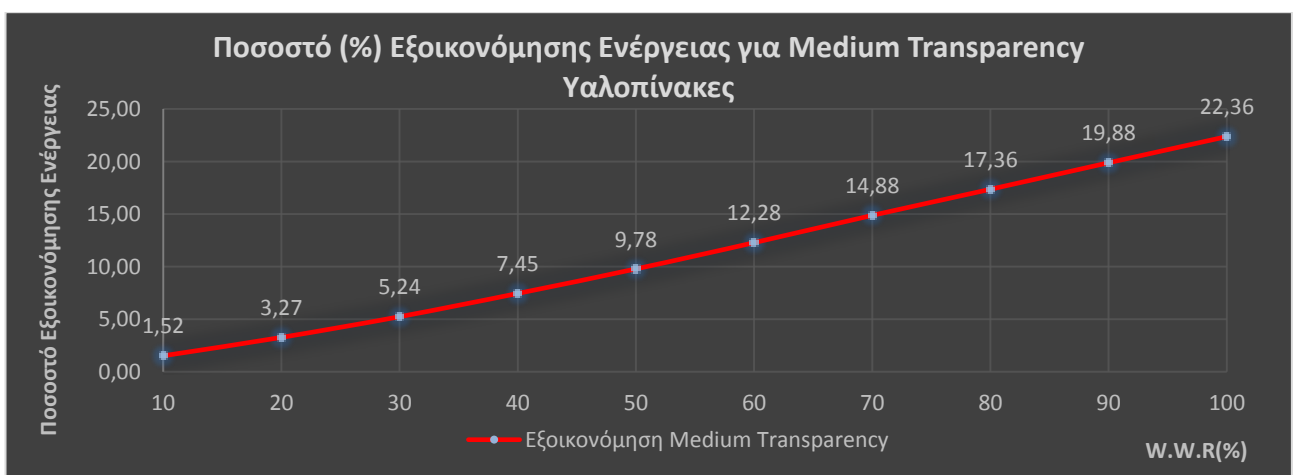
Πίνακας 23. Ολικό Ποσοστό(%) εξοικονόμησης των φωτοβολταϊκών υαλοπινάκων διαφορετικής διαπερατότητας για κάθε άνοιγμα (W.W.R), Πηγή. Ο Συντάξας

Από την άνω ανάλυση βλέπουμε ότι τη μεγαλύτερη απόδοση σε φωτοβολταϊκή ενέργεια δίνει ο χαμηλής διαπερατότητας υαλοπίνακας, για κάθε άνοιγμα, από W.W.R=10% έως W.W.R=100%. Συγκεκριμένα για W.W.R=100% δίνει 23,33%, ο μέσης διαπερατότητας δίνει 22,36%, ενώ ο υψηλής διαπερατότητας μόλις 18,06 %. Αυτό είναι λογικό, αφού όπως ήδη γνωρίζουμε ότι όσο πιο σκούρος ο υαλοπίνακας, τόσο μεγάλη η παραγωγή φωτοβολταϊκής ενέργειας, ενώ παρότι ο υψηλής διαπερατότητας είχε τις λιγότερες ενεργειακές απαιτήσεις στο θερμικό ισοζύγιο, λόγω της χαμηλότερης παραγωγής φωτοβολταϊκής ενέργειας, δίνει τη μικρότερη εκ των τριών εξοικονόμηση ενέργειας.

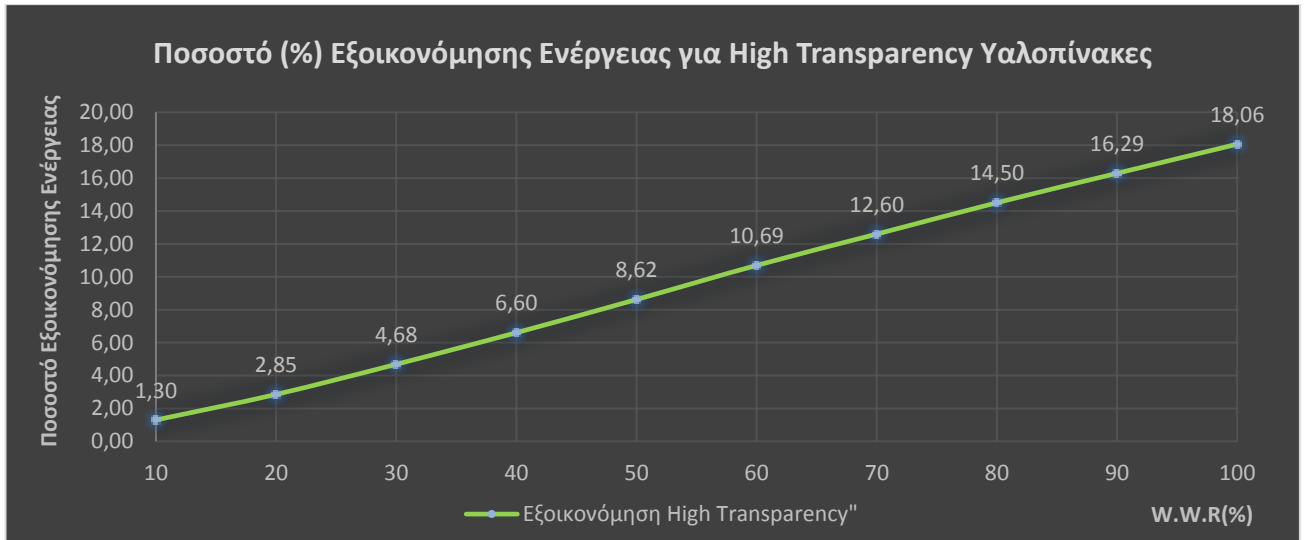
Από τα αποτελέσματα των πινάκων εξαγάγαμε τα αντίστοιχα διαγράμματα για κάθε έναν υαλοπίνακα, όπου φαίνεται ότι αυξανόμενου του W.W.R αυξάνεται αντίστοιχα η παραγωγή της φωτοβολταϊκής ενέργειας.



Γράφημα 23. Ποσοστιαία (%) Απόδοση Φωτοβολταϊκών Χαμηλής Διαπερατότητας, Πηγή. Ο Συντάξας

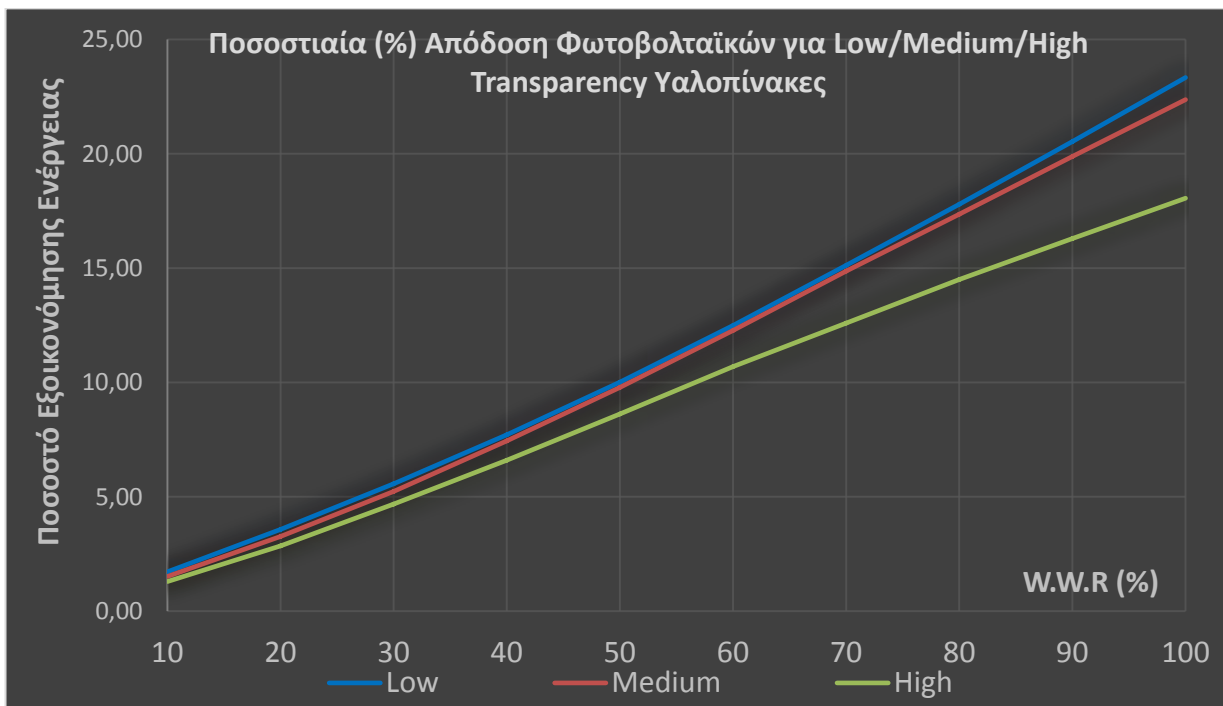


Γράφημα 24. Ποσοστιαία (%) Απόδοση Φωτοβολταϊκών Μέσης Διαπερατότητας, Πηγή. Ο Συντάξας



Γράφημα 25. Ποσοστιαία (%) Απόδοση Φωτοβολταϊκών Υψηλής Διαπερατότητας, Πηγή: Ο Συντάξας

Στη συνέχεια παρατίθενται συγκριτικά τα ποσοστά εξοικονόμησης για κάθε υαλοπίνακα χαμηλής, μέσης και υψηλής για τα διάφορα W.W.R, όπου φαίνεται ξεκάθαρα στο Γράφημα 26 ότι σε κάθε περίπτωση ανοίγματος ο χαμηλής διαπερατότητας υαλοπίνακας αποδίδει καλύτερα μεταξύ των τριών.



Γράφημα 26. Ποσοστιαία (%) Απόδοση Φωτοβολταϊκών για Low/Medium/High Transparency Υαλοπίνακες, Πηγή: Ο Συντάξας

Αφού βρήκαμε το ποσοστό εξοικονόμησης της ενέργειας επί συνόλω των ενεργειακών αναγκών για θέρμανση, ψύξη, φωτισμό και ανάγκες σε ηλεκτρικό ρεύμα συσκευών, θέλαμε να δούμε και χωριστά για μόνο φωτισμό και ανάγκες σε φωτισμό και ψύξη, το ποσοστό

επικάλυψης των ενεργειακών αυτών αναγκών, λόγω της φωτοβολταϊκής παραγωγής μας, όπως παίρνουμε στον Πίνακα 24.

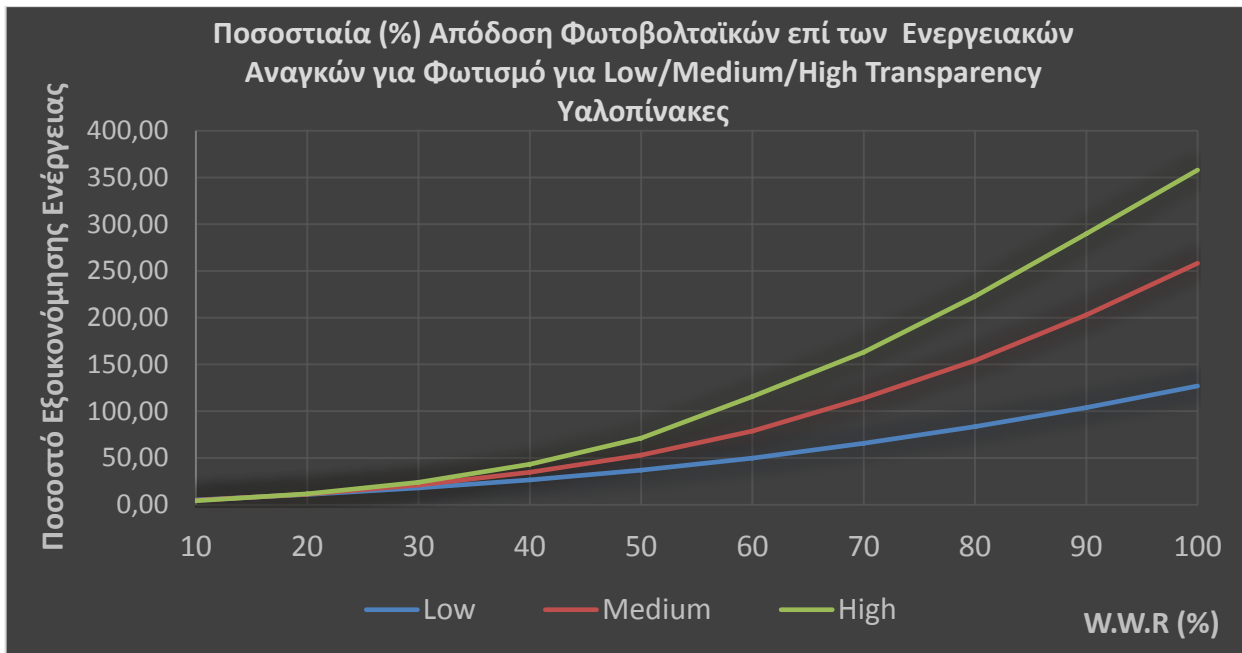
W.W.R	Ποσοστό (%) Εξοικονόμησης για Φωτισμό Λόγω Φωτοβολταϊκών Υαλοπινάκων Low Transparency Ετησίως	Ποσοστό (%) Εξοικονόμησης για Φωτισμό Λόγω Φωτοβολταϊκών Υαλοπινάκων Medium Transparency Ετησίως	Ποσοστό (%) Εξοικονόμησης για Φωτισμό Λόγω Φωτοβολταϊκών Υαλοπινάκων High Transparency Ετησίως
100	126,93	258,18	357,83
90	103,79	202,97	289,78
80	83,44	154,17	222,90
70	65,67	113,96	163,13
60	49,71	78,74	115,66
50	36,85	53,08	71,09
40	26,45	34,76	43,27
30	17,95	20,91	23,94
20	10,96	11,27	11,51
10	5,04	4,65	4,20

Πίνακας 24. Ποσοστό(%) εξοικονόμησης ενέργειας για φωτισμό για κάθε τύπο διαπερατότητας υαλοπίνακα για κάθε άνοιγμα(W.W.R), Πηγή: Ο Συντάξας

Βλέπουμε ότι αυξανόμενου του W.W.R έχουμε υψηλότερο ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας, αφού έχουμε μεγαλύτερη φωτοβολταϊκή παραγωγή, ενώ παρατηρούμε και ότι στους υψηλής διαπερατότητας υαλοπίνακες, έχουμε υψηλότερα ποσοστά εξοικονόμησης για τις ανάγκες σε φωτισμό συγκριτικά με τους άλλους δύο διαπερατότητας υαλοπίνακας. Αυτό, είναι κάτι αναμενόμενο λόγω του ότι ένας υψηλής διαπερατότητας υαλοπίνακας έχει υψηλότερη φωτοδιαπερατότητα.

→Για W.W.R =100% τα ποσοστά αυτά ξεπερνούν κατά πολύ το 100% της εξοικονόμησης και φτάνουν όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα 24 στο 126,93% για τον χαμηλής διαπερατότητας, 258,18% για τον μέσης και στο 357,83% για τον υψηλής διαπερατότητας, άρα έχουμε πρακτικά υπερκάλυψη των ενεργειακών μας αναγκών σε φωτισμό όλου του χώρου γραφείου μας, απλώς από την φωτοβολταϊκή μας πρόσωση.

Έτσι, βρήκαμε τί ποσοστό εξοικονόμησης έχουμε για τις ενεργειακές απαιτήσεις μόνο σε φωτισμό, όπου βρήκαμε ότι αυτές υπερκαλύπτονται, όπως φαίνεται στο συγκεντρωτικό Γράφημα 26. Μάλιστα κάναμε την ίδια διαδικασία και βγάλαμε το ποσοστό εξοικονόμησης επί των ενεργειακών αναγκών για ψύξη και φωτισμό με τα δεδομένα όπως φαίνονται στον Πίνακα 25 και το Γράφημα 27. Παρατηρούμε ότι πάλι έχουμε υψηλές αποδόσεις που για W.W.R=100% φτάνουν στο 49,43% για τον χαμηλής διαπερατότητας υαλοπίνακα, στο 54,52% για τον μέσης και το 41,50% για τον υψηλής διαπερατότητας.

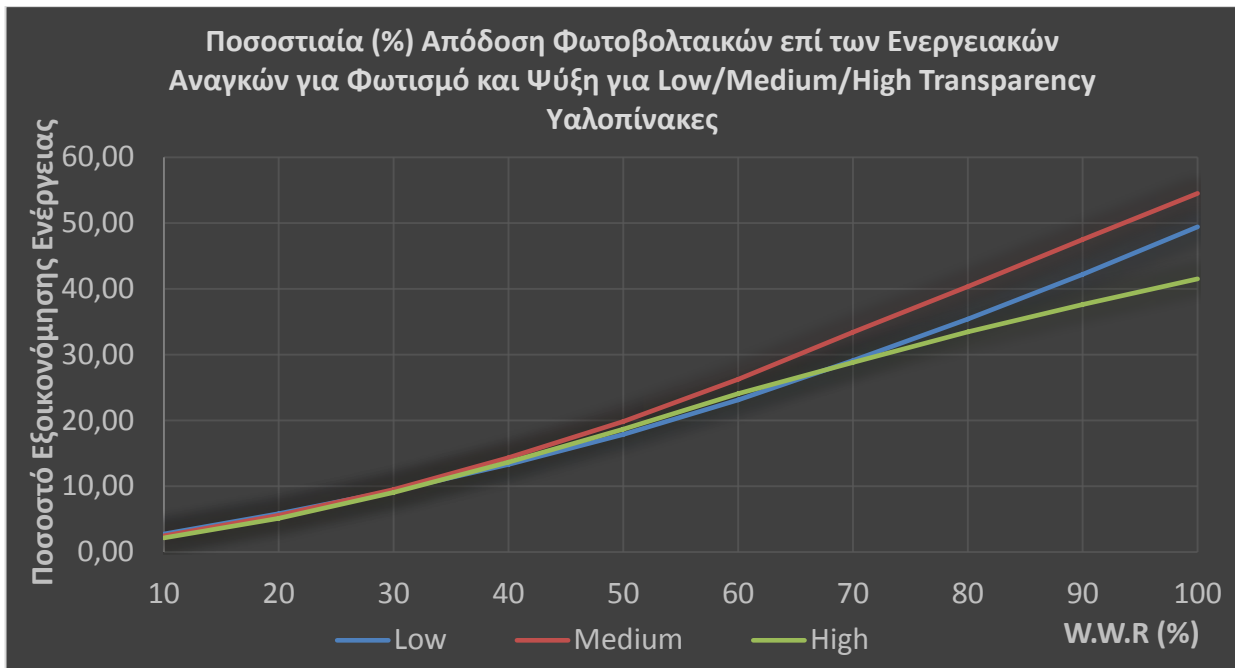


Γράφημα 27. Ποσοστιαία (%) Απόδοση Φωτοβολταϊκών επί των Ενεργειακών Αναγκών για Φωτισμό για Low/Medium/High Transparency Υαλοπίνακες, Πηγή. Ο Συντάξας

Έπειτα, έχουμε πινακοποιημένα τα αποτελέσματα για το % ποσοστό εξοικονόμησης για φωτισμό και ψύξη στον Πίνακα 25 αλλά και σε μορφή διαγράμματος στο Γράφημα 28.

W.W.R	Ποσοστό (%) Εξοικονόμησης για Φωτισμό & Ψύξη Λόγω Φωτοβολταϊκών Υαλοπινάκων Low Transparency Ετησίως	Ποσοστό (%) Εξοικονόμησης για Φωτισμό & Ψύξη Λόγω Φωτοβολταϊκών Υαλοπινάκων Medium Transparency Ετησίως	Ποσοστό (%) Εξοικονόμησης για Φωτισμό & Ψύξη Λόγω Φωτοβολταϊκών Υαλοπινάκων High Transparency Ετησίως
100	49,43	54,52	41,50
90	42,21	47,49	37,62
80	35,42	40,34	33,46
70	29,10	33,41	28,82
60	23,12	26,25	24,07
50	17,87	19,84	18,66
40	13,31	14,33	13,65
30	9,32	9,50	9,06
20	5,83	5,58	5,12
10	2,73	2,46	2,14

Πίνακας 25. Ποσοστό(%) εξοικονόμησης ενέργειας για φωτισμό & ψύξη για κάθε τύπο διαπερατότητας υαλοπίνακα για κάθε άνοιγμα(W.W.R), Πηγή. Ο Συντάξας



Γράφημα 28. Ποσοστιαία (%) Απόδοση Φωτοβολταϊκών επί των Ενεργειακών Αναγκών για Φωτισμό και Ψύξη για Low/Medium/High Transparency Υαλοπίνακες, Πηγή: Ο Συντάξας

Συμπερασματικά, βλέπουμε ότι η εφαρμογή των φωτοβολταϊκών υαλοπινάκων στη πρόσοψη του χώρου γραφείου μας όσον αφορά την φωτοβολταϊκή παραγωγή ήταν αποδοτικότερη σε μεγάλα ανοίγματα υαλοπινάκων, με καλύτερη αυτή στο W.W.R=100%. Μάλιστα, όπως αποδείχθηκε στην ενότητα 4,3,1 του 4^{ου} κεφαλαίου της μελέτης μας, για μεγάλα ανοίγματα και συγκεκριμένα W.W.R=100% του μέσης διαπερατότητας (medium transparency) υαλοπίνακα είχαμε και την μικρότερη πρωτογενή κατανάλωση ενέργειας, 202,16 kWh, ενώ την βέλτιστη παραγωγή ενέργειας στον W.W.R=100% του χαμηλής διαπερατότητας (low transparency). Συνεπώς για το λόγο αυτό και στη μελέτη μας θα χρησιμοποιήσουμε τον αποδοτικότερο σε άνοιγμα υαλοπίνακα από θέμα πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας σε συνδυασμό και της απόδοσης σε φωτοβολταϊκή ενέργεια, αφού φυσικά, ληφθεί υπόψιν και το αντίστοιχο κόστος αυτών, όπως θα αναλυθεί στο 5^ο Κεφάλαιο της μελέτης μας. Είναι λοιπόν η επιλογή του καταλληλότερου υαλοπίνακα ένα σύνθετο ζήτημα που όμως θα συζητηθεί αναλυτικότερα στη συνέχεια.

4.4.4 Αποτελέσματα Προσομοίωσης διπλών υαλοπινάκων

Όπως ήδη αναφέρθηκε, μετά τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για το ετήσιο θερμικό ισοζύγιο στην ενότητα 4.3.1 «Αποτελέσματα Ετήσιου Θερμικού Ισοζυγίου», τα αποτελέσματα της ανάλυσης μας ήταν μη αναμενόμενα, καθώς ενώ θα περιμέναμε οι ανάγκες για φορτία σε θέρμανση να μειώνονται και τα αντίστοιχα φορτία σε ψύξη να αυξάνονται, όσο μεγαλώνει το άνοιγμα του υαλοπίνακα (W.W.R), κάτι τέτοιο δε συνέβη. Αυτό το μη αναμενόμενο αποτέλεσμα, μας οδήγησε στην ανάγκη μίας νέας προσομοίωσης δύο υαλοπινάκων, των **“Double Glazing/DbI LoE (e2=.1) Tint 6mm/13mm Air”** και **“Colored Double Glazing/DbI LoE Elec Ref Colored 6mm/13m Arg”**, τις ιδιότητες των οποίων πήραμε από

τη βιβλιοθήκη του προγράμματος DesignBuilder. Τα χαρακτηριστικά των υαλοπινάκων αυτών δεν ήταν εξαρχής τυχαία, αλλά αφενός κάποιες βασικές ιδιότητες ήταν αντίστοιχες, όπως ότι ήταν διπλοί υαλοπίνακες πληρωμένοι με μόρια αέρα και αερίου(Αργό), ενώ όσον αφορά τα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά τους, ο ένας(Dbl Colored) είχε περίπου τα ίδια με τους υαλοπίνακες μελέτης μας όπως σχετικά χαμηλό συντελεστή θερμικού κέρδους και μικρή διαπερατότητα. Ο υαλοπίνακας ωστόσο, ο οποίος ήταν πληρωμένος με μόρια αέρα εμφάνιζε υψηλότερες τιμές συντελεστή θερμικού κέρδους, όσο και διαπερατότητας στο ορατό συγκριτικά με τους άλλους τρεις. Τα αποτελέσματα που πήραμε για το ετήσιο θερμικό ισοζύγιο φαίνονται στους πίνακες 26 και 27 παρακάτω:

	Double Glazing/Dbl LoE (e2=.1) Tint 6mm/13mm Air		
	SHGC	U-Value	Transparency
	0,38(calc) & 0,369(specs)	1,761(calc) & 1,772(specs)	0,444
W.W.R	Θέρμανση(kWh)	Ψύξη(kWh)	Φωτισμός(kWh)
100	3,56	1471,41	59,17
90	3,46	1359,95	62,97
80	3,41	1248,50	68,28
70	3,56	1140,70	76,13
60	3,83	1033,80	90,13
50	4,55	934,65	115,42
40	6,04	846,27	154,66
30	8,76	774,74	227,18
20	12,96	729,89	360,88
10	12,63	720,11	609,09

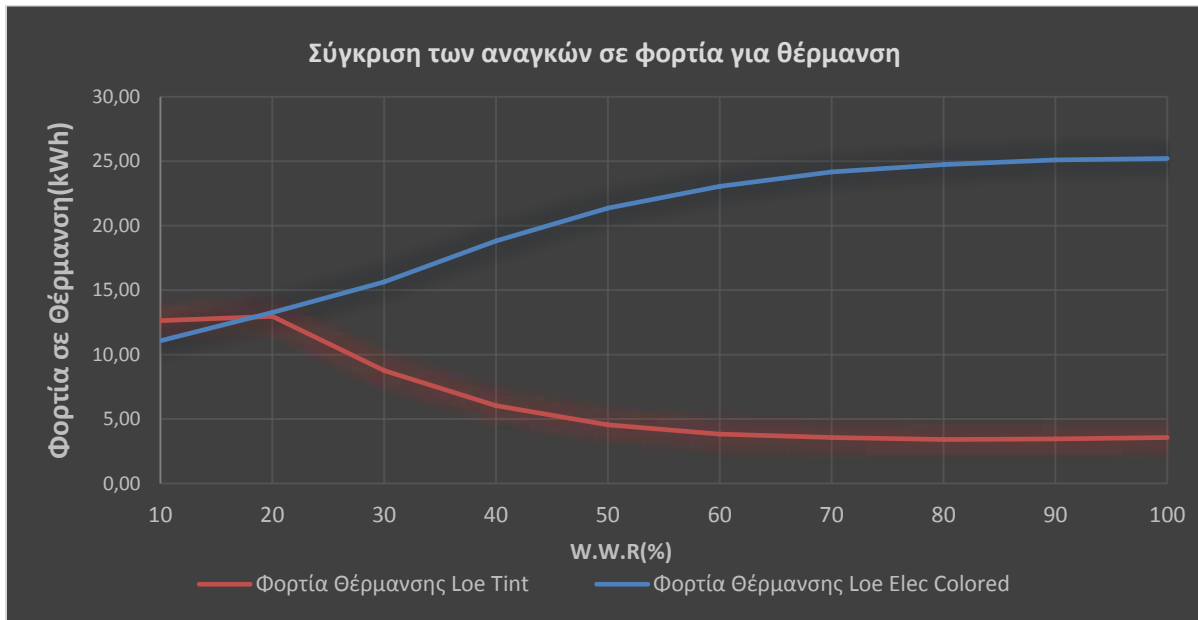
Πίνακας 26. Αποτελέσματα ετήσιου θερμικού ισοζυγίου για τον Tint υαλοπίνακα, Πηγή. Ο Συντάξας

Όπως παρατηρούμε από τα αποτελέσματα, έχουμε το λογικό και αναμενόμενο αποτέλεσμα ενός Double υαλοπίνακα, δηλαδή όσο μεγαλώνει το παράθυρο, τόσο να αυξάνονται τα φορτία για ψύξη και παράλληλα να ελαττώνονται τα φορτία για τη θέρμανση. Για τον colored διπλό υαλοπίνακα ωστόσο που είχε θερμοφυσικά χαρακτηριστικά πιο κοντά συγκριτικά με τους υαλοπίνακες μελέτης μας έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

	Colored Double Glazing/Dbl LoE Elec Ref Colored 6mm/13m Arg		
	SHGC	U-Value	Transparency
	0,106(calc) & 0,09(specs)	1,323(calc) & 1,322(specs)	0,12
W.W.R	Θέρμανση(kWh)	Ψύξη(kWh)	Φωτισμός(kWh)
100	25,21	783,00	302,45
90	25,09	770,28	334,60
80	24,73	758,72	371,72
70	24,16	750,23	415,95
60	23,05	744,86	473,98
50	21,36	740,06	537,73
40	18,81	735,00	603,95
30	15,64	731,08	677,40
20	13,26	727,43	747,75
10	11,07	725,79	822,66

Πίνακας 27. Αποτελέσματα ετήσιου θερμικού ισοζυγίου για τον Elec υαλοπίνακα, Πηγή. Ο Συντάξας

Παρατηρούμε δηλαδή ότι τα αποτελέσματα και εδώ είναι μη αναμενόμενα όπως στην περίπτωση των υαλοπινάκων μελέτης μας. Παρακάτω παρατίθεται συγκριτικά το διάγραμμα-Γράφημα 29 για τις ανάγκες σε φορτία για θέρμανση που παρατηρείται αυτή η διαφορά μεταξύ των δύο υαλοπινάκων όπου για τον έναν υαλοπίνακα έχουμε αύξηση και για τον άλλον μείωση τους όσο το W.W.R αυξάνεται.



Γράφημα 29. Σύγκριση αναγκών φορτίων για θέρμανση των Tint και Elec υαλοπινάκων, Πηγή. Ο Συντάξας

Αυτήν η προσομοίωση έγινε για λόγους επιβεβαίωσής της ορθής χρήσης του προγράμματος DesignBuilder με το οποίο πραγματοποιήθηκαν οι προσομοιώσεις, τόσο των υπό μελέτη υαλοπινάκων της OnyxSolar, όσο και των αντίστοιχων δύο αυτών που πήραμε από τη βιβλιοθήκη του προγράμματος. Τα μη αναμενόμενα αποτελέσματα θα συζητηθούν εν συγκρίσει στην επόμενη ενότητα 4.5 που ακολουθεί.

4.5 Σχολιασμός και Παρατηρήσεις Αποτελεσμάτων Προσομοίωσης

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα για **Θέρμανση, Ψύξη, Φωτισμό και Αναγκών για Ρεύμα Συσκευών** που προέκυψαν από την προσομοίωση των υαλοπινάκων της OnyxSolar παρατηρούμε τα εξής:

1) Όσο αυξάνεται η Διαπερατότητα του υαλοπίνακα από Χαμηλή (Low) σε Μέση (Medium) και Υψηλή (High), οι ανάγκες για Θέρμανση μειώνονται.

❖ Βλέπουμε λοιπόν ότι για W.W.R 100% έχουμε:

- Χαμηλή Διαπερατότητα **148,21 kWh**
- Μέση Διαπερατότητα: **123,76 kWh**
- Χαμηλή Διαπερατότητα: **64,15 kWh**

Αυτό το γεγονός, είναι αποτέλεσμα του ότι όσο μεγαλύτερη είναι η διαπερατότητα ενός υαλοπίνακα, τόσο θα αυξάνεται το θερμικό κέρδος (g-value) με αποτέλεσμα να αυξάνεται η θερμότητα και άρα να έχουμε λιγότερες ανάγκες για θέρμανση το χειμώνα.

Ωστόσο, παρατηρούμε ότι αυτό ισχύει για περιπτώσεις που έχουμε μεγάλα ανοίγματα (W.W.R μεγάλο), αφού για μικρά αυτό δεν ισχύει. Βλέπουμε δηλαδή από τα αποτελέσματα ότι ο συλλογισμός μας είναι σωστός για υαλοπίνακες από W.W.R 70% έως και W.W.R 100%.

2) Οι ανάγκες του κτιρίου μας για Φωτισμό θα είναι μικρότερες, καθώς το άνοιγμα του παραθύρου μεγαλώνει. Έτσι, όσο το W.W.R αυξάνεται, τόσο θα μειώνονται οι ανάγκες για φωτισμό, ενώ ξεκάθαρα τις λιγότερες ανάγκες συγκριτικά μεταξύ των τριών, θα τις έχουμε για τον Υψηλής Διαπερατότητας υαλοπίνακα.

3) Όσο αυξάνεται το άνοιγμα του υαλοπίνακα μας (W.W.R) βλέπουμε ότι αυξάνονται τα φορτία για θέρμανση και μειώνονται τα αντίστοιχα για ψύξη, κάτι που δεν είναι αναμενόμενο, αφού θα περιμέναμε ακριβώς το αντίθετο.

Το αποτέλεσμα αυτό, που εκ πρώτης όψεως είναι αφύσικο και ειδικά με τη σύγκριση με τον διπλό υαλοπίνακα της βιβλιοθήκης του DesignBuilder όπου βρήκαμε στην ενότητα 4.4.4 τα αναμενόμενα αποτελέσματα, προσπαθήσαμε να βρούμε μία λογική σε αυτό.

Αρχικώς, η μόνη περίπτωση να μειώνεται η κατανάλωση για θέρμανση είναι να μη λειτουργεί το Dimming, δηλαδή το σύστημα ελέγχου του τεχνητού φωτισμού στο κτίριο μας. Αυτό είναι κάτι μη αναμενόμενο αλλά θα μπορούσε να συμβεί.

Γενικώς, όταν υπολογίζεται η ανάγκη για θέρμανση στο φωτισμό από το πρόγραμμα, υπολογίζεται ο φωτισμός σαν ηλεκτρική ενέργεια, όσο και η θερμότητα που εκπέμπεται από το σύστημα του φωτισμού που το convective είναι ίσο με 0,4.

Όπως ήδη είπαμε, από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τους υαλοπίνακες μελέτης μας της OnyxSolar, είδαμε ότι όσο το άνοιγμα του υαλοπίνακα(W.W.R) αυξάνεται, οι ανάγκες για φωτισμό ελαττώνονται. Συγκεκριμένα, έχουμε μείωση από 830 kWh στις 329,55 kWh για W.W.R=100% και W.W.R=10% αντίστοιχα του χαμηλής διαπερατότητας υαλοπίνακα(Low transparency). Αντίστοιχη μεγάλη μείωση εμφανίζεται και για τους υαλοπίνακες μέσης και υψηλής διαπερατότητας. Σημειώνεται ότι η μεγάλη αυτή μείωση περίπου 500 kWh που εμφανίζεται είναι περίπου 200kWh φορτίων ψύξης που γλιτώνουμε. Για την ακρίβεια, είναι: $830,42 \text{ kWh} - 329,55 \text{ kWh} = 500,87 \text{ kWh} \approx 500 \text{ kWh}$.

Αυτό συμβαίνει διότι ισχύει ότι 1kWh αναγκών ηλεκτρικού ρεύματος για ψύξη αντιστοιχεί σε 3kWh αντίστοιχων αναγκών για το φωτισμό. Πρακτικά δηλαδή ισχύει η παρακάτω μνημονική αντιστοίχιση :

$$1 \text{ kWh Ψύξης} \approx 3 \text{ Kwh Φωτισμού}$$

Παρατηρώντας λοιπόν τις ανάγκες για ψύξη, έστω για τον χαμηλής διαπερατότητας υαλοπίνακα για τον οποίον ήδη γράψαμε για τη μείωση των αναγκών του σε φορτία για φωτισμό, παρατηρούμε ότι έχουμε Πρακτικά δηλαδή έχουμε μείωση περίπου 200 kWh. Συγκεκριμένα είναι $699,08 \text{ kWh} - 516,61 \text{ kWh} = 182,47 \text{ kWh}$. Αυτό, μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το αποτέλεσμα είναι σωστό, αφού:

$$\frac{500,87}{182,47} = 2,7449 \approx 3$$

Παρατηρούμε λοιπόν ότι ο πιο πιθανός λόγος για τον οποίον έχουμε αυτό το μη αναμενόμενο αποτέλεσμα στην προσομοίωση μας για τους υαλοπίνακες τη OnyxSolar είναι τα φορτία για το φωτισμό. Πρακτικά δηλαδή τα μη αναμενόμενα αυτά αποτελέσματα είναι απόρροια του μικρού συντελεστή διαπερατότητας στο ορατό και του μικρού συντελεστή θερμικού κέρδους g-value. Παρακάτω παρατίθενται στον Πίνακα 28 για να φανεί η σύγκριση μεταξύ των 3 διαφορετικής διαπερατότητας υαλοπινάκων της OnyxSolar και των 2 υαλοπινάκων που μελετήσαμε από τη βιβλιοθήκη του DesignBuilder.

Υαλοπίνακες Μελέτης	Συντελεστής Θερμικού Κέρδους (SHGC/G- Value)	Φωτοδιαπερατότητα (Transparency)
OnyxSolar High	0,17	0,30
OnyxSolar Medium	0,12	0,20
OnyxSolar Low	0,09	0,10
DbI LoE Tint	0,369	0,44
DbI LoE Elec	0,09	0,12

Πίνακας 28. Σύγκριση θερμοφυσικών ιδιοτήτων μεταξύ του συνόλου των υαλοπινάκων μελέτης μας, Πηγή. Ο Συντάξας

Από τον πίνακα λοιπόν 28 παρατηρούμε ότι για τους 3 υαλοπίνακες της OnyxSolar, όσο και για τον διπλό υαλοπίνακα “**Colored Double Glazing/DbI LoE Elec Ref Colored 6mm/13mm Arg**” της βιβλιοθήκης του DesignBuilder οι ιδιότητες τους είχαν το ίδιο χαρακτηριστικό. Αυτές οι κοινές ιδιότητες αφορούν το χαμηλό συντελεστή θερμικού κέρδους (G-value) και τη φωτοδιαπερατότητα που σε σχέση με τον υαλοπίνακα “**Double Glazing/DbI LoE (e2=.1) Tint 6mm/13mm Air**” είναι πολύ μικρότερες οι τιμές αυτών. Συνεπώς καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως το μη αναμενόμενο αυτό αποτέλεσμα είναι προϊόν της μεγάλης κατανάλωσης που έχουμε σε φωτισμό.

5^ο Κεφάλαιο

ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΟΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ ΓΡΑΦΕΙΟΥ

5.1 Εισαγωγή

Οι τρεις υαλοπίνακες της μελέτης μας που ανήκουν στην εταιρεία OnyxSolar από την οποία αντλήσαμε όλες τις ιδιότητες τους, έχουν όπως είπαμε δύο πολύ βασικές ιδιότητες. Αρχικώς, έχουν την ιδιότητα να παρέχουν θερμική και ακουστική μόνωση, εξασφαλίζοντας παράλληλα την οπτική άνεση μέσω της ομαλής διέλευσης του φυσικού φωτός. Η δεύτερη βασική ιδιότητα τους είναι η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος μέσω των ειδικών καψουλών που φέρουν προσαρμοσμένα στην επιφάνεια τους. Πρακτικά λοιπόν, οι χαμηλού συντελεστή εκπεμπιμότητας υαλοπίνακες της μελέτης μας οδηγούν σε εξοικονόμηση ενέργειας, τόσο λόγω των καλών θερμοφυσικών χαρακτηριστικών τους (U-value, G-value, φωτοδιαπερατότητα), όσο και λόγω παραγωγής του ηλεκτρικού ρεύματος που χρειάζεται το ίδιο το κτίριο για τις ανάγκες του. Αυτός ο συνδυασμός των ενεργητικών και παθητικών ιδιοτήτων των υαλοπινάκων τους καθιστά αρκετά ακριβότερους σε σχέση με τους συμβατικούς διπλούς υαλοπίνακες, αλλά οδηγούν και σε υψηλά ποσοστά εξοικονόμησης ενέργειας, παραγωγής και εν τέλει απόσβεσης του κόστους και κέρδος. Αυτήν η σχέση κόστους και απόδοσης, ο συνδυασμός της οποίας είναι καθοριστικός για κάθε υποψήφιο επενδυτή και μηχανικό, αποτελεί το βασικό ζητούμενο του κεφαλαίου αυτού.

5.2 Επιλογή του Υαλοπίνακα Οικονομικής Μελέτης

Αρχικώς, θέλαμε να γνωρίζουμε πόσο κοστίζουν οι φωτοβολταϊκοί υαλοπίνακες ανά m^2 για τις 3 διαπερατότητες μας, χαμηλή(low), μέση(medium) και υψηλή(high). Εδώ ωστόσο, προκύπτουν δύο βασικά ζητούμενα. Αρχικώς, για ποιο άνοιγμα υαλοπίνακα θα κάνουμε τη μελέτη των οικονομικών δεδομένων και φυσικά για ποια ή για ποιες διαπερατότητες ανάλογα με τη φωτοβολταϊκή ενέργεια που αυτές προσφέρουν. Πρακτικά λοιπόν αναζητούμε τον υαλοπίνακα εκείνον με την καλύτερη απόδοση επί των συνολικών ενεργειακών αναγκών βάσει των ιδιοτήτων αυτών. Ο συνδυασμός αυτών των δύο χαρακτηριστικών αποτελεί προϋπόθεση και βάση για τη συνέχεια της οικονομικής μας μελέτης.

- Επιλογή ανοίγματος υαλοπίνακα (W.W.R) και διαπερατότητας.

Από τη μελέτη των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης για την πρωτογενή κατανάλωση ενέργειας στην ενότητα 4.3.1, «Αποτελέσματα Ετήσιου Θερμικού Ισοζυγίου» είδαμε από το συγκεντρωτικό Γράφημα 21, ότι τη χαμηλότερη πρωτογενή κατανάλωση ενέργειας ανά m^2 , εμφάνιζε ο μέσης διαπερατότητας υαλοπίνακας για W.W.R=100%. Συγκεκριμένα, εμφάνιζε πρωτογενή κατανάλωση 202,16 kWh/ m^2 , έναντι 206,20 kWh/ m^2 και 227,96 kWh/ m^2 του

υψηλής και χαμηλής διαπερατότητας αντίστοιχα. Για όλους μάλιστα τους υαλοπίνακες ανεξαρτήτου διαπερατότητας, το επιθυμητό άνοιγμα με τις χαμηλότερες απαιτήσεις σε πρωτογενή κατανάλωση ενέργειας είναι για πλήρες άνοιγμα υαλοπίνακα, W.W.R=100%. Επομένως, ο υαλοπίνακας μέσης διαπερατότητας (medium) ανοίγματος W.W.R=100% αποτελεί τον επιθυμητό υαλοπίνακα για τον οποίο και θα προχωρήσουμε στην οικονομική μελέτη.

- Επιλογή υαλοπίνακα βάσει βέλτιστης απόδοσης επί των συνολικών ενεργειακών αναγκών.

Από τη μελέτη που πραγματοποιήσαμε βρήκαμε, όπως ήδη αναφέρθηκε στην ενότητα 4.4.3 «Εξαγόμενοι Πίνακες και Διαγράμματα» ότι τη βέλτιστη απόδοση επί των συνολικών ενεργειακών αναγκών εμφάνιζε ο χαμηλής διαπερατότητας υαλοπίνακας. Συγκεκριμένα, ο υαλοπίνακας αυτός εμφάνιζε 23,33% απόδοση, τη στιγμή που οι άλλοι δύο, μέσης και υψηλής διαπερατότητας εμφάνιζαν 22,36% και 18,06% αντίστοιχα. Η απόδοση αυτή είχε άμεση συνάρτηση με την φωτοβολταϊκή παραγωγή του καθενός σε ηλεκτρικό ρεύμα. Κάθε άλλη τιμή μικρότερη από W.W.R=100%, ανεξαρτήτως διαπερατότητας, εμφάνιζε μικρότερες τιμές αποδόσεων. Δεδομένου ωστόσο ότι πέραν των παραγόμενων αποδόσεων ένα βασικό ζητούμενο είναι και ο ανθρώπινος παράγοντας, άρα η οπτική άνεση, επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε στη μελέτη μας τον μέσης διαπερατότητας υαλοπίνακα. Ουσιαστικά δηλαδή, παραβλέποντας την ελάχιστη χαμηλότερη απόδοση του επί των συνολικών ενεργειακών αναγκών συγκριτικά με τον χαμηλής διαπερατότητας υαλοπίνακα.

Βάσει λοιπόν των δύο αυτών ιδιοτήτων καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι από θέμα οικονομίας, αλλά και οπτικής άνεσης ο υαλοπίνακας που θα χρησιμοποιήσουμε στη μελέτη μας είναι ένας υαλοπίνακας μέσης διαπερατότητας και εμβαδού $E=11,997\text{m}^2$ για W.W.R=100%.

5.3 Βασικές Παράμετροι Οικονομικής Μελέτης

Πριν την εκκίνηση της οικονομικής μελέτης, έπρεπε να ορίσουμε κάποιες βασικές παραμέτρους της μελέτης μας, όπως αυτές αναλύονται παρακάτω.

- Ολική Πρωτογενής Κατανάλωση Ενέργειας (kWh)

Από τη μελέτη μας του θερμικού ισοζυγίου, βρήκαμε στην ενότητα 4.3.1 «Αποτελέσματα Ετήσιου Θερμικού Ισοζυγίου» ότι η ετήσια ολική πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας του χώρου γραφείου μας για τον W.W.R=100%, μέσης διαπερατότητας υαλοπίνακα ήταν 4610,51 kWh.

- Χρέωση Ρεύματος ανά kWh

Μπαίνοντας στην επίσημη σελίδα της Δημόσιας Υπηρεσίας Ηλεκτρισμού(Δ.Ε.Η)(www.dei.gr) αναζητήσαμε τις τιμές που αφορούν στην κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος σε €/kWh. Επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε τις δοθείσες πληροφορίες του επαγγελματικού τιμολογίου Γ21, όπου έπρεπε να ορίσουμε τις ολικές μας ανάγκες ανά 4μηνο.

Έχοντας λάβει τις διάφορες χρεώσεις της Δ.Ε.Η όπως αυτές αναγράφονται, δηλαδή ΥΚΩ, ΕΤΜΕΑΡ, ΑΔΜΗΕ, ΔΕΔΔΗΕ, όσο και τις λοιπές χρεώσεις, θεωρώντας παράλληλα 8 kVA ως ισχύς παροχής και μονοφασικό σύστημα, υπολογίστηκε ότι η τιμή της kWh για το Επαγγελματικό Γ21 τιμολόγιο που αφορά το υπό μελέτη παράδειγμα μας, είναι **0,2144€/kWh**.

Οι ολικές μας ανάγκες όπως αναγράφηκαν σε ηλεκτρικό ρεύμα για την κάλυψη των αναγκών σε ψύξη, φωτισμό και σε ηλεκτρικό ρεύμα συσκευών είναι **4480,56kWh**. Επομένως, υπολογίστηκε ότι οι ανάγκες μας ανά **4μηνο**, θα είναι **4480,56/3 ≈ 1493,52kWh**

Στο επαγγελματικό τιμολόγιο Γ21, όπως αυτό της ανάλυσης-μελέτης μας, όπως αναφέρεται, η χρέωση για την καταναλωθείσα ενέργεια(€/kWh) και η χρέωση για το πάγιο (€/μήνα) παραμένουν σταθερά.

Βάσει του τιμολογίου του 2018 για τον υπολογισμό της συνολικής τετραμηνιαίας κατανάλωσης θα είναι:

➤ Χρεώσεις Προμήθειας:

- Χρέωση Παγίου: $0,53(€) * (120/30) = 2,12(€)$
- Χρέωση Ενέργειας: $1493,52(kWh) * 0,10153(€/kWh) = 151,6371(€)$

Επομένως, θα έχουμε συνολικά: $2,12+151,6371 = 153,76(€)$

- ΑΔΜΗΕ: Δίκτυο Μεταφοράς Η/Ε: 3,85(€)
- ΔΕΔΔΗΕ: Δίκτυο Διανομής Η/Ε: 13,65(€)
- ΥΚΩ: Υπηρεσίες Κοινής Ωφέλειας: 9,39(€)
- ΕΤΜΕΑΡ: Ειδικό Τέλος Μείωσης Εκπομπών Αέριων Ρύπων: 13,43(€)
- Λοιπές Χρεώσεις: 0,04(€)

Επομένως, θα έχουμε συνολικά: $3,85+13,65+9,39+13,43+0,04 = 40,36(€)$

➤ Ρυθμιζόμενες Χρεώσεις

- Ειδικός Φόρος Κατανάλωσης(Ε.Φ.Κ): 2,58(€)
- Ειδικό Τέλος 5%: $(54,41+40,36-13,43+2,58)*0,005 = 0,42(€)$
- Φ.Π.Α: $(54,41+40,36+2,58)*0,13 = 12,65(€)$

Επομένως, θα έχουμε συνολικά: $2,58+0,42+12,65 = 15,65(€)$

Άρα, το σύνολο της αξίας του λογαριασμού μας βρήκαμε από τα παραπάνω ότι θα είναι: $153,76(\text{€}) + 40,36(\text{€}) + 15,65 = 209,77(\text{€})$. Οπότε, ολικά το ετήσιο ποσό θα αντιστοιχεί σε $209,77(\text{€}) * 3(4\text{μηνια}) = \mathbf{629,31(\text{€})/\text{έτος}}$.

Δεδομένου λοιπόν ότι οι ετήσιες ανάγκες μας σε ηλεκτρικό ρεύμα για ψύξη, φωτισμό και αναγκών σε ρεύμα συσκευών είναι 4480,56(kWh) η τιμή της kWh θα είναι: $629,31/4480,56 = 0,140(\text{€})/\text{kWh}$.

→ Επομένως, από την ανάλυση αυτή, βρήκαμε ότι οι **ανάγκες μας για ηλεκτρικό ρεύμα στο χώρο γραφείου μας θα είναι 629,31(€)/έτος**.

- Χρέωση Φυσικού Αερίου Θέρμανσης ανά kWh

Ωστόσο, πρέπει τώρα να υπολογιστεί και το κόστος που θα έχει ο χώρος γραφείου που μελετούμε για τη θέρμανση. Δεδομένου ότι η θέρμανση πραγματοποιείται με φυσικό αέριο και ότι οι ετήσιες ανάγκες μας όπως αυτές υπολογίστηκαν με τη χρήση του προγράμματος DesignBuilder είναι 123,76(kWh) βρίσκουμε αντίστοιχα τα οικονομικά δεδομένα.

Από τους υπολογισμούς είχαμε ότι το κόστος ολικά, για τις χρεώσεις προμήθειας, παγίου, συστήματος μεταφοράς, όσο και χρεώσεων δικτύου μεταφοράς, για τις ανάγκες σε **θέρμανση 123,76(kWh) ήταν περίπου 200,52(€)/έτος**.

Επομένως, το **ολικό κόστος ετησίως για το χώρο γραφείου μελέτης μας**, είναι το άθροισμα των αναγκών για θέρμανση και ηλεκτρικό ρεύμα.

Οπότε, $\mathbf{200,52(\text{€})/\text{έτος} + 629,31(\text{€})/\text{έτος} = 829,83(\text{€})/\text{έτος}}$

5.4 Εφαρμογή Οικονομικής Μεθοδολογίας και Υπολογισμός Ετήσιας Εξοικονόμησης

Από τα αποτελέσματα του προγράμματος RETScreen, όσο και της OnyxSolar, βρήκαμε ότι για τον φωτοβολταϊκό υαλοπίνακα ενδιαφέροντος μας, τον ανοίγματος W.W.R=100% και μέσης διαπερατότητας οι ετήσιες kWh που παράγονται είναι 1031,13kWh. Αυτές οι κιλοβατώρες ηλεκτρικής ενέργειας που παράγονται μεταφράζονται σε οικονομικά στοιχεία, λαμβάνοντας υπόψιν την ήδη υπολογισμένη τιμή ((€/kWh), όπως είδαμε στην ενότητα 5.3, «Βασικές Παράμετροι Οικονομικής Μελέτης».

Θα είναι λοιπόν:

$$1031,13(\text{kWh}) * 0,2144 ((\text{€})/\text{kWh}) = 221,07(\text{€}).$$

Επομένως, το **ολικό ετήσιο οικονομικό κέρδος από τη λειτουργία του υαλοπίνακα** μας θα είναι ίσο με **221,07(€)**.

❖ Κόστος Υαλοπίνακα Ανά m²

Λαμβάνοντας υπόψιν τα αποτελέσματα της μελέτης δεδομένων της OnyxSolar σχετικά με την αποπληρωμή της ενδεχόμενης επένδυσης πήραμε:

Στο παράδειγμα χρησιμοποιήθηκε ένας υαλοπίνακα μέσης διαπερατότητας, όπως αυτόν της μελέτης μας σε πρόσοψη, μεγέθους 730m² και ανοίγματος W.W.R=100%.

Από τα στοιχεία λοιπόν που μας έδωσε έμμεσα η εταιρεία προσπαθήσαμε να κάνουμε προσεγγιστικά μία εκτίμηση του κόστους ανά m² του υαλοπίνακα μας. Συγκεκριμένα, η εταιρεία στο παράδειγμα της έδινε ότι ο x πελάτης γλίτωσε από την εγκατάσταση του παραπάνω υαλοπίνακα 1172,15(€).

Εάν υποθέσουμε ότι ο χρόνος απόσβεσης είναι έστω τα 4 έτη, δεδομένου μάλιστα ότι η εταιρεία ισχυρίζεται βάσει των παραπάνω ότι τόσο θα είναι το χρονικό διάστημα αποπληρωμής, θα είναι:

$$1172,15(\text{€}) * 4(\text{έτη}) = 4688,6(\text{€}), \text{ το ποσό συνολικά της επένδυσης που δαπάνησε.}$$

Το ερώτημα που τίθεται εδώ φυσικά είναι πόσο είναι η αρχική επένδυση. Όπως λέει η εταιρεία στην οικονομική της φόρμα, θα έχουμε μείωση 1246,71(€) για 30 έτη από την εγκατάσταση του παραδείγματος υαλοπίνακα 730m²

$$\text{Άρα, ανά έτος θα έχουμε } 1246,71/30 = 41,557(\text{€}).$$

Συνεπώς, στα 4 έτη για τα οποία θα γίνει η απόσβεση σύμφωνα με την OnyxSolar, θα είναι: 41,557*4 = **166,23(€)**. Βλέπουμε δηλαδή ότι παίρνουμε περίπου μία μέση τιμή κόστους αυτού του υαλοπίνακα που ωστόσο μπορεί να διαφέρει τόσο προς τα κάτω όσο και προς τα πάνω,

ωστόσο αποτελεί μία καλή προσέγγιση. Κατόπιν μάλιστα σκέψης, γνωρίζοντας φυσικά ότι όσο μεγαλύτερος ο υαλοπίνακας τόσο το κόστος θα πέφτει ανά m^2 , αποφασίσαμε να μελετήσουμε τον παρόν υαλοπίνακα μας σε τρεις τιμές κόστους, **100(€)/m**, **150(€)/m²** και **200(€)/m²**.

Από την εφαρμογή της οικονομικής μεθοδολογίας, ισχύει:

$$\text{Κόστος για την περίοδο αποπληρωμής} = \frac{\text{Κόστος Εγκατάστασης}}{\text{Ετήσια Εξοικονόμηση}} (\Sigma_{\kappa})$$

Συγκεντρωτικά λοιπόν μέχρι στιγμής έχουμε:

- i. Κόστος φωτοβολταϊκού υαλοπίνακα: $100(\text{€})/m^2 \div 200(\text{€})/m^2$
- ii. Ετήσιο Κόστος για Θέρμανση και Ηλεκτρικό Ρεύμα: 829,83(€)/έτος
- iii. Ετήσιο Οικονομικό Όφελος από τη λειτουργία του υαλοπίνακα: 221,07(€).
- iv. Κόστος εγκατάστασης και λοιπά έξοδα: ~400(€)

Δεδομένου ότι στη μελέτη μας πρόκειται να χρησιμοποιήσουμε έναν υαλοπίνακα εμβαδού, $E = 12m^2$, από τον υπολογισμό για το κόστος σε ευρώ ανά μονάδα επιφανείας θα έχουμε:

Ολικό Κόστος Φωτοβολταϊκού Υαλοπίνακα:

- A. Για $100(\text{€})/m^2$: $12m^2 * 100(\text{€})/m^2 = 1200(\text{€}) + 400(\text{€}) = 1600(\text{€})$
- B. Για $150(\text{€})/m^2$: $12m^2 * 150(\text{€})/m^2 = 1800(\text{€}) + 400(\text{€}) = 2200(\text{€})$
- C. Για $200(\text{€})/m^2$: $12m^2 * 200(\text{€})/m^2 = 2400(\text{€}) + 400(\text{€}) = 2800(\text{€})$

Σε κάθε περίπτωση, θα έχουμε για την Περίοδο Αποπληρωμής:

$$\text{Περίοδο Αποπληρωμής} = \frac{\text{Ολικό Κόστος Υαλοπίνακα}}{\text{Ετήσιο Οικονομικό Όφελος}} * 100\% (\Sigma_{\kappa}')$$

A. Περίπτωση για 1600(€):

$$\text{Περίοδο Αποπληρωμής} = \frac{1600}{221,07} * 100\% = 7,243 \approx 7 \text{ έτη}$$

Β. Περίπτωση για 2200(€):

$$\text{Περίοδο Αποπληρωμής} = \frac{2200}{221,07} * 100\% = 9,95 \approx 10 \text{ έτη}$$

Γ. Περίπτωση για 2800(€):

$$\text{Περίοδο Αποπληρωμής} = \frac{2800}{221,07} * 100\% = 12,67 \approx 13 \text{ έτη}$$

Σε κάθε περίπτωση, μετά την αποπληρωμή του αρχικού κόστους αγοράς και εγκατάστασης του υαλοπίνακα, θα έχουμε ετησίως μία εξοικονόμηση που θα είναι:

$$\text{Ετήσια Εξοικονόμηση(\%)} = \frac{\text{Ετήσιο Οικονομικό Κέρδος Παραγωγής Ενέργειας Υαλοπίνακα}}{\text{Ετήσιο Κόστος για θέρμανση και Ηλεκτρικό Ρεύμα}} (\Sigma_{\text{ετ.εξ}})$$

$$\text{Ετήσια Εξοικονόμηση(\%)} = \frac{221,07}{829,83} * 100\% = 26,64 \%$$

Βλέπουμε δηλαδή, ότι θα έχουμε κοντά στο 27% εξοικονόμηση ετησίως σε χρήματα από την εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού υαλοπίνακα μέσης διαπερατότητας και ανοίγματος W.W.R=100% που είναι μία εξαιρετική περίπτωση που ως μηχανικοί θα πρέπει να έχουμε στο μυαλό μας για το μέλλον.

5.5 Σύγκριση με μη Φ/Β Υαλοπίνακες και Αποτελέσματα

Ένα βασικό ερώτημα που προέκυψε μετά την ανάλυση και βασική παράμετρος όσον αφορά την προσπάθεια ενός μηχανικού να πείσει τον υποψήφιο ιδιώτη για την εφαρμογή του φωτοβολταϊκού υαλοπίνακα αυτού, είναι η σύγκριση με έναν κοινό διπλό υαλοπίνακα. Δηλαδή, πόσα χρήματα θα έπρεπε να πληρώνει ετησίως σε θέρμανση και ηλεκτρικό ρεύμα και πόσο θα κόστιζε περίπου η εγκατάσταση ενός μη φωτοβολταϊκού πλέον υαλοπίνακα ίδιων διαστάσεων και αντίστοιχων θερμοφυσικών ιδιοτήτων(u-value, g-value, φωτοδιαπερατότητα).

Στην ενότητα 4.4.4 «Αποτελέσματα Προσομοίωσης διπλών υαλοπινάκων» του 4^{ου} Κεφαλαίου βρήκαμε συγκεντρωτικά το θερμικό ισοζύγιο του χώρου γραφείου μας με τις ετήσιες ανάγκες σε θέρμανση, ψύξη, φωτισμό και ρεύμα ηλεκτρικών συσκευών με την εφαρμογή δύο διπλών

μη φωτοβολταϊκών υαλοπινάκων. Στην ανάλυση μας τώρα από τους δύο υαλοπίνακες θα έχουμε:

- ❖ Double Glazing/Dbl LoE (e2=.1) Tint 6mm/13mm Air:
 - Θέρμανση: 3,74kWh
 - Ανάγκες σε Η/Ρ(Ψύξη, Φωτισμός και Συσκευές): 7027,95kWh
- ❖ Colored Double Glazing/Dbl LoE Elec Ref Colored 6mm/13m Arg:
 - Θέρμανση: 26,47kWh
 - Ανάγκες σε Η/Ρ(Ψύξη, Φωτισμός και Συσκευές): 5737,07Wh

Έχοντας πάντα ως δεδομένα το κόστος σε ηλεκτρικό ρεύμα που ισούται με 0,2144(€)/kWh, αλλά και σε φυσικό αέριο με αντίστοιχους υπολογισμούς βγαίνουν 59,18(€)/έτος και 84,64(€)/έτος αντίστοιχα.

Επομένως, θα είναι για το ολικό κόστος σε ετήσιες ανάγκες για θέρμανση και ηλεκτρικό ρεύμα:

Ετήσιο Κόστος Αναγκών= Ανάγκες σε Θέρμανση + Ανάγκες σε Ηλεκτρικό Ρεύμα

-Dbl LoE Tint: $0,2144(\text{€})/\text{kWh} * 7027,95\text{kWh} + 59,18(\text{€})/\text{έτος} = \mathbf{1565,98(\text{€})/\text{έτος}}$

-Dbl LoE Elec: $0,2144(\text{€})/\text{kWh} * 5737,07\text{kWh} + 84,64(\text{€})/\text{έτος} = \mathbf{1314,67(\text{€})/\text{έτος}}$

Στο παραπάνω ετήσιο κόστος, θα πρέπει να προσθέσουμε φυσικά και την τιμή των υαλοπινάκων ανά m^2 που ορίζουμε προσεγγιστικά ως τα 80(€)/ m^2 , συμπεριλαμβάνοντας το κόστος της εγκατάστασης. Συνεπώς, για τα 12 m^2 υαλοπίνακα, θα έχουμε ένα επιπλέον κόστος $12\text{m}^2 * 80(\text{€})/\text{m}^2 = \mathbf{960(\text{€})}$.

→ Θα λοιπόν κάνουμε μία προσπάθεια να δούμε τι συμφέρει σε εύρος 20ετίας, ώστε να έχουμε μία πλήρη εικόνα για τη σύγκριση σε οικονομικό επίπεδο μεταξύ των 3 υαλοπινάκων. Έτσι λοιπόν, να απαντήσουμε στο ερώτημα εάν τελικά θα συμφέρει σε κάποιον να βάλει έναν διπλό φωτοβολταϊκό υαλοπίνακα έναντι ενός κοινού διπλού υαλοπίνακα.

Αρχικώς, έχοντας ήδη βρει τις ετήσιο ολικό κόστος των αναγκών του θερμικού ισοζυγίου για κάθε υαλοπίνακα, βρίσκουμε για τη μελέτη μας σε βάθος 20ετίας:

20ετής Ανάλυση	Ετήσιο Κόστος Αναγκών((€)/έτος)	Ολικό Επιμερισμένο Ετησίως Κόστος Υαλοπίνακα(€)/έτος	Άθροισμα Κόστους Αναγκών και Υαλοπίνακα(€)/έτος	Φωτοβολταϊκή Παραγωγή (€)/έτος)
OnyxSolar	829,83	140	671,78	221,07
Dbl LoE Tint	1565,98	48	626,76	0
Dbl LoE Elec	1314,67	48	556,79	0

Πίνακας 29.Ετήσιο Κόστος σε βάθος 20ετίας, Πηγή. Ο Συντάξας

Δεδομένου τώρα του κόστους για κάθε υαλοπίνακα, θα θεωρήσουμε ως παραδοχή ότι το ολικό κόστος καθενός εκ των τριών υαλοπινάκων, θα διαμοιραστεί σε κάθε περίπτωση στα 20 έτη μελέτης. Θα μελετήσουμε συνολικά 5 περιπτώσεις κόστους-υαλοπινάκων. Τον υαλοπίνακα της OnyxSolar, δεδομένου των 3 διαφορετικών περιπτώσεων κόστους σε (€)/m² θα τον μελετήσουμε χωριστά λαμβάνοντας αποτελέσματα ως “OnyxSolar1”, “OnyxSolar2” και “OnyxSolar3” αντίστοιχα. Οι άλλες δύο περιπτώσεις αφορούν τους δύο κοινούς διπλούς υαλοπίνακες “Dbl Loe Tint” και “Dbl Loe Elec”

Έτσι θα έχουμε:

❖ Μελέτη Αναγκών 20ετίας

Έτη	OnyxSolarLow		
20Ετής Ανάλυση	Ετήσιο Κόστος Αναγκών & Επιμερισμένο Κόστος Υαλοπίνακα(€)/έτος	Εξοικονόμηση Φωτοβολταϊκής Παραγωγής (€/έτος)	Ολικό Κόστος Ετησίως(€/έτος)
1	611,78	221,074272	390,705728
5	3058,9	1105,37136	1953,52864
10	6117,8	2210,74272	3907,05728
15	9176,7	3316,11408	5860,58592
20	12235,6	4421,48544	7814,11456

Πίνακας 30. Ετήσιο Κόστος σε βάθος 20ετίας, για το χαμηλής διαπερατότητας υαλοπίνακα της OnyxSolar Πηγή. Ο Συντάξας

Έτη	OnyxSolarMedium		
20Ετής Ανάλυση	Ετήσιο Κόστος Αναγκών & Επιμερισμένο Κόστος Υαλοπίνακα(€)/έτος	Εξοικονόμηση Φωτοβολταϊκής Παραγωγής (€/έτος)	Ολικό Κόστος Ετησίως(€/έτος)
1	641,78	221,074272	420,705728
5	3208,9	1105,37136	2103,52864
10	6417,8	2210,74272	4207,05728
15	9626,7	3316,11408	6310,58592
20	12835,6	4421,48544	8414,11456

Πίνακας 31. Ετήσιο Κόστος σε βάθος 20ετίας, για το μέσης διαπερατότητας υαλοπίνακα της OnyxSolar Πηγή. Ο Συντάξας

Έτη	OnyxSolarHigh		
20Ετής Ανάλυση	Ετήσιο Κόστος Αναγκών & Επιμερισμένο Κόστος Υαλοπίνακα(€)/έτος	Εξοικονόμηση Φωτοβολταϊκής Παραγωγής (€/έτος)	Ολικό Κόστος Ετησίως(€/έτος)
1	671,78	221,074272	450,705728
5	3358,9	1105,37136	2253,52864
10	6717,8	2210,74272	4507,05728
15	10076,7	3316,11408	6760,58592
20	13435,6	4421,48544	9014,11456

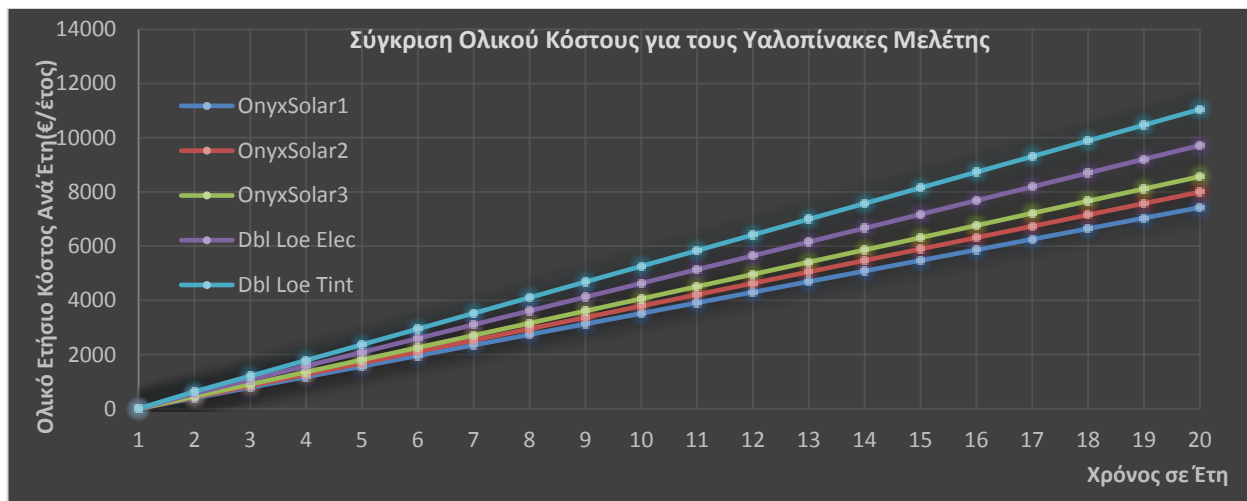
Πίνακας 32. Ετήσιο Κόστος σε βάθος 20ετίας, για τον υψηλής διαπερατότητας υαλοπίνακα της OnyxSolar Πηγή. Ο Συντάξας

Dbl Loe Tint			
20Ετής Ανάλυση	Ετήσιο Κόστος Αναγκών & Επιμερισμένο Κόστος Υαλοπίνακα(€)/έτος	Εξοικονόμηση Φωτοβολταϊκής Παραγωγής (€/έτος)	Ολικό Κόστος Ετησίως(€/έτος)
1	626,76	0	626,76
5	2941,8	0	2941,8
10	5835,6	0	5835,6
15	8729,4	0	8729,4
20	11623,2	0	11623,2

Πίνακας 33. Ετήσιο Κόστος σε βάθος 20ετίας, για τον Dbl LoE Tint υαλοπίνακα Πηγή. Ο Συντάξας

Dbl Loe Elec			
20Ετής Ανάλυση	Ετήσιο Κόστος Αναγκών & Επιμερισμένο Κόστος Υαλοπίνακα(€)/έτος	Εξοικονόμηση Φωτοβολταϊκής Παραγωγής (€/έτος)	Ολικό Κόστος Ετησίως(€/έτος)
1	556,79	0	556,79
5	2591,95	0	2591,95
10	5135,9	0	5135,9
15	7679,85	0	7679,85
20	10223,8	0	10223,8

Πίνακας 34. Ετήσιο Κόστος σε βάθος 20ετίας, για τον Dbl LoE Elec υαλοπίνακα Πηγή. Ο Συντάξας



Γράφημα 30. Σύγκριση Ολικού Κόστους σε βάθος 20ετίας για τους διάφορους υαλοπίνακες μελέτης, Πηγή. Ο Συντάξας

Έτη	OnyxSolar1	OnyxSolar2	OnyxSolar3	Dbf Loe Tint	Dbf Loe Elec
	Ολικό Κόστος Ετησίως(€/έτος)				
7ο	2734,94	2944,94	3154,94	4099,32	3609,53
10ο	3907,06	4207,06	4507,06	5835,6	5135,9
13ο	5079,17	5469,17	5859,17	7571,88	6662,27
20ο	7814,11	8414,11	9014,11	11623,2	10223,8

Πίνακας 35. Ολικό ετήσιο Κόστος, Πηγή: Ο Συντάξας

→ Παρατηρούμε από τον άνω πίνακα 35 ότι για κάθε ένα έτος ενδιαφέροντος μας οι διπλοί υαλοπίνακες έχουν πιο υψηλό κόστος από τους αντίστοιχους φωτοβολταϊκούς υαλοπίνακες της OnyxSolar.

Ο λόγος επιλογής των παραπάνω ετών είναι φυσικά τα έτη που βρήκαμε ότι θα έχουμε πλήρη κάλυψη του αρχικού κόστους επένδυσης για τον υαλοπίνακα της OnyxSolar.

Είναι λοιπόν προφανές ότι σε κάθε περίπτωση, έχοντας προσθέσει τόσο το κόστος αγοράς και εγκατάστασης των υαλοπινάκων, όσο και το κόστος για την κάλυψη των αναγκών του θερμικού ισοζυγίου, οι φωτοβολταϊκοί υαλοπίνακες θα συμφέρουν οικονομικά. Μπορεί δηλαδή να πρέπει να δαπανηθεί ένα μεγαλύτερο κόστος ως αρχική επένδυση συγκριτικά με τους διπλούς ενεργειακούς, ωστόσο μακροπρόθεσμα μας συμφέρει οικονομικά. Φυσικά δεν πρέπει να αμεληθούν οι όποιες αβεβαιότητες σχετικά με την τιμή ανά m² του υαλοπίνακα, καθώς ορίστηκαν στη μελέτη μας προσεγγιστικά, καθώς και το κόστος μεταφοράς και εγκατάστασης που θα διαφέρει ανάλογα με την ποσότητα της παραγγελίας και το χρόνο εγκατάστασης, άρα τα εργατικά κόστη.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

Κοσμόπουλος, Π. & Περιβολάρης, Α. (2017) « Κτίρια Μηδενικής Κατανάλωσης Ενέργειας », Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις UNIVERSITY STUDIO PRESS.

Μακρής. Θ, «Συνδυασμένη Χρήση Ηλιακής και Αιολικής Ενέργειας για την Κάλυψη των Ενεργειακών Αναγκών των Κτιρίων» , Διατριβή Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα 2017.

Καραϊσας, Π. (2015) « Φωτοβολταικά ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ & ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ», Αθήνα: ΙΜΕ ΓΣΕΒΕΕ.

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ, 2014

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, 2018

Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ), 2017.

Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ), 2013.

Οδηγία 2010/31/ΕΕ

Οδηγία 2002/91/ΕΚ

ZHU, Li, WANG. Peng, HUO Yuiao, TIAN. Wei, SUN. Yong. “ Relationships between design parameters of see-through thin film photovoltaic façade and energy performance of office building in China cold zone ”, CUE2018- Applied Energy Symposium and Forum 2018: Low carbon cities and urban energy systems, 5-7 June 2018, Shanghai, China.

Han, Jun., Lu.Lin, Peng. Jinqing, Yang. Hongxing, “Performance f ventilated double-sided PV façade compared with conventional clear glass façade”, Energy and Buildings, 56, (2013), 204-209.

Weilong, Zhang., Lu.Lin, “ Overall energy assessment of semi-transparent photovoltaic insulated glass units for building integration under different climate conditions”, Renewable Energy, 134, (2018), 818-827.

Sorgato, M.J., K.Schneider, R.Ruther, “Technical and economic evaluation of thin-film CdTe building-integrated photovoltaics(BIPV) replacing façade and rooftop materials in office buildings in a warm and sunny climate”, Renewable Energy, 118, (2018), 84-98.

Shaddy, Attia., Polyvios. Eleftheriou, Flouris. Xeni, Rodolphe. Morlot, Christophe. Menezo, Vasilis. Kostopoulos, Maria. Betsi, Iakovos. Kalaitzoglou, Lorenzo. Pagliano, Maurizio. Cellura, Manuela. Almeida, Marco. Ferreira, Tudor. Baracu, Viorel. Badescu, Roxandra. Crutescu, Juan Maria. Hidalgo-Betanzos, “ Overview and future challenges of nearly zero energy buildings(nZEB) design in Southern Europe, Energy and Buildings, 155, 439-458.

Meng, Wang., Peng. Jinqing, Yang. Hongxing and Luo. Yimo, “Performance evaluation of semi-transparent CdTe thin film PV window applying on commercial buildings in Hong Kong”, Energy Procedia, 152, (2018), 1091-1096 submitted to: CUE 2018-Applied Energy Symposium and Forum 2018: Low carbon cities and urban energy systems, 5-7 June 2018, Shanghai,China

Lai, Chi-Ming., Shuichi. Hokoi, “Solar facades: A review”, Buildings and Environment, 91, (2015), 152-165.

Polysolar, Guide to BIPV, Building integrated Photovoltaics, (2018), www.polysolar.co.uk, (επίσκεψη 20/4/2019)

Global Carbon Atlas, <http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions> ,

(επίσκεψη τη 18/1/2019).

IndexMundi,

<https://www.indexmundi.com/energy/?product=gas&graph=consumption&display=rank>

(Επίσκεψη τη 18/1/2019)

ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΟΣ, (2011) «ΚΑΤΑΡΤΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΕΠΙΘΕΩΡΗΤΩΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ», Α' Έκδοση στο: <http://portal.tee.gr/portal/page/portal/tptee/dg2013/ktirio/DK3-Energy%20Inpection%20Bld-final.pdf>

(Επίσκεψη 20/1/2019)

ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΙΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ (Δ.Ε.Η) : www.dei.gr

(Επίσκεψη την 12/4/2019)

ΚΤΙΡΙΟ ΕΚΔΟΣΕΙΣ «Κριτήρια επιλογής ενεργειακών υαλοπινάκων», στο: <https://bit.ly/2ZS1v6I>

(Ανακτήθηκε την 20/1/2019)

SOLARZONE, « Φωτοβολταικά στοιχεία λεπτού υμενίου » στο: <https://bit.ly/2KGSTwp>

(Ανακτήθηκε 17/3/2019)

U.S Energy Information Administration, 2016 στο <https://www.eia.gov/>

(Ανακτήθηκε την 20/4/2019)

<https://www.zenith.gr/timologiaki-politiki-business/>

<https://kantoliana.gr/dei>

<http://users.sch.gr/kodulis/dei/>

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>

