

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ

Κούλης Κωνσταντίνος

Επιβλέπων καθηγητής: **Τζιβανίδης Χρήστος**

Αθήνα, 2021

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στον Τομέα Θερμότητας της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ως την ελάχιστη δυνατή μνεία, με την παρούσα παράγραφο οφείλω να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν στην επιτυχή ολοκλήρωσή της και ιδιαίτερα:

Τον επιβλέποντα Καθηγητή του Ε.Μ.Π., κ. Χρήστο Τζιβανίδη, για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας, την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, τη δυνατότητα που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα αλλά και τη άριστη συνεργασία που είχαμε. Επιπλέον για το διαρκές ενδιαφέρον και τις πολύτιμες συμβουλές οι οποίες συνέβαλαν στην ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής.

Τον Μεταδιδακτορικό Ερευνητή του Ε.Μ.Π., κ. Ευάγγελο Μπέλλο, ο οποίος με την εμπειρία του, λόγω των δεκάδων δημοσιεύσεών του και των εκατοντάδων κριτικών του σε διεθνή περιοδικά, με βοήθησε στην ερευνητική μου δραστηριότητα και εξέλιξη. Επιπρόσθετα, οι εύστοχες παρατηρήσεις του, οι επικοινωνητικές συμβουλές του κατά την εξέλιξη της διπλωματικής εργασίας αλλά και στην ορθή ολοκλήρωση της, υπήρξε πολύτιμη.

Τους γονείς μου, αφιερώνοντάς τους τη διπλωματική μου εργασία οι οποίοι με στήριζαν πάντα στις αποφάσεις μου και συνεχίζουν να με στηρίζουν παρέχοντας την αμέριστη αγάπη, συμπαράσταση, στήριξη και βοήθεια τόσο κατά την διάρκεια των σπουδών μου, αλλά και της ζωής μου γενικότερα .

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	8
ABSTRACT.....	10
ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΣΥΜΒΟΛΩΝ.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	
1.1 Γενικά.....	14
1.2 Ενέργεια και κτίριο σήμερα.....	14
1.3 Ενεργειακή απόδοση κτιρίων.....	15
1.4 Ενεργειακή κατάσταση στην Ελλάδα.....	15
1.4.1 Παραγωγή ενέργειας και αυτάρκεια.....	16
1.4.2 Ανανεώσιμες πηγές στην Ελλάδα.....	16
1.4.3 Κτήρια.....	17
1.5 Εξοικονόμηση ενέργειας στα κτήρια της Ελλάδας.....	18
Βιβλιογραφία 1 ^{ου} κεφαλαίου.....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	
2.1 Εισαγωγή στην ηλιακή ακτινοβολία.....	21
2.2 Γωνίες ηλίου και επιφανείας.....	21
2.3 Όργανα μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας.....	23
2.3.1 Θερμικοί ανιχνευτές.....	23
2.3.2 Αισθητήρες ηλεκτρονικής διέγερσης.....	25
2.4 Η κίνηση της γης γύρω από τον ήλιο.....	27
2.5 Ημερήσια ενεργειακή απολαβή από τον ήλιο.....	28
2.6 Ηλιοφάνεια.....	28
2.7 Ηλιακή ενέργεια ως ανανεώσιμη πηγή.....	28
2.8 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα.....	29
Βιβλιογραφία 2 ^{ου} κεφαλαίου.....	30

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (PV)

3.1 Εισαγωγή.....	31
3.2 Λειτουργία Φ/Β και ονοματολογία.....	31
3.3 Βασικός εξοπλισμός για την εγκατάσταση και λειτουργία των Φ/Β.....	34
3.4 Βαθμός απόδοσης Φ/Β συστημάτων.....	39
3.5 Συντήρηση Φ/Β συστημάτων.....	40
3.6 Κλίση των Φ/Β πάνελ.....	40
3.7 Ποσότητα ρεύματος που παράγει το Φ/Β	42
3.8 Αυτόνομα Φ/Β συστήματα.....	42
3.9 Αποθήκευση ενέργειας στα αυτόνομα Φ/Β συστήματα.....	43
3.10 Οι ενεργειακές ανάγκες που μπορούν να καλυφθούν από ένα αυτόνομο Φ/Β σύστημα.....	44
3.11 Μπαταρίες αποθήκευσης ενέργειας.....	44
3.11.1 Ρυθμός φόρτισης/εκφόρτισης.....	47
3.11.2 Στάθμη φόρτισης.....	47
3.11.3 Βάθος εκφόρτισης.....	47
3.11.4 Κύκλος/κύκλος ζωής.....	47
3.11.5 Αποδοτικότητα.....	48
3.11.6 Χρόνος ζωής.....	48
3.12 Διασυνδεδεμένα Φ/Β συστήματα.....	48
3.13 Αποθήκευση ενέργειας στα διασυνδεδεμένα Φ/Β συστήματα.....	50
3.14 Net metering.....	52
3.15 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα Φ/Β συστημάτων.....	53
3.16 Εφαρμογές Φ/Β τεχνολογίας.....	55
3.17 Κάλυψη των ενεργειακών αναγκών ενός σπιτιού από ένα Φ/Β σύστημα.....	55
3.18 Καταλληλότητα κτιρίου να δεχτεί Φ/Β συστήματα και η επίδραση της σκίασης.....	55
Βιβλιογραφία 3 ^{ου} κεφαλαίου.....	58

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Αντλίες θερμότητας

4.1 Αρχή λειτουργίας.....	60
4.2 Βασικά μέρη αντλίας θερμότητας.....	63
4.3 Λειτουργία αντλίας θερμότητας στις δύο περιπτώσεις θέρμανσης και ψύξης.....	64
4.4 Διάκριση αντλιών θερμότητας.....	65
4.5 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα.....	69
Βιβλιογραφία 4 ^{ου} κεφαλαίου.....	70

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Κτιριακό κέλυφος και κατάλληλη διαμόρφωση του για εξοικονόμηση ενέργειας

5.1 Εισαγωγή.....	71
5.2 Τοίχος θερμικής αποθήκευσης.....	72
5.3 Χρήση θερμομονωτικών υλικών.....	72
5.4 Θερμομόνωση-Δομικά υλικά κελύφους-Χρώματα.....	74
5.5 Υαλοστάσια - Γυάλινα ανοίγματα.....	75
5.6 Σκίαση (χρήση περσίδων).....	76
5.7 Προσανατολισμός κτιρίου – Μορφή κτιρίου – Προσανατολισμός ανοιγμάτων – Διάρθρωση χώρων.....	77
5.8 Σχέση (χωροθέτηση) με άλλα κτίρια.....	78
5.9 Πράσινες στέγες-ταράτσες.....	78
5.10 Στέγη θερμικής αποθήκευσης.....	78
5.11 Κατάλληλη δενδροφύτευση.....	79
5.12 Αξιοποίηση ροής ανέμου.....	79
5.13 Διαμόρφωση ακάλυπτων χώρων.....	79
5.14 Χρήσιμοι παράμετροι για την επιλογή των υλικών.....	79
Βιβλιογραφία 5 ^{ου} κεφαλαίου.....	81

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Το Πρόγραμμα Προσομοίωσης TRNSYS

6.1 Εισαγωγή στο TRNSYS.....	82
6.2 Σειρά εργαλείων του TRNSYS.....	82
6.3 Το στούντιο προσομοίωσης (Simulation Studio).....	82

6.3.1 Εκκίνηση του TRNSYS Simulation Studio.....	83
6.3.2 Παράμετροι και συνδέσεις του στοιχείου.....	85
6.3.3 Πρόσθετες δυνατότητες του Simulation Studio.....	88
6.4 Μηχανή προσομοίωσης TRNSYS (TRNSYS Simulation Engine).....	90
6.5 Το περιβάλλον TRNBuilt.....	91
6.6 Οι εφαρμογές TRNSED και TRNEdit.....	99
Βιβλιογραφία 6 ^{ου} κεφαλαίου.....	103

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Προσομοίωση της εγκατάστασης μου στο TRNSYS Simulation Studio

7.1 Βήματα σχεδιασμού του κτιρίου στο TRNSYS Studio.....	104
7.2 Ρύθμιση παραμέτρων του κτιρίου.....	113
7.3 Μοντέλα προσομοίωσης.....	120
7.4 Ανάλυση της συνδεσμολογίας των στοιχείων της βασικής εγκατάστασης.....	123
7.5 Ανάλυση φωτοβολταϊκών πάνελ με μπαταρία για την κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου.....	133
7.6 Ανάλυση φωτοβολταϊκών χωρίς μπαταρία για την κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου (Net Metering).....	138
Βιβλιογραφία 7 ^{ου} κεφαλαίου.....	141

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: Αποτελέσματα Μελέτης

8.1 Εισαγωγή.....	142
8.2 Ανάλυση και περιγραφή του κτιρίου.....	142
8.3 Χρήση Αντλίας θερμότητας αέρα-αέρα για την θέρμανση και την ψύξη του κτιρίου.....	145
8.4 Χρήση φ/β συστήματος με μπαταρία για την θέρμανση και την ψύξη του κτηρίου.....	148
8.5 Χρήση του συστήματος Net-Metering για την κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου.....	173
8.6 Ενεργειακή και οικονομική σύγκριση των εγκαταστάσεων.....	180
8.7 Οικονομική μελέτη των συστημάτων ανάλογα με την διακύμανση της τιμής της κλοβατώρας.....	183

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

9.1 Εισαγωγή.....	194
9.2 Κυριότερα συμπεράσματα.....	194
9.3 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	196

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Λαμβάνοντας υπόψη τις υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις των κτιρίων σήμερα, την βαθμιαία εξάντληση των συμβατικών καυσίμων αλλά και τη συνεχόμενη επιβάρυνση του περιβάλλοντος, στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται σχεδιασμός και μελέτη ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος κλιματισμού. Συγκεκριμένα, μελετάται ένα τυπικό κτίριο διαστάσεων 100 m², στην περιοχή της Αθήνας, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, του οποίου η θέρμανση και η ψύξη επιτυγχάνεται με χρήση αντλίας θερμότητας. Μελετώνται τρεις περιπτώσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων για παραγωγή ηλεκτρισμού, με σκοπό την επιλογή της βέλτιστης λύσης ενεργειακά και οικονομικά. Επιπλέον γίνεται μια οικονομική μελέτη των συστημάτων ανάλογα με την διακύμανση της τιμής της κλιματικής. Αναλυτικά παρουσιάζονται οι τρεις περιπτώσεις που προσομοιώθηκαν με τη χρήση του λογισμικού TRNSYS 16 για την κάλυψη των ηλεκτρικών καταναλώσεων του κτιρίου:

- ❖ Φωτοβολταϊκά συζευγμένα με μπαταρία μικρής χωρητικότητας (70 Ah) για αποθήκευση ενέργειας.
- ❖ Φωτοβολταϊκά συζευγμένα με μπαταρία μεγάλης χωρητικότητας (140 Ah) για αποθήκευση ενέργειας.
- ❖ Φωτοβολταϊκά χωρίς μπαταρία για αυτοπαραγωγή (Net Metering System).

Η δομή της εργασίας είναι κατανοητή σε 9 κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αρχικά μια αναφορά στην συνεισφορά της ενέργειας για την εξέλιξη του ανθρώπινου πολιτισμού, ενώ γίνεται αναφορά στις μορφές ενέργειας που χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα αλλά και στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως ο ήλιος και ο αέρας που η ανάπτυξη τους είναι ραγδαία τα τελευταία χρόνια. Πέρα από αυτά γίνεται αναφορά στην ενεργειακή κατάσταση που επικρατεί στην Ελλάδα από πλευράς χρήσης και αυτάρκειας σε καύσιμα με ιδιαίτερη έμφαση στον κτιριακό τομέα, ενώ παράλληλα παρουσιάζονται και διάφορες δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται εισαγωγή στη ηλιακή ακτινοβολία, παρουσιάζονται έννοιες και μεγέθη τα οποία είναι χρήσιμα για την μελέτη και την κατανόησή της, ενώ παράλληλα παρουσιάζονται και διάφορα όργανα μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας. Επιπλέον επικεντρώνεται στον ήλιο ως μορφή ενέργειας και παραθέτει μια σειρά από πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που την απαρτίζουν. Στο τρίτο κεφάλαιο κάνουμε μια εισαγωγή στα φωτοβολταϊκά συστήματα, παρουσιάζεται αναλυτικά ο τρόπος λειτουργίας τους και ο εξοπλισμός που τα απαρτίζει. Γίνεται διάκριση των Φ/Β συστημάτων σε διασυνδεδεμένα και αυτόνομα και παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που τα απαρτίζουν. Τέλος περιγράφονται κάποιες εφαρμογές τους στην καθημερινή ζωή. Στο τέταρτο κεφάλαιο επικεντρωνόμαστε στις αντλίες θερμότητας και συγκεκριμένα στον τρόπο λειτουργίας τους, στα βασικά μέρη που τις αποτελούν, σε ποιες κατηγορίες διακρίνονται αλλά και ποια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα έχουν. Στο πέμπτο κεφάλαιο δίνουμε έμφαση στο κέλυφος του κτηρίου και παρουσιάζονται μια σειρά από καινοτόμες εφαρμογές και προτάσεις με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας. Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται η περιγραφή του λογισμικού προσομοίωσης TRNSYS και των

βασικότερων λειτουργιών του. Στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζεται βήμα-βήμα η κατασκευή και η διαμόρφωση όλων των περιπτώσεων που μελετήθηκαν. Στο όγδοο κεφάλαιο παρατίθενται τα αποτελέσματα της κάθε περίπτωσης, γίνεται ενεργειακή και οικονομική σύγκριση τους, ενώ παρουσιάζεται και μια οικονομική μελέτη για τις περιπτώσεις αυτές ανάλογα την τιμή της κιλοβατώρας. Τέλος στο ένατο κεφάλαιο εξάγονται ορισμένα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εκπόνηση της εργασίας και προτείνονται θέματα προς διερεύνηση στο μέλλον.

ABSTRACT

Taking into account the high energy requirements of the buildings today, the gradual depletion of conventional fuels but also the continuous burden on the environment, in this dissertation is designed and studied an autonomous photovoltaic air conditioning system. Specifically, a typical building with dimensions of 100 m² is being studied, in the area of Athens, throughout the year, whose heating and cooling is achieved by using a heat pump. Three cases of photovoltaic systems for electricity generation are studied, in order to select the optimal solution energy and economically. In addition, an economic study of the systems is performed depending on the fluctuation of the price per kilowatt hour. The three cases that were simulated using the TRNSYS 16 software to cover the electrical consumption of the building are presented in detail:

- ❖ Photovoltaic energy system with battery storage (70 Ah)
- ❖ Photovoltaic energy system with battery storage (140 Ah)
- ❖ Photovoltaic net metering system

The structure of the work is divided into 9 chapters. The first chapter first mentions the contribution of energy to the evolution of human civilization, while it refers to the forms of energy that are widely used today but also to renewable energy sources such as the sun and the wind that have been growing rapidly in recent years. Apart from these, reference is made to the energy situation that prevails in Greece in terms of use and self-sufficiency in fuels with special emphasis on the building sector, while at the same time various energy saving actions are presented. The second chapter introduces solar radiation, presents concepts and quantities that are useful for its study and understanding, while also presenting various instruments for measuring solar radiation. In addition, it focuses on the sun as a form of energy and lists a number of advantages and disadvantages that make it up. In the third chapter we make an introduction to photovoltaic systems, their operation is presented in detail and the equipment that makes them up. The PV systems are distinguished into interconnected and autonomous and the advantages and disadvantages that make them up are presented. Finally, some of their applications in everyday life are described. In the fourth chapter we focus on heat pumps and specifically on how they work, the main parts that make it up, in which categories they are distinguished but also what advantages and disadvantages they have. In the fifth chapter we emphasize the shell of the building and present a series of innovative applications and proposals aimed at saving energy. The sixth chapter describes the TRNSYS simulation software and its basic functions. The seventh chapter presents step by step the construction and configuration of all the cases studied. The eighth chapter presents the results of each case, their energy and economic comparison is made, while an economic study is presented for these cases depending on the price per kilowatt hour. Finally, in the ninth chapter, some conclusions are drawn that emerged from the elaboration of the work and issues are proposed for future investigation.

ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

ΛΑΤΙΝΙΚΑ ΣΥΜΒΟΛΑ

A_c	Επιφάνεια συλλέκτη, m^2
CF	Ετήσια χρηματορροή (Cash Flow), €
C_o	Συνολικό κόστος επένδυσης, €
C_p	Ειδική θερμοχωρητικότητα, $kJ/kg \cdot K$
E_{grid}	Κιλοβατώρες που απαιτούνται από την ΔΕΗ, kWh
f	Ηλιακή κάλυψη, -
G_T	Ολική στιγμιαία ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένη επιφάνεια, W/m^2
G_{bT}	Άμεση ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου, W/m^2
G_b	Άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου, W/m^2
k	Θερμική αγωγιμότητα, $W/m \cdot K$
K_{el}	Κόστος ηλεκτρισμού, €/kWh
m	Παροχή μάζας, kg/s
N	Διάρκεια ζωής επένδυσης, έτη
$Q_{cooling}$	Φορτίο Ψύξης, kWh
Q_{gen}	Ηλεκτρική ενέργεια που λαμβάνεται από τα Φ/Β, kWh
Q_{grid}	Ηλεκτρική ενέργεια που λαμβάνεται από το δίκτυο, kWh
$Q_{heating}$	Φορτίο θέρμανσης, kWh
Q_{load}	Ενέργεια που παίρνω από Φ/Β, kWh
$Q_{loipesanages}$	Ενέργεια που απαιτείται για φωτισμό και ηλεκτρικές συσκευές, kWh
Q_{solar}	Ηλιακή ενέργεια που συλλέγει το Φ/Β, kWh
Q_{total}	Συνολική ηλεκτρική ενέργεια από Φ/Β και δίκτυο, kWh
R	Συντελεστής μεταβλητότητας χρήματος, -
R_b	Λόγος αμέσου κτινοβολίας κεκλιμένου προς οριζοντίου επιπέδου, -
r	Επιτόκιο αναγωγής χρήματος, %
T	Θερμοκρασία, K
U	Θερμική διαπερατότητα, $W/m^2 \cdot K$

ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΣΥΜΒΟΛΑ

α	Ηλιακό ύψος, μοίρες
β	Κλίση επιπέδου, μοίρες
γ	Αζιμούθιο επιφανείας, μοίρες
γ _s	Αζιμούθιο ηλίου, μοίρες
δ	Ηλιακή απόκλιση, -
η	Βαθμός απόδοσης, %
θ	Γωνία πρόσπτωσης, μοίρες
θ _z	Γωνία ζενίθ, μοίρες
κ	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, W/m*K
λ	Μήκος κύματος, m
N	Διάρκεια ημέρας, ώρες
ρ	Πυκνότητα, kg/m ³
φ	Γεωγραφικό πλάτος, μοίρες
ω	Ωριαία γωνία, μοίρες
ω _s	Ωριαία γωνία δύσης ηλίου, μοίρες

ΔΕΙΚΤΕΣ

c	Συλλέκτης
cooling	Ψύξη
el	Ηλεκτρικός
gen	Παραγωγή
grid	Ηλεκτρικό δίκτυο
heating	Θέρμανση
load	Φόρτιση
loipesanages	Φωτισμός και συσκευές
solar	Ηλιακή
T	Κεκλιμένο
total	Συνολικός

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

COP	Συντελεστής συμπεριφοράς (Coefficient of performance), -
DOD	Βάθος εκφόρτισης, %
LCC	Κόστος κύκλου ζωής (life cycle cost), €
PV	Φωτοβολταϊκό (Photovoltaic), -
Rad	Ηλιακή ακτινοβολία, kWh
SOC	Στάθμη φόρτισης, %
SPP	Απλός χρόνος αποπληρωμής (Simple payback period), χρόνια
ΣΑ	Συντελεστής Αναγωγής, -

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Η ενέργεια ήταν πάντα η κινητήρια δύναμη στην εξέλιξη του ανθρώπινου πολιτισμού, με τη σημασία της να αυξάνεται ιδιαίτερα κατά την πρώτη δεκαετία του 21^{ου} αιώνα. Η ενέργεια βρίσκεται στο επίκεντρο της παγκόσμιας περιβαλλοντικής αλλαγής επειδή οι εκπομπές από τη χρήση και την κατανάλωσή της συμβάλλουν σημαντικά στην αλλαγή του κλίματος [1.1].

Η ενέργεια διαδραματίζει κύριο ρόλο στην αύξηση του σύγχρονου βιοτικού επιπέδου σε όλο τον κόσμο. Η άνοδος του βιοτικού επιπέδου για την επέκταση του πληθυσμού σε όλο τον κόσμο σημαίνει μια εξάρτηση από μια αξιόπιστη σύγχρονη ενέργεια.

Οι μορφές ενέργειας που χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα είναι:

- Τα στερεά καύσιμα (γαιάνθρακας, λιγνίτης)
- Τα υγρά καύσιμα (πετρέλαιο, βενζίνη)
- Τα αέρια καύσιμα (φυσικό αέριο, υγραέριο)
- Η υδροηλεκτρική ενέργεια
- Η πυρηνική ενέργεια

Ενώ υπάρχουν και οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας, όπως η ηλιακή, η αιολική, η γεωθερμική, η βιομάζα, οι οποίες δεν είναι τόσο διαδεδομένες, παρόλα αυτά η ανάπτυξή τους είναι ραγδαία και αναμένεται τα επόμενα χρόνια να παίξουν πρωταγωνιστικό ρόλο [1.2].

Όσον αφορά τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας βλέπουμε ότι ο αέρας και ο ήλιος υποστηρίζονται από πολιτικές για τη μείωση των εκπομπών CO₂ και τη μείωση του κόστους αλλά και για την ανάπτυξη ως πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Σε παγκόσμιο επίπεδο, το μερίδιο της αιολικής και ηλιακής ενέργειας στην παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αυξάνεται σημαντικά από περίπου 5% το 2016 σε περίπου 17% το 2040. Το ποσοστό χρησιμοποίησης των διαφόρων μορφών ενέργειας διαφέρει από χώρα σε χώρα και εξαρτάται κυρίως από την ύπαρξη εγχώριων ενεργειακών πόρων, τη γεωγραφική θέση και άλλες ειδικές συνθήκες [1.3].

1.2 Ενέργεια και κτίριο σήμερα

Ένας άλλος τομέας αλλά εξίσου σημαντικός που αξίζει να εμφυσήσουμε την προσοχή μας είναι η ενεργειακή ανάπτυξη στον τομέα των κτηρίων η οποία αυξάνεται έντονα, λόγω της αύξησης της ζήτησης για ψύξη-θέρμανση χώρου, φωτισμό και ηλεκτρικές συσκευές. Το σημαντικότερο όμως, είναι, αυτό να συνδυάζεται με τις επιταγές των καιρών, δηλαδή βάζοντας σε προτεραιότητα την εξοικονόμηση ενέργειας και την προστασία του περιβάλλοντος. Οι ενέργειες προς αυτήν την κατεύθυνση έχουν οδηγήσει στην εύρεση μεθόδων και στην εφαρμογή τεχνολογιών, όχι μόνο πάνω στα χαμηλών ενεργειακών αναγκών συστήματα θέρμανσης και ψύξης των κτιρίων, αλλά και πάνω στην ελαχιστοποίηση των ενεργειακών απωλειών που αυτά έχουν [1.4].

Η παγκόσμια ζήτηση ενέργειας θα συνεχίσει να αυξάνεται μέχρι το 2040, αντικατοπτρίζοντας τη θεμελιώδη συνάφεια της με την αυξανόμενη ευημερία και το καλύτερο βιοτικό επίπεδο για έναν αυξανόμενο πληθυσμό παγκοσμίως. Η αύξηση

της χρήσης ενέργειας στα κτήρια οδηγείται από το συνδυασμό αυξανόμενου πληθυσμού και αυξανόμενης ευημερίας, επιτρέποντας στους ανθρώπους να ζουν και να εργάζονται με μεγαλύτερη άνεση. Όλη η αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας στα κτήρια παρέχεται από την ηλεκτρική ενέργεια, η οποία είναι η πιο αποδοτική πηγή ενέργειας για την ικανοποίηση αυτών των απαιτήσεων [1.5]

1.3 Ενεργειακή απόδοση κτιρίων

Η ενεργειακή απόδοση των κτιρίων προσδιορίζεται με βάση μεθοδολογία υπολογισμού της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας σύμφωνα με την οποία λαμβάνονται υπόψη, η χρήση του κτιρίου, τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής, τα γεωμετρικά δεδομένα και τα θερμικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους, καθώς και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των εγκαταστάσεων θέρμανσης, ψύξης, κλιματισμού, παραγωγής ζεστού νερού χρήσης και φωτισμού των χώρων [1.6].

Ο ενεργειακός σχεδιασμός κτιρίων και η ορθολογική χρήση της ενέργειας έχουν στόχο να διασφαλίσουν αποδεκτές εσωκλιματικές συνθήκες με τη σωστή θερμική συμπεριφορά του κτιρίου, καθ' όλη την διάρκεια του έτους και συνεπώς να περιορίσουν την κατανάλωση ενέργειας με όλα τα οφέλη που αυτό συνεπάγεται. Στην περίπτωση του βιοκλιματικού σχεδιασμού ο στόχος επιτυγχάνεται με καθαρά σχεδιαστικούς χειρισμούς ή με διάφορες τεχνικές στην κατασκευή του κτιρίου, περιορίζοντας με αυτόν τον τρόπο την εξάρτηση από το μηχανολογικό εξοπλισμό για την θέρμανση και ψύξη των κτιρίων. Έτσι καλύπτοντας τα κτίρια τις ανάγκες τους με ηλιακή ενέργεια και άλλες ατμοσφαιρικές πηγές καταναλώνουν πολύ λιγότερη ενέργεια απ' ό,τι οι αντίστοιχες συμβατικές κατασκευές. Εξοικονόμηση ενέργειας στις κατασκευές προκύπτει από το σωστό και ορθολογικό σχεδιασμό, ο οποίος επιτυγχάνεται μέσω της σωστής χωροθέτησης του κτιρίου στο περιβάλλον και τον προσανατολισμό του, της διάστασης και προσανατολισμού των ανοιγμάτων του, την προστασία του κελύφους από τις ατμοσφαιρικές εναλλαγές αλλά και από τη σωστή λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης και δροσισμού [1.7].

Για την εξοικονόμηση ενέργειας κατά την χειμερινή περίοδο απαιτείται περιορισμός των θερμικών απωλειών του κτιρίου και μεγιστοποίηση των θερμικών ηλιακών κερδών. Αντίθετα κατά την θερινή περίοδο θα πρέπει να επιδιώκεται ο φυσικός δροσισμός του κτιρίου με την ελαχιστοποίηση των θερμικών κερδών και τη θερμική αποφόρτιση του κτιρίου μέσω του αερισμού και των άλλων σχετικών μέτρων [1.4].

1.4 Ενεργειακή κατάσταση στην Ελλάδα

Η Ελλάδα διαθέτει μεγάλη ποσότητα παραγωγής γαιάνθρακα που καλύπτει την εγχώρια ζήτηση για άνθρακα, η οποία χρησιμοποιείται κυρίως στον τομέα της ενέργειας. Ο γαιάνθρακας εξακολουθεί να είναι το κυρίαρχο καύσιμο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αντιπροσωπεύοντας σχεδόν το ένα τρίτο της συνολικής παραγωγής, αλλά η χρήση του μειώνεται. Το πετρέλαιο είναι το πιο σημαντικό καύσιμο και η χώρα εξαρτάται σχεδόν εξ ολοκλήρου από τις εισαγωγές πετρελαίου.

Η συνολική παροχή πρωτογενούς ενέργειας της Ελλάδας μειώθηκε κατά 24% από το 2006 έως το 2016, κυρίως λόγω της οικονομικής κρίσης στη χώρα μετά το 2009. Το

πετρέλαιο είναι το κυρίαρχο καύσιμο στην Ελλάδα, το οποίο αντιπροσωπεύει το ήμισυ της συνολικής παροχής πρωτογενούς ενέργειας (TPES) το 2016, αν και το συνολικό απόθεμα πετρελαίου μειώθηκε σχεδόν κατά το ένα τρίτο από το 2006.

Ο άνθρακας είναι το δεύτερο πιο κυρίαρχο καύσιμο που χρησιμοποιείται στην Ελλάδα, αντιπροσωπεύοντας το 19% του TPES το 2016. Χρησιμοποιείται κυρίως στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας συν ένα μικρό μερίδιο στον τομέα της βιομηχανίας. Η παροχή άνθρακα μειώθηκε σχεδόν κατά το ήμισυ κατά την τελευταία δεκαετία, από 8.4 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (Mtoe) το 2006 σε 4.4 Mtoe το 2016, λόγω της μειούμενης χρήσης από τους σταθμούς παραγωγής άνθρακα. Η Ελλάδα εισήγαγε το φυσικό αέριο στο ενεργειακό της σύστημα στα τέλη της δεκαετίας του 1990 και κατέστη το τρίτο κυρίαρχο πρωτογενές καύσιμο το 2016, αντιπροσωπεύοντας το 15% του TPES

Το μερίδιο της ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι μικρό, αλλά υπερδιπλασιάστηκε από 5.9% το 2006 σε 12.5% το 2016. Τα βιοκαύσιμα αντιπροσωπεύουν σχεδόν το ήμισυ των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα TPES, κυρίως πρωτογενή στερεά βιοκαύσιμα που χρησιμοποιούνται στον οικιακό τομέα, αλλά η αύξηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας την τελευταία δεκαετία είναι αποτέλεσμα της ταχείας αύξησης της παραγωγής αιολικής και ηλιακής ενέργειας [1.9].

1.4.1 Παραγωγή ενέργειας και αυτάρκεια

Η παραγωγή άνθρακα μειώθηκε κατά 30% το 2016 σε σύγκριση με το 2015, αλλά εξακολουθεί να αντιπροσωπεύει περισσότερο από το ήμισυ της συνολικής παραγωγής ενέργειας στην Ελλάδα

Η εναπομένουσα παραγωγή ενέργειας προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, από τις οποίες η παραγωγή βιοκαυσίμων αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο μερίδιο, ακολουθούμενη από ηλιακή, υδροηλεκτρική και αιολική ενέργεια.

Η μεγάλη παραγωγή λιγνίτη επιτρέπει στην Ελλάδα να είναι σχεδόν αυτάρκης στην κατανάλωση άνθρακα. Ωστόσο, η ασήμαντη παραγωγή αργού πετρελαίου και φυσικού αερίου αφήνει την Ελλάδα να εξαρτάται από τις εισαγωγές των εν λόγω καυσίμων. Η συνολική παραγωγή ενέργειας αντιπροσωπεύει λιγότερο από το ένα τρίτο του TPES στη χώρα. Η Ρωσία είναι ο μεγαλύτερος προμηθευτής φυσικού αερίου στην Ελλάδα και η δεύτερη μεγαλύτερη πηγή αργού πετρελαίου μετά το Ιράκ.

Ο τομέας των μεταφορών είναι ο μεγαλύτερος καταναλωτής ενέργειας, ο οποίος αντιπροσωπεύει το 35% της ενεργειακής κατανάλωσης. Ακολουθεί ο οικιακός τομέας που αντιπροσωπεύει το 27% της ενεργειακής κατανάλωσης, η βιομηχανία με 23% και το εμπόριο με 15%. Η τελική κατανάλωση ενέργειας όλων των τομέων μειώθηκε κατά την τελευταία δεκαετία εξαιτίας της οικονομικής ύφεσης, και η βιομηχανία παρουσίασε τη μεγαλύτερη πτώση κατά 29% από το 2007 [1.3].

1.4.2 Ανανεώσιμες πηγές στην Ελλάδα

Η Ελλάδα έχει μεγάλους ανανεώσιμους ενεργειακούς πόρους και το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχει σημειώσει αύξηση στα αιολικά και ηλιακά φωτοβολταϊκών (PVs) τα τελευταία χρόνια, χάρη στη μείωση του κόστους τεχνολογίας. Η επιτάχυνση και η απλούστευση των σύνθετων διαδικασιών

αδειοδότησης βελτίωσε επίσης την κατάσταση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Λόγω της θετικής εμπειρίας των ανταγωνιστικών δημοπρασιών και των μεγάλων νησιών που διασυνδέονται με το ελληνικό ηπειρωτικό σύστημα, η αιολική ενέργεια θα μπορούσε να αυξήσει τη συμβολή της και να συμβάλλει στη διαφοροποίηση του ελληνικού ενεργειακού μίγματος, εν μέσω της μείωσης του κόστους τεχνολογίας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη συνολική παροχή σε πρωτογενή ενέργεια (TPES) αυξήθηκε σημαντικά τα τελευταία χρόνια, σε νέο ανώτατο επίπεδο 12.5% το 2016. Τα βιοκαύσιμα είναι η μεγαλύτερη ανανεώσιμη πηγή πρωτογενούς ενέργειας, αντιπροσωπεύοντας περίπου το ήμισυ του ανανεώσιμου μεριδίου στο TPES. Η παροχή βιοκαυσίμων ανήλθε σε 1.4 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου το 2016, αντιπροσωπεύοντας μια αύξηση 36% από το 2006. Τα στερεά βιοκαύσιμα αντιπροσώπευαν τα τρία τέταρτα του συνόλου της προσφοράς βιοκαυσίμων στο TPES και χρησιμοποιούνται κυρίως για θέρμανση σε οικιακούς λέβητες.

Η σημαντικότερη ανάπτυξη προέρχεται και από την ηλιακή ενέργεια, η οποία έχει αυξηθεί σχεδόν πενταπλάσια από το 2006 και αντιπροσώπευε το 19% των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο TPES το 2016. Η αιολική ενέργεια αυξήθηκε επίσης ταχύτατα και τριπλασιάστηκε την τελευταία δεκαετία. Η υδροηλεκτρική ενέργεια έχει μεγάλες ετήσιες διακυμάνσεις, καθώς η ποσότητα νερού, που διατίθεται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αλλάζει κατά τη διάρκεια βροχερού καιρού ή κατά τη διάρκεια ξηρασίας.

Η Ελλάδα, όσον αφορά τη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο TPES, έχει μια μέση τιμή μεταξύ των χωρών μελών του IEA, με 14 χώρες πάνω από αυτή και 14 κάτω από αυτή.

Η Ελλάδα διαθέτει περίπου 3 gigawatts (GW) θερμική ισχύ ηλιακών θερμικών συλλεκτών που εγκαθίστανται σε κατοικίες και μερικές εμπορικές ηλιακές εγκαταστάσεις θέρμανσης και ψύξης. Ωστόσο, το ΚΑΠΕ πιστεύει ότι υπάρχει τεράστιο αναξιοποίητο δυναμικό στον τριτογενή τομέα (ξενοδοχεία, δημόσια κτήρια, νοσοκομεία και βιομηχανίες). Η Ελλάδα είναι ένας κορυφαίος κατασκευαστής ηλιακών θερμικών εγκαταστάσεων, με περισσότερο από το 50% της παραγωγής ηλιακών θερμικών εγκαταστάσεων να εξάγονται.

Τα στερεά βιοκαύσιμα χρησιμοποιούνται για θέρμανση σε οικιακούς λέβητες. Η ενεργειακή κατανάλωση του οικιακού τομέα αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο μερίδιο της ζήτησης βιοκαυσίμων στην Ελλάδα.

Η βιομάζα από άχυρο, από κλαδέματα ελιάς και πυρήνα ελιάς, μίσχους βαμβακιού και υπολείμματα ξύλου χρησιμοποιείται στη βιομηχανία τροφίμων και ξύλου για θέρμανση (ισοδύναμη με 1.6 TWh). Η Ελλάδα έχει εγκαταστήσει 2 MW ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα, με επτά εγκαταστάσεις. Το ΚΑΠΕ υπολογίζει ότι περίπου 1.75 TWh παραμένουν αναξιοποίητα, με πιθανότητα μετριασμού του διοξειδίου του άνθρακα κατά περίπου 460.000 τόνους [1.3].

1.4.3 Κτήρια

Ο κτηριακός τομέας στην Ελλάδα αντιπροσωπεύει το 41% της συνολικής κατανάλωσης καυσίμου (TFC), το μεγαλύτερο μέρος του οποίου ανήκει στον τομέα των κατοικιών. Ο ηλεκτρισμός ήταν υπεύθυνος για το μεγαλύτερο μερίδιο του TFC στον τομέα των κτηρίων, που αντιπροσωπεύει το 48%. Το πετρέλαιο ήταν η δεύτερη μεγαλύτερη πηγή, αντιπροσωπεύοντας το 28% του TFC, τα βιοκαύσιμα ήταν υπεύθυνα για το 13% και το φυσικό αέριο για το 8%. Η κατανάλωση φυσικού αερίου έχει τριπλασιαστεί την τελευταία δεκαετία αλλά η μικρή συμβολή του στην κατανάλωση στον κτηριακό τομέα αντικατοπτρίζει την περιορισμένη αφομοίωση των συστημάτων θέρμανσης με φυσικό αέριο στην Ελλάδα.

Η θέρμανση χώρων αντιπροσωπεύει την πλειοψηφία, το 57% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης στον οικιακό τομέα. Η ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση των οικιστικών χώρων μειώθηκε κατά 44% μεταξύ του 2000 και του 2014. Αυτό αντανakλά εν μέρει την κίνηση μακριά από αναποτελεσματικούς θερμαντήρες πετρελαίου αλλά περισσότερο τον αντίκτυπο της αύξησης των τιμών των καυσίμων και της οικονομικής και χρηματοπιστωτικής κρίσης που οδήγησε σε χαμηλότερα εισοδήματα, με αποτέλεσμα τα νοικοκυριά να μειώσουν τη χρήση της θέρμανσης ή να στραφούν σε εναλλακτικές λύσεις χαμηλού κόστους. Οι μεταβολές αυτές έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση της κατανάλωσης πετρελαίου, αλλά όχι το ίδιο επίπεδο αύξησης της κατανάλωσης φυσικού αερίου, γεγονός που αντανakλά τη χαμηλή απορρόφηση εναλλακτικών και αποδοτικότερων τεχνολογιών φυσικού αερίου.

Η βιομάζα προσφέρει εναλλακτική λύση χαμηλού κόστους, η οποία έχει χρησιμοποιηθεί από μερικά νοικοκυριά στην Ελλάδα για τη θέρμανση χώρων. Ωστόσο, η διαθεσιμότητα κατάλληλης βιομάζας είναι περιορισμένη και επομένως μπορούν να χρησιμοποιηθούν άλλες μορφές βιομάζας τοπικής προέλευσης. Η καύση αυτών μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή σωματιδιακής ύλης και άλλων ρύπων που δημιουργούν κινδύνους για το περιβάλλον και την υγεία [1.8].

1.5 Εξοικονόμηση ενέργειας στα κτήρια της Ελλάδας

Η κατανάλωση ενέργειας παρουσιάζει συνεχή αύξηση με σοβαρές επιπτώσεις στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος, στην εξάντληση των φυσικών πόρων, και κατά συνέπεια στην ποιότητα ζωής. Για την αντιμετώπιση όλων αυτών των επιπτώσεων, πρωταρχικό ρόλο διαδραματίζει η εξοικονόμηση ενέργειας, συμβάλλοντας αποτελεσματικά στην παγκόσμια οικονομία, στην κάλυψη των κοινωνικών και αναπτυξιακών αναγκών, αλλά και στην προστασία του περιβάλλοντος. Η εξοικονόμηση ενέργειας θεωρείται η φθηνότερη ευγενής μορφή ενέργειας, είναι άμεσα εκμεταλλεύσιμη και μπορεί να πραγματοποιηθεί στον οικιακό τομέα, τη βιομηχανία και τις μεταφορές, που απορροφούν το σύνολο της καταναλισκόμενης ενέργειας σε κάθε χώρα. Ο στόχος της εξοικονόμησης ενέργειας μπορεί να πραγματοποιηθεί με τις εξής δράσεις:

- Αλλαγή της ενεργειακής συμπεριφοράς καταναλωτών στην καθημερινή τους ζωή.

- Τεχνολογική βελτίωση του κτηριακού κελύφους
- Εισαγωγή νέων ενεργειακών τεχνολογιών και καυσίμων.
- Στροφή σε προϊόντα, που απαιτούν λιγότερη ενέργεια ανά μονάδα προϊόντος
- Εισαγωγή νέων τεχνολογιών, που εξασφαλίζουν παραγωγή προϊόντων με λιγότερη ενέργεια.

Ο μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης της κατανάλωσης ενέργειας στα ελληνικά κτήρια ανέρχεται στο 6%, ενώ ο αντίστοιχος ρυθμός αύξησης για το σύνολο της καταναλισκόμενης ενέργειας στην Ελλάδα είναι περίπου 2%. Στην Ελλάδα, το πρόβλημα της θερμικής άνεσης επικεντρώνεται το καλοκαίρι, κυρίως λόγω του κλίματος, αλλά και επειδή η πλειοψηφία των κατασκευαστών κτηρίων δε δίνουν σημασία σε φωτισμό και ψύξη. Η απαιτούμενη εγκατεστημένη ισχύς για την κάλυψη των φορτίων αιχμής κυρίως κατά τους θερινούς μήνες (λόγω κλιματισμού), αυξάνεται συνεχώς με μέσο ετήσιο ρυθμό τα 400 MW, γεγονός που συνεπάγεται την αναγκαιότητα για έναν επιπλέον σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ετησίως [1.10].

Στη χώρα μας οι δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας στον κτηριακό τομέα είναι ιδιαίτερα υψηλές και μπορούν να υλοποιηθούν σχετικά εύκολα με την εφαρμογή κατάλληλων μέτρων. Πρέπει να επισημανθεί ότι το 70% των ελληνικών κτηρίων δεν είναι θερμομονωμένα, ενώ ταυτόχρονα το μεγαλύτερο ποσοστό από αυτά έχουν κακή αεροστεγανότητα και παλιάς τεχνολογίας ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις. Από το 1980 εξαιτίας του κανονισμού θερμομόνωσης, τα κτήρια άρχισαν να μονώνονται με υλικά αμφίβολων ιδιοτήτων, κυρίως όσον αφορά στο χρόνο ζωής τους με αποτέλεσμα τη μη διατήρηση των θερμομονωτικών τους ιδιοτήτων (συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, μηχανικές αντοχές). Ο τρόπος εφαρμογής ήταν ελλιπής (πολλές θερμογέφυρες, εμφάνιση υγρασίας κτλ.) και κατά συνέπεια το ελληνικό κτήριο συνεχίζει να είναι δαπανηρό όσον αφορά στο θέμα της συντήρησής του. Ο μηχανικός ή ο ιδιοκτήτης προτιμούσε να ξοδέψει χρήματα για την κατασκευή του σπιτιού βάζοντας σε δεύτερη μοίρα το κόστος συντήρησής του. Κοντά στο τέλος της δεκαετίας του 1980 άρχισαν να εμφανίζονται πιο προηγμένα υλικά με αντίστοιχες τεχνικές, γεγονός που συνέβαλε σε μικρό ποσοστό στην βελτίωση του προβλήματος, όχι όμως σε πολύ μεγάλο βαθμό [1.11].

Το ελληνικό σπίτι ακόμα και σήμερα εξακολουθεί να είναι δαπανηρό όσον αφορά στη συντήρησή του, αλλά και στην ενεργειακή κατανάλωση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα αφενός τη λήψη ημίμετρων για την αντιμετώπιση εκ των υστέρων των προβλημάτων που δημιουργούνται εσωτερικά, και αφετέρου την υπερβολική επιβάρυνση των ανθρώπων από βλαβερές ουσίες της ατμόσφαιρας και του περιβάλλοντος κάνοντας τη ζωή καθημερινά όλο και πιο δύσκολη. Παρόλα αυτά, αποτελέσματα προσομοιώσεων έδειξαν ότι υπάρχει περιθώριο για εξοικονόμηση ενέργειας, ειδικά για φωτισμό, στα ελληνικά κτήρια. Γενικότερα, η σημερινή υψηλής ενεργειακής απόδοσης τεχνολογία χρήσης και διαχείρισης ενέργειας, μπορεί να συμβάλλει ουσιαστικά στην εξοικονόμησή της στα κτήρια [1.10].

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 1^{ου} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

[1.1] Ενεργειακή διαχείριση ενέργειας και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ΕΥΑ ΜΑΛΕΒΙΤΗ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΠΕΔΙΟ

[1.2] UN Population Division, World Population Prospects: The 2017 Revision, New York, United States 2017.

[1.3] Διδακτορική Διατριβή: Εξοικονόμηση ενέργειας κατά την ηλιακή θέρμανση και κλιματισμό κτηρίων με χρήση υλικών αλλαγής φάσης (PCM) ΜΑΡΙΑ Θ. ΠΛΥΤΑΡΙΑ

[1.4] Διπλωματική Εργασία: Προσομοίωση υποβοηθούμενης αντλίας θερμότητας από ηλιακά συστήματα για θέρμανση κτιρίου ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΜΟΣΧΟΣ

[1.5] International Energy Agency. Technology roadmap: energy efficient building envelopes, OECD/IEA 2013.

[1.6] Carneiro JO, Vasconcelos G, Azevedo S, Jesus C, Palha C, Gomes N, Teixeira V: 'The evaluation of the thermal behavior of a mortar based brick masonry wall coated with TiO₂ nanoparticles' - An experimental assessment towards energy efficient buildings. Energy and Buildings, 2014.

[1.7] Σκανδαλής Α., 'Υπολογιστική προσομοίωση της θερμικής απόδοσης τοιχοποιιών ξηράς δόμησης με εφαρμογή συμβατικών και υπέρ-μονωτικών υλικών', διπλωματική εργασία, Αθήνα 2015.

[1.8] European Commission, Report on Long-term Strategy for Mobilising Investment in the Renovation of the National Stock of Residential and Commercial Buildings, Both Public and Private, Athens 2014.

[1.9] International Energy Agency (IEA), World Energy Balances, OECD/IEA, Paris 2017.

[1.10] A. Stegou-Sagia, K. Antonopoulos, C. Angelopoulou, G. Kotsiovelos, The impact of glazing on energy consumption and comfort, Energy Conversion and Management 2007;48:2844–2852

[1.11] www.bioclima.com.gr <accessed 2018>.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

2.1 Εισαγωγή στην ηλιακή ακτινοβολία

Η ηλιακή ενέργεια προκύπτει από τη θερμοπυρηνική σύντηξη που γίνεται στον ήλιο. Απορροφάται από το νερό ή την επιφάνεια της Γης, μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια και στη συνέχεια αποδίδεται πάλι στο διάστημα σύμφωνα με τις αρχές του Δεύτερου Νόμου της Θερμοδυναμικής [2.1].

Ηλιακή ενέργεια καλείται το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον ήλιο, τέτοιες είναι το φως, η θερμότητα και διάφορες ακτινοβολίες. Η χρήση της για την κάλυψη των ανθρώπινων αναγκών φυσικά δεν επηρεάζει το ενεργειακό ισοζύγιο της βιόσφαιρας. Η ηλιακή ενέργεια είναι διαθέσιμη παντού στη γη. Είναι ελεύθερη και ανεπηρέαστη από τις αυξανόμενες τιμές ενέργειας. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διάφορους τρόπους: για θέρμανση, φωτισμό και παραγωγή μηχανικής και ηλεκτρικής ενέργειας [2.2].

Το ενδιαφέρον για την ηλιακή ενέργεια εντάθηκε όταν χάρη στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, διαπιστώθηκε η πρακτική δυνατότητα της εύκολης, άμεσης και αποδοτικής μετατροπής της σε ηλεκτρική ενέργεια με την κατασκευή φωτοβολταϊκών γεννητριών. Έτσι, η χρήση της ηλιακής ενέργειας για κάλυψη των ανθρώπινων αναγκών χρησιμοποιείται πλέον ευρέως και με μεγάλη επιτυχία [2.3].

2.2 Γωνίες ηλίου και επιφανείας

Γεωγραφικό Πλάτος, φ : καθορίζεται από τη θέση του επιπέδου στη γη.

Γωνία ζενίθ, θ_z : είναι η γωνία που σχηματίζεται από την κατακόρυφο και την ευθεία όρασης του ηλίου.

$$\text{Ηλιακό ύψος, } \alpha: \alpha = 90^\circ - \theta_z \quad (2.1)$$

Αζιμούθιο επιφάνειας, γ : είναι η γωνία που σχηματίζεται από την προβολή της καθέτου στην επιφάνεια πάνω στο οριζόντιο επίπεδο και τη νότια κατεύθυνση.

Αζιμούθιο ηλίου, γ_s : είναι η γωνία μεταξύ της προβολής της ευθείας όρασης του ηλίου στο οριζόντιο επίπεδο και της νότιας κατεύθυνσης.

Κλίση επιπέδου, β : είναι η γωνία που σχηματίζει μια επίπεδη επιφάνεια με το οριζόντιο επίπεδο.

Ωριαία γωνία, ω : είναι η γωνιακή μετατόπιση του ηλίου ανατολικά ή δυτικά του τοπικού μεσημβρινού λόγω της περιστροφής της γης περί τον άξονά της με ρυθμό $0.25^\circ / \text{min}$. Η ωριαία γωνία δύσης ηλίου ω_s υπολογίζεται από την σχέση:

$$\cos \omega_s = -\tan \varphi \cdot \tan \delta \quad (2.2)$$

Διάρκεια της ημέρας N σε ώρες:

$$N=(2/15) \cdot \arccos(-\tan\varphi \cdot \tan\delta) \quad (2.3)$$

Ηλιακή απόκλιση, δ : είναι η γωνιακή θέση του ηλίου κατά το ηλιακό μεσημέρι ως προς το επίπεδο του ισημερινού. Ισχύει $-23.45 < \delta < 23.45$ με θετικές τιμές προς το βορρά. Υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\delta=23.45 \cdot \sin(360 \cdot (284+n)/365) \quad (2.4)$$

όπου n είναι η ημέρα του έτους.

Γωνία πρόσπτωσης, ϑ : της αμέσου ακτινοβολίας πάνω σε μια επιφάνεια είναι η γωνία μεταξύ των προσπίπτουσών ηλιακών ακτινών και της καθέτου στην επιφάνεια. Για κεκλιμένες επιφάνειες που βρίσκονται στο βόρειο ημισφαίριο στραμμένες προς το νότο ($\gamma=0^\circ$) ισχύει:

$$\cos\theta=\sin\delta \cdot \sin(\varphi-\beta)+\cos\delta \cdot \cos(\varphi-\beta) \cdot \cos\omega \quad (2.5)$$

Επίσης ορίζεται ο λόγος της αμέσου ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου προς την άμεσο οριζοντίου επιπέδου

$$Rb = \frac{GbT}{Gb} \quad (2.6)$$

Για κεκλιμένες επιφάνειες στο βόρειο ημισφαίριο και στραμμένες προς το νότο ($\gamma=0^\circ$), όταν είναι γνωστή η άμεσος ακτινοβολία οριζόντιας επιφάνειας G_b και θέλουμε να υπολογίσουμε την άμεσο ακτινοβολία κεκλιμένης επιφάνειας G_{bT} ορίζεται η σχέση:

$$Rb=(\sin\delta \cdot \sin(\varphi-\beta)+\cos\delta \cdot \cos(\varphi-\beta) \cdot \cos\omega)/(\sin\delta \cdot \sin\varphi+\cos\delta \cdot \cos\varphi \cdot \cos\omega) \quad (2.7)$$

Όσον αφορά την επίδραση του προσανατολισμού και κλίσης της επιφάνειας, ως προς την μεγιστοποίηση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας ισχύουν πρακτικά οι παρακάτω κανόνες

α) Για μέγιστη ετήσια ενέργεια απαιτείται κλίση συλλέκτη ίση με το γεωγραφικό πλάτος, $\beta=\phi$.

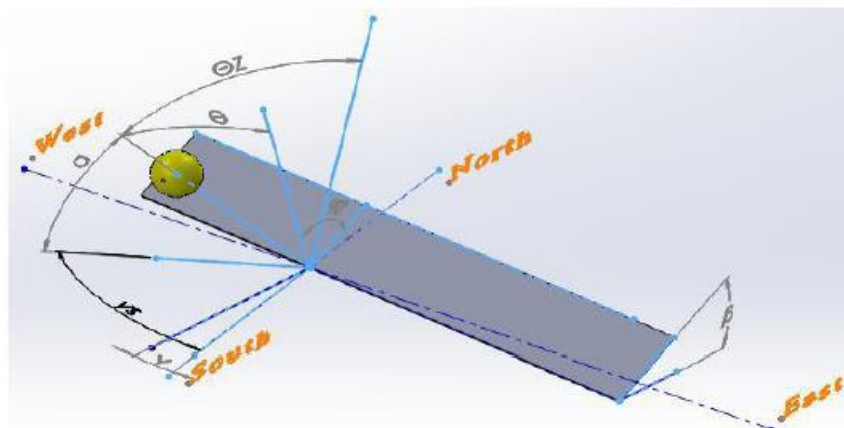
β) Για μέγιστη θερινή ενέργεια απαιτείται κλίση συλλέκτη κατά 15° μικρότερη του γεωγραφικού πλάτους, $\beta=\phi-15^\circ$.

γ) Για μέγιστη χειμερινή ενέργεια απαιτείται κλίση συλλέκτη κατά 15° μεγαλύτερη του γεωγραφικού πλάτους, $\beta=\phi+15^\circ$.

δ) Αποκλίσεις από τις παραπάνω τιμές προκαλούν μικρές μειώσεις ενέργειας, π.χ. απόκλιση του β κατά 15° μειώνει την ενέργεια μόνο κατά 5%.

ε) Ο βέλτιστος προσανατολισμός συλλέκτη είναι ο νότιος για το βόρειο ημισφαίριο και ο βόρειος για το νότιο ημισφαίριο, δηλαδή ο συλλέκτης πρέπει να είναι στραμμένος προς τον ισημερινό. Αποκλίσεις μέχρι 20° προκαλούν μικρές μειώσεις της προσπίπτουσας ενέργειας [2.4].

Το παρακάτω σχήμα 2.1 παρουσιάζει τις γωνίες που περιεγράφηκαν παραπάνω:



Σχήμα 2.1: Γωνίες μεταξύ ήλιου και κεκλιμένου επιπέδου [2.2]

2.3 Όργανα μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας

Διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Στους θερμικούς αισθητήρες, των οποίων η ένδειξη οφείλεται στη θέρμανση της φωτιζόμενης (μαύρης) επιφάνειας, μιας πλάκας από ορισμένο υλικό και στους αισθητήρες ηλεκτρονικής διεγερσης, στους οποίους η μέτρηση οφείλεται στις ενεργειακές μεταβάσεις των ηλεκτρονίων του υλικού, κατά την απορρόφηση φωτονίων [2.7].

2.3.1 Θερμικοί ανιχνευτές

Για μεγαλύτερη ευαισθησία των θερμικών αισθητήρων, φροντίζουμε η μάζα της πλάκας που απορροφά την ακτινοβολία να είναι μικρή, ώστε μικρά ποσά απορροφούμενης ενέργειας να προκαλούν μεγάλη μεταβολή στη θερμοκρασία της. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν α) το πυρανόμετρο, β) ο πυροηλεκτρικός κρύσταλλος και γ) τα βολόμετρα

Πυρανόμετρο

Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στο θερμοηλεκτρικό φαινόμενο. Η ακτινοβολία που προσπίπτει, στην ενεργό επιφάνεια (μαύρη), απορροφούμενη θερμαίνει την πλάκα αυτή. Έτσι, δημιουργείται διαφορά θερμοκρασιών μεταξύ της εκτεθειμένης στο φως και μιας άλλης στο εσωτερικό η οποία παραμένει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

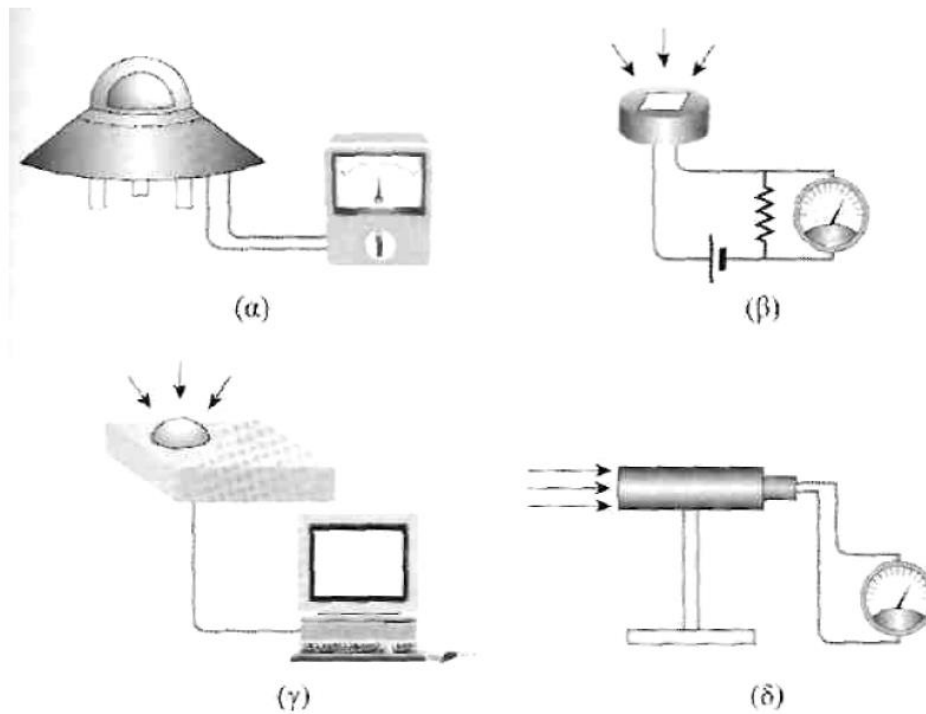
Οι μισές επαφές πολλών θερμοηλεκτρικών ζευγών (Thermocouples), συνδεδεμένων σε σειρά, είναι εντυπωμένες στην πάνω επιφάνεια, η οποία έχει υποστεί επεξεργασία αμαύρωσης, (π.χ. μαύρο βελούδου, velvet black) και οι άλλες μισές στην κάτω η οποία αποτελεί σώμα θερμοκρασίας αναφοράς (αντιστάθμιση). Ο συνδυασμός πολλών (π.χ. 100) θερμοηλεκτρικών ζευγών, που φέρεται με το όνομα Thermopile, γίνεται με σκοπό η ολική τάση στα δύο ελεύθερα άκρα τους να είναι αρκετά μεγάλη (μερικά mV), ώστε να μετρείται με ένα βολτόμετρο. Η ενεργός επιφάνεια (μαύρη) περιβάλλεται από δύο ομόκεντρα κρυστάλλινα ημισφαίρια, για προστασία από την υγρασία και την ψύξη λόγω αέριων ρευμάτων.

Πυροηλεκτρικός κρύσταλλος

Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στην τροποποίηση της διπολικής ηλεκτρικής ροπής διηλεκτρικών υλικών, που ονομάζονται πυροηλεκτρικά (πυροηλεκτρικό φαινόμενο). Η αύξηση της θερμοκρασίας του πυροηλεκτρικού υλικού οδηγεί σε εμφάνιση ηλεκτρίσης, δηλαδή, πόλωσης του υλικού λόγω θέρμανσης του. Χαρακτηρίζεται από σταθερή απόκριση (Ampere/Watt), σε ευρεία περιοχή μηκών κύματος, δηλαδή, απόκριση ανεξάρτητη του μήκους κύματος, λ κι αυτό τον καθιστά ιδανικό για καταγραφή φασμάτων, στην περιοχή ευαισθησίας του.

Βολόμετρα ή αισθητήρες θερμοκρασίας με βάση την αντίσταση υλικού

Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στη μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης ενός υλικού, με την θερμοκρασία του, λόγω απορρόφησης της ενέργειας της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Για αυξημένη απόκριση του αισθητήρα, το υλικό του πρέπει να χαρακτηρίζεται από υψηλή απορροφητικότητα της ακτινοβολίας, σε ευρύ φάσμα συχνοτήτων και μικρή θερμοχωρητικότητα. Κατασκευάζονται από ποικιλία υλικών, τόσο σε στοιχειακή (π.χ. Si, Ge, Bi, Au) όσο και σε σύνθετη μορφή (Bi σε συνδυασμό με ίνες από nylon, Ge με προσμίξεις και ίνες nylon). Μια πολύ σημαντική κατηγορία βολομέτρων είναι τα μεταλλικά (π.χ. λευκοχρύσου ή πλατίνας Pt) και τα thermistors (ημιαγωγοί) [2.7].



Εικόνα 2.1: α) Πυρανόμετρο β) Φωτοδίοδος γ) Φασματοραδιόμετρο
δ) Πυροηλεκτρικός Κρύσταλλος [2.7]

2.3.2 Αισθητήρες ηλεκτρονικής διέγερσης

Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται είτε στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, δηλαδή την εκπομπή ηλεκτρονίων από την επιφάνεια ενός μετάλλου είτε στη διέγερση ηλεκτρονίων από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας, στην περίπτωση των ημιαγωγών.

Κατηγορίες αισθητήρων που βασίζονται στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

Σ' αυτήν την κατηγορία ανήκουν:

- **Οι φωτοδίοδοι κενού ή φωτοκύτταρα:** Αποτελούνται από δύο ηλεκτρόδια (άνοδο και κάθοδο) ενσωματωμένα σε μια διάταξη υψηλού κενού. Η κάθοδος, πάνω στην οποία προσπίπτει το φως, αποτελείται από υλικό χαμηλού έργου εξόδου των φωτοηλεκτρονίων. Η άνοδος βρίσκεται σε ορισμένο ηλεκτρικό δυναμικό σε σχέση με την κάθοδο συλλέγοντας τα φωτοηλεκτρόνια. Η διάταξη χαρακτηρίζεται από εξαιρετικά μικρό χρόνο απόκρισης (Response time) μικρότερο των 10ns.
- **Οι φωτοπολλαπλασιαστές:** Στην περίπτωση ακτινοβολιών χαμηλής έντασης, χρησιμοποιούνται σύνθετες διατάξεις, που αποτελούνται από συνδυασμό πολλών φωτοδίοδων σε σειρά (κάθοδος - αντικάθοδοι - άνοδος). Η κάθοδος και οι αντικάθοδοι είναι επιχρισμένες από υλικό χαμηλού έργου εξόδου. Η κάθοδος, ειδικά διαμορφωμένη, αποτελεί το παράθυρο «εισόδου» της

ακτινοβολίας δημιουργώντας εσωτερικά τα αρχικά ηλεκτρόνια (φωτοηλεκτρόνια). Τα φωτοηλεκτρόνια επιταχυνόμενα προσπίπτουν στην πρώτη αντικάθοδο, παράγοντας το καθένα, ανάλογα με το υλικό και την εφαρμοζόμενη ηλεκτρική τάση, μερικά δευτερογενή ηλεκτρόνια κ.ο.κ.. Έτσι, στην άνοδο συλλέγεται μεγάλο πλήθος ηλεκτρονίων που αντιστοιχούν σ' ένα αρχικό φωτόνιο. Η διάταξη, δηλαδή, λειτουργεί ως αισθητήρας ακτινοβολίας χαμηλής εντάσεως, ενισχύοντας σταδιακά, το ασθενικό πρώτο ηλεκτρικό σήμα. Η ενίσχυση μπορεί να ξεπερνά τον παράγοντα 10 (για κάθε φωτοηλεκτρόνιο).

Κατηγορία αισθητήρων που βασίζονται στη φωτοαγωγιμότητα του υλικού

Εδώ υπάγονται οι φωτοαγωγοί ή φωτοαντιστάσεις, οι φωτοдиодοι και τα φωτοβολταϊκά στοιχεία.

- **Φωτοαγωγοί ή φωτοαντιστάσεις:** Είναι ημιαγωγοί, ενδογενείς ή προσμείξεων, οι οποίοι εμφανίζουν έντονη φωτοαγωγιμότητα. Δηλαδή, η απορρόφηση φωτός στο ημιαγωγικό υλικό διεγείρει ηλεκτρόνια από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας, αυξάνοντας την ηλεκτρική αγωγιμότητα του ημιαγωγού.
- **Φωτοдиодος ημιαγωγών:** Είναι μια διόδος επαφής ημιαγωγών, που όταν φωτίζεται στο εσωτερικό της παράγονται επιπλέον ζεύγη ηλεκτρονίου-οπής, τα οποία διαχωριζόμενα από το πεδίο επαφής, συμβάλλουν στη δημιουργία αυξημένου ηλεκτρικού ρεύματος, (στο κύκλωμα περιλαμβάνονται: η ηλεκτρική πηγή, η διόδος και μια αντίσταση). Η επιφάνεια τους είναι συνήθως πολύ μικρή, της τάξης του mm^2 , ώστε να χαρακτηρίζονται από μικρή χωρητικότητα επαφής και άρα πολύ καλή χρονική απόκριση (Response time), της τάξης του 10-10s. Διακρίνονται σε διάφορους τύπους: σε φωτοдиодους p-n, p-i-n, τύπου Schottky, χιονοστιβάδας και ετεροεπαφών. Για να λειτουργεί μια φωτοдиодος, έτσι ώστε, το ρεύμα να είναι ανάλογο της ροής της ακτινοβολίας και ταυτόχρονα να χαρακτηρίζεται από μικρό χρόνο κίνησης φορέων (λειτουργία ταχείας απόκρισης), πολώνεται ανάστροφα. Αν δεν ενδιαφέρει η απαίτηση αυτή, η φωτοдиодος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε λειτουργία φωτοβολταϊκού στοιχείου (Photovoltaic mode).
- **Φωτοβολταϊκή κυψελίδα ή φωτοβολταϊκό στοιχείο:** (Η συντομογραφία ΦΒ αντιπροσωπεύει τη λέξη φωτοβολταϊκό). Εδώ επισημαίνουμε την διαφορετικότητα του με τη φωτοдиодο. Αναφέρθηκε ότι η επιφάνεια της διόδου είναι πολύ μικρή. Αντίθετα, το ΦΒ στοιχείο χαρακτηρίζεται από όσο το δυνατόν μεγαλύτερη επιφάνεια και ο λόγος είναι ότι προορίζεται για πηγή ηλεκτρικής ενέργειας κι όχι για αισθητήρας.

Φασματογράφος

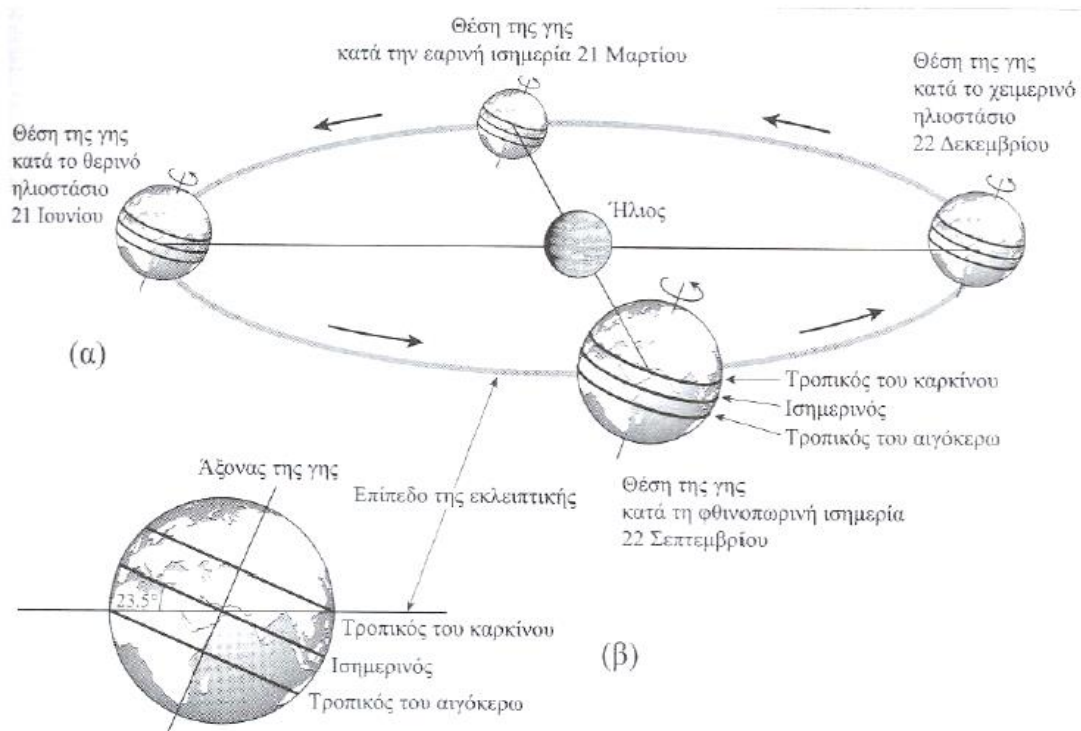
Διάταξη με την οποία αναλύεται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μιας πηγής (ηλεκτρομαγνητικό φάσμα). Η ανάλυση βασίζεται στη χρήση είτε πρίσματος είτε οπτικών φραγμάτων (ανάκλασης ή διέλευσης).

Φασματοραδιόμετρο -Φασματοφωτόμετρο

Είναι ένα φασματοσκόπιο εφοδιασμένο με μηχανισμούς κίνησης (Εικόνα 2.1γ), ώστε το φάσμα να σαρώνεται σ' όλο το λειτουργικό εύρος μηκών κύματος και να καταγράφεται σε ηλεκτρονική «μνήμη». Ο χρόνος καταγραφής του ηλιακού φάσματος είναι 1-2 min. Στο σημείο εισόδου του φασματογράφου τοποθετείται μια «σφαίρα ολοκλήρωσης», προκειμένου η προσπίπτουσα ακτινοβολία να καταγράφεται ανεξάρτητα από τη γωνία πρόσπτωσης [2.7].

2.4 Η κίνηση της γης γύρω από τον ήλιο

Στην εικόνα 2.2 φαίνεται η σύνθετη κίνηση της γης γύρω απ' τον ήλιο. Κατά την περιφορά της διαγράφει ελλειπτική τροχιά, η οποία ονομάζεται εκλειπτική. Μπορούμε επίσης να παρατηρήσουμε την περιστροφή της γης γύρω απ' τον άξονα της, σε τέσσερις χαρακτηριστικές θέσεις της γης κατά τη διάρκεια του έτους. Ο άξονας της γης μετατοπίζεται, περίπου παράλληλα προς τον εαυτό του, σχηματίζοντας σχεδόν σταθερή γωνία με την εκλειπτική. Το επίπεδο του ισημερινού της γης, που είναι κάθετο στον άξονα της γης, σχηματίζει με το επίπεδο της εκλειπτικής γωνία, ίση με $23,45^\circ$.



Εικόνα 2.2: Η κίνηση της γης γύρω από τον ήλιο [2.8]

Φυσικά, την ίδια γωνία σχηματίζει και κάθε άλλος παράλληλος της γης (παράλληλος προς τον ισημερινό), με την εκλειπτική. Έτσι, καθώς η γη αλλάζει θέση στην ετήσια τροχιά της περί τον ήλιο, αλλάζει το ύψος μεσουράνησης του ήλιου σε κάθε τόπο στην επιφάνεια της. Για τόπο στο βόρειο ημισφαίριο, η θέση μεσουράνησης παίρνει την μικρότερη τιμή της το χειμώνα (22 Δεκεμβρίου) και τη μέγιστη το καλοκαίρι (21

Ιουνίου). Το αντίθετο ισχύει για τόπους του νοτίου ημισφαιρίου. Στις 21 Μαρτίου και 22 Σεπτεμβρίου, η ημέρα έχει ίση διάρκεια με τη νύκτα (Ισημερίες) [2.8].

2.5 Ημερήσια ενεργειακή απολαβή από τον ήλιο

Η ενέργεια ανά m^2 που φτάνει στην επιφάνεια της Γης μέσα σε μια μέρα εξαρτάται από την κλίση της συλλεκτικής επίπεδης επιφάνειας, το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, τη μέρα του χρόνου και από τις συγκεντρώσεις των διαφόρων αερίων, υγρών και στερεών συστατικών και αιωρημάτων της ατμόσφαιρας κατά την ημέρα εκείνη.

Προκειμένου, όμως, να υπάρχουν συγκρίσιμα στοιχεία σε διεθνή κλίμακα αναφερόμαστε σε μετρήσεις με αισθητήρες, οι οποίοι τοποθετούνται με τη συλλεκτική τους επιφάνεια οριζόντια. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι μέσες ημερήσιες τιμές της πυκνότητας ισχύος και της πυκνότητας ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας, σε οριζόντια επιφάνεια, μέσα σε κάθε μήνα και μέσα στο έτος. Για να αξιοποιηθούν αυτά τα μετεωρολογικά στοιχεία σε πρακτικές εφαρμογές (π.χ. σε ενεργειακές μελέτες), απαιτούνται μετρήσεις που να καλύπτουν περίοδο πολλών ετών (π.χ. 10 έως 30 ετών). Σε περιπτώσεις που λείπουν στοιχεία μακράς περιόδου για κάποιο τόπο, μπορούν να αξιοποιούνται στοιχεία που έχουν συλλεχθεί σε μικρότερες χρονικές περιόδους με την επιφύλαξη της μικρότερης αξιοπιστίας τους.

Σε περιοχές κοντά στον ισημερινό, η μέση ετησίως τιμή της είναι μεγαλύτερη (μέχρι και $7 \text{ kWh/m}^2\text{d}$) και αντίστοιχα, σε περιοχές στα όρια των εύκρατων ζωνών, είναι μικρότερη ($<3 \text{ kWh/m}^2\text{d}$). Άξιο παρατήρησης είναι η ελαττωμένη τιμή της σε περιοχές της Τροπικής ζώνης (γύρω από τον Ισημερινό). Η υψηλή υγρασία των περιοχών αυτών, με την έντονη βλάστηση, έχει ως αποτέλεσμα την ισχυρή ελάττωση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας [2.8].

2.6 Ηλιοφάνεια

Εκτός από τη μέση ημερήσια ενέργεια από το ήλιο σε μηνιαία και ετήσια βάση, σε οριζόντιο επίπεδο, χαρακτηριστικό στοιχείο μιας περιοχής είναι η ηλιοφάνεια της. Αυτή εξαρτάται βεβαίως από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου και από την θέση και την διαμόρφωση της περιοχής. Τα χαρακτηριστικά αυτά πιθανόν να ευνοούν την ανάπτυξη νεφώσεων, με αποτέλεσμα την μείωση των ηλιόλουστων ημερών. Η ηλιοφάνεια εκφράζεται σε πλήθος ωρών ανά μήνα και ανά έτος, κατά τις οποίες ο ήλιος είναι ορατός στον ουρανό. Στην Ελλάδα, η περιοχή με τη μεγαλύτερη ηλιοφάνεια είναι η περιοχή της Ιεράπετρας στο νοτιοανατολικό μέρος της Κρήτης (3108 ώρες ετησίως) [2.8].

2.7 Ηλιακή ενέργεια ως ανανεώσιμη πηγή

Κάθε κιλοβατώρα ηλεκτρισμού που προμηθευόμαστε από το δίκτυο και παράγεται από ορυκτά καύσιμα, επιβαρύνει την ατμόσφαιρα με ένα τουλάχιστον κίλο διοξειδίου του άνθρακα. Το διοξείδιο του άνθρακα είναι, ως γνωστόν, το σημαντικότερο “αέριο του θερμοκηπίου” που συμβάλλει στις επικίνδυνες κλιματικές αλλαγές. Η στρόφη στις καθαρές πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή, αποτελεί τη μόνη

διέξοδο για την αποτροπή των κλιματικών αλλαγών που απειλούν σήμερα τον πλανήτη. Η χρήση της ηλιακής ενέργειας συνεπάγεται λιγότερες εκπομπές άλλων επικίνδυνων ρύπων (όπως τα καρκινογόνα μικροσωματίδια, τα οξείδια του αζώτου, οι ενώσεις του θείου, κ.λπ). Οι ρύποι αυτοί επιφέρουν σοβαρές βλάβες στην υγεία και το περιβάλλον [2.2].

2.8 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα

Η ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται από πολλά πλεονεκτήματα όπως συμβαίνει βέβαια με όλες τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, με τα πιο σημαντικά να είναι:

- ✓ Είναι ενέργεια φιλική προς το περιβάλλον
- ✓ Το μηδενικό κόστος πρώτης ύλης (ήλιος)
- ✓ Απεξάρτηση από τα συμβατικά καύσιμα και την κυμαινόμενη τιμή τους
- ✓ Δυνατότητα αυτοπαραγωγής, αποφόρτισης των υποδομών και αποφυγής των απωλειών από μεγάλα δίκτυα μεταφοράς[2.5].

Όμως πέρα από τα σημαντικά πλεονεκτήματα της, έχει και κάποια χαρακτηριστικά που καθιστούν δυσχερή την αξιοποίησή της όπως:

- ✓ Το κόστος επένδυσης είναι ακόμα σε υψηλά επίπεδα σε σχέση με αυτό των συμβατικών μορφών.
- ✓ Οι μονάδες της είναι διεσπαρμένες και δεν υπάρχει η δυνατότητα να συγκεντρωθούν και να αποθηκευτούν σε μεγάλες ποσότητες ισχύος.
- ✓ Ο συντελεστής εκμετάλλευσής της είναι μικρός επειδή η διαθεσιμότητά της είναι περιορισμένη και με διακυμάνσεις για παράδειγμα λόγω συννεφιάς [2.6].

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 2^{ου} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

[2.1] Ενεργειακή διαχείριση ενέργειας και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ΕΥΑ ΜΑΛΕΒΙΤΗ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΠΕΔΙΟ

[2.2] Πτυχιακή εργασία: Μελέτη και χρηματοοικονομική ανάλυση οικιακού φωτοβολταϊκού συστήματος 10 KW ΣΑΜΑΡΑΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

[2.3] Αυτόνομες εφαρμογές ηλιακής ενέργειας μικρού & μεσαίου μεγέθους / Βασίλης Μαλαμής Αθήνα : Ιων . 1999

[2.4] Θερμικά- Ηλιακά συστήματα μέρος πρώτο ΚΙΜΩΝΟΣ Α. ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΥ

[2.5] Εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας :υπολογισμός και σχεδίαση συστημάτων /Ευθύμιος Η Βαζαίος Αθήνα , Φοίβος 1984.

[2.6] Εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας σε παγκόσμια κλίμακα –HANS RAU , Αθήνα , gutenberg ,1983 .

[2.7] ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Παραμετρική μελέτη θέρμανσης χώρων με εποχιακή αποθήκευση με χρήση του προγράμματος TRNSYS Παναγιώτης Δ. Τσεκούρας.

[2.8] Ανδρέας Ε. Μοσχάτος, Ηλιακή Ενέργεια, Έκδοση Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (PV)

3.1 Εισαγωγή

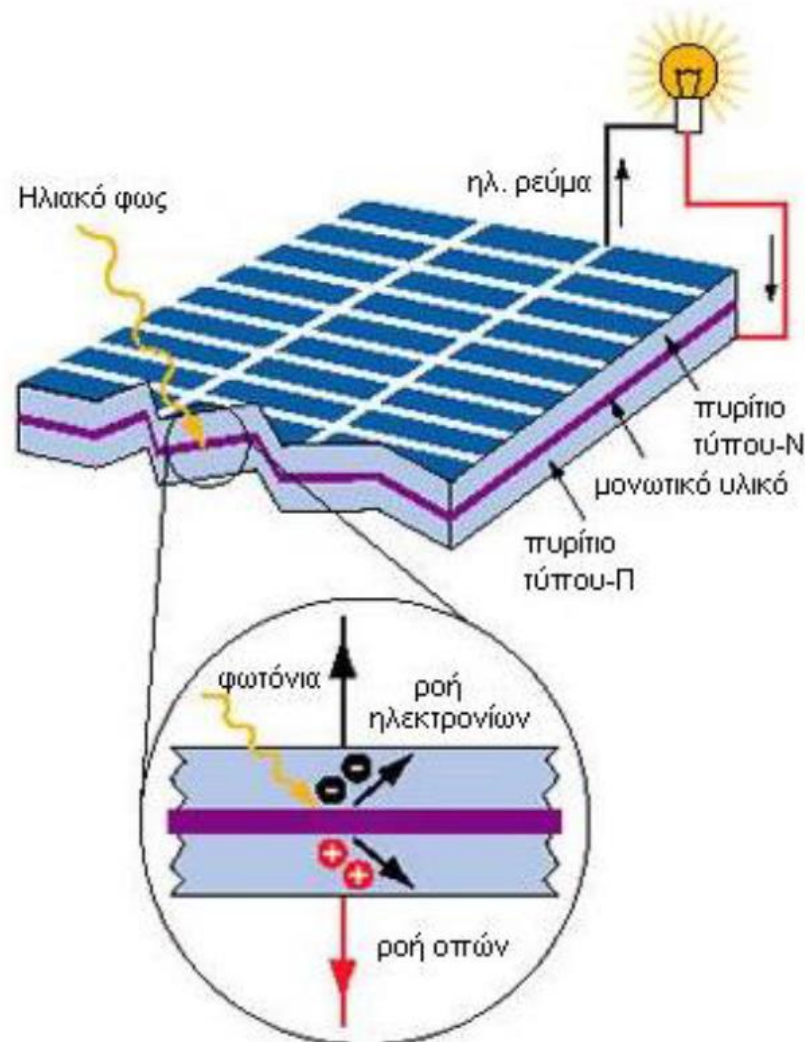
Φωτοβολταϊκά είναι τα συστήματα συγκέντρωσης της ηλιακής ενέργειας και μετατροπής της σε ηλεκτρική. Η ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει στη Γη καθημερινά αρκεί να τροφοδοτήσει όλες τις ανάγκες της ανθρωπότητας σε ηλεκτρικό ρεύμα για πολλές μέρες. Η χώρα μας, η Ελλάδα, είναι η χώρα της διαρκούς ηλιοφάνειας. Αν θεωρητικά η Χώρα μας καλύπτονταν σε σημαντικό της εμβαδό από φωτοβολταϊκά θα μπορούσε να τροφοδοτήσει το σύνολο της ενεργειακής ζήτησης της Ευρώπης [3.1].

3.2 Λειτουργία Φ/Β και ονοματολογία

Το ηλιακό φως είναι ουσιαστικά μικρά πακέτα ενέργειας που λέγονται φωτόνια. Τα φωτόνια περιέχουν διαφορετικά ποσά ενέργειας ανάλογα με το μήκος κύματος του ηλιακού φάσματος. Το γαλάζιο χρώμα ή το υπεριώδες π.χ. έχουν περισσότερη ενέργεια από το κόκκινο ή το υπέρυθρο [3.2]. Μια ηλιακή κυψέλη, ή αλλιώς φωτοβολταϊκή κυψέλη ή στοιχείο, είναι μια λεπτή στρώση κάποιου υλικού με ένα καλώδιο ενωμένο στην πάνω και την κάτω επιφάνεια. Το υλικό των δύο επιφανειών είναι ένας ημιαγωγός που ενδιάμεσα περικλείει το στρώμα διόδου. Καθώς λοιπόν τα φωτόνια προσκρούσουν στην επιφάνεια του υλικού, άλλα ανακλώνται, άλλα διαπερνούν και άλλα απορροφούνται από το φωτοβολταϊκό. Αυτά τα τελευταία φωτόνια είναι που παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα. Συνεπώς οι φωτοβολταϊκές κυψέλες συλλέγουν το ηλιακό φως και το μετατρέπουν απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε συνεχές ρεύμα. Παράγουν ισχύ με αθόρυβο και φυσικό τρόπο και δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον με αέρια ή άλλα κατάλοιπα. Μπορούν να λειτουργήσουν αυτόνομα και αξιόπιστα, χωρίς την παρουσία κάποιου χειριστή, γι' αυτό και υπάρχει η δυνατότητα να εγκατασταθούν σε απομονωμένες περιοχές. Φυσικά δεν καταναλώνουν καύσιμα, αλλά μπορούν εύκολα να λειτουργήσουν παράλληλα με άλλα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Λειτουργούν χωρίς προβλήματα κάτω από όλες τις καιρικές συνθήκες και δεν επηρεάζονται από αυτές. Είναι επεκτάσιμα ανάλογα με τις ανάγκες σε φορτίο και πρακτικά έχουν πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής (τουλάχιστον 20 ή 30 χρόνια). Η αναλογία της παραγόμενης ισχύος προς το βάρος των διατάξεων είναι αρκετά μεγάλη, περίπου 100 W/Kg [3.3].

Φωτοβολταϊκό φαινόμενο: ονομάζεται η άμεση μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική τάση. Ημιαγώγιμα υλικά όπως το πυρίτιο, το αρσενιούχο γάλλιο ή ο δισελινιοϊνδιούχος χαλκός, χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό. Το πυρίτιο (Si) είναι η βάση για το 90% περίπου της παγκόσμιας παραγωγής Φ/Β Το μόνο μειονέκτημα του πυριτίου είναι ότι είναι εύθραυστο και ως εκ τούτου απαιτεί τον σχηματισμό στοιχείων μεγάλου πάχους. Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα αποτελούν διόδους ημιαγωγικών ενώσεων τύπου p-n με τη μορφή επίπεδης πλάκας. Κάθε φωτόνιο της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας με ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, μπορεί να απορροφηθεί σε ένα χημικό

δεσμό και να ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο. Όσο διαρκεί η πρόσπτωση της ακτινοβολίας, δημιουργείται περίσσεια φορέων, δηλαδή περίσσεια ελεύθερων ηλεκτρονίων και οπών. Οι φορείς αυτοί, κυκλοφορούν στο στερεό και αν δεν επανασυνδεθούν με φορείς αντίθετου προσήμου, δέχονται την επίδραση του ηλεκτροστατικού πεδίου της ένωσης p-n. Έτσι, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια κατευθύνονται προς το τμήμα τύπου-n και οι οπές προς το τμήμα τύπου-p, με αποτέλεσμα να δημιουργείται διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους ακροδέκτες των δύο τμημάτων της διόδου. Αν στους ακροδέκτες συνδεθεί κατάλληλο ηλεκτρικό φορτίο, παρατηρείται ροή ηλεκτρικού ρεύματος από τη φωτοβολταϊκή διάταξη προς το φορτίο. Τελικά, η όλη διάταξη αποτελεί μία πηγή ηλεκτρικού ρεύματος, που διατηρείται για όσο χρονικό διάστημα διαρκεί η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του κυττάρου. Η ύπαρξη της διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στους δύο ακροδέκτες της παραπάνω διάταξης, η οποία αντιστοιχεί σε ορθή πόλωση διόδου, ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο.



Εικόνα 3.1: Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Η ηλιακή ενέργεια, προσπίπτοντας στη δίοδο p-n, διαχωρίζει οπές και ηλεκτρόνια δημιουργώντας διαφορά δυναμικού [3.10].

Φωτοβολταϊκό στοιχείο (PV cell): Η ηλεκτρονική διάταξη που παράγει ηλεκτρική ενέργεια όταν δέχεται ακτινοβολία . Λέγεται ακόμα φωτοβολταϊκό κύτταρο ή φωτοβολταϊκή κυψέλη.



Εικόνα 3.2: Φ/Β στοιχείο [3.10]

Φωτοβολταϊκό πλαίσιο (PV module): Ένα σύνολο φωτοβολταϊκών στοιχείων που είναι ηλεκτρονικά συνδεδεμένα. Αποτελεί τη βασική δομική μονάδα της φωτοβολταϊκής γεννήτριας.



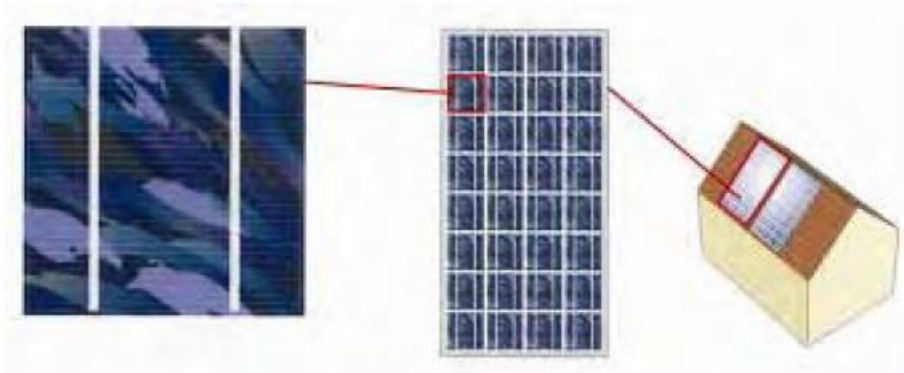
Εικόνα 3.3: Φ/Β πλαίσιο [3.10]

Φωτοβολταϊκό πάνελ (PV panel): Ένα ή περισσότερα φωτοβολταϊκά πλαίσια, που έχουν προκατασκευαστεί και συναρμολογηθεί σε ενιαία κατασκευή, έτοιμη για να εγκατασταθεί σε φωτοβολταϊκή εγκατάσταση.



Εικόνα 3.4: Φ/Β πάνελ [3.5]

Φωτοβολταϊκή συστοιχία (PV array): Μια ομάδα από φωτοβολταϊκά πλαίσια ή πανέλα με ηλεκτρική αλληλοσύνδεση, τοποθετημένα συνήθως σε κοινή κατασκευή στήριξης [3.4].



Εικόνα 3.5: Φ/Β συστοιχία [3.19]

3.3 Βασικός εξοπλισμός για την εγκατάσταση και λειτουργία των Φ/Β

Φωτοβολταϊκή γεννήτρια (PV generator): Το τμήμα μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης που περιέχει φωτοβολταϊκά στοιχεία και παράγει συνεχές ρεύμα

Αντιστροφέας ή μετατροπέας (inverter): Ο inverter (αντιστροφέας ή μετατροπέας στα ελληνικά) είναι μία ηλεκτρονική συσκευή που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα που παράγουν τα φωτοβολταϊκά (DC) μορφή σε εναλλασσόμενο αντίστοιχο με αυτό του δικτύου (AC) μορφή. Κατά συνέπεια Ένας ηλιακός αντιστροφέας, ή φωτοβολταϊκός αντιστροφέας, μετατρέπει το συνεχές ρεύμα (DC) εξόδου ενός φωτοβολταϊκού (PV) πλαισίου σε μια συχνότητα εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) που μπορεί να τροφοδοτήσει το δίκτυο ή ένα απομονωμένο φορτίο.

Οι αντιστροφείς μπορεί να είναι μικροί (string inverters) ή κεντρικοί, ανάλογα με τις απαιτήσεις του συστήματος. Λειτουργεί αυτόνομα και η απόδοσή του εξαρτάται από το φορτίο, δίνοντας μία μέγιστη απόδοση της τάξης του 95,6%.

Διάφορες κατηγορίες inverters είναι οι κάτωθι:

- Αντιστροφείς αυτόνομων συστημάτων, που χρησιμοποιούνται σε απομονωμένα συστήματα, όπου ο αντιστροφέας αντλεί ενέργεια από μπαταρίες οι οποίες φορτίζονται από φωτοβολταϊκά.
- Αντιστροφείς για σύνδεση με το δημόσιο δίκτυο, οι οποίοι ταιριάζουν τη συχνότητα εξόδου τους με αυτή του δικτύου.
- Αντιστροφείς για μπαταρίες backup, είναι ειδικοί μετατροπείς, οι οποίοι έχουν σχεδιαστεί για να μεταφέρουν την ενέργεια από μια μπαταρία, να διαχειρίζονται τη φόρτιση της μπαταρίας μέσω ενός ενσωματωμένου φορτιστή, και να εγχέουν την πλεονάζουσα ενέργεια στο δίκτυο.

Ενώ σε σχέση με την πηγή που θεωρείται στην είσοδο τους διακρίνονται σε:

- Αντιστροφείς πηγής τάσεως (στην DC πλευρά του αντιστροφέα υπάρχει πηγή DC τάσης)
- Αντιστροφείς πηγής ρεύματος (στην DC πλευρά του αντιστροφέα υπάρχει πηγή DC ρεύματος)

Τέλος, έχουν τις εξής παραμέτρους δικτύου:

- Εύρος τάσεως εναλλασσόμενου ρεύματος: +15% έως -20% επί της ονομαστικής τάσης (230V)
- Περιοχή συχνοτήτων εναλλασσόμενου ρεύματος: $\pm 0,5\%$ Hz της ονομαστικής (50Hz)
- Συντελεστής παραμόρφωσης ρεύματος: < 4%
- DC-Current Injection: < 0,5 % του ονομαστικού ρεύματος



Εικόνα 3.6: φωτοβολταϊκός αντιστροφέας (inverter) [3.10]



Εικόνα 3.7: φωτοβολταϊκός αντιστροφέας της εταιρείας SMA [3.12]

Ρυθμιστής φόρτισης (charge controller): Συσκευή που χρησιμοποιείται σε αυτόνομα συστήματα για να ρυθμίζει τη φόρτιση των συσσωρευτών.



Εικόνα 3.8: ρυθμιστής φόρτισης [3.10]

Δίοδος: Η δίοδος τοποθετείται στη σειριακή σύνδεση των τριών παράλληλα συνδεδεμένων πλαισίων με σκοπό την αποφυγή φαινομένων αναστροφής ρεύματος.



Εικόνα 3.9: Δίοδος [3.10]

Σύστημα Ελέγχου: Τα connection boxes συνδέονται με οπτική ίνα με το κεντρικό σύστημα ENERGRID, το οποίο φιλοξενείται στο κέντρο ελέγχου. Τα δεδομένα τα οποία μεταφέρονται είναι ισχύος, έντασης, τάσης και συχνότητας.

Διακόπτες ισχύος: Χρησιμοποιείται ένα πεδίο μέσης τάσης, στο οποίο περιέχεται ένας αυτόματος διακόπτης ισχύος αερίου SF6, ο οποίος έχει την ικανότητα να προστατεύει το σύστημα από υπερένταση, υποένταση, υπέρταση και υπόταση καθώς επίσης και κάθε ανωμαλία της συχνότητας.



Εικόνα 3.10: Διακόπτης Ισχύος [3.10]

Μετρητές: Χρησιμοποιούνται κατάλληλα πεδία μέσης τάσης, τα οποία περιέχουν μετασχηματιστές έντασης και τάσης κατάλληλα συνδεδεμένα. Οι ενδείξεις των

παραπάνω μετασχηματιστών αποτελούν τις μετρήσεις και καταγράφονται σε ένα σύστημα ENERGRID. Το ENERGRID DATA επιτρέπει τη μέτρηση όλων των ενεργειακών ροών από την ηλιακή φωτοβολταϊκή γεννήτρια. Επίσης σημαντικός είναι ο ρόλος του στην εποπτεία, μέσω του συστήματος αποστολής ειδοποιήσεων εξ αποστάσεως (ειδοποιήσεις των αντιστροφών και ειδοποιήσεις επιδόσεων). Με τον πρακτικό σχεδιασμό του, το ENERGRID DATA παρέχει πρόσβαση σε όλες τις πληροφορίες από τη φορητή ψηφιακή οθόνη LCD, από οποιονδήποτε Η/Υ.



Εικόνα 3.11: Μετρητής [3.10]

Καλώδια – συνδέσεις: Τα καλώδια τα οποία οδεύουν μέσα στο Φ/Π είναι κατά κύριο λόγο καλώδια χαμηλής τάσης, κατάλληλα για υπόγεια όδευση. Οι διατομές τους διαφέρουν ανάλογα με την ένταση του ρεύματος από την οποία διαρρέονται [3.5].



Εικόνα 3.12: Καλώδια [3.10]



Εικόνα 3.13: Τα επιμέρους εξαρτήματα ενός φ/β συστήματος [3.17]

3.4 Βαθμός απόδοσης Φ/Β

Ο Βαθμός απόδοσης εκφράζει το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια στο φωτοβολταϊκό στοιχείο. Δίνεται από την σχέση:

$$\eta = \frac{Q_{gen}}{Q_{solar}} \quad (3.1)$$

Όπου: Q_{gen} : η ενέργεια που παράγει το Φ/Β σε (kWh)

Q_{solar} : η ηλιακή ενέργεια που συλλέγει το Φ/Β σε (kWh)

Η ηλιακή ενέργεια δίνεται από την σχέση:

$$Q_{solar} = A * Rad \quad (3.2)$$

Όπου A: η επιφάνεια του συλλέκτη σε (m²)

Rad: η ηλιακή ακτινοβολία σε (kWh)

Τα πρώτα φωτοβολταϊκά, που σχεδιάστηκαν τον 19^ο αιώνα, δεν είχαν παρά 1-2% απόδοση, ενώ το 1954 τα εργαστήρια Bell Laboratories δημιούργησαν τα πρώτα Φ/Β στοιχεία πυριτίου με απόδοση 6%. Στην πορεία του χρόνου όλο και αυξάνεται ο βαθμός απόδοσης. Η αύξηση της απόδοσης έστω και κατά μια ποσοστιαία μονάδα θεωρείται επίτευγμα στην τεχνολογία των φωτοβολταϊκών.

Στην σημερινή εποχή, τα λεγόμενα μονοκρυσταλλικά στοιχεία έχουν την μεγαλύτερη απόδοση καθώς μετατρέπουν έως και το 17% της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρισμό.

Τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία έχουν ελαφρώς χαμηλότερη απόδοση (13%-15%), είναι όμως φθηνότερα από τα μονοκρυσταλλικά. Υπάρχουν και τα λεγόμενα «άμορφα» που αποτελούνται από μια ενιαία επιφάνεια κι όχι από διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά στοιχεία όπως τα προηγούμενα. Αυτά έχουν χαμηλότερη απόδοση (5%-10%) αλλά είναι τα οικονομικότερα. Χρειάζονται απλώς μεγαλύτερη επιφάνεια για να δώσουν την ίδια ισχύ με τα μονοκρυσταλλικά ή τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά.

Όμως ο τυπικός βαθμός απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, συγκρινόμενος με την απόδοση άλλου συστήματος (συμβατικού, αιολικού, υδροηλεκτρικού κ.λ.π.) παραμένει ακόμη αρκετά χαμηλός. Αυτό σημαίνει ότι το φωτοβολταϊκό σύστημα καταλαμβάνει μεγάλη επιφάνεια προκειμένου να αποδώσει την επιθυμητή ηλεκτρική ισχύ. Ωστόσο, η απόδοση ενός δεδομένου συστήματος μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά με την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών σε ηλιοστάτη [3.6].

3.5 Συντήρηση Φ/Β συστημάτων

Τα Φ/Β συστήματα είναι πολυσυναρτησιακά, το οποίο δεν σημαίνει μόνο εύκολη μεταφορά και γρήγορη εγκατάσταση, αλλά επιτρέπει επίσης την εύκολη επέκτασή τους εάν αυξηθούν οι απαιτήσεις ισχύος.

Ο εξοπλισμός ηλεκτροπαραγωγής των Φ/Β δεν διαθέτει κινούμενα μέρη, το οποίο γενικά περιορίζει τις απαιτήσεις για συντήρηση στο ελάχιστο και οδηγεί σε μακρούς χρόνους λειτουργίας. Καθαυτά τα πλαίσια συνήθως λειτουργούν για είκοσι περίπου έτη και οι απαιτήσεις τους περιορίζονται στον περιστασιακό καθαρισμό τους ώστε να αφαιρούνται οι επικαθίσεις ρύπων. Η πλειοψηφία των άλλων συνιστωσών, συχνά καλούμενες και εξοπλισμός εξισορρόπησης (Balance of System. Bos), χρήζουν συντήρησης κάθε δέκα ή περισσότερα έτη, εάν ακολουθούνται απλά μέτρα προληπτικής συντήρησης.

Οι μπαταρίες που απαιτούνται συνήθως στις περισσότερες εκτός δικτύου εφαρμογές εκτός από την άντληση ύδατος, αποτελούν την περίοδο αυτή το αδύνατο σημείο των Φ/Β συστημάτων και εν γένει χρειάζονται αντικατάσταση κάθε πέντε περίπου χρόνια.

Είναι σημαντικό οι μπαταρίες, αλλά και όλες οι συνιστώσες του συστήματος, να είναι αποδεκτής ποιότητας. Κατά το παρελθόν τα Φ/Β συστήματα έχουν αποτύχει για τεχνικούς λόγους κυρίως εξαιτίας του ελλιπούς σχεδιασμού του συστήματος ή σε ανεπιτυχή επιλογή των συνιστωσών BOS, παρά σε αστοχία ενός Φ/Β πλαισίου. Ως εκ τούτου, αξιόλογες ερευνητικές προσπάθειες διεθνώς στοχεύουν αυτή τη στιγμή στη βελτίωση της απόδοσης των συνιστωσών BOS [3.7].

3.6 Κλίση των Φ/Β πάνελ

Είναι πολύ βασικό να τοποθετούμε τα φωτοβολταϊκά πάνελ με τη σωστή κλίση ως προς το έδαφος και τον ήλιο. Οι διαφορές στην παραγωγή ρεύματος είναι πολύ σημαντικές σε κάθε διαφορετική κλίση. Το ιδανικό είναι να πέφτουν οι ακτίνες του ήλιου κάθετα πάνω στα φωτοβολταϊκά στοιχεία του πάνελ. Μικρές αποκλίσεις από

αυτή τη γωνία είναι αναπόφευκτες αφού δεν μπορούμε να προσανατολίζουμε χειροκίνητα το πάνελ κάθε μέρα αλλά και κάθε ώρα της ημέρας.

Ένα πλαίσιο το οποίο φέρεται κάθετα στις ακτίνες του ήλιου λαμβάνει περισσότερο φως από ένα άλλο που δεν είναι προσανατολισμένο προς τον ήλιο. Η πορεία του ήλιου στον ουρανό αλλάζει τόσο με την ώρα της ημέρας όσο και με την ημέρα του έτους. Αυτό σημαίνει ότι, για να παράγει ένα πλαίσιο τη μέγιστη ποσότητα ενέργειας πρέπει να είναι σε θέση να περιστραφεί για να ακολουθήσει την τροχιά του ήλιου. Τα σταθερά πλαίσια τοποθετούνται ώστε να αντικρίζουν τον ισημερινό υπό μια ορισμένη γωνία και δεν κινούνται. Αν και τα πλαίσια αυτά δεν μπορούν να παράγουν τόση ισχύ όση τα πλαίσια με παρακολούθηση της τροχιάς, έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι πιο οικονομικά και συντηρούνται ευκολότερα. Η πλειοψηφία των πλαισίων είναι σταθερά.

Σε μερικές περιπτώσεις, τα σταθερά πλαίσια ρυθμίζονται χειροκίνητα, Αυτό μπορεί να γίνει μερικές φορές το χρόνο ώστε να ληφθούν υπόψη οι εποχιακές αλλαγές της πορείας του ήλιου ή ενίοτε, μερικές φορές την ημέρα. Με τη χειροκίνητη ρύθμιση των πλαισίων μπορεί να προληφθεί ένα σημαντικό μέρος του φωτός που θα συλλεγόταν μέσω ενός συστήματος παρακολούθησης. Τα συστήματα αυτά μπορούν σχεδόν να διπλασιάσουν την παραγωγή μιας συστοιχίας ενίοτε όμως απαιτείται προσεκτική ανάλυση για να προσδιοριστεί εάν το αυξημένο κόστος και η μηχανική πολυπλοκότητα της χρήσης ενός τροchioδεικτικού συστήματος είναι συμφέρουσα.

Ένας πρακτικός τρόπος που μπορεί να θυμάται ο κάθε ένας χωρίς να αναφέρουμε πολύπλοκους υπολογισμούς είναι ο εξής:

Ξεκινάμε με χαμηλή κλίση (~25 μοίρες) το καλοκαίρι και ανεβάζουμε την κλίση όσο χειμωνιάζει, με μέγιστη κλίση τις 60 μοίρες τα Χριστούγεννα). Η κλίση αναφέρεται στη γωνία που σχηματίζει το πάνελ με το έδαφος.

Η αλλαγή κλίσης μπορεί να γίνεται κάθε αλλαγή εποχής. Εναλλακτικά, μπορεί κάποιος να επιλέξει μια κλίση κατάλληλη για την εποχή που χρησιμοποιείται το σύστημα (για παράδειγμα κάποιο σύστημα που χρησιμοποιείται μόνο καλοκαιρινούς μήνες θα έχει μια κλίση μόνιμα στις 30 περίπου μοίρες).

Στην παρακολούθηση τροχιάς μονού άξονα τα πλαίσια κινούνται κατά μήκος ενός άξονα για να ακολουθούν την πορεία του ήλιου. Σχεδόν πάντα ακολουθείται η μεταβαλλόμενη ανύψωση του ήλιου στον ουρανό, αντί της κίνησης του από ανατολή προς δύση, Στην παρακολούθηση τροχιάς διπλού άξονα τα πλαίσια κινούνται κατά μήκος δύο αξόνων. Μερικές συστοιχίες, όπως αυτές με συγκεντρωτικές κυψέλες, απαιτούν παρακολούθηση της τροχιάς σε δύο άξονες, επειδή οι κυψέλες χρησιμοποιούν μόνο την άμεση ακτινοβολία και η απόδοσή τους μειώνεται σημαντικά εάν δεν είναι ακριβώς κάθετες στις ακτίνες του ήλιου [3.8].



Εικόνα 3.14: Κλίση φωτοβολταϊκών πάνελ [3.5]

3.7 Ποσότητα ρεύματος που παράγει το Φ/Β

Ένα φωτοβολταϊκό θα παράγει κάθε μέρα την ονομαστική ισχύ του επί 5 φορές το καλοκαίρι και επί 3,5 φορές το χειμώνα. Έτσι, από ένα φωτοβολταϊκό 100Wr μπορούμε να πάρουμε 500 Watt/h (δηλ. 0,5 KWh) το καλοκαίρι και περίπου 350 Watt/h(δηλ. 0,35 KWh) το χειμώνα, ανά ημέρα και κατά μέσο όρο.

Δηλαδή το χειμώνα, δεν θα παράγει 350 Watt/h κάθε μέρα, αλλά αν διαιρέσουμε την συνολική μηνιαία του παραγωγή σε KWh (π.χ τον Δεκέμβριο) διά 31,θα μας δώσει έναν αριθμό κοντά 0,35 KWh.

Ανά 100 Watt/ρ φωτοβολταϊκών, η συνολική ετήσια παραγωγή σε βατόρες (Wh) θα είναι από 110000 Wh (βόρεια Ελλάδα) έως 140000 Wh (νότια Ελλάδα).Έτσι ένα πάνελ 100 Wr θα παράγει από 110 kWh έως 140 kWh το χρόνο, ανάλογα με την περιοχή στην οποία θα εγκατασταθεί [3.9].

3.8 Αυτόνομα Φ/Β συστήματα

Τα αυτόνομα Φ/Β (off-grid) είναι συστήματα ηλεκτροδότησης με την βοήθεια της ηλιακής ενέργειας και δεν απαιτούν διασύνδεση με το δημόσιο δίκτυο (π.χ ΔΕΗ) για να λειτουργήσουν.

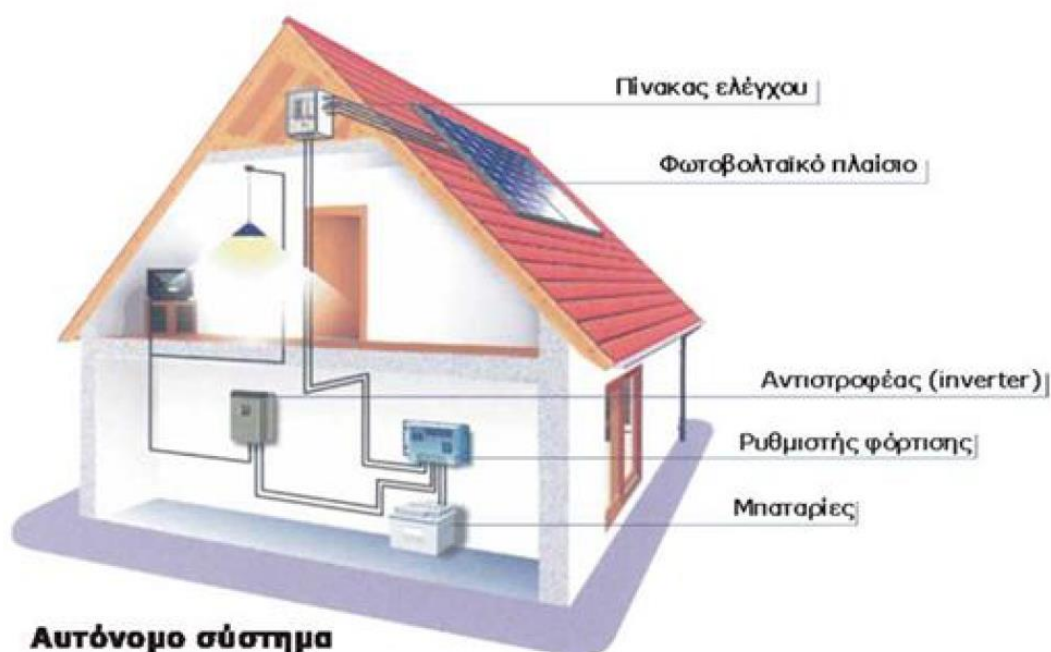
Τα αυτόνομα συστήματα πέρα από την ηλιακή ενέργεια μπορούν να εκμεταλλευτούν και την αιολική οπότε ονομάζονται αυτόνομα υβριδικά συστήματα. Συνήθως τα αυτόνομα συστήματα περιλαμβάνουν μπαταρίες (συσσωρευτές) και ονομάζονται αυτόνομα συστήματα με αποθήκευση. Σε αυτά τα συστήματα κατά την διάρκεια ανυπαρξίας ενέργειας από ήλιο ή άνεμο το φορτίο τροφοδοτείται μέσω των συσσωρευτών. Υπάρχουν και συστήματα απευθείας τροφοδότησης του φορτίου χωρίς συσσωρευτές με το μειονέκτημα της χρήσης τους μόνο όσο υπάρχει ηλιοφάνεια ή ανεμόπτωση και ονομάζονται αυτόνομα συστήματα χωρίς αποθήκευση.

Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου δεν είναι δυνατή η ηλεκτροδότηση από το δίκτυο της ΔΕΗ. Η μελέτη και σχεδίαση ενός τέτοιου συστήματος περιλαμβάνει ένα πλήθος παραμέτρων όπως η παραγόμενη ενέργεια από την φωτοβολταϊκή εγκατάσταση, η καταναλισκόμενη ενέργεια από την εγκατάσταση, η αυτονομία της εγκατάστασης, και η μεγιστοποίηση του χρόνου ζωής των μπαταριών.

Ο σχεδιασμός ενός τέτοιου συστήματος πρέπει να απαντήσει σε δύο ερωτήματα. Πρώτον, ποιες είναι οι αναμενόμενες καταναλώσεις και δεύτερον πότε συμβαίνουν αυτές. Αυτά τα δύο ερωτήματα μας βοηθάνε να επιλέξουμε το μέγεθος της φωτοβολταϊκής γεννήτριας και το μέγεθος των μπαταριών εφεδρείας.

Τις ώρες ηλιοφάνειας, η ηλεκτρική γεννήτρια πρέπει να μπορεί να καλύψει τις απαιτούμενες καταναλώσεις και ταυτόχρονα να μπορεί να φορτίσει τις μπαταρίες του συστήματος. Τις ώρες της νύχτας οι μπαταρίες πρέπει να επαρκούν για τις ανάγκες του σπιτιού αλλά ταυτόχρονα θα πρέπει να προβλεφθεί το ημερήσιο ποσοστό φόρτισης εκφόρτισης.

Η πολυπλοκότητα του συστήματος απαιτεί μηχανήματα διαχείρισης της ηλεκτρικής ενέργειας, ειδικό χώρο τοποθέτησης των μπαταριών όπου θα αερίζεται επαρκώς χειμώνα-καλοκαίρι και δεν θα αυξάνει η θερμοκρασία του σε επικίνδυνα επίπεδα [3.10].



Εικόνα 3.15: Αυτόνομο Φ/Β σύστημα [3.17]

3.9 Αποθήκευση ενέργειας στα αυτόνομα Φ/Β συστήματα

Ο σχεδιασμός ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος (stand-alone PV system) στηρίζεται στη μέση ηλεκτρική κατανάλωση του συστήματος και στη μέση ηλιακή ακτινοβολία που δέχονται οι συλλέκτες στην επιλεγμένη κρίσιμη περίοδο

λειτουργίας του (π.χ. ένα θερινό ή χειμερινό μήνα, μια εποχή του έτους ή και ολόκληρο το έτος). Όμως οι μέσες τιμές είναι στατιστικά μεγέθη που μπορεί να αποκλίνουν σημαντικά από ενδεχόμενες πραγματικές συνθήκες .

Επίσης, ένα αξιόπιστο σύστημα πρέπει να παρέχει επαρκή ηλεκτρική ενέργεια για την ικανοποίηση της ζήτησης και στα χρονικά διαστήματα που δεν υπάρχει αντίστοιχη ηλιακή ακτινοβολία. Προφανώς, τα διαστήματα αυτά είναι κυρίως οι νυχτερινές ώρες, οι συννεφιασμένες ημέρες και οι χρονικές αιχμές τις κατανάλωσης. Η αυτονομία των συστημάτων αυτών λοιπόν απαιτεί μπαταρίες, στις οποίες θα αποθηκεύεται η ηλεκτρική ενέργεια που θα παράγεται από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και θα χρησιμοποιείται κατά τις βραδινές ώρες ή σε περιόδους όπου η ηλιακή ακτινοβολία δε θα είναι επαρκής για να καλύψει τις ανάγκες του συστήματος. Η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που πρέπει να προνοείται να αποθηκεύεται, εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες και απαιτήσεις και κυρίως το μέγιστο πλήθος των πιθανών συνεχών ημερών συννεφιάς, τις αιχμές της κατανάλωσης και το βαθμό αξιοπιστίας που θα πρέπει να παρουσιάζει το σύστημα, σε συνδυασμό με την ύπαρξη ή όχι βοηθητικών ενεργειακών πηγών. Συνήθως από τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα ζητείται να εξασφαλίζουν μια αυτοδυναμία τουλάχιστον 3 έως 10 ημερών περίπου [3.11].

3.10 Οι ενεργειακές ανάγκες που μπορούν να καλυφθούν από ένα αυτόνομο Φ/Β σύστημα

Για λόγους απόδοσης και οικονομίας , δεν συνιστάται η χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων για την τροφοδότηση θερμικών ηλεκτρικών συσκευών, όπως κουζίνες, θερμοσίφωνες, ηλεκτρικά καλοριφέρ ή θερμοσυσσωρευτές. Για τις χρήσεις αυτές υπάρχουν πολύ οικονομικότερες λύσεις όπως οι ηλιακοί θερμοσίφωνες, ο γεωθερμικός κλιματισμός, οι κουζίνες ή τα σύγχρονα συστήματα θέρμανσης με βιομάζα, κ.λπ.

Ας πάρουμε το παράδειγμα της θέρμανσης νερού: αν χρησιμοποιήσουμε ηλεκτρικό θερμοσίφωνα που τροφοδοτείται από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα, το ηλιακό φως μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό και κατόπιν από το θερμοσίφωνα σε θερμότητα. Το συνολικό κόστος των δύο αυτών συστημάτων είναι πολύ μεγαλύτερο από έναν ηλιακό θερμοσίφωνα που μετατρέπει απευθείας την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα.

Από την άλλη μεριά, ο φωτισμός με λάμπες εξοικονόμησης και η χρήση ηλεκτρονικών συσκευών (υπολογιστές, ηχητικά συστήματα, ψυγεία, τηλεοράσεις, τηλεπικοινωνίες κ.λ.π) αποτελούν ανάγκες που μπορούν να καλυφθούν εύκολα και οικονομικά με φωτοβολταϊκά [3.12].

3.11 Μπαταρίες αποθήκευσης ενέργειας

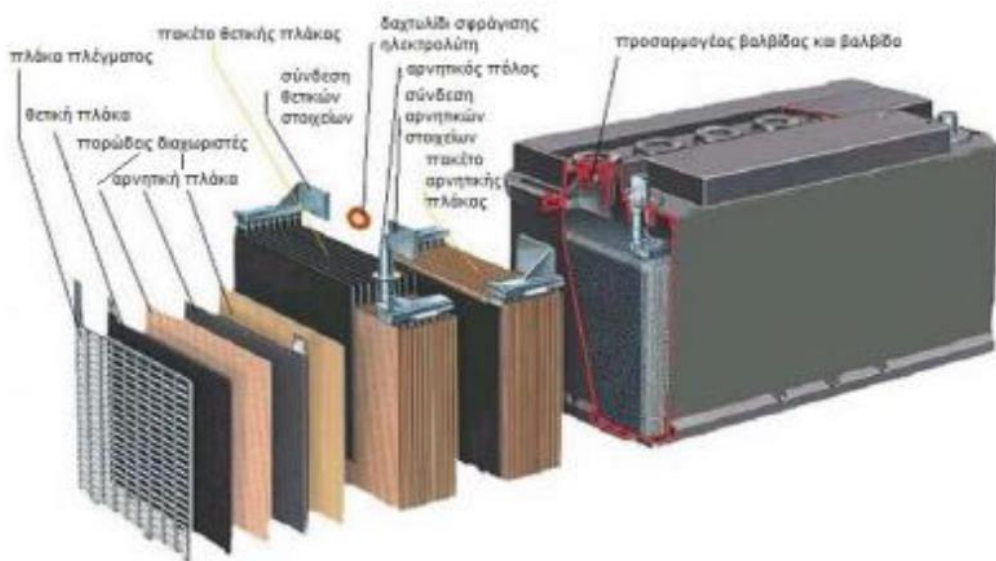
Οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται στα φωτοβολταϊκά συστήματα ανήκουν στην κατηγορία των επαναφορτιζόμενων μπαταριών. Μερικά παραδείγματα επαναφορτιζόμενων αποθηκευτικών συστημάτων είναι:

- Μολύβδου οξέος (Lead acid)
- Νικελίου καδμίου (Nickel cadmium)
- Νικελίου σιδήρου (Nickel iron)
- Υδριδικές νικελίου (Nickel hydride)
- Ιόντων λιθίου (Li-on) [3.13]

Στα αυτόνομα δίκτυα χρησιμοποιούνται αποκλειστικά μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης, οι οποίες διακρίνονται σε:

- ❖ Μπαταρίες ανοιχτού τύπου με υγρά. Σε αυτές ξεβιδώνοντας τα πώματα μπορούμε εύκολα να παρακολουθούμε την περιεκτικότητα σε ηλεκτρολύτη και να μετράμε την πυκνότητα του με πυκνόμετρο. Ο ρυθμιστής φόρτισης αναζωογονεί (equalization) την μπαταρία μια φορά τον μήνα παρέχοντας μεγάλη ποσότητα ρεύματος για μερικές ώρες. Με το equalization μειώνουμε τις πιθανότητες δημιουργίας κρυστάλλων στην επιφάνεια της πλάκας μολύβδου και της θείωσης, παράγοντες που μειώνουν την διάρκεια ζωής των μπαταριών. Κατά την φόρτιση και αποφόρτιση εκλύουν αέρια γι' αυτό τοποθετούνται σε χώρο που αερίζεται και η συντήρησή τους γίνεται τουλάχιστον ανά εξάμηνο καθώς τα υγρά των μπαταριών πρέπει να καλύπτουν τα στοιχεία (πλάκες) μολύβδου.
- ❖ Μπαταρίες κλειστού τύπου. Αυτές είναι ιδανικές όταν δεν έχουμε τον χρόνο να τις παρακολουθήσουμε καθώς δεν χρειάζονται συντήρηση. Το equalization δεν είναι δυνατό γιατί οι μπαταρίες είναι κλειστού τύπου και υπάρχει κίνδυνος ατυχήματος. Επίσης τα αέρια ανακυκλώνονται μέσα στην μπαταρία σε αντίθεση με τις μπαταρίες ανοιχτού τύπου [3.14].

Στην κατηγορία των μπαταριών κλειστού τύπου ανήκουν και μπαταρίες τεχνολογίας AGM και GEL οι οποίες κατασκευάζονται στα 2V, 6V, 8V, και 12V και με διαφορετικές χωρητικότητες ώστε να μπορούμε να τις συνδυάσουμε με τις δικές μας ανάγκες και απαιτήσεις. Αυτές οι μπαταρίες αποτελούν προϊόντα συσσωρευτών τελευταίας τεχνολογίας με εξαιρετική αντοχή σε κύκλους φόρτισης-εκφόρτισης και κατά συνέπεια στην συνολική απόδοση του συστήματος [3.15].



Εικόνα 3.16: Αποτελούμενα μέρη μπαταρίας φ/β συστημάτων [3.15]

Οι κύριες λειτουργίες που μια μπαταρία επιτελεί σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα είναι οι κάτωθι:

- ❖ Δρα σαν ένα βοηθητικό ποσό ενέργειας για να εξαλείψει την αναντιστοιχία μεταξύ της διαθέσιμης από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία ισχύος και της απαιτούμενης από το φορτίο ισχύος.
- ❖ Η μπαταρία παρέχει ένα αποθεματικό ενέργειας (αυτονομία του συστήματος) το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια μερικών ημερών πολύ συνεφιασμένου καιρού, ή σε κάποια περίπτωση ανάγκης εάν παρουσιαστεί βλάβη σε κάποιο τμήμα του φωτοβολταϊκού συστήματος.
- ❖ Αποτρέπει μεγάλες διακυμάνσεις τάσης.

Ενώ οι απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιούν είναι οι εξής:

- ❖ Υψηλή ενεργειακή απόδοση
- ❖ Μεγάλη διάρκεια ζωής (σε χρόνια)
- ❖ Χαμηλό κόστος
- ❖ Καλή αποδοτικότητα φόρτισης ακόμα και σε πολύ μικρά ρεύματα
- ❖ Χαμηλός ρυθμός αυτοεκφόρτισης
- ❖ Μικρές απαιτήσεις συντήρησης
- ❖ Υψηλή διαθεσιμότητα παγκοσμίως
- ❖ Εύκολη εκτίμηση της κατάστασης φόρτισης
- ❖ Χαμηλή έκθεση σε ακατάλληλες συνθήκες
- ❖ Εύκολα ανακυκλώσιμη
- ❖ Χαμηλή τοξικότητα των υλικών
- ❖ Ασφαλής συμπεριφορά σε περίπτωση υπερφόρτισης ή βαθιάς εκφόρτισης
- ❖ Εύκολη επεκτασιμότητα τάσης και χωρητικότητας μέσω συνδέσεων σε σειρά και παράλληλα.

- ❖ Μικρό χάσμα τάσης μεταξύ φόρτισης και εκφόρτισης (επιτρέπει τη σύνδεση φορτίων κατευθείαν στη μπαταρία)
- ❖ Ικανότητα γρήγορης φόρτισης
- ❖ Κανένα φαινόμενο μνήμης
- ❖ Χαμηλές εκρηκτικές δυνατότητες
- ❖ Υψηλή αξιοπιστία στη λειτουργία – πολύς χρόνος μεταξύ αστοχιών [3.16]

3.11.1 Ρυθμός φόρτισης/εκφόρτισης

Οι ρυθμοί εκφόρτισης και φόρτισης είναι βολικές κλίμακες για τη σύγκριση ρευμάτων στα οποία φορτίζονται οι μπαταρίες, ανεξάρτητα από τη χωρητικότητά τους. Εκφράζονται ως ένας αριθμός ωρών, π.χ. ο ρυθμός 10 ωρών, 240 ωρών κλπ. Το ρεύμα στο οποίο αντιστοιχούν είναι η κατάλληλη ολική χωρητικότητα εκφόρτισης διαιρεμένη με τον αριθμό των ωρών: $\text{Ρυθμός} = \frac{\text{Χωρητικότητα (Ah)}}{\text{διά χρόνος (h)}}$
Για παράδειγμα, C/10 (ρυθμός 10 ωρών) είναι ένα ρεύμα που ισούται με την ονομαστική χωρητικότητα σε Ah διαιρεμένη δια 10 [3.12].

3.11.2 Στάθμη φόρτισης

Η στάθμη φόρτισης ή κατάσταση φόρτισης (state of charge – SOC) μας πληροφορεί για τη χωρητικότητα που μπορεί να εκφορτιστεί μια μπαταρία σε μια συγκεκριμένη στιγμή και εκφράζεται μέσω ποσοστού. Εκατό τοις εκατό στάθμη φόρτισης σημαίνει ότι η μπαταρία είναι πλήρως φορτισμένη, ενώ 0% στάθμη φόρτισης σημαίνει ότι η ονομαστική χωρητικότητα έχει εκφορτιστεί [3.12].

3.11.3 Βάθος εκφόρτισης

Το βάθος εκφόρτισης (depth of discharge – DOD) είναι το κλάσμα ή το ποσοστό της χωρητικότητας που έχει αφαιρεθεί από την πλήρως φορτισμένη μπαταρία [3.12].

Στάθμη φόρτισης (SOC)	Βάθος εκφόρτισης (DOD)
100%	0%
75%	25%
50%	50%
25%	75%
0%	100%

Εικόνα 3.17: Συσχετισμός μεταξύ στάθμης φόρτισης και βάθους εκφόρτισης [3.12]

3.11.4 Κύκλος/κύκλος ζωής

Με τον όρο κύκλος, περιγράφουμε την επαναλαμβανόμενη διαδικασία εκφόρτισης και φόρτισης που συμβαίνει σε μια μπαταρία εν λειτουργία. Ένας κύκλος ισοδυναμεί με μια εκφόρτιση που ακολουθείται από μια φόρτιση. Ο κύκλος ζωής αποτελεί ένα χρήσιμο μέτρο που μας πληροφορεί για τον αριθμό των κύκλων που μια μπαταρία μπορεί να δώσει κατά τη διάρκεια της χρήσιμης ζωής της. Συνήθως αντιστοιχεί στον αριθμό των κύκλων εκφόρτισης για ένα συγκεκριμένο DOD που η μπαταρία μπορεί

να πραγματοποιήσει πριν η διαθέσιμη χωρητικότητά της μειωθεί σε ένα συγκεκριμένο ποσοστό (περίπου 80%) της αρχικής χωρητικότητας [3.12].

3.11.5 Αποδοτικότητα

Η αποδοτικότητα αμπερ – ωρών (ηAh) ορίζεται ως ο λόγος των αμπερ – ωρών που εκφορτίζονται από τη μπαταρία προς τις αμπερ – ώρες που φορτίζονται στην μπαταρία μέσα σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο (τυπικές περίοδοι είναι ένας μήνας ή ένας χρόνος ή μια περίοδος ανάμεσα σε δύο διαδικασίες πλήρους φόρτισης). Συχνά, αντί για την αποδοτικότητα αμπερ – ωρών χρησιμοποιείται ο παράγοντας φόρτισης, ο οποίος ορίζεται ως $1/\eta Ah$. Για μια βιώσιμη λειτουργία μπαταρίας είναι απαραίτητοι παράγοντες φόρτισης μεγαλύτεροι της μονάδας [3.12].

3.11.6 Χρόνος ζωής

Ο χρόνος ζωής μιας μπαταρίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις συνθήκες λειτουργίας και από τις στρατηγικές ελέγχου. Ο όρος χρόνος ζωής, έχει διαφορετική σημασία για τις πρωτογενείς και για τις δευτερογενείς μπαταρίες. Ο χρόνος ζωής στις πρωτογενείς μπαταρίες περιορίζεται από την αυτοεκφόρτισή τους και ορίζεται συνήθως σαν ο χρόνος που χρειάζεται η μπαταρία για να φτάσει το 90% της αρχικής της χωρητικότητας. Αντίθετα, ο χρόνος ζωής των δευτερογενών μπαταριών ορίζεται σαν τη διάρκεια ικανοποιητικής επίδοσης που μετράται σε χρόνια (ημερολογιακός χρόνος ζωής) ή σαν τον αριθμό των κύκλων φόρτισης/εκφόρτισης (κύκλος ζωής). Το κριτήριο τέλους ζωής για τις δευτερογενείς μπαταρίες καθορίζεται συνήθως από το χρόνο που απαιτείται για να φτάσει η μπαταρία το 80% της αρχικής της χωρητικότητας. Ο αριθμός των κύκλων φόρτισης/εκφόρτισης τυπικά αυξάνεται καθώς μειώνεται το DOD. Και οι δύο τύποι χρόνου ζωής των δευτερογενών μπαταριών, επηρεάζονται από έναν αριθμό συνθηκών, μεταξύ αυτών από τη θερμοκρασία κατά τη φόρτιση και την εκφόρτιση, το DOD, το ρεύμα φόρτισης και εκφόρτισης, τη μέθοδο ελέγχου της φόρτισης, την έκθεση σε υπερφόρτιση και/ή υπερεκφόρτιση και τη διάρκεια και τις συνθήκες αποθήκευσης [3.12].

3.12 Διασυνδεδεμένα Φ/Β συστήματα

Στην περίπτωση αυτή η ηλεκτρική ενέργεια τροφοδοτείται στο δίκτυο. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με δύο διαφορετικούς τύπους συστημάτων:

- Οι αυτοπαραγωγοί μπορούν να χρησιμοποιήσουν για την ίδια κατανάλωσή τους μικρά διαδραστικά Φ/Β συστημάτων, στα οποία η ηλεκτρική ενέργεια τροφοδοτείται στο δίκτυο, ενώ σε περιόδους έλλειψης (π.χ τη νύχτα) καταναλώνεται ενέργεια από το δίκτυο.
- Στους εμπορικής κλίμακας κεντρικούς σταθμούς με πεδία Φ/Β συστοιχιών, τους οποίους διαχειρίζονται οι εταιρείες ηλεκτρισμού όπως και τις άλλες εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής, όλη η παραγωγή ΣΡ του πεδίου των συστοιχιών, που γενικά είναι της τάξης των MW, μετατρέπεται σε ΕΡ και στη συνέχεια τροφοδοτείται στο κεντρικό δίκτυο, απ' όπου κατόπιν διανέμεται στους πελάτες.

Σε ένα διασυνδεδεμένο σύστημα το δίκτυο ενεργεί όπως μια μπαταρία με απεριόριστη ικανότητα αποθήκευσης. Επομένως, η συνολική αποδοτικότητα ενός διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος θα είναι καλύτερη από την αποδοτικότητα ενός αυτόνομου συστήματος αφού, λαμβάνοντας υπόψη ότι πρακτικά δεν υπάρχει όριο στην ικανότητα αποθήκευσης, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί πάντοτε να αποθηκεύεται, ενώ στις αυτόνομες εφαρμογές οι μπαταρίες θα είναι ενίοτε πλήρως φορτισμένες οπότε η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια θα πρέπει να αποβληθεί.

Σε αυτού του είδους το σύστημα πουλάει κανείς το ηλιακό ρεύμα στο δίκτυο έναντι μιας ορισμένης από το νόμο τιμής και συνεχίζει να αγοράζει ρεύμα από τη ΔΕΗ όπως και σήμερα για να καλύψει τυχόν ανάγκες του. Έχει δηλαδή ένα διπλό μετρητή για την καταμέτρηση της εισερχόμενης και εξερχόμενης ενέργειας [3.10].

Στο Διασυνδεδεμένο Δίκτυο επιτρέπεται ο συμψηφισμός ενέργειας που εγχέεται από σταθμό παραγωγής αυτοπαραγωγού, ο οποίος συνδέεται στο Δίκτυο Μέσης Τάσης (ΜΤ), με ενέργεια που απορροφάται από συμψηφιζόμενες καταναλώσεις που συνδέονται στο Δίκτυο Χαμηλής Τάσης (ΧΤ). Στην περίπτωση αυτή εφαρμόζεται συντελεστής αναγωγής της εγχυθείσας ενέργειας, στον υπολογισμό του οποίου συνεκτιμώνται οι τεχνικές απώλειες επί του δικτύου ΧΤ.

Η εγχυθείσα στο Δίκτυο ΜΤ ενέργεια από τον σταθμό παραγωγής του αυτοπαραγωγού θα πολλαπλασιάζεται με το συντελεστή αναγωγής (ΣΑ), ο οποίος δίνεται από την σχέση:

$$\Sigma A = 1 - \Sigma A_{\pi_X T} \quad (3.3)$$

όπου $\Sigma A_{\pi_X T}$: είναι ο συντελεστής απωλειών του δικτύου ΧΤ, το γινόμενο του οποίου με τη συνολική εισερχόμενη στο Δίκτυο ΧΤ ποσότητα ενέργειας, αποδίδει τις απώλειες ενέργειας του δικτύου ΧΤ.

Ο συντελεστής απωλειών δίνεται από τη σχέση:

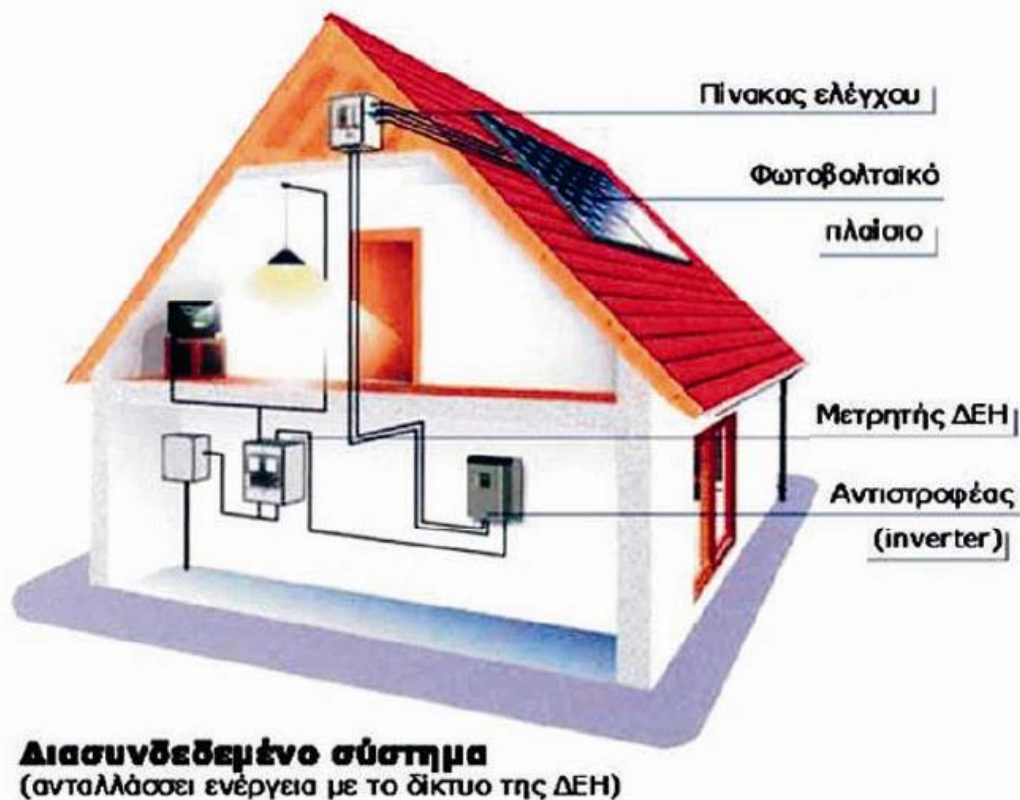
$$\Sigma A_{\pi_X T} = \frac{\Sigma P A_{X T}}{1 + \Sigma P A_{X T}} \quad (3.4)$$

όπου $\Sigma P A_{X T}$: είναι ο εκάστοτε συντελεστής προσαύξησης λόγω απωλειών στο Δίκτυο ΧΤ.

Μια ενδεικτική τιμή για τον συντελεστή απωλειών του δικτύου ΧΤ ($\Sigma P A_{X T}$) είναι 4,34% (τιμή από μετρήσεις του 2018 που εφαρμόζεται για το 2019), Συνεπώς η εγχυθείσα στο Δίκτυο ΜΤ ενέργεια από τον σταθμό παραγωγής του αυτοπαραγωγού θα πολλαπλασιάζεται με το συντελεστή αναγωγής (ΣΑ) που είναι:

$$\Sigma A = 1 - \Sigma A_{\pi_X T} = 1 - 0,0434 = 0,9566 = 95,66\% \quad [3.21].$$

Τέλος τα διασυνδεδεμένα συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν σε οικόπεδα, αγροτεμάχια και υφιστάμενα κτίρια. Ανάλογα με το μέγεθος μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης και την τοποθεσία εγκατάστασης, προβλέπεται διαφορετική διαδικασία αδειοδότησης και όροι σύνδεσης με τη ΔΕΗ [3.10].

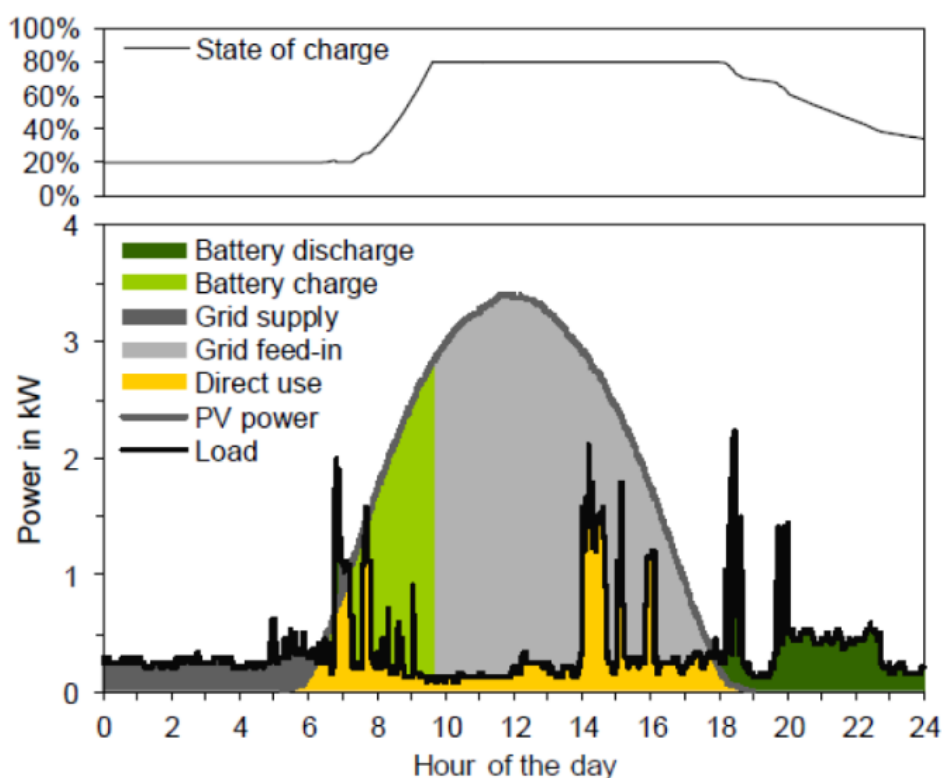


Εικόνα 3.18: Διασυνδεδεμένο Φ/Β σύστημα [3.17]

3.13 Αποθήκευση ενέργειας στα διασυνδεδεμένα Φ/Β συστήματα

Σε αυτή την περίπτωση το αποθηκευτικό σύστημα συμπεριφέρεται σαν ένα βοηθητικό ποσό ενέργειας για να εξαλείψει την αναντιστοιχία μεταξύ της διαθέσιμης από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία ισχύος και της απαιτούμενης από το φορτίο ισχύος. Ακόμη, η ισχύς που παράγει ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο ή συστοιχία κάθε στιγμή ποικίλει ανάλογα με την ποσότητα ακτινοβολίας που προσκρούει σε αυτή (και είναι μηδέν το βράδυ). Στα περισσότερα ηλεκτρικά φορτία χρειάζεται να αποδίδεται ένα σταθερό ποσό ισχύος. Η μπαταρία παρέχει ισχύ όταν η φωτοβολταϊκή συστοιχία δεν παράγει τίποτα κατά τη διάρκεια της νύχτας ή όταν παράγει λιγότερη ισχύ από όση απαιτεί το ηλεκτρικό φορτίο κατά τη διάρκεια της ημέρας. Επίσης, η μπαταρία, απορροφά την περίσσεια ισχύος από την φωτοβολταϊκή συστοιχία όταν αυτή παράγει περισσότερη ισχύ από ότι το φορτίο απαιτεί, αυξάνοντας ουσιαστικά τον ρυθμό της ιδιοκατανάλωσης. Για να γίνει πιο αντιληπτός ο τρόπος αξιοποίησης των αποθηκευτικών συστημάτων στα διασυνδεδεμένα φ/β συστήματα παρουσιάζεται το παράδειγμα του σχήματος 3.1, και το οποίο αφορά το ισοζύγιο ισχύος (σε kW) στη χρονική διάρκεια μίας ημέρας για έναν οικιακό καταναλωτή με φ/β σύστημα εγκατεστημένης ισχύος 4 kWp και μπαταρία χωρητικότητας 4 kWh.

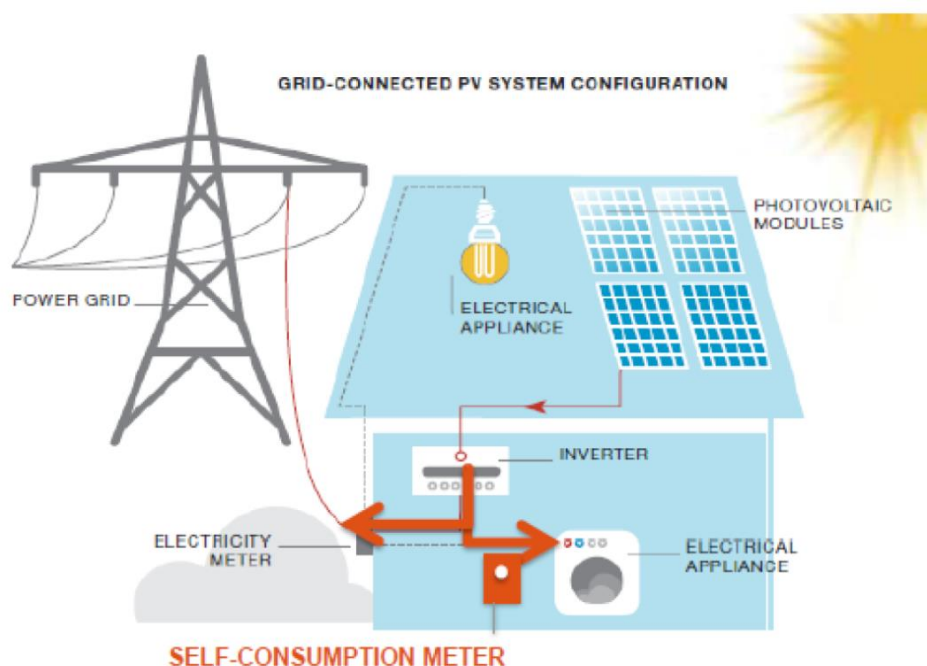
Το πλεόνασμα της ενέργειας που εμφανίζεται τις πρωινές ώρες, πέρα από το ποσό δηλαδή της ενέργειας που ιδιοκαταναλώνεται επιτόπου (Direct use), αποθηκεύεται στους ηλεκτρικούς συσσωρευτές (Battery charge), όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.1, αυξάνοντας την ιδιοκατανάλωση και αποτρέποντας την έγχυση μεγάλων ποσοτήτων ισχύος στο δίκτυο. Ωστόσο, η ενέργεια που δεν μπορεί να αποθηκευτεί (λόγω των μέγιστων/ελάχιστων επιτρεπόμενων ορίων της κατάστασης φόρτισης-SOC των μπαταριών) εγχέεται αναγκαστικά στο δίκτυο (Grid feed-in). Μετά τη δύση του ηλίου, το φορτίο καλύπτει τις απαιτήσεις του χρησιμοποιώντας την ενέργεια που είχε αποθηκευτεί στη μπαταρία κατά τη διάρκεια της ημέρας (Battery discharge), επιτυγχάνοντας περαιτέρω αυτονομία αλλά και αποφόρτωση του δικτύου τις ώρες αιχμής του φορτίου. Τις ώρες που η μπαταρία είναι άδεια ή φορτισμένη σε αρκετά μεγάλο ποσοστό, η ενέργεια που χρειάζεται για να καλύψει τις ανάγκες του φορτίου αγοράζεται από το δίκτυο (στην λιανική τιμή) ή αντίστοιχα όταν υπάρχει περίσσεια πωλείται στο δίκτυο (στην εγγυημένη τιμή πώλησης).



Σχήμα 3.1: Το ισοζύγιο ισχύος σε Kw και η κατάσταση φόρτισης (SOC) για ένα διασυνδεδεμένο φ/β σύστημα που τελεί υπό το θεσμό της ιδιοκατανάλωσης (για οικιακό καταναλωτή) στη χρονική διάρκεια μίας ημέρας [3.17].

Φυσικά, αυτή η διαδικασία (δηλαδή η αξιοποίηση των αποθηκευτικών συστημάτων για την αύξηση της ιδιοκατανάλωσης) έχει νόημα μόνο για τα διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα τα οποία λειτουργούν υπό το θεσμό της ιδιοκατανάλωσης (self-consumption) και όπου η ιδιοκαταναλώμενη ενέργεια μετράται σε πραγματικό χρόνο. Αντίθετα, στο θεσμικό πλαίσιο του net-metering το δίκτυο χρησιμοποιείται

σαν έμμεση αποθήκευση ενέργειας, επομένως η χρήση των αποθηκευτικών συστημάτων δεν έχει απολύτως κανένα νόημα [3.17].

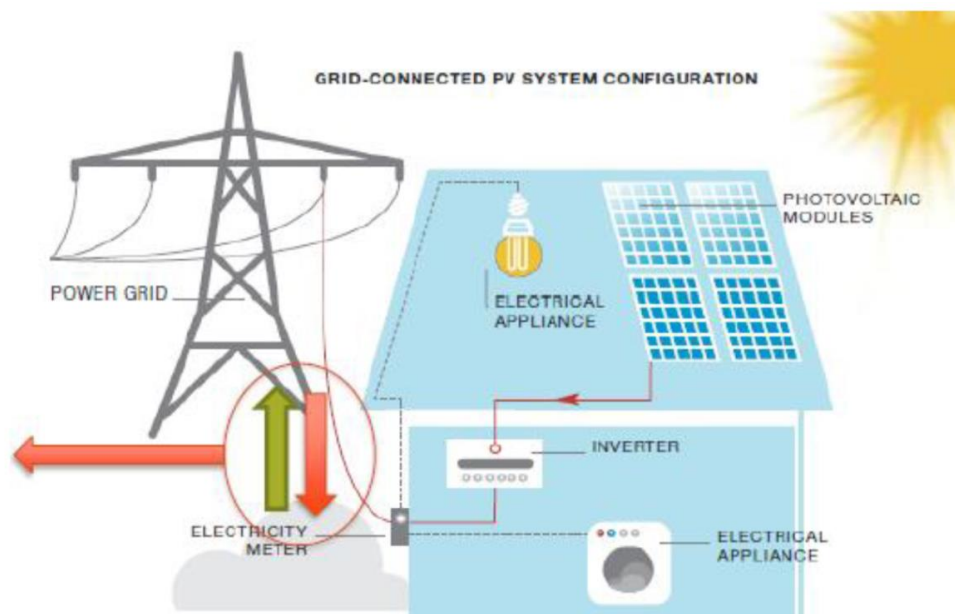


Εικόνα 3.19: Η διαμόρφωση ενός διασυνδεδεμένου φ/β συστήματος που λειτουργεί υπό τον θεσμό της ιδιοκατανάλωσης [3.18]

3.14 Net metering

Ο συμψηφισμός παραγόμενης-καταναλισκόμενης ενέργειας (γνωστός με τον όρο net-metering) αποτελεί ένα από τα εργαλεία προώθησης της αυτοπαραγωγής και ιδιοκατανάλωσης με ΑΠΕ και εφαρμόζεται σε διάφορες χώρες, κυρίως για εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών. Το net-metering επιτρέπει στον καταναλωτή να καλύψει ένα σημαντικό μέρος των ιδιοκαταναλώσεών του, ενώ παράλληλα του δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσει το δίκτυο για έμμεση αποθήκευση της πράσινης ενέργειας [6].

Ο όρος “net” προκύπτει από το γεγονός ότι η χρέωση/πίστωση του καταναλωτή αφορά στη διαφορά μεταξύ καταναλισκόμενης και παραγόμενης ενέργειας σε μία ορισμένη χρονική περίοδο. Η περίοδος αυτή είναι συνήθως ο εκάστοτε κύκλος καταμέτρησης και τιμολόγησης της καταναλισκόμενης ενέργειας (για την Ελλάδα ένα έτος). Αν υπάρχει περίσσεια ενέργειας, αυτή συνήθως δεν χάνεται για τον καταναλωτή αλλά πιστώνεται λογιστικά για μια ορισμένη χρονική περίοδο (συνήθως ένα χρόνο αλλά υπάρχουν και περιπτώσεις που η λογιστική πίστωση γίνεται για 36-48 μήνες) οπότε και γίνεται η τελική εκκαθάριση [3.18].



Εικόνα 3.20: Η διαμόρφωση ενός διασυνδεδεμένου φ/β συστήματος που λειτουργεί υπό τον θεσμό του net-metering [3.18]

3.15 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα Φ/Β συστημάτων

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν αρκετά πλεονεκτήματα με αποτέλεσμα να αυξάνεται συνεχώς η εγκατάσταση και χρήση τους. Μερικά από τα οποία είναι:

- ✓ Μηδενική ρύπανση και πλήρης απουσία αποβλήτων ή άλλων άχρηστων παραπροϊόντων
- ✓ Αθόρυβη λειτουργία
- ✓ Υψηλή αξιοπιστία
- ✓ Ελάχιστες απαιτήσεις επίβλεψης και συντήρησης
- ✓ Αντοχή σε ακραίες καιρικές συνθήκες (ισχυρούς ανέμους, ακραία χαλαζόπτωση κλπ.)
- ✓ Μεγάλη διάρκεια ζωής των ηλιακών στοιχείων (τουλάχιστον 25 χρόνια)
- ✓ Σχετικά απλή μέθοδος κατασκευής των ηλιακών στοιχείων από πρώτες ύλες
- ✓ Δυνατότητα ανεξαρτησίας από τα κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα διανομής για απομακρυσμένες περιοχές (αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα)
- ✓ Μεγάλο εύρος εφαρμογών, όσον αφορά την ισχύ. Από μερικά Watt μέχρι μεγάλους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μερικών MW
- ✓ Δυνατότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας στο δίκτυο ή σε συσσωρευτές
- ✓ Μπορούν να τοποθετηθούν και ενσωματωθούν εύκολα σε κτίρια ή σε ελεύθερα οικόπεδα χωρίς να δημιουργείται οπτική ενόχληση
- ✓ Προσφέρονται για καινοτόμες και δημιουργικές αρχιτεκτονικές εφαρμογές
- ✓ Απευθείας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ακόμη και σε πολύ μικρή κλίμακα

- ✓ Μπορούν να συνδυαστούν και με άλλες πηγές ενέργειας (υβριδικά συστήματα)
- ✓ Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δομικά υλικά παρέχοντας την δυνατότητα για καινοτόμους αρχιτεκτονικούς σχεδιασμούς, καθώς διατίθενται σε ποικιλία χρωμάτων, μεγεθών και σχημάτων



Παρά τα πολλά πλεονεκτήματα και οφέλη που έχει η χρήση των φωτοβολταϊκών υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα, όπως είναι τα παρακάτω:

- ✓ Υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης, το οποίο οφείλεται σχεδόν αποκλειστικά στο υψηλό κόστος κατασκευής των φωτοβολταϊκών στοιχείων και πολύ λιγότερο στο κόστος τις υπόλοιπης φωτοβολταϊκής εγκατάστασης (ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός)
- ✓ Σε εφαρμογές που απαιτείται η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας (αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα), αυτή γίνεται με μη αποδοτικό τρόπο, με περιορισμένες δυνατότητες, ενώ και το κόστος των συσσωρευτών είναι υψηλό.
- ✓ Λόγω της μικρής πυκνότητας της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας, απαιτείται η χρησιμοποίηση μεγάλων σχετικά επιφανειών.
- ✓ Εξάρτηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τις καιρικές συνθήκες, που αποτελούν έναν απρόβλεπτο παράγοντα, επιτρέποντας μόνο εκτιμήσεις σε μεγάλο χρονικό ορίζοντα (συνήθως ετήσια).
- ✓ Τα φ/β πλαίσια παράγουν συνεχή τάση η οποία πρέπει να μετατραπεί σε εναλλασσόμενη (με τη χρήση αντιστροφέα). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια ενέργειας κατά 4-12% [3.19]

3.16 Εφαρμογές Φ/Β τεχνολογίας

Παρά το γεγονός ότι η φ/β τεχνολογία δεν έχει αναπτυχθεί πλήρως και δεν είναι ευρέως διαδεδομένη έχει διάφορες εφαρμογές όπως είναι:

- Ηλεκτροδότηση εξοχικών κατοικιών χαμηλών ηλεκτρικών απαιτήσεων
- Εγκαταστάσεις αφαλάτωσης (σε νησιά) και αντλιοστάσια υδροδότησης
- Φάροι, κεραιές κινητής τηλεφωνίας, κεραιές τηλεόρασης και ραδιοφώνου στην ύπαιθρο
- Αγροτικές γεωτρήσεις, συστήματα ανίχνευσης κινδύνου πυρκαγιάς στα δάση
- Παροχή ισχύος στα συστήματα ασφαλείας και πυρανίχνευσης σε μη ηλεκτροδοτημένους αποθηκευτικούς χώρους.
- Οδικός φωτισμός επαρχιακών περιοχών μακριά από το δίκτυο
- Φόρτιση μπαταριών υψηλής χωρητικότητας (πχ για ηλεκτροκίνητα οχήματα)
- Βοηθητική ηλεκτροδότηση σε πλοία
- Σε εν γένει απομονωμένες εγκαταστάσεις [3.17]

3.17 Κάλυψη των ενεργειακών αναγκών ενός σπιτιού από ένα Φ/Β σύστημα

Το πόσης ισχύος θα είναι το φωτοβολταϊκό σύστημα εξαρτάται μόνο από δύο παραμέτρους. Τη διαθέσιμη επιφάνεια στο κτίριο ή το οικόπεδο για να εγκατασταθούν τα φωτοβολταϊκά και τα χρήματα που είναι διατεθειμένοι να επενδύσουν. Θα μπορούσε π.χ. να μπει ένα σύστημα που να καλύπτει μόλις το 10% των αναγκών (αν υπάρχει λίγος χώρος και χρήματα) ή και να υπερκαλυφθούν πολλές φορές οι ανάγκες αυτές πουλώντας πράσινη ενέργεια στο δίκτυο.

Στην περίπτωση των αυτόνομων εφαρμογών, θα πρέπει να υπάρξει επαφή με μια εταιρία που εγκαθιστά φωτοβολταϊκά, να περιγραφούν οι ανάγκες και το προφίλ της κατανάλωσης ενέργειας που έχει και να παρθεί μια προσφορά. Κι αυτό γιατί, το ίδιο σπίτι θα έχει πολύ διαφορετικές ενεργειακές ανάγκες αν χρησιμοποιείται ως κύρια κατοικία ή ως εξοχικό, ανάλογα με την περιοχή στην οποία βρίσκεται, τον αριθμό των ατόμων και τις ώρες που μένουν εκεί, ακόμα και τις συνήθειές τους. Η εταιρία που θα σας εγκαταστήσει το φωτοβολταϊκό σύστημα θα πρέπει να υπολογίσει τη βέλτιστη ισχύ ώστε να καλύψει με ασφάλεια τις ανάγκες αυτές χωρίς να δημιουργηθούν περιττά έξοδα.

Τα οφέλη από τη χρήση ηλιακής ενέργειας θα είναι πολύ πιο εμφανή αν εφαρμοστούν παράλληλα μέθοδοι εξοικονόμησης και ορθολογικής χρήσης της ενέργειας. Η οικονομικότερη προσέγγιση επομένως για να αξιοποιηθεί η ηλιακή ενέργεια, είναι να μειωθούν όσο γίνεται οι ενεργειακές ανάγκες και κατόπιν να καλυφθούν οι ανάγκες αυτές με την παραγωγή ηλεκτρισμού από τον ήλιο ή άλλες καθαρές πηγές ενέργειας [3.20].

3.18 Καταλληλότητα κτιρίου να δεχτεί Φ/Β συστήματα και η επίδραση της σκίασης

Για να μπορέσει ένα κτίριο να δεχτεί φ/β θα πρέπει να πληρεί κάποιες βασικές προϋποθέσεις όπως είναι:

- Να υπάρχει επαρκής ελεύθερος και ασκίαστος χώρος. Ως ένα πρόχειρο κανόνα να υπολογιστεί πως χρειάζεται περίπου 10-15 τετραγωνικό μέτρο για κάθε 1000 Watt δηλαδή 1KW (αν χρησιμοποιηθούν τα συνηθισμένα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά του εμπορίου). Χρειάζεται περίπου 7-10 τ.μ/kWp για κεραμοσκεπή και 15 τ.μ/kWp για δώμα ή οικόπεδο. Αν πάλι τοποθετηθούν άμορφα φωτοβολταϊκά, το συνολικό κόστος θα είναι περίπου το ίδιο ή και μικρότερο, θα απαιτηθεί όμως περίπου διπλάσια επιφάνεια.
- Να προσεχθεί ιδιαίτερα ο χώρος να είναι κατά το δυνατόν 100% ασκίαστος καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Διαφορετικά, το σύστημά θα λειτουργεί με μικρότερη απόδοση. Η επίδραση της σκίασης, της έλλειψης δηλαδή ηλιακού φωτός, ανάγεται στην μερική ή ολική απώλεια δημιουργίας φωτορεύματος. Η σκίαση δημιουργείται συνήθως από την παρουσία φυσικών εμποδίων (π.χ. δένδρα, κτίρια, στύλοι κτλ) ή από παροδικά (και μάλλον στοχαστικού χαρακτήρα) φαινόμενα (π.χ. σύννεφα). Για παράδειγμα ας θεωρηθεί η περίπτωση των τριών ηλιακών κελιών συνδεδεμένων σε σειρά. Αν υποθεθεί ότι ένα κελί σκιάζεται πλήρως τότε η παραγωγή ρεύματος από αυτό θα είναι μηδενική και κατά συνέπεια θα συμπεριφέρεται ως ανοικτό κύκλωμα, μηδενίζοντας τη συνολική παραγωγή ενέργειας. Μία λύση που εφαρμόζεται συνήθως είναι η προσθήκη διόδων παράκαμψης (bypass diodes) συνδεδεμένων αντιπαράλληλα προς τα ηλιακά κελιά ώστε όταν ένα κελί σκιαστεί πλήρως τότε το ρεύμα των υπόλοιπων ηλιακών κελιών να ρέει διαμέσου της διόδου αυτής, η οποία πολώνεται ορθά, διατηρώντας έτσι τη ροή ενέργειας. Ένας χοντρικός κανόνας ότι το σύστημά δεν θα αποδίδει λιγότερο λόγω σκιάσεων, είναι ο εξής: η απόσταση από το τυχόν εμπόδιο πρέπει να είναι διπλάσια του ύψους του εμποδίου [3.20].



Εικόνα 3.21: Τοποθέτηση Φ/Β στις στέγες σπιτιών [3.16]

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 3^{ου} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- [3.1] <https://el.wikipedia.org>
- [3.2] <https://www.mp-energy.gr>
- [3.3] Ενεργειακή διαχείριση ενέργειας και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ΕΥΑ ΜΑΛΕΒΙΤΗ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΠΕΔΙΟ
- [3.4] <https://ikee.lib.auth.gr>
- [3.5] <http://www.solar-systems.gr/solar-panels.html>
- [3.6] <http://www.alten.gr>
- [3.7] <http://www.resistorguide.com/photoresistor>
- [3.8] <http://www.sma-hellas.com/el.html>
- [3.9] <https://selasenergy.gr>
- [3.10] Πτυχιακή εργασία Αυτόνομο Ηλιακό Σπίτι ΜΠΟΥΓΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ
- [3.11] Κ. Καγκαράκης, “Φωτοβολταϊκή τεχνολογία”, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1992
- [3.12] Πτυχιακή εργασία: Μελέτη και χρηματοοικονομική ανάλυση οικιακού φωτοβολταϊκού συστήματος 10 KW ΣΑΜΑΡΑΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ
- [3.13] <https://www.battery-expert.gr>
- [3.14] Διδακτορική Διατριβή: Εξοικονόμηση ενέργειας κατά την ηλιακή θέρμανση και κλιματισμό κτηρίων με χρήση υλικών αλλαγής φάσης (PCM) ΜΑΡΙΑ Θ. ΠΛΥΤΑΡΙΑ
- [3.15] <http://www.fotovoltaiica.gr/batteries-2V-12V-pvs.html>
- [3.16] <https://www.fotovoltaiica.gr>
- [3.17] Διπλωματική εργασία: Μελέτη διαστασιολόγησης και ενσωμάτωσης στο δίκτυο φωτοβολταϊκών-αποθηκευτικών συστημάτων υπό τον θεσμό της ιδιοκατανάλωσης Παπακωνσταντίνου Χ. Κωνσταντίνος
- [3.18] Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών, “Προτάσεις για τη βέλτιστη εφαρμογή του net-metering”, Αθήνα, Νοέμβριος, 2013

[3.19] European Photovoltaic Industry Association (EPIA), “Global Market Outlook For Photovoltaics 2014-2018”, EPIA website:
<http://www.epia.org/news/publications/global-market-outlook-for-photovoltaics-2014-2018/>

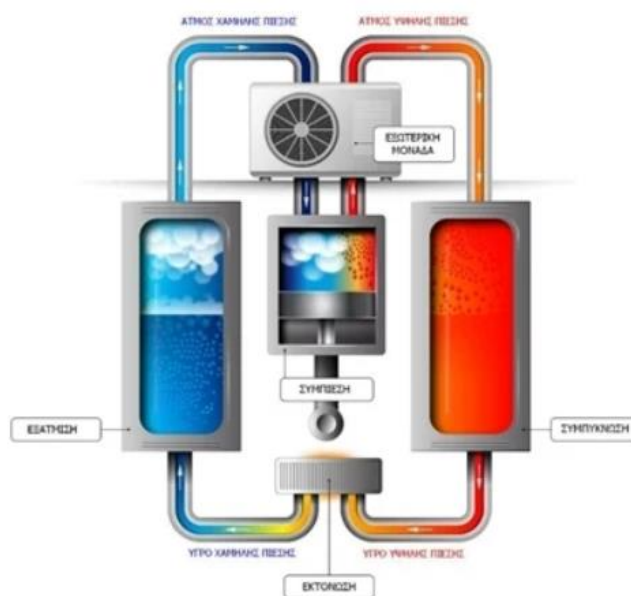
[3.20] Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, “Οδηγίες για την εγκατάσταση Φ/Β συστημάτων σε κτηριακές εγκαταστάσεις”, Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ)

[3.21] Σύνδεσμος εταιριών Φωτοβολταϊκών net-metering Αυτοπαραγωγή με ενεργειακό συμψηφισμό για ιδιώτες επιχειρήσεις και ενεργειακές κοινότητες με ή χωρίς αποθήκευση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Αντλίες Θερμότητας

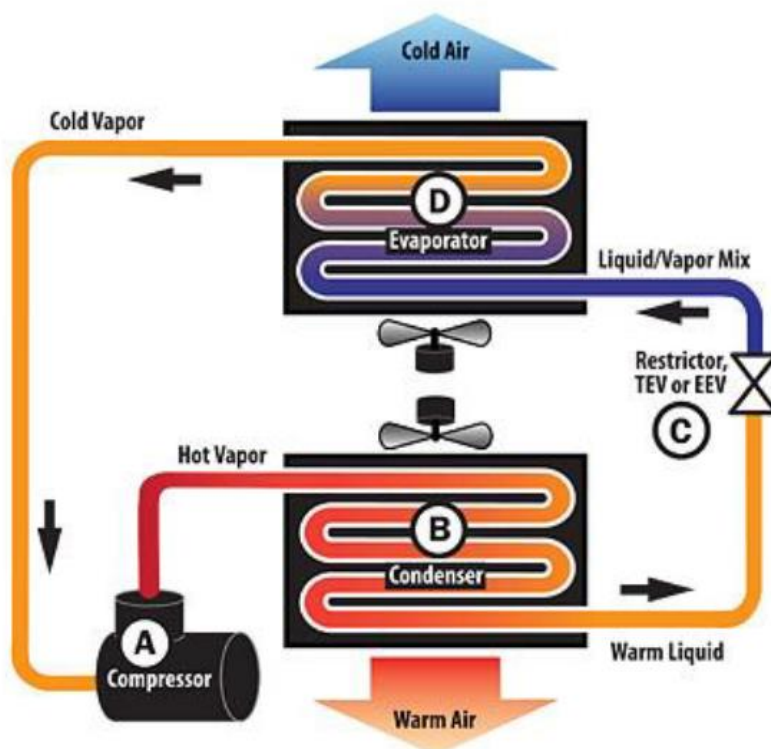
4.1 Αρχή λειτουργίας

Αντλία θερμότητας (heat-pump) ονομάζουμε τη μηχανολογική διάταξη που μας επιτρέπει να μεταφέρουμε ενέργεια από έναν χώρο χαμηλής θερμοκρασίας σε ένα χώρο υψηλότερης θερμοκρασίας. Η αντλία θερμότητας κατατάσσεται στην κατηγορία των διαιρούμενων αυτόνομων κλιματιστικών μονάδων ψυκτικού ρευστού-αέρα [4.1].



Σχήμα 4.1: Αντλία θερμότητας [4.6]

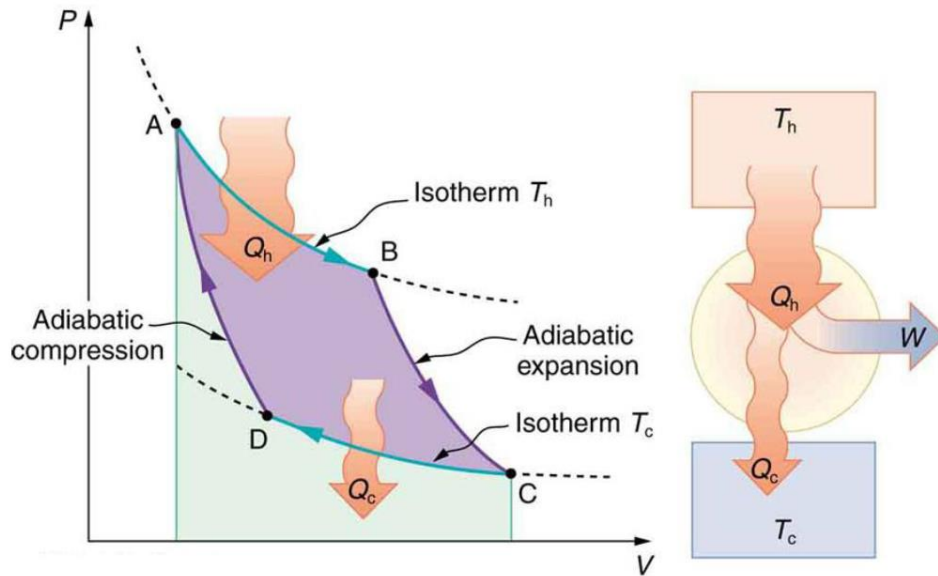
Από το 2ο θερμοδυναμικό αξίωμα γνωρίζουμε ότι η θερμότητα μεταδίδεται μόνη της από ένα σώμα υψηλότερης θερμοκρασίας σε ένα σώμα χαμηλότερης και ποτέ προς την αντίθετη κατεύθυνση. Η αντιστροφή του φυσικού αυτού φαινομένου είναι δυνατό να επιτευχθεί με την κατανάλωση κάποιας μορφής ενέργειας π.χ ηλεκτρική από μία θερμική μηχανή όπως είναι η αντλία θερμότητας. Επομένως, με τη βοήθεια μιας πηγής ηλεκτρικού ρεύματος και ενός ψυκτικού κύκλου συμπίεσης ατμού επιτυγχάνεται η μεταφορά διπλάσιου ή ακόμα και τριπλάσιου ποσού ενέργειας σε σχέση με αυτό της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 4.2: Διάταξη λειτουργίας ψυκτικού κύκλου συμπίεσεως ατμού [4.2]

Η αρχή λειτουργίας της αντλίας θερμότητας στηρίζεται στη θεωρητική αρχή της μηχανής Carnot, με αντίθετη φορά. Για τη λειτουργία της μηχανής Carnot απαιτούνται, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.2 δύο θερμοδοχεία, ένα θερμοδοχείο υψηλής θερμοκρασίας T_H και ένα χαμηλής θερμοκρασίας T_C . Κατά τη λειτουργία της μηχανής αυτής έχουμε την παραγωγή έργου με πρόσδοση θερμότητας. Σε ιδανικές συνθήκες πλήρους αντιστρεψιμότητας, χωρίς απώλειες θερμότητας ο βαθμός απόδοσης του κύκλου Carnot δίνεται από τη σχέση:

$$\eta = \frac{T_H - T_C}{T_H} \quad (4.1)$$

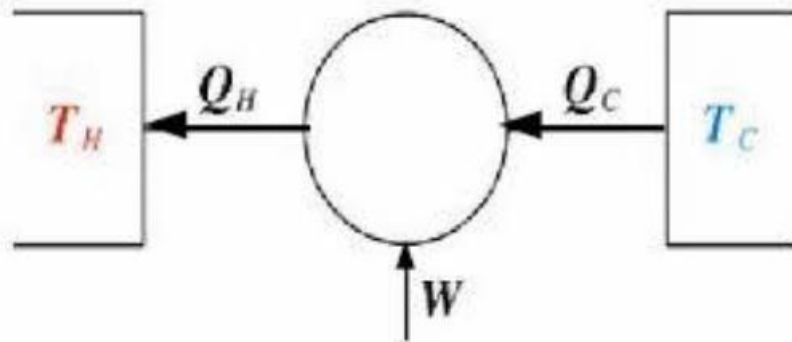


Σχήμα 4.3: Κύκλος Carnot [4.2]

Με αντιστροφή της λειτουργίας αυτού του κύκλου προκύπτει η λειτουργία της αντλίας θερμότητας. Σε αυτό τον κύκλο έχουμε την παραγωγή ψυκτικής ισχύος με κατανάλωση μηχανικού έργου. Ο βαθμός απόδοσης της αντλίας θερμότητας σε ιδανικές συνθήκες προκύπτει από τον αντίστροφο του συντελεστή η , γνωστός και ως COP:

$$COP = \frac{T_H}{T_H - T_C} \quad (4.2)$$

Αυτός ο 'βαθμός απόδοσης' ονομάζεται συντελεστής συμπεριφοράς και κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 2,5 και 3,5. Αν λοιπόν υποθέσουμε ότι μια αντλία έχει συντελεστή απόδοσης $COP=3$, τότε για κάθε μία κιλοβατώρα (kWh) ηλεκτρικού ρεύματος που καταναλώνεται, παράγονται 3 θερμικές kWh. Πολλές φορές όμως, πολύ βολικά αναφέρεται το COP που ισχύει σε συγκεκριμένες συνθήκες που μπορεί να μην έχουν καμία σχέση με την δική σου πραγματικότητα [4.2].



Σχήμα 4.4: Κύκλος Αντλίας Θερμότητας [4.2]

Ο συντελεστής συμπεριφοράς της COP της αντλίας θερμότητας για μη ιδανικές συνθήκες δίνεται από τη σχέση:

$$COP = \frac{Q_H}{Q_H - Q_C} \quad (4.3)$$

Ακόμη, από τον κύκλο Carnot έχουμε:

$$\frac{Q_H}{T_H} + \frac{Q_C}{T_C} = 0 \quad (4.4)$$

Από τη σχέση 4.2 συμπεραίνουμε ότι όσο μικρότερη είναι η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας της πηγής από όπου αντλείται η θερμότητα και της θερμοκρασίας στην οποία αποβάλλεται, τόσο βελτιώνεται ο συντελεστής συμπεριφοράς COP. Επομένως, συμπεραίνουμε ότι η αντλία θερμότητας συμφέρει οικονομικά περισσότερο σε χώρες με ήπιο κλίμα, όπως είναι και η Ελλάδα.

4.2 Βασικά μέρη αντλίας θερμότητας

Τα βασικά μέρη που αποτελείται μια αντλία θερμότητας είναι:

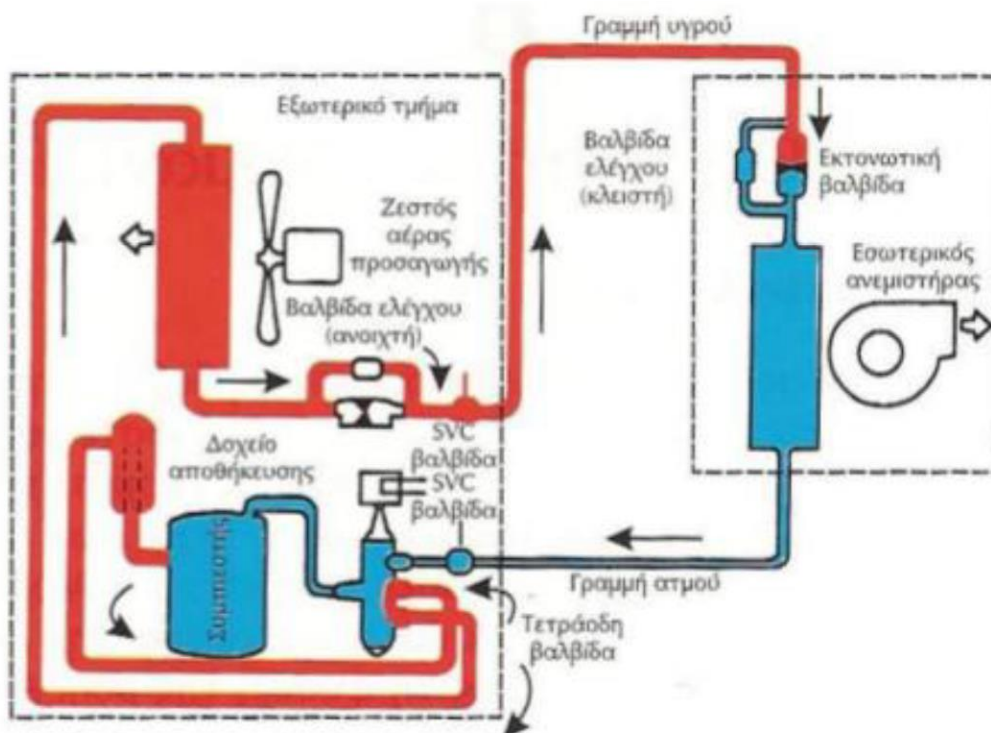
- Το τμήμα συμπιεστή-συμπυκνωτή που απορρίπτει θερμότητα στο περιβάλλον.
- Το τμήμα ανεμιστήρα-ατμοποιητή, που απορροφά θερμότητα από τον εσωτερικό χώρο ή το περιβάλλον.
- Ο μηχανισμός αντιστροφής, που αποτελείται από μια τετράοδη βαλβίδα, η οποία μετατρέπει τον ψυκτικό κύκλο σε θερμαντικό και αντίστροφα.
- Οι αυτοματισμοί για τον έλεγχο και την λειτουργία του συστήματος θέρμανσης ή ψύξης.
- Η συμπληρωματική ηλεκτρική αντίσταση, που αυξάνει τη θερμική απόδοση του συστήματος, όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι πολύ μικρή [4.7].

4.3 Λειτουργία αντλίας θερμότητας στις δύο περιπτώσεις θέρμανσης και ψύξης

Μια αντλία θέρμανσης εκτελεί πάντα ψυκτικό κύκλο και ποτέ θερμικό γιατί τέτοιος κύκλος δεν υφίσταται. Συχνά αναφέρεται ότι η αντλία θερμότητας 'αντιστρέφει' ή 'αναστρέφει' τον κύκλο του ψυκτικού ρευστού και ανάλογα με την περίπτωση ακολουθεί ψυκτικό κύκλο το καλοκαίρι ή θερμαντικό κύκλο το χειμώνα. Το μόνο που αντιστρέφεται είναι ο ρόλος του συμπυκνωτή με το ρόλο του ατμοποιητή. Το καλοκαίρι ο ατμοποιητής είναι τοποθετημένος μέσα στον ψυχόμενο χώρο και τον ψύχει, ενώ τον χειμώνα ο ατμοποιητής είναι τοποθετημένος στο περιβάλλον και το ψύχει εφόσον αντλεί θερμότητα από αυτό. Αντί λοιπόν να μεταφέρονται οι συσκευές ατμοποιητής-συμπυκνωτής από τον χώρο στο περιβάλλον, η αντλία θερμότητας με τη χρήση της τετράοδης βαλβίδας αντιστρέφει τη ροή του ψυκτικού μέσου διατηρώντας φυσικά τον ψυκτικό κύκλο, στον οποίο συνεχίζεται κανονικά η προσφορά μηχανικού έργου, για την συμπίεση των ατμών του ψυκτικού μέσου.

Κύκλος για ψύξη χώρου

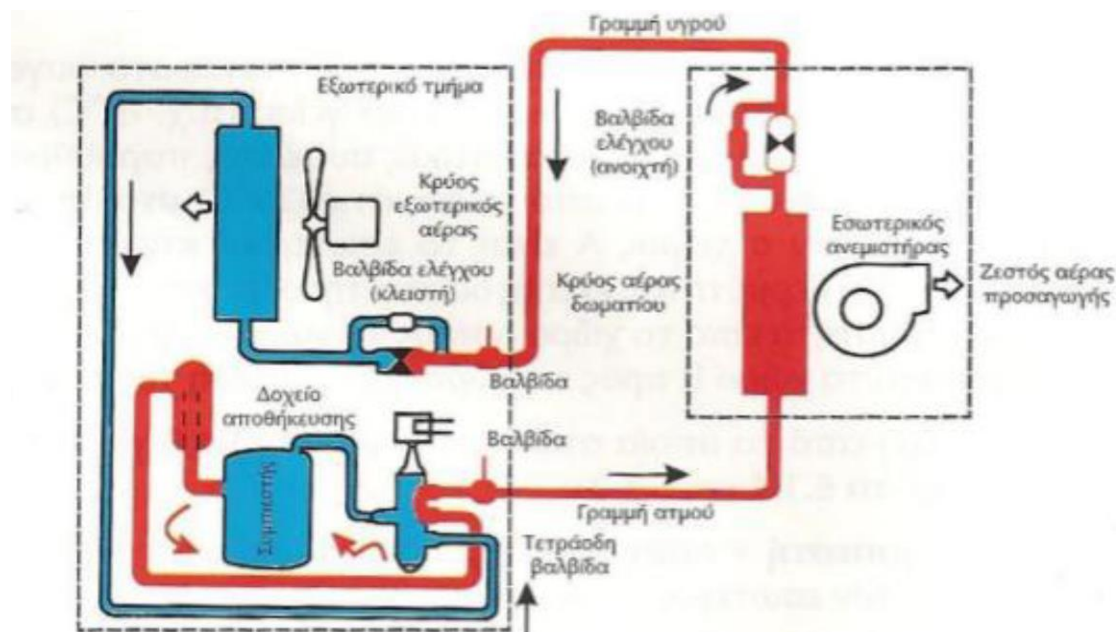
Την μελέτη του κύκλου για ψύξη την ξεκινάμε από τη στιγμή που το ψυκτικό υγρό εισέρχεται στον ατμοποιητή. Η είσοδος του ψυκτικού ρευστού στον ατμοποιητή ελέγχεται από την άεργη εκτονωτική-στραγγαλιστική διάταξη (βαλβίδα). Η διάταξη αυτή ελαττώνει την πίεση του υγρού, το οποίο ατμοποιείται σε χαμηλή θερμοκρασία. Κατά την ατμοποίηση, ποσά θερμότητας προσδίδονται σε αέριο, το οποίο αποκτά υψηλή πίεση και θερμοκρασία στο συμπιεστή. Το συμπιεσμένο αέριο φτάνει στο συμπυκνωτή και προσδίδει ποσά θερμότητας στο μέσο συμπύκνωσης (αέρας ή νερό). Το συμπυκνωμένο αέριο υγροποιείται και στη συνέχεια το ψυκτικό υγρό οδηγείται στην εκτονωτική διάταξη.



Σχήμα 4.5: Κύκλος αντλίας θερμότητας για ψύξη [4.7]

Κύκλος για θέρμανση χώρου

Περιλαμβάνει τα ίδια στάδια με τον κύκλο ψύξης μόνο που σε αυτή την περίπτωση το στοιχείο που εκτελούσε την ατμοποίηση εδώ εκτελεί την συμπύκνωση και το αντίστροφο. Η μετατροπή του ψυκτικού κύκλου σε κύκλο θέρμανσης γίνεται με τη βοήθεια της τετράοδης βαλβίδας, που οδηγεί το ψυκτικό υγρό μετά την έξοδο του από τον συμπιεστή και την εκτονωτική διάταξη στους εναλλάκτες θερμότητας ψυκτικού μέσου-αέρα (ή νερού), ανάλογα με την επιλογή των απαιτήσεων μέσω διακόπτη [4.7].

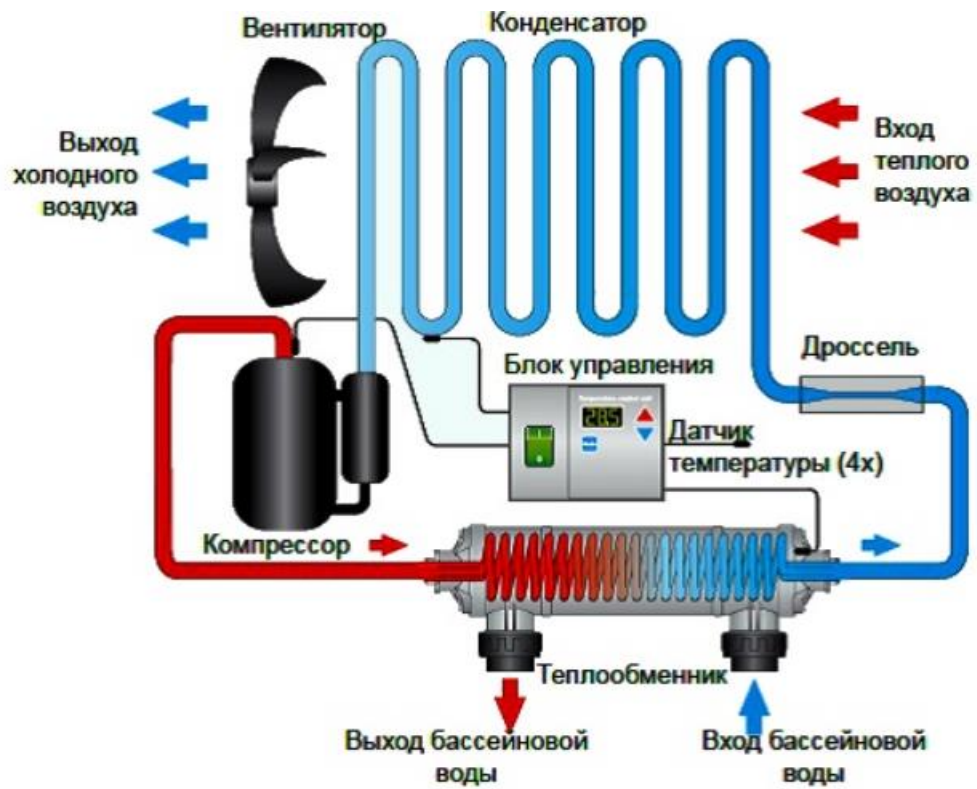


Σχήμα 4.6: Κύκλος αντλίας θερμότητας για θέρμανση [4.7]

4.4 Διάκριση αντλιών θερμότητας

Ανάλογα με το υλικό μέσο που αντλείται και κυκλοφορεί στο κύκλωμα αλλά και το υλικό μέσο που αποβάλλεται στο περιβάλλον έχουμε τις εξής κατηγορίες για τις αντλίες θερμότητας:

1. Αέρα-Αέρα: Είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος και ευρέως διαδεδομένος στο εμπόριο. Η αντιστροφή της λειτουργίας χειμώνα και καλοκαίρι γίνεται, είτε με τετράοδη βαλβίδα, είτε με αλλαγή της ροής μέσω αεροδιαφραγμάτων (dampers).



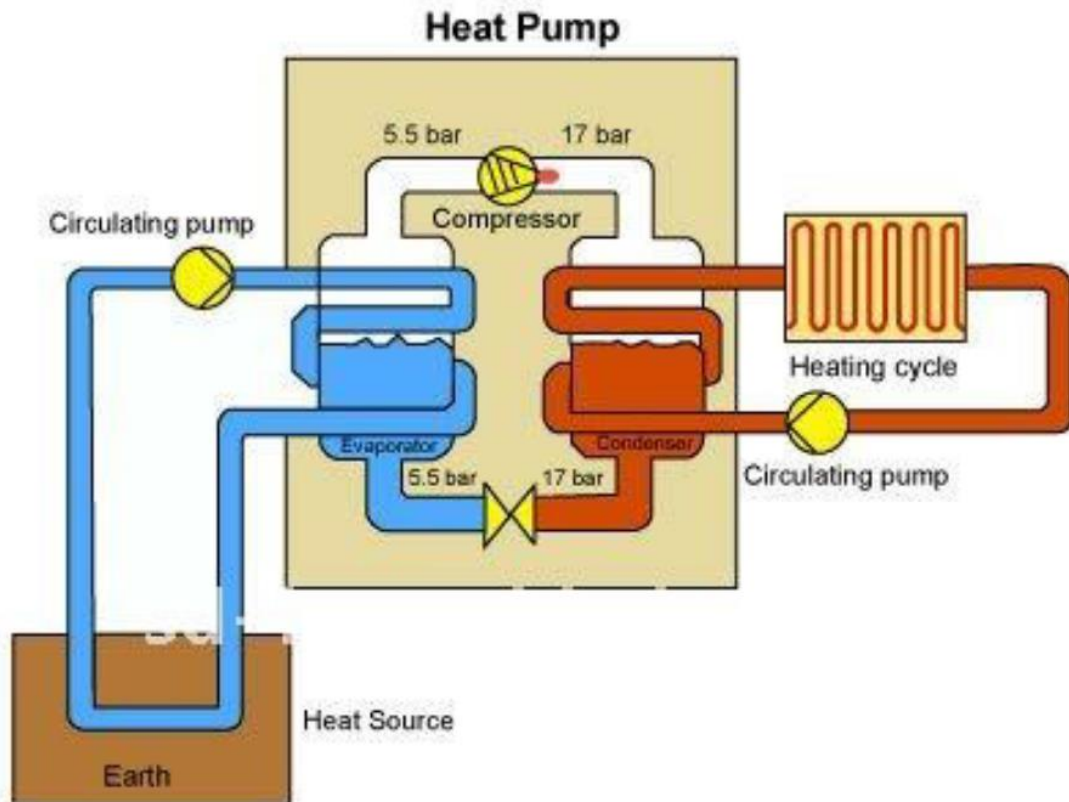
Σχήμα 4.7: Αντλία θερμότητας αέρα-αέρα [4.5]

2. Αέρα-Νερού: Χρησιμοποιείται μόνο για θέρμανση νερού ή για θέρμανση και ψύξη νερού με χρήση τετράοδης βαλβίδας



Σχήμα 4.8: Αντλία θερμότητας αέρα-νερού [4.5]

3. Νερού- Νερού: Και εδώ συνήθως η αντιστροφή λειτουργίας γίνεται μέσω τετράοδης βαλβίδας στον κύκλο του ψυκτικού υγρού.



Σχήμα 4.9: Αντλία θερμότητας νερού-νερού [4.7]

4. Νερού-Αέρα: Η πηγή (ή ο αποδέκτης της θερμότητας) είναι το νερό, ενώ ο αέρας είναι το μέσο μεταφοράς της θερμοκρασίας στον ή από τον κλιματιζόμενο χώρο.
5. Εδάφους-Αέρα (και Εδάφους-Νερού): Η αποδοτικότητα του συστήματος εξαρτάται από την ποιότητα του εδάφους που περιβάλλει το θαμμένο στο έδαφος τμήμα της αντλίας θερμότητας, την υγρασία, την πυκνότητα και την ομοιομορφία του.

Ανάλογα με τη θέση των διαφόρων μηχανισμών των αντλιών θερμότητας, τις διακρίνουμε σε:

1. Ενιαίες ή αυτόνομες (Compact): Όλοι οι μηχανισμοί βρίσκονται σε κοινό κέλυφος.
2. Διαιρούμενες ή διμερούς τύπου (Split units): Όπου ο συμπυκνωτής (ή ο ατμοποιητής) διαχωρίζεται από το υπόλοιπο σύστημα

Ανάλογα με τον τρόπο αναστροφής της λειτουργίας διακρίνονται σε:

1. Σταθερού κυκλώματος ψυκτικού μέσου: Η ροή του ψυκτικού μέσου διατηρείται σταθερή και αλλάζει η θέση των μέσω προσαγωγής ή απαγωγής της θερμότητας.
2. Μεταβλητού κυκλώματος ψυκτικού μέσου: Αντιστρέφεται η ροή του ψυκτικού μέσου.

Ανάλογα με το είδος του κύκλου που εκτελείται, τις διακρίνουμε σε:

1. Κλειστού κύκλου συμπιεσμένου ατμού
2. Κύκλου μηχανικής ανασυμπιέσεως ατμού με εναλλάκτη θερμότητας
3. Ανοικτού κύκλου ανασυμπιέσεως ατμού
4. Οδηγούμενης απορριπτόμενης θερμότητας από κύκλο Rankine

Ανάλογα με το είδος της κινητήριας μηχανής, οι αντλίες θερμότητας ταξινομούνται σε:

1. Αντλίες με ηλεκτροκίνητους συμπιεστές
2. Αντλίες με συμπιεστές κινούμενους από μηχανές εσωτερικής καύσης (πετρέλαιο, ατμός, αέριο κλπ)
3. Αντλίες με συμπιεστές απορρόφησης και προσρόφησης (θερμική ενέργεια χαμηλής και μέσης θερμοκρασίας) [4.3].

4.5 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα

Μερικά από τα πλεονεκτήματα των αντλιών θερμότητας είναι τα παρακάτω:

- ✓ Το κόστος λειτουργίας των αντλιών θερμότητας εξαρτάται μόνο από την κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος. Στις περισσότερες περιπτώσεις το κόστος αυτό είναι χαμηλότερο από το κόστος λειτουργίας και συντήρησης μικρής εγκατάστασης συνηθισμένου συστήματος κεντρικής θέρμανσης με ζεστό νερό και θερμαντικά σώματα.
- ✓ Η αντλία θερμότητας δεν συμβάλλει άμεσα στη ρύπανση του περιβάλλοντος, δεν απαιτεί μεγάλο χώρο εγκατάστασης και έχει τη δυνατότητα να θερμαίνει ή να ψύχει ένα χώρο ανάλογα με τις απαιτήσεις, κάτι που δεν μπορεί να προσφέρει ένα θερμαντικό σώμα.
- ✓ Η αντλία θερμότητας γίνεται εξαιρετικά ανταγωνιστική από οικονομική σκοπιά όταν χρησιμοποιείται τόσο για θέρμανση τον χειμώνα όσο και για ψύξη το καλοκαίρι.

Από την άλλη μερικά μειονεκτήματα είναι:

- ✓ Το κόστος εγκατάστασης μια αντλίας θερμότητας είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο μιας εγκατάστασης με θερμαντικά σώματα.
- ✓ Ο συντελεστής απόδοσης της αντλίας θερμότητας μειώνεται κατά πολύ σε περιόδους που η θερμοκρασιακή διαφορά εσωτερικού με εξωτερικού περιβάλλοντος είναι μεγάλη. Έτσι, ενώ μπορεί ο ονομαστικός συντελεστής συμπεριφοράς COP να είναι 3,25 για 10°C στο εξωτερικό περιβάλλον και 21°C στο εσωτερικό, ο συντελεστής αυτός πέφτει κάτω από 1,5 όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι κάτω από τους -6°C . Αυτό σημαίνει ότι απαιτείται μια επιπλέον πηγή θερμότητας (ηλεκτρικές αντιστάσεις, ηλιακοί συλλέκτες) για να καλύψει το απαιτούμενο φορτίο [4.4] .

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 4^{ου} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

[4.1] <https://www.inventoraircondition.gr>

[4.2] Διπλωματική εργασία ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΗΛΙΑΚΑ ΥΠΟΒΟΗΘΟΥΜΕΝΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ TRNSYS Ασημάκη Γ.Δελή

[4.3] <http://www.technotec.gr>

[4.4] <https://climanair.gr>

[4.5] uhhe.gr Ένωση Ελληνικών Επιχειρήσεων Θέρμανσης και Ενέργειας

[4.6] greenpeace.org

[4.7] ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Προσομοίωση κτιρίου μηδενικής ενέργειας με το λογισμικό TRNSYS Δήμτσας Δημήτριος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Κτιριακό Κέλυφος και κατάλληλη διαμόρφωση του για εξοικονόμηση ενέργειας

5.1 Εισαγωγή

Στην σύγχρονη εποχή όπου οι κτιριακές κατασκευές είναι περισσότερο σύνθετες και ελαφρότερες από τα παραδοσιακά πέτρινα κτίρια του παρελθόντος, την προστασία από τις θερμικές μεταβολές ανέλαβαν τα διάφορα τεχνητά συστήματα ελέγχου, όπως η κεντρική θέρμανση και ο κλιματισμός. Τα συστήματα θέρμανσης/ψύξης και φωτισμού έχουν την σημαντικότερη επίδραση στην ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων του τριτογενή τομέα. Το κέλυφος επηρεάζει σημαντικά την ενεργειακή ζήτηση των Η/Μ συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και φωτισμού, δεδομένου ότι καθορίζει τα φορτία θέρμανσης, ψύξης και τον εισερχόμενο φυσικό φωτισμό. Αναβαθμίζοντας το κτιριακό κέλυφος, μπορεί να επιτευχθεί σημαντική εξοικονόμηση, μέσω της μείωσης των θερμικών και ηλεκτρικών φορτίων [5.1].

Η ορθολογική διαχείριση της ενέργειας που απαιτούν τα κτίρια σήμερα προκειμένου να εκπληρώνουν το βασικό σκοπό τους, την παροχή αποδεκτών συνθηκών θερμικής άνεσης, οφείλει να λαμβάνει υπόψη και τις λειτουργικές απαιτήσεις των κτιρίων [5.2].

Το κτίριο θερμαίνεται και αποβάλλει θερμική ενέργεια στο περιβάλλον από την επιφάνεια του κελύφους του. Κέλυφος ονομάζεται το σύνολο των διαφανών και αδιαφανών στοιχείων τα οποία καθορίζουν το εξωτερικό περίγραμμα του κτιρίου. Ο τρόπος της κατασκευής του κτιρίου καθορίζει τη θερμική και κατ' επέκταση την ενεργειακή του συμπεριφορά. Όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια του κελύφους, τόσο περισσότερη θερμική ενέργεια χάνει το κτίριο. Οι θερμικές απώλειες προκαλούνται σε ένα κτίριο από την μετάδοση της θερμότητας του αέρα ενός εσωτερικού χώρου προς την ατμόσφαιρα ή προς ψυχρότερους γειτονικούς χώρους ή και αντίστροφα. Είναι γνωστό ότι ανάμεσα σε δύο σώματα με διαφορετικές θερμοκρασίες προκαλείται μία συνεχής ροή θερμότητας από το θερμότερο προς το ψυχρότερο, κάτι που συμβαίνει το χειμώνα από το εσωτερικό του κτιρίου προς τον εξωτερικό κρύο αέρα, αλλά και το καλοκαίρι, από τον εξωτερικό θερμό αέρα προς το δροσερότατο εσωτερικό του κτιρίου, Αυτή η ροή θερμότητας είναι αδύνατο να εμποδιστεί τελείως και μπορεί μόνο να περιοριστεί ως προς την ένταση και τη διάρκειά της. Αυτό επιτυγχάνεται με την εφαρμογή επεμβάσεων στο κέλυφος του κτιρίου, ώστε να επιβραδύνουν την ταχύτητα ανταλλαγής θερμότητας μέσα από τις επιφάνειες [5.10]. Όπως είναι τα κάτωθι:

- Τοίχος θερμικής αποθήκευσης
- Χρήση θερμομονωτικών υλικών
- Θερμομόνωση-Δομικά υλικά κελύφους-Χρώματα
- Υαλοστάσια - Γυάλινα ανοίγματα
- Σκίαση (χρήση περσίδων)
- Προσανατολισμός κτιρίου – Μορφή κτιρίου Προσανατολισμός ανοιγμάτων – Διάρθρωση χώρων

- Σχέση (χωροθέτηση) με άλλα κτίρια
- Πράσινες στέγες-ταράτσες
- Στέγη θερμικής αποθήκευσης
- Κατάλληλη δενδροφύτευση
- Αξιοποίηση ροής ανέμου
- Διαμόρφωση ακάλυπτων χώρων

5.2 Τοίχος θερμικής αποθήκευσης

Είναι ο συνδυασμός τοίχου νότιου προσανατολισμού και εξωτερικού υαλοστασίου, το οποίο βρίσκεται σε απόσταση 10 εκατοστών περίπου από τον τοίχο και είναι σταθερό ή ανοιγόμενο με μονούς ή διπλούς υαλοπίνακες. Ο τοίχος κατασκευάζεται από υλικό μεγάλης θερμοχωρητικότητας προκειμένου να υπάρχει χρονική καθυστέρηση 6-8 ωρών, έτσι ώστε η εσωτερική του επιφάνεια να έχει τη μέγιστη θερμοκρασία στην αρχή της νύχτας. Οι τοίχοι αυτοί λειτουργούν ως ηλιακοί συλλέκτες, μεταφέροντας τη θερμότητα είτε μέσω του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένοι είτε μέσω θυρίδων (θερμοσιφωνικό πάνελ) στον εσωτερικό χώρο.

Πλεονεκτήματα:

- Θάμπωμα και κίνδυνος αλλοίωσης υφασμάτων από υπεριώδη ακτινοβολία δεν υπάρχει.
- Οι διακυμάνσεις της εσωτερικής θερμοκρασίας είναι σχετικά μικρές (μικρότερες από ότι στο σύστημα του απευθείας κέρδους και του μεταφορικού βρόχου).
- Η μεγάλη χρονική καθυστέρηση για τη μετάδοση της θερμότητας που έχει σαν αποτέλεσμα η θερμότητα να αποδίδεται σε βραδινές ώρες όταν είναι περισσότερο απαραίτητη.

Μειονεκτήματα:

- Η μείωση των νότιων ανοιγμάτων και η δημιουργία κλειστής νότιας όψης.
- Η μείωση του ωφέλιμου χώρου του κτιρίου από το συμπαγή χοντρό τοίχο.
- Το υψηλό κόστος της νυχτερινής μόνωσης που είναι απαραίτητη στα ψυχρά κλίματα [5.3].

5.3 Χρήση θερμομονωτικών υλικών

Είναι τα υλικά που έχουν μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας αντιπροσωπεύει ένα πολύ σημαντικό μέγεθος, δεδομένου ότι καθορίζει τη θερμομονωτική ικανότητα του υλικού. Όσο πιο μικρός είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, τόσο περισσότερο θερμομονωτικό είναι το υλικό.

Οι βασικές ιδιότητες των θερμομονωτικών υλικών είναι:

- η θερμοκρασία

- η υγρασία,
- η ηλιακή ακτινοβολία
- η χημική συμπεριφορά
- η πυραντίσταση και
- η μηχανική αντοχή.

Τα θερμομονωτικά υλικά διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

(α) *ανόργανα υλικά* (διογκωμένος περλίτης, υαλοβάμβακας, πετροβάμβακας, ορυκτοβάμβακας, θερμομονωτικά τούβλα)

(β) *οργανικά υλικά* (ξυλόμαλλο, γη διατομών, πολυουρεθάνη διογκωμένη πολυστερίνη)

(γ) *οικολογικά υλικά*, τα οποία δεν απαιτούν μεγάλη ενέργεια για την παραγωγή τους, δεν μολύνουν το περιβάλλον όταν παράγονται, είναι ανακυκλώσιμα και δεν περιέχουν τοξικούς και καρκινογόνους ρύπους (διογκωμένη άργιλος, διογκωμένος φελλός, λιναρόμαλλο)

Τα θερμομονωτικά υλικά εμποδίζουν την αγωγή θερμότητας από το κτίριο προς το εξωτερικό περιβάλλον (αντίστροφα το καλοκαίρι) επειδή περιέχουν ακίνητο αέρα παγιδευμένο είτε σε ίνες (π.χ. υαλοβάμβακας) είτε σε κλειστές κυψελίδες (π.χ. διογκωμένη πολυστερίνη). Συνήθως τοποθετούνται εξωτερικά ή ενδιάμεσα στις τοιχοποιίες, οροφές και δάπεδα, έτσι ώστε να μην αδρανοποιείται η θερμική μάζα του κελύφους [5.4].



Εικόνα 5.1: Ορυκτοβάμβακας κλάση 040 [5.8]

5.4 Θερμομόνωση-Δομικά υλικά κελύφους-Χρώματα

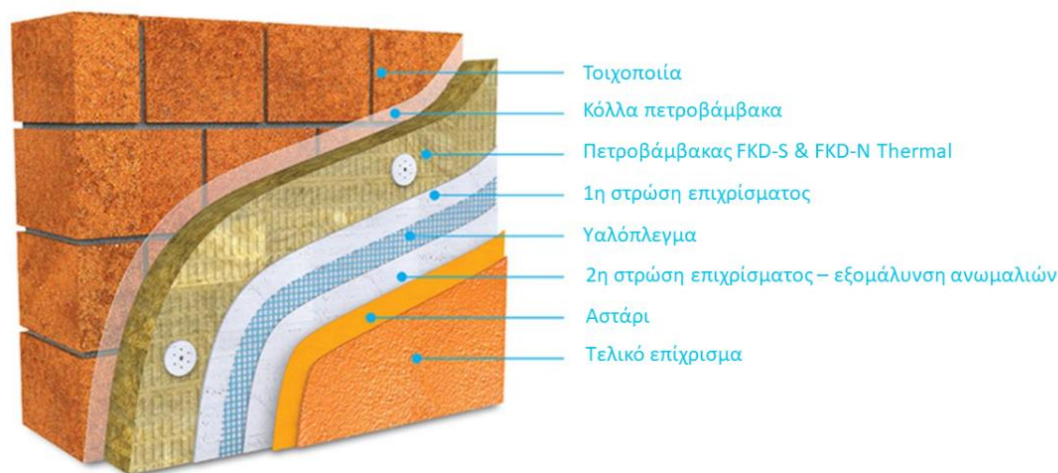
Η σωστή μόνωση είναι ο καλύτερος τρόπος για να διασφαλιστούν η μείωση των θερμικών απωλειών τον χειμώνα και η αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.

Πλεονεκτήματα της μεθόδου:

- ✓ Ο χώρος διατηρεί τη θερμότητα και μετά τη διακοπή της θέρμανσης από τη θερμοχωρητικότητα των τοίχων
- ✓ Δε μειώνεται ο ωφέλιμος κατοικήσιμος χώρος
- ✓ Εξασφαλίζεται κάλυψη των θερμογεφυρών

Μειονεκτήματα της μεθόδου:

- ✓ Είναι ακριβή
- ✓ Δεν είναι εύκολη η εφαρμογή στην περίπτωση που οι τοίχοι έχουν πολλές αρχιτεκτονικές προεξοχές
- ✓ Χρειάζεται ειδική προστασία των υλικών διαφόρων στρώσεων για προστασία από τις εξωτερικές καιρικές επιδράσεις



Εικόνα 5.2: Θερμομόνωση κτηρίου [5.9]

Τα δομικά υλικά πρέπει:

- ❖ Να είναι ανακυκλώσιμα και επαναχρησιμοποιήσιμα
- ❖ Να παρέχουν καλή θερμική και ακουστική μόνωση
- ❖ Κατά τη διάρκεια της παραγωγής τους να έχουν καταναλώσει όσο το δυνατό λιγότερη ενέργεια
- ❖ Να μην επιβαρύνουν το περιβάλλον με τοξικά απόβλητα και απορρίμματα κατά την παραγωγική διαδικασία

- ❖ Δεν θα πρέπει να απελευθερώνουν στην ατμόσφαιρα τοξικά αέρια, αμίαντο και θετικά ιόντα
- ❖ Θα πρέπει να επιτρέπουν την είσοδο ευνοϊκών για την υγεία μικροκυμάτων
- ❖ Δεν θα πρέπει να αυξάνουν το ποσοστό φυσικής ραδιενέργειας και στατικού ηλεκτρισμού

Τα σκούρα χρώματα εξωτερικά έχουν την τάση να απορροφούν ενέργεια, την οποία μεταδίδουν στο εσωτερικό του κτιρίου. Τα ανοιχτά χρώματα αντανακλούν ένα μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας πίσω στο περιβάλλον και βοηθούν στην αποφυγή υπερθέρμανσης του κτιρίου [5.3].

5.5 Υαλοστάσια - Γυάλινα ανοίγματα

Υαλοστάσια: Είναι τα πλαίσια των παραθύρων και οι υαλοπίνακες (τζάμια) που προσαρμόζονται σε αυτά. Οι γενικές απαιτήσεις των υαλοπινάκων είναι:

- (α) Η ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών τον χειμώνα – μικρός συντελεστής θερμοπερατότητας
- (β) Η είσοδος της μέγιστης δυνατής ηλιακής ακτινοβολίας τον χειμώνα – μεγάλος συντελεστής ηλιακών κερδών
- (γ) Η μείωση στο ελάχιστο της ηλιακής ακτινοβολίας το καλοκαίρι – μεγάλος συντελεστής ανακλαστικότητας
- (δ) Ο περιορισμός του υπερβολικού φωτισμού των χώρων
- (ε) Η εξασφάλιση ηχομόνωσης
- (στ) Η αισθητική αρτιότητα
- (ζ) Η μηχανική αντοχή
- (η) Το χαμηλό κόστος
- (θ) Η εξασφάλιση πιστής οπτικής επαφής μεταξύ εσωτερικού χώρου περιβάλλοντος
- (ι) Η εύκολη συντήρηση και αντικατάσταση.

Οι απώλειες θερμότητας από ένα κούφωμα κατά την χειμερινή περίοδο δεν πραγματοποιούνται μόνο με θερμική αγωγιμότητα από τον υαλοπίνακα, αλλά περιλαμβάνουν και απώλειες θερμότητας με μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία, όπως και απώλειες θερμότητας με διαφυγές θερμού αέρα από το εσωτερικό του κτιρίου στη ατμόσφαιρα. Γενικά η διαφυγή θερμότητας μέσω των παραθύρων γίνεται σε τρία στάδια:

- Με θερμική αγωγιμότητα μέσα από τον υαλοπίνακα του κουφώματος, αλλά και μέσω του πλαισίου του κουφώματος

- Με μεταφορά μέσω του αέρα που διαφεύγει ή εισέρχεται στο κτίριο από τους αρμούς μεταξύ υαλοπίνακα και πλαισίου κουφώματος, ή μέσω των αρμών του κουφώματος και της τοιχοποιίας.
- Ακτινοβολία μέσω του υαλοπίνακα

Ένα ενεργειακά αποδοτικό κούφωμα, είναι αυτό το οποίο επιτυγχάνει να ελαχιστοποιήσει και τους τρεις τρόπους μετάδοσης θερμότητας. Τα συστήματα υαλοπινάκων και οι διαφανείς όψεις είναι πολύ σημαντικά στοιχεία του κελύφους γιατί επιτρέπουν την άμεση είσοδο φυσικού φωτισμού και ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό του κτιρίου. Αυτό μπορεί να συνεπάγεται υπερθέρμανση κατά την διάρκεια των θερινών μηνών. Οι υαλοπίνακες νέας τεχνολογίας με ειδική επεξεργασία, μπορούν να επιτρέπουν την είσοδο ηλιακής ακτινοβολίας στο ορατό μέρος του φάσματος ώστε να διασφαλίζουν επαρκή φυσικό φωτισμό και μειωμένα θερμικά κέρδη.

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται η εφαρμογή υαλοπινάκων στην κατασκευή ολόκληρων κτιρίων. Τα κτίρια αυτά, τα οποία είναι κατασκευασμένα από γυαλί, έχουν κύριο στόχο την προβολή και μεγιστοποίηση του κύρους των οργανισμών που στεγάζουν. Ωστόσο είναι από τις πλέον ενεργοβόρες κατασκευές και έχουν πολύ υψηλή ζήτηση σε ενέργεια για θέρμανση και ψύξη. Επιπλέον, λόγω των ανακλάσεων της ακτινοβολίας και της θερμότητας από το γυαλί, προκαλούν σε μεγάλο βαθμό το φαινόμενο της θερμικής αστικής νησίδας.

Επιπλέον οι γυάλινες επιφάνειες πρέπει να έχουν νότιο προσανατολισμό. Το γυαλί, είναι από τα πιο ακριβά διαφανή υλικά. Είναι άκαμπτο, παρουσιάζει αντοχή στις καιρικές μεταβολές, στο φως και στις χημικές αντιδράσεις και έχει καλή εμφάνιση. Ως μειονέκτημα μπορεί να θεωρηθεί το βάρος και η μικρή αντοχή του σε μηχανική κρούση [5.5].

5.6 Σκίαση (χρήση περσίδων)

Για την παροχή αποτελεσματικής προστασίας από την ηλιακή ακτινοβολία έχουν αναπτυχθεί διάφοροι τύποι σκιάστρων. Τα σκιάστρα απαιτούν κατάλληλο προσανατολισμό, διαστασιολόγηση χωροθέτηση και μπορεί να παρέχουν προστασία σε όλη την εξωτερική τοιχοποιία όταν συνδυάζονται με τα υποστυλώματα, τους εξώστες και τους προβόλους.

Οι περσίδες αποτελούν συστήματα εξωτερικής σκίασης που συμβάλλουν σημαντικά στη μείωση της ενεργειακής ζήτησης των κτιρίων. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, λόγω της συμπληρωματικής θερμικής αντίστασης τους όταν βρίσκονται σε τελική θέση, μειώνουν την ενεργειακή ζήτηση για θέρμανση, ενώ τους καλοκαιρινούς μήνες, μέσω της αποφυγής του περιττού θερμικού ηλιακού κέρδους, μειώνουν την ενεργειακή ζήτηση για ψύξη του εσωτερικού χώρου. Αποτελούν το πιο διαδεδομένο σύστημα προστασίας, τοποθετούνται εύκολα αλλά η κύρια λειτουργία τους είναι ο έλεγχος της στάθμης και της κατανομής του φωτισμού. Δεν είναι αποτελεσματικά ως προς τον έλεγχο των θερμικών φορτίων γιατί δεν αποτρέπουν την είσοδο ηλιακής ακτινοβολίας στο χώρο αλλά εάν είναι κατάλληλα σχεδιασμένα και συνδυαστούν με

κατάλληλους επιλεκτικούς υαλοπίνακες σε κάποιες περιπτώσεις παρέχουν τη δυνατότητα ελέγχου της ηλιακής ακτινοβολίας, παράλληλα με τον έλεγχο του φυσικού φωτισμού. Τέτοιοι συνδυασμοί συνιστώνται στις περιπτώσεις που δεν μπορούν να εφαρμοστούν εξωτερικά συστήματα σκιασμού.

Η χρήση των περσίδων έχει το πλεονέκτημα της ελεγχόμενης λειτουργίας είτε χειροκίνητης είτε αυτόματης και της προσαρμογής της κλίσης τους αναλόγως της θέσης του ήλιου και άλλων περιβαλλοντικών παραμέτρων.

Οι περσίδες δεν επιτυγχάνουν μείωση της ενεργειακής ζήτησης για θέρμανση και δεν προορίζονται για αυτό το σκοπό έτσι κι αλλιώς. Στα κτίρια γραφείων η χρονική διάρκεια της απαιτούμενης θερμικής άνεσης είναι πιο σύντομη ωστόσο οι απαιτήσεις για ψύξη απαιτούν τη μείωση των ελεύθερων κερδών που συνήθως υπάρχουν σε αυτά τα κτίρια [5.6].

5.7 Προσανατολισμός κτιρίου – Μορφή κτιρίου – Προσανατολισμός ανοιγμάτων – Διάρθρωση χώρων

- ❖ Τα κτίρια που βρίσκονται σε άμεση επαφή με το έδαφος έχουν καλύτερη θερμική συμπεριφορά και καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια από το κτίρια με πυλωτή. Οι απώλειες αυτές αντισταθμίζονται με τη βελτίωση της θερμομόνωσης ή με την χρήση ανοιγμάτων στο Νότο
- ❖ Τα νότια ανοίγματα εμφανίζουν πολλά πλεονεκτήματα όπως:
 - Επιτυγχάνουν σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση του κτιρίου
 - Εξασφαλίζουν μεγάλα ηλιακά κέρδη το χειμώνα και μικρά το καλοκαίρι
 - Παρουσιάζουν μικρότερο κίνδυνο υπερθέρμανσης το καλοκαίρι σε σχέση με τα ανατολικά και δυτικά ανοίγματα
- ❖ Τα βόρεια ανοίγματα χρησιμοποιούνται κυρίως για την παροχή φυσικού φωτισμού, καθώς επιτρέπουν την είσοδο μόνο της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας και όχι της άμεσης και είναι πιο χρήσιμα για τον αερισμό το καλοκαίρι
- ❖ Τα ανατολικά και δυτικά ανοίγματα έχουν λιγότερα πλεονεκτήματα και θα πρέπει να γίνονται για την βελτίωση του φυσικού φωτισμού και της οπτικής άνεσης
- ❖ Προτείνονται μεγάλα ανοίγματα στο Νότο με διπλό τζάμι, μέτριων διαστάσεων σε Ανατολή και Δύση και μικρά ανοίγματα στον Βορά
- ❖ Η βορινή πλευρά του κτιρίου είναι η ψυχρότερη και η πιο σκοτεινή, η ανατολική και η δυτική πλευρά δέχονται περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία το καλοκαίρι και λιγότερη το χειμώνα, ενώ η νότια πλευρά δέχεται περισσότερα ηλιακά φορτία το χειμώνα και λιγότερα το καλοκαίρι και είναι η πιο φωτεινή
- ❖ Τα ανοίγματα να είναι εξοπλισμένα με νυχτερινή μόνωση, δηλαδή κινητά εξώφυλλα μονωμένα ή έστω με εσωτερική θερμική προστασία

- ❖ Η νότια πλευρά της κατοικίας είναι προσανατολισμένη έτσι ώστε να χρησιμοποιείται για παθητική ηλιακή θέρμανση ενώ η βόρεια πλευρά για προστασία από ψυχρούς ανέμους [5.11].

5.8 Σχέση (χωροθέτηση) με άλλα κτίρια

Τα κτίρια που βρίσκονται στο τέλος ή στην αρχή μίας σειράς κτιρίων, επειδή έχουν μεγαλύτερη επιφάνεια σε επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον έχουν μεγαλύτερες θερμικές απώλειες σε σχέση με τα υπόλοιπα κτίρια, που έχουν μικρότερη επιφάνεια σε επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον [5.12].

5.9 Πράσινες στέγες-ταράτσες

Πλεονεκτήματα από την φύτευση ταρασών με φυτά:

- ❖ Βελτιώνουν την ποιότητα της ατμόσφαιρας
- ❖ Αντιμετωπίζουν το φαινόμενο της επίδρασης της αστικής θερμικής νησίδας (το φαινόμενο της αύξησης της θερμοκρασίας στο κέντρο της πόλης σε σχέση με τα προάστια)
- ❖ Συμβάλλουν στην ορθολογική διαχείριση του νερού και στην ισόρροπη αστική διαβίωση (βιότοπος για πουλιά, πεταλούδες, ενδημικά φυτά)
- ❖ Προσφέρουν εξαιρετική θέρμο-ύγρο-ήχο-μόνωση
- ❖ Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες μειώνεται σε σημαντικό βαθμό η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από τη στέγη, με αποτέλεσμα τη μείωση της διείσδυσης της θερμότητας από το εξωτερικό περιβάλλον
- ❖ Σε ένα καλά μονωμένο κτίριο η χρήση του κλιματιστικού και του καλοριφέρ μειώνεται αισθητά
- ❖ Οι πράσινες στέγες σε μεγάλη κλίμακα βελτιώνουν την ποιότητα της ατμόσφαιρας
- ❖ Αχρησιμοποίητοι και αντιαισθητικοί χώροι μετατρέπονται σε χώρους χρήσιμους, λειτουργικούς και όμορφους.
- ❖ Το χαμηλότερο ενεργειακό κόστος, τα χαμηλότερα επίπεδα θορύβου και η αισθητική αναβάθμιση αποτελούν ισχυρά πλεονεκτήματα που ανεβάζουν την αξία των ακινήτων και ολόκληρων συνοικιών

Μειονεκτήματα:

- ❖ Δεν είναι όλες οι υπάρχουσες κατασκευές σε θέση να αντέξουν τα επιπλέον φορτία ενός κήπου
- ❖ Οικονομική επιβάρυνση για το σχεδιασμό, την κατασκευή και τη συντήρηση ενός τέτοιου κήπου
- ❖ Ο κίνδυνος της υγρασίας καθώς επιβάλλεται σωστή στεγάνωση και αποστράγγιση των υδάτων του φυτεμένου δώματος [5.13]

5.10 Στέγη θερμικής αποθήκευσης

Η λειτουργία του συστήματος είναι παρόμοια με του τοίχου θερμικής αποθήκευσης, με τη διαφορά ότι η θερμική μάζα για την αποθήκευση της θερμότητας βρίσκεται στη

στέγη του κτιρίου. Χαρακτηριστικό επίσης είναι ότι δεν υπάρχει υαλοστάσιο και η θερμική μάζα που αποτελείται από δοχεία με νερό λειτουργεί και σαν συλλέκτης της ηλιακής ακτινοβολίας.

Πλεονεκτήματα:

- ❖ Η θέρμανση ή η ψύξη διανέμεται ομοιόμορφα σ' όλο το κτίριο σε σύγκριση με άλλα παθητικά συστήματα
- ❖ Οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις στο κτίριο είναι μικρές (1,2-2,4 °C)
- ❖ Δεν υπάρχει κίνδυνος θαμπώματος και αλλοίωσης των αντικειμένων από την υπεριώδη ακτινοβολία
- ❖ Χρησιμοποιείται συγχρόνως και για την ψύξη των χώρων

Μειονεκτήματα:

- ❖ Το μεγάλο βάρος της θερμικής μάζας στην οροφή επιβαρύνει το στατικό σύστημα, ιδίως σε σεισμογενείς περιοχές
- ❖ Η επιφάνεια της οροφής που διατίθεται για αποθήκευση πρέπει να είναι τουλάχιστον 50% της συνολικής κάτοψης του κτιρίου για να υπάρχει ικανοποιητική συμμετοχή της ηλιακής ακτινοβολίας στις θερμαντικές απαιτήσεις
- ❖ Η κατασκευή για τη στήριξη της μάζας της οροφής είναι δαπανηρή [5.12]

5.11 Κατάλληλη δενδροφύτευση

Η δενδροφύτευση πρέπει να εντάσσεται στο οικοσύστημα κάθε περιοχής, να παρέχει κατάλληλη σκίαση, αλλά και να μην εμποδίζει τη ροή του ανέμου. Τα φυλλοβόλα δέντρα μπορεί να αξιοποιηθούν αποτελεσματικότερα. Ενώ όταν χρειάζεται προστασία από ψυχρούς ανέμους, καταλληλότερη είναι η δενδροφύτευση με αιθαλή δέντρα [5.13].

5.12 Αξιοποίηση ροής ανέμου

Τα κτήρια κάθε οικιστικού συνόλου, πρέπει να έχουν διάταξη που να επιτρέπει την ελεύθερη ροή του ανέμου, ώστε να προκαλείται φυσικός αερισμός [5.11].

5.13 Διαμόρφωση ακάλυπτων χώρων

Η χρήση ημι-υπαίθριων χώρων βελτιώνει τη διαβίωσή μας κατά τους θερμούς μήνες του έτους [5.11].

5.14 Χρήσιμοι παράμετροι για την επιλογή των υλικών

Συντελεστής Θερμοπερατότητας (U-value): Είναι η ποσότητα θερμότητας που περνά μέσα από ένα τετραγωνικό μέτρο ενός δομικού στοιχείου, ορισμένου πάχους d σε ορισμένο χρονικό διάστημα μίας ώρας, όταν μεταξύ των δύο επιφανειών υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας ενός βαθμού Κέλβιν. Μετρά δηλαδή με πόση ευκολία διαπερνά η θερμότητα ένα υλικό ή σύστημα μέσα στα πλαίσια που αναφέρθηκαν.

Ο συντελεστής U-value μετριέται σε βατ ανά τετραγωνικό μέτρο και βαθμό Κέλβιν (W/m^2K) και μαθηματικά εκφράζεται με τον τύπο $U=1/R$ όπου R είναι ο συντελεστής θερμικής αντίστασης. Με απλά λόγια οι U-value αξίες μετρούν πόσο αποτελεσματικό είναι ένα υλικό ως μονωτής, καθώς αφορούν το θερμικό τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας. Όσο χαμηλότερη είναι η U-Value, τόσο μικρότερη είναι η απώλεια θερμότητας και τόσο περισσότερη μόνωση που παρέχει το υλικό.

Συντελεστής ηλιακής ενέργειας g: Ο λόγος της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας προς την ενέργεια που μεταδίδεται στο εσωτερικό του κτιρίου. Χαμηλές τιμές g εξασφαλίζουν μείωση των ηλιακών κερδών.

Συντελεστής φωτοδιαπερατότητας Tn: Το ποσοστό της προσπίπτουσας φωτεινής ακτινοβολίας που εισέρχεται στο κτίριο. Υψηλές τιμές εξασφαλίζουν υψηλές στάθμες φυσικού φωτισμού στους εσωτερικούς χώρους [5.7].

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 5^{ου} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

[5.1] Αξαρηλή Κ. Ν., «Ο ενεργειακός σχεδιασμός του κελύφους και η αξιοποίηση του απευθείας κέρδους στα σχολικά κτίρια – καθοριστικές παράμετροι σχεδιασμού για τον ελληνικό χώρο», ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ, 1995

[5.2] <https://www.ktirio.gr>

[5.3] <https://www.styropan.gr/blog/eksoteriki-i-esoteriki-thermomonosi>

[5.4] www.domika.gr

[5.5] <https://www.alafropatisglass.gr>

[5.6] Καλογιαννίδου, Β. (2013), Ηλιοπροστασία και σκιασμός στις κατασκευές της Μεσογείου, Αρχιτέκτων μηχανικός DPLG-PARIS, ΕΑΠ, Αθήνα.

[5.7] http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/pathitika_iliaka_systimata_emmeso_kerdos_iliakoi_toixoi.htm

[5.8] <https://www.knaufinsulation.gr/exoteriki-thermoprosopsi-me-petrobambaka>

[5.9] www.buildings.gr

[5.10] Διπλωματική εργασία: Η επιρροή του κελύφους των κτιρίων στην ενεργειακή τους κατανάλωση (μελέτη του κτιρίου εδρών της πολυτεχνικής σχολής του Α.Π.Θ) ΜΟΥΣΤΑΚΑ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ Διπλ. Μηχανολόγος Μηχανικός

[5.11] Σταμάτης Πέρδιος, Επεμβάσεις Εξοικονόμησης Ενέργειας , Τόμος Α, Αθήνα 2007

[5.12] Οξυζίδης, Σ. (2009), Τεχνικές Βελτίωσης Ενεργειακής Συμπεριφοράς Υφιστάμενων Κτιρίων – Τεχνικές και συστήματα δροσισμού χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας – Παρουσίαση μελετών περιπτώσεων, Θ' Κύκλος Σεμιναρίων Μικρής Διάρκειας, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας / Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας.

[5.13] www.egreen.gr

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Το Πρόγραμμα Προσομοίωσης TRNSYS

6.1 Εισαγωγή στο TRNSYS

Το TRNSYS αποτελεί ένα ολοκληρωμένο προγραμματιστικό περιβάλλον που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση συστημάτων μεταξύ αυτών και πολυζωνικών κτηρίων [6.1].

Χρησιμοποιείται από μηχανικούς και ερευνητές από όλο τον κόσμο για την εξακρίβωση ενεργειακών σεναρίων, από απλή μελέτη ζεστού νερού χρήσης μέχρι τον σχεδιασμό και προσομοίωση κτηρίων και του εξοπλισμού αυτών, συμπεριλαμβάνοντας στρατηγικές ελέγχου, συμπεριφορά ενοίκων, εναλλακτικές μορφές ενεργειακών συστημάτων (αιολικά, ηλιακά, φωτοβολταϊκά συστήματα με χρήση υδρογόνου) κ.α.

Η χρήση του συστήματος πραγματοποιείται εδώ και 35 χρόνια και βασικά χαρακτηριστικά που το ξεχωρίζουν μεταξύ άλλων προγραμμάτων είναι ανοιχτού κώδικα και έχει δομοστοιχειωτή δομή. Ο πηγαίος κώδικας του πυρήνα όπως επίσης και τα μοντέλα των συνιστωσών είναι διαθέσιμα για τον χρήστη, πράγμα το οποίο βοηθά σημαντικά στην προσαρμογή των δεδομένων μοντέλων στις ανάγκες του χρήστη.

Άλλη μια δυνατότητα του προγράμματος λόγω της DLL αρχιτεκτονικής του, είναι η προσθήκη νέων μοντέλων με την χρήση των συνηθισμένων γλωσσών προγραμματισμού (C, C++, PASCAL, FORTRAN, etc.). Επιπρόσθετα το TRNSYS μπορεί να συνεργαστεί και με άλλες εφαρμογές λογισμικού για την εκτέλεση διεργασιών, με επεξεργασία των διεργασιών του καθ'όλη τη διάρκεια των υπολογισμών (π.χ. MICROSOFT EXCEL, Matlab, COMIS, κ.α.) Εφαρμογές του TRNSYS αποτελούν:

- Ηλιακά συστήματα (ηλιοθερμικά και φωτοβολταϊκά)
- Χαμηλής ενέργειας κτήρια και θερμικά συστήματα
- Ενεργειακά συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- Συμπαράγωγή, κυψέλες καυσίμων
- Δυνατότητες δυναμικής προσομοίωσης [6.2]

6.2 Σειρά εργαλείων του TRNSYS

Το TRNSYS αποτελείται από μια σειρά εργαλείων. Μερικά από αυτά είναι το Simulation Studio, η μηχανή προσομοίωσης (TRNDLL.dll), το εκτελέσιμο αρχείο (TRNExe.exe), η οπτική απεικόνιση Κτηρίου με τα στοιχεία εισόδου (TRNBuild.exe), και το Editor που χρησιμοποιείται για την δημιουργία ανεξάρτητων αναδιανεμητέων προγραμμάτων γνωστά ως TRNSED applications (TRNEdit.exe) [6.3].

6.3 Το στούντιο προσομοίωσης (Simulation Studio)

Το TRNSYS Simulation Studio αποτελεί το βασικό γραφικό περιβάλλον του πακέτου TRNSYS [6.4]. Με την χρήση του εργαλείου αυτού ο χρήστης έχει τη δυνατότητα της δημιουργίας συστημάτων (Projects) με την επιλογή από την λίστα των κατάλληλων αντικειμένων (TYPES). Στη συνέχεια κρατώντας πατημένη την επιλογή του και σέρνοντας στην επιφάνεια εργασίας εμφανίζεται η επιλογή. Έπειτα με πολύ απλό

τρόπο μπορεί να γίνει η σύνδεση των αντικειμένων και να γίνουν οι κατάλληλες συνδέσεις εισόδων/εξόδων και ο ορισμός των κατάλληλων παραμέτρων.

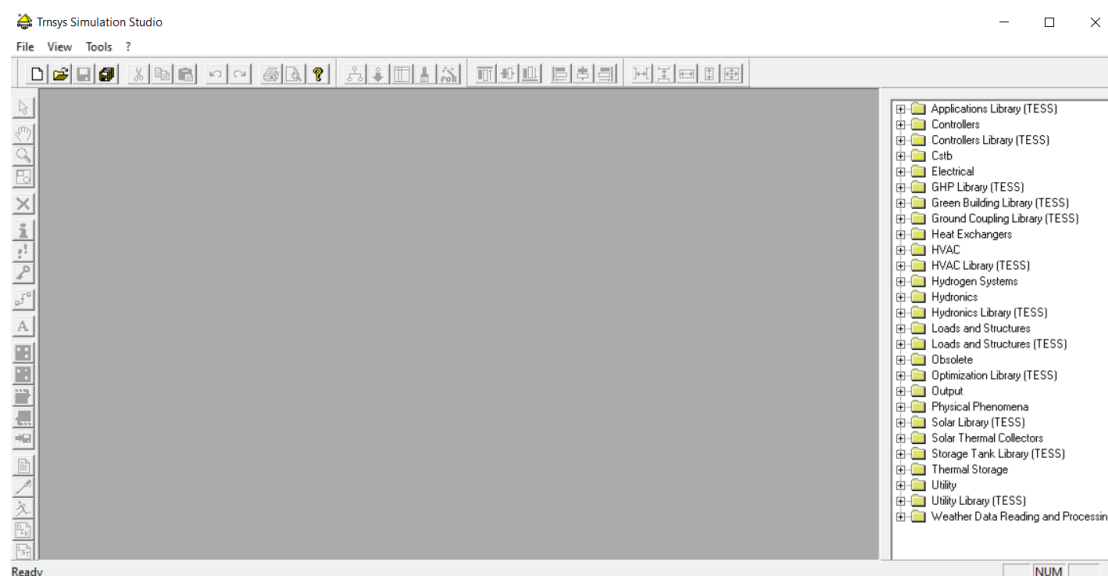
Η αποθήκευση του project γίνεται σε μορφή Trnsys Project File (*.tpf). Κατά την έναρξη οποιασδήποτε προσομοίωσης δημιουργείται και ένα αρχείο εισόδου, όπου περιέχει όλες τις πληροφορίες εισόδου.

Μεταξύ άλλων υπάρχει δυνατότητα χρήσης διαχειριστή εξόδων (Output Manager), όπου μπορεί να οριστεί ποιες μεταβλητές θα ολοκληρωθούν, θα τυπωθούν θα παρουσιαστούν γραφικά και ένας διαχειριστής λαθών/γεγονότων (error/log manager), όπου ενημερώνει το χρήστη για οτιδήποτε συνέβη κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης [6.2].

Τέλος, με το στούντιο προσομοίωσης, μπορούν να πραγματοποιηθούν πολλές πρόσθετες εργασίες. Κάποιες από αυτές είναι η δημιουργία νέων υπολογιστικών μοντέλων προς εισαγωγή στο TRNSYS, χρησιμοποιώντας την επιλογή Fortran Wizard, η ανάγνωση και η επεξεργασία της εισόδου, της εξόδου και των παραμέτρων ενός στοιχείου, καθώς επίσης και η ανάγνωση των αρχείων εξόδου [6.5].

6.3.1 Εκκίνηση του TRNSYS Simulation Studio

Το πρώτο παράθυρο που εμφανίζεται με το που ανοίξουμε το πρόγραμμα TRNSYS είναι το κενό περιβάλλον που φαίνεται στην εικόνα

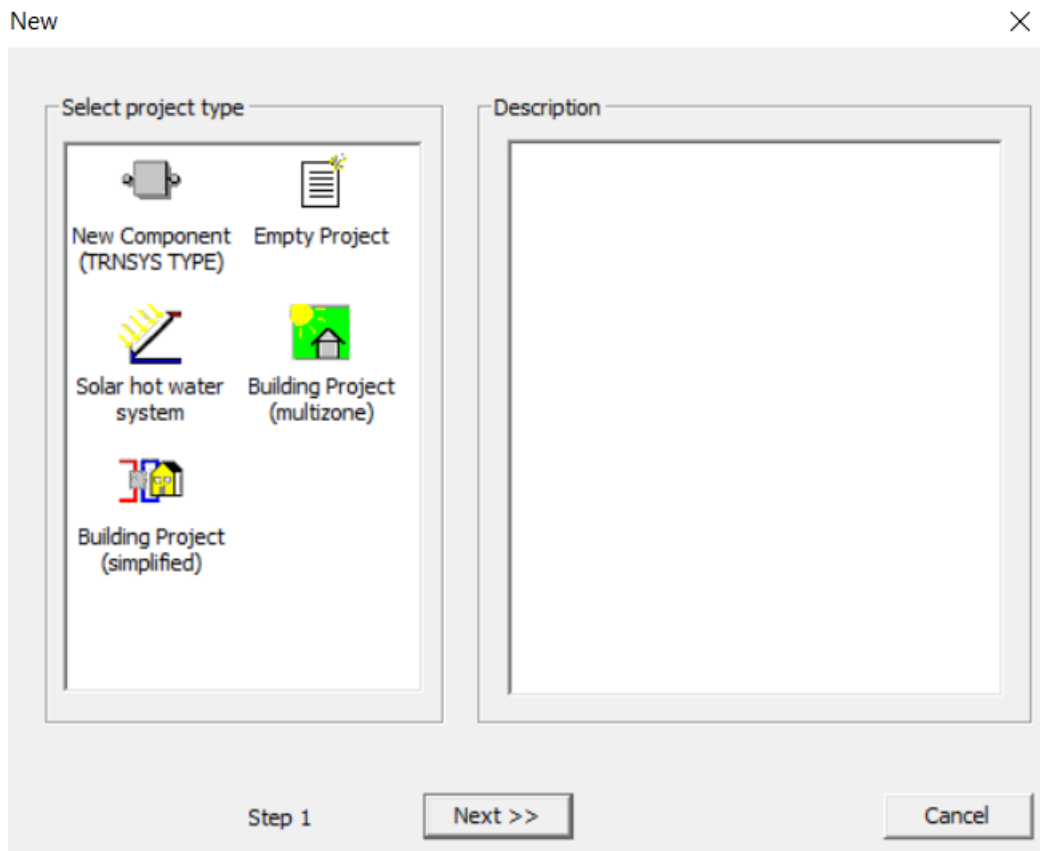


Εικόνα 6.1: Αρχικό περιβάλλον TRNSYS Simulation Studio

Επιλέγοντας το εικονίδιο File πάνω αριστερά και στη συνέχεια την επιλογή New, εισαγόμαστε σε μια νέα εργασία, η οποία περιλαμβάνει τις εξής βασικές επιλογές:

- ❖ **New Component (TRNSYS TYPE):** Με την επιλογή αυτή μπορούμε να δημιουργήσουμε από το μηδέν, ένα νέο στοιχείο με τη χρήση μιας γλώσσας προγραμματισμού.
- ❖ **Empty Project:** Με την επιλογή αυτή θα μεταβούμε σε ένα κενό παράθυρο εργασίας, το οποίο μπορούμε εμείς να διαμορφώσουμε όπως επιθυμούμε, ανάλογα με τη μελέτη μας.

- ❖ **Solar hot water system:** Εμφανίζεται στην οθόνη μας ένα τυπικό σύστημα θέρμανσης νερού με ηλιακό συλλέκτη, έτοιμο από το TRNSYS.
- ❖ **Building Project (simplified):** Δημιουργία ενός απλοποιημένου μοντέλου ενός κτιρίου.
- ❖ **Building Project (multizone):** Δημιουργία ενός πολυζωνικού κτιρίου στο οποίο μπορούμε να εργαστούμε ανάλογα με τις ανάγκες μας και να το τροποποιήσουμε κατάλληλα.



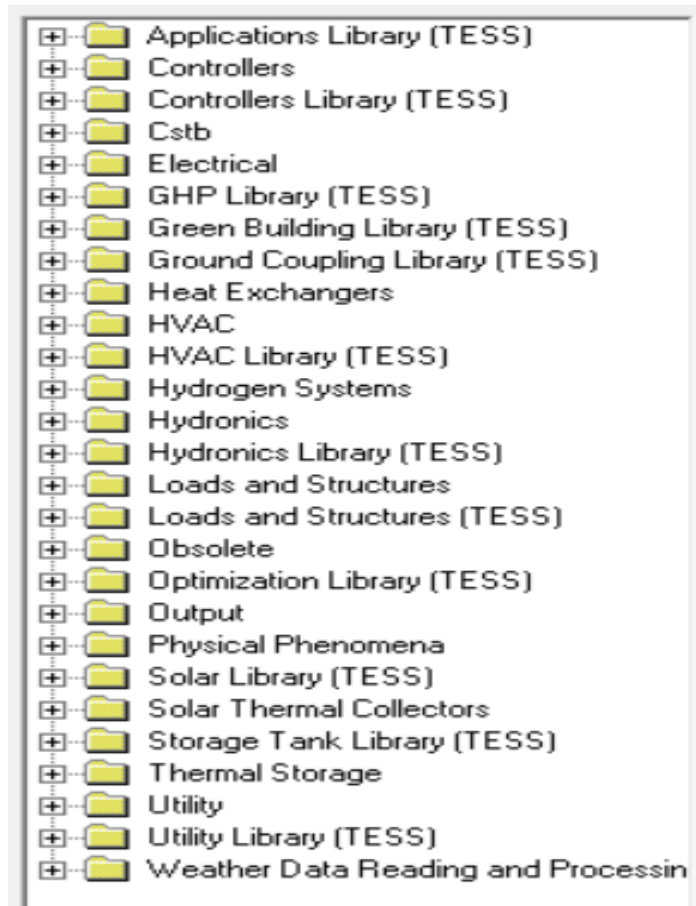
Εικόνα 6.2: Βασικές επιλογές του Simulation Studio

Επιλέγουμε τη δημιουργία ενός κενού θέματος (Empty Project) , προκειμένου να εισέλθουμε σε ένα βασικό περιβάλλον εργασίας. Στη δεξιά πλευρά του παραθύρου υπάρχει η βιβλιοθήκη του TRNSYS, με όλα τα διαθέσιμα στοιχεία προς χρήση και επεξεργασία.

Τα κυριότερα από αυτά είναι:

- **Controllers:** Ελεγκτές γενικής χρήσης και θερμοστάτες.
- **Electrical:** Φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, μπαταρίες, inverter κ.α.
- **Heat Exchangers :** Εναλλάκτες Θερμότητας
- **HVAC:** Μοντέλα θέρμανσης, ψύξης, αερισμού, ψύκτες απορρόφησης
- **Hydronics:** Αντλίες, ανεμιστήρες
- **Output:** Εκτυπωτές, διαγράμματα

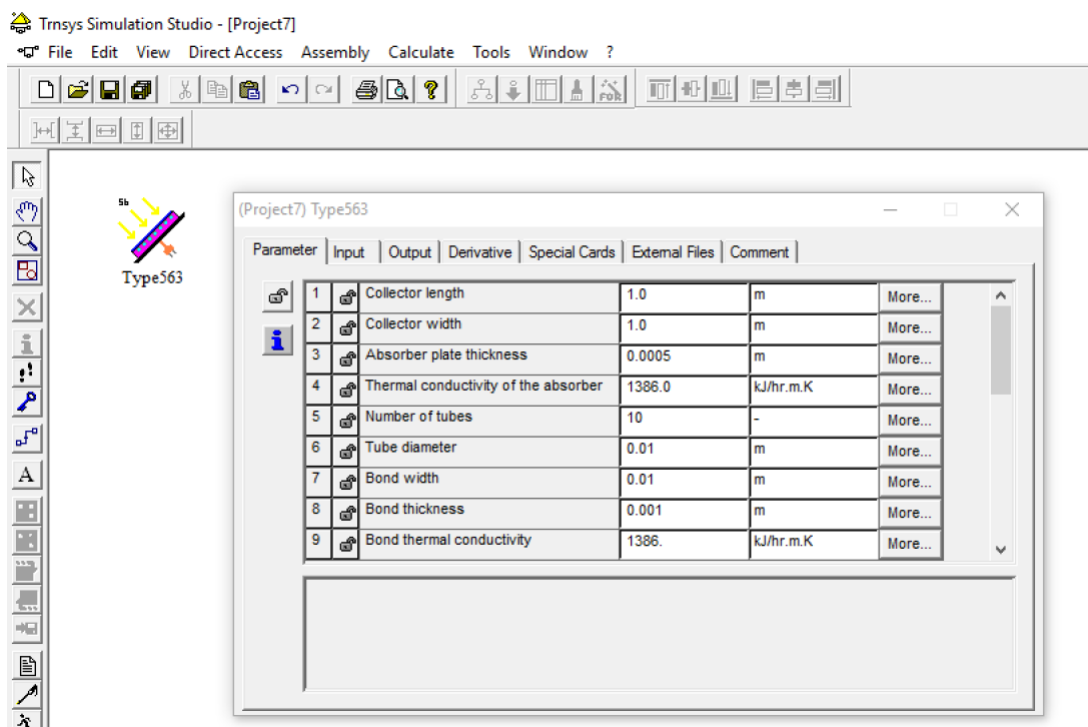
- **Physical Phenomena:** Ψυχομετρικοί χάρτες, υπολογιστής ηλιακής ακτινοβολίας
- **Solar Thermal Collectors :** Επίπεδοι, συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες.
- **Thermal Storage:** Δεξαμενές με/ή χωρίς διαστρωμάτωση, εσωτερικούς εναλλάκτες
- **Utility :** Μετατροπείς μονάδων, χρονικά προγράμματα, data readers
- **Weather Data Reading and Processing:** Μετεωρολογικά δεδομένα, επεξεργαστές ηλιακής ακτινοβολίας [6.5].



Εικόνα 6.3: Βιβλιοθήκη στοιχείων

6.3.2 Παράμετροι και συνδέσεις του στοιχείου

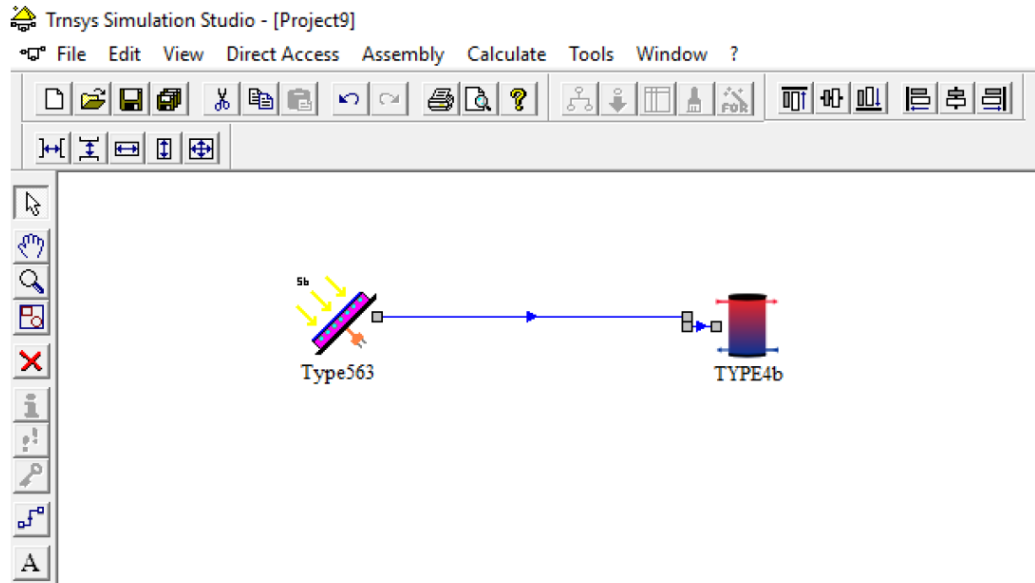
Για κάθε στοιχείο που επιλέγεται από τη βιβλιοθήκη, υπάρχει η δυνατότητα επεξεργασίας και τροποποίησης των παραμέτρων του, ανάλογα με τις ανάγκες μας κάθε φορά. Για παράδειγμα, εάν επιλέξουμε το στοιχείο Type 563 που αναφέρεται σε ένα θερμικό-ηλιακό συλλέκτη, θα εμφανιστεί το παράθυρο που φαίνεται στην εικόνα.



Εικόνα 6.4: Επεξεργασία παραμέτρων στοιχείου

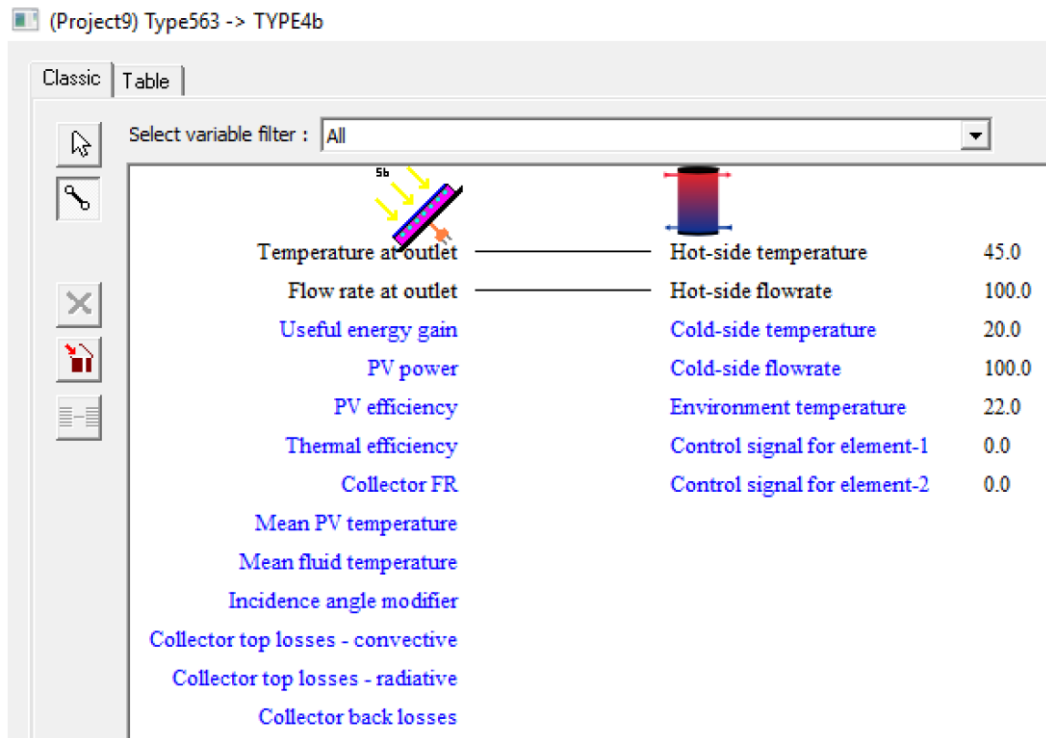
Στο παράθυρο εμφανίζονται ορισμένες παράμετροι του στοιχείου, όπως είναι το μήκος και το πλάτος του συλλέκτη ή το πάχος του απορροφητικού υλικού του. Όπως είναι λογικό, οι παράμετροι έχουν σταθερή τιμή και δεν αλλάζουν κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, όπως συμβαίνει λόγω χάριν με τις εισόδους (input) και τις εξόδους (output) του στοιχείου, οι οποίες αφενός είναι συναρτήσεις του χρόνου και αφετέρου εξαρτώνται από άλλα στοιχεία με τα οποία είναι συνδεδεμένο το στοιχείο. Αξίζει να σημειωθεί επίσης ότι στο TRNSYS οι εισοδοι μπορούν να συνδεθούν μόνο μια φορά ενώ οι έξοδοι παραπάνω.

Αφού επεξεργαστούμε τις παραμέτρους όπως θέλουμε, μπορούμε να συνδέσουμε το στοιχείο αυτό με ένα ή περισσότερα στοιχεία της βιβλιοθήκης. Για παράδειγμα με το στοιχείο Type 4b που αντιστοιχεί σε μια δεξαμενή για τη θέρμανση νερού. Για τη σύνδεση δυο στοιχείων χρησιμοποιούμε το εικονίδιο Link και ενώνουμε την έξοδο του ενός στοιχείου με την είσοδο του άλλου όπως φαίνεται στην εικόνα 6.5:



Εικόνα 6.5: Σύνδεση στοιχείων

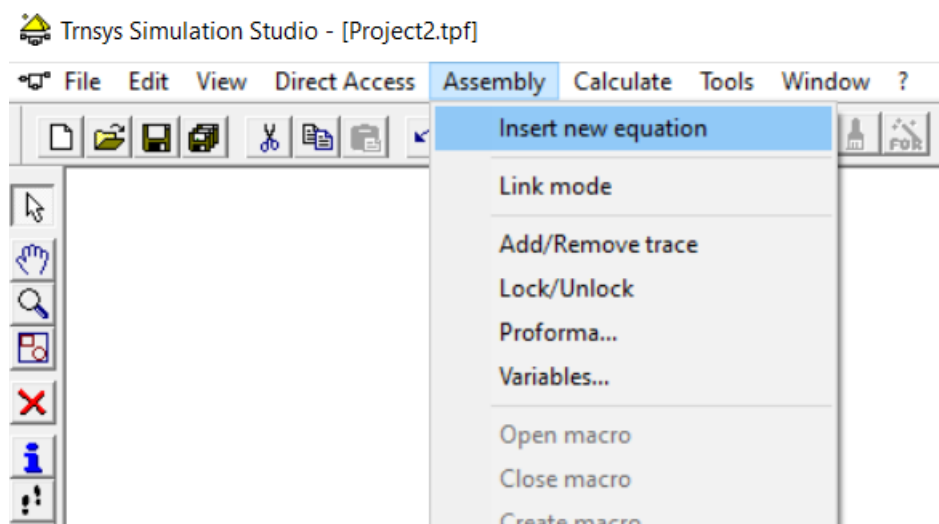
Η γραμμή που συνδέει τα δυο στοιχεία έχει μπλε χρώμα, καθώς δεν έχουμε συνδέσει τις μεταβλητές των δυο στοιχείων. Μόλις το πραγματοποιήσουμε η γραμμή θα έχει μαύρο χρώμα. Κάνοντας κλικ πάνω στη γραμμή εμφανίζεται το ακόλουθο παράθυρο, όπου συνδέουμε μεταβλητές που αντιστοιχούν σε ίδια φυσικά μεγέθη, δηλαδή Θερμοκρασία με Θερμοκρασία κ.ο.κ [6.5].



Εικόνα 6.6: Σύνδεση μεταβλητών ανάμεσα σε στοιχεία

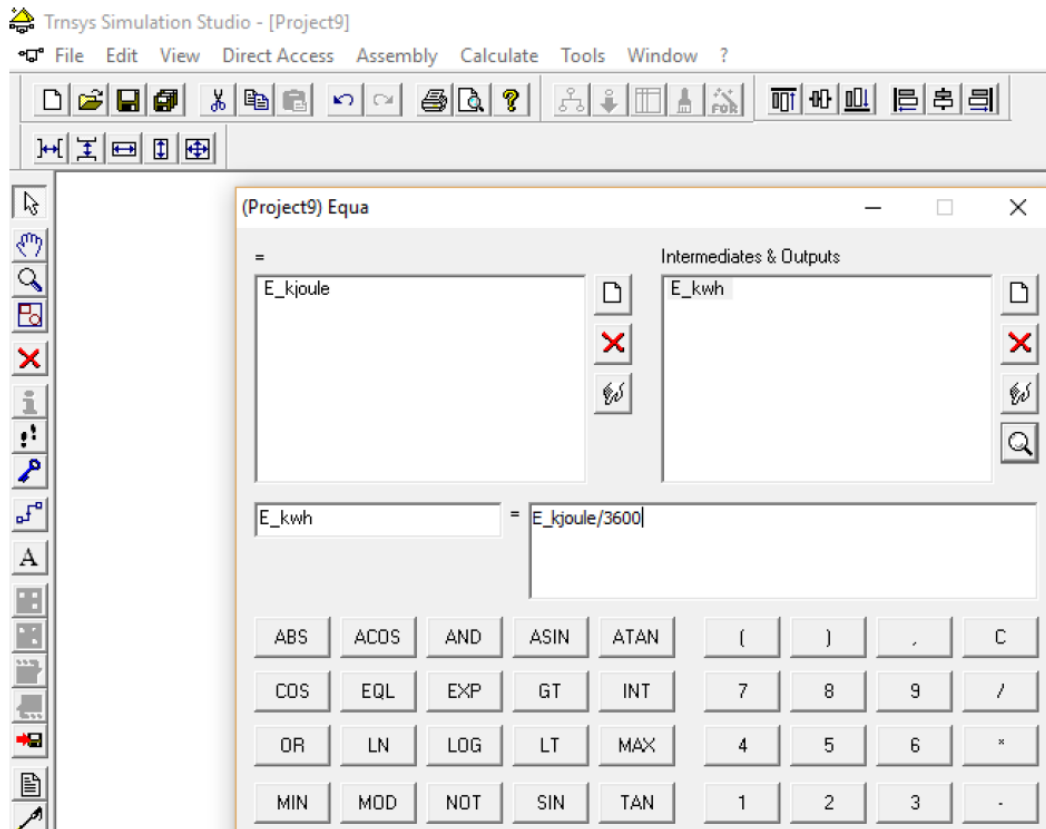
6.3.3 Πρόσθετες δυνατότητες του Simulation Studio

Μία πολύ χρήσιμη λειτουργία του TRNSYS είναι η εισαγωγή εξισώσεων μέσα στο αρχείο εισόδου. Οι εξισώσεις αυτές μπορούν να είναι συναρτήσεις με μεταβλητές ενός στοιχείου ή σταθερές αριθμητικές τιμές. Η εισαγωγή μιας εξίσωσης γίνεται με το εικονίδιο Assembly – Insert new equation.



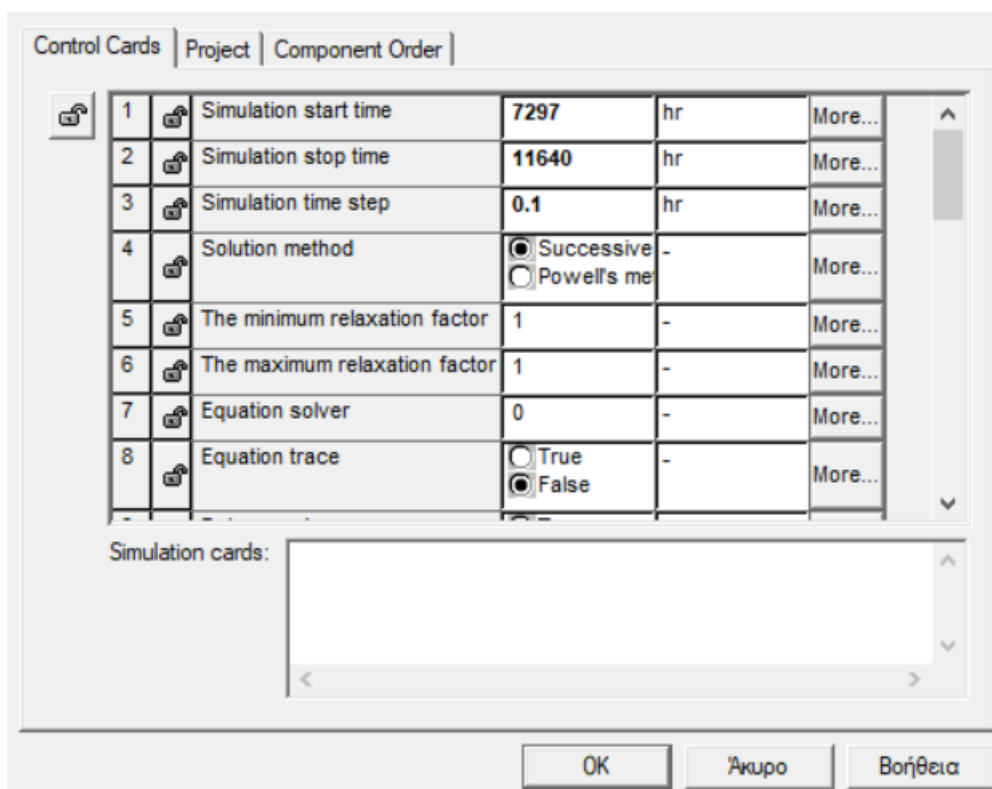
Εικόνα 6.7: Εισαγωγή εξίσωσης

Στη συνέχεια εμφανίζεται το ακόλουθο παράθυρο, το οποίο περιέχει δύο στήλες. Στην αριστερή στήλη είναι οι εισόδοι της εξίσωσης (inputs) ενώ στη δεξιά στήλη οι έξοδοι της εξίσωσης (Intermediates & Outputs). Μία μεταβλητή δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη δεξιά στήλη, εάν δεν έχει οριστεί στις εισόδους αριστερά. Στο παρακάτω παράδειγμα, παρουσιάζεται η μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας ενός στοιχείου από kJ σε kWh.



Εικόνα 6.8: Είσοδοι και έξοδοι της εξίσωσης

Το Simulation Studio μας δίνει επίσης τη δυνατότητα να ορίσουμε την στιγμή έναρξης και τερματισμού της προσομοίωσης, καθώς επίσης και το βήμα της, με το εικονίδιο Control Cards. Για παράδειγμα εάν επιθυμούμε την προσομοίωση τους μήνες Νοέμβριο έως Απρίλιο, με βήμα 0,1 της ώρας θα επιλέξουμε τα παρακάτω:



Εικόνα 6.9: Καρτέλα ελέγχου

Τέλος, ίσως η πιο σημαντική δυνατότητα του Simulation Studio, είναι το εικονίδιο Run, με το οποίο γίνεται γραφική απεικόνιση της μεταβολής και παρουσιάζεται το προφίλ θερμοκρασιών και άλλων μεγεθών. Επίσης επιλέγοντας το εικονίδιο Calculate - Open - External Files, λαμβάνουμε τα αριθμητικά αποτελέσματα της προσομοίωσης για κάθε χρονική στιγμή [6.5].

6.4 Μηχανή προσομοίωσης TRNSYS (TRNSYS Simulation Engine)

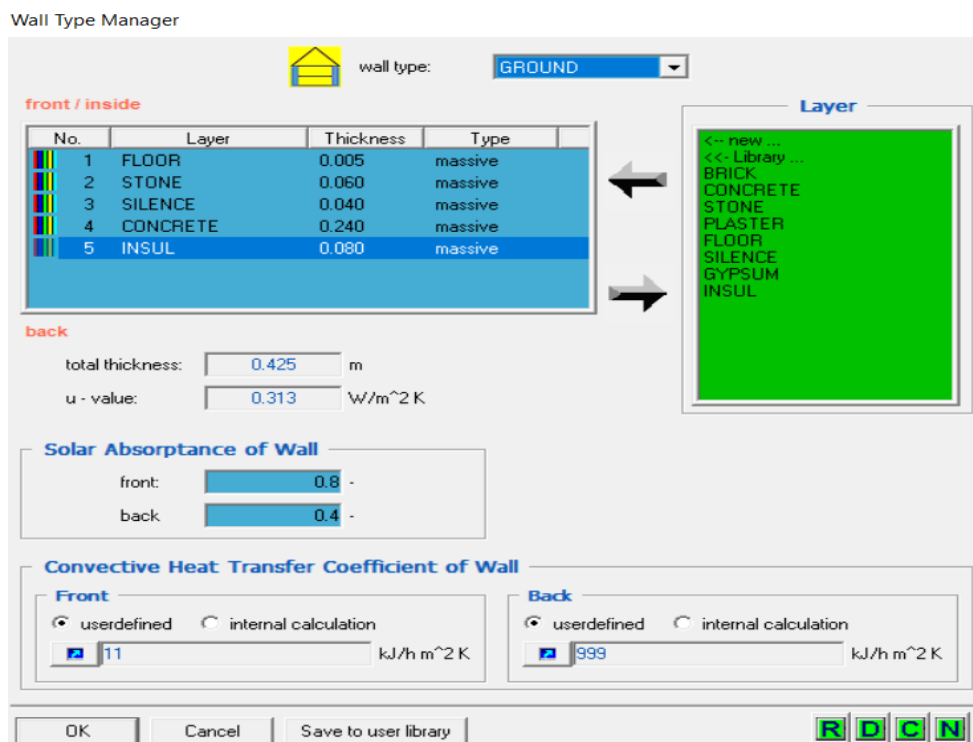
Η μηχανή προσομοίωσης είναι προγραμματισμένη σε μορφή FORTRAN και μεταφράζεται σε μια δυναμική βιβλιοθήκη DLL (Dynamic Link Library) TRNDII. Ο πυρήνας του TRNSYS (kernel) διαβάζει όλες της πληροφορίες της προσομοίωσης που περιέχονται στο αρχείο εισόδου (input file) (*.dck) . Επιπρόσθετα καλεί αρχεία εισόδου (π.χ. αρχεία καιρού) και δημιουργεί αρχεία εξόδου (output files).

Η κλήση της μηχανής γίνεται από ένα εκτελέσιμο πρόγραμμα (TRNExe.exe), το οποίο υλοποιεί και τη γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων (Simulation Plotter), ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την αναπαράσταση ποικίλων μεταβλητών κατά την διάρκεια μιας προσομοίωσης. Υπάρχει δυνατότητα παύσης της προσομοίωσης, μεγέθυνση για καλύτερη εποπτεία των αποτελεσμάτων, πολλαπλές γραφικές απεικονίσεις παράλληλα κ.α.[6.6].

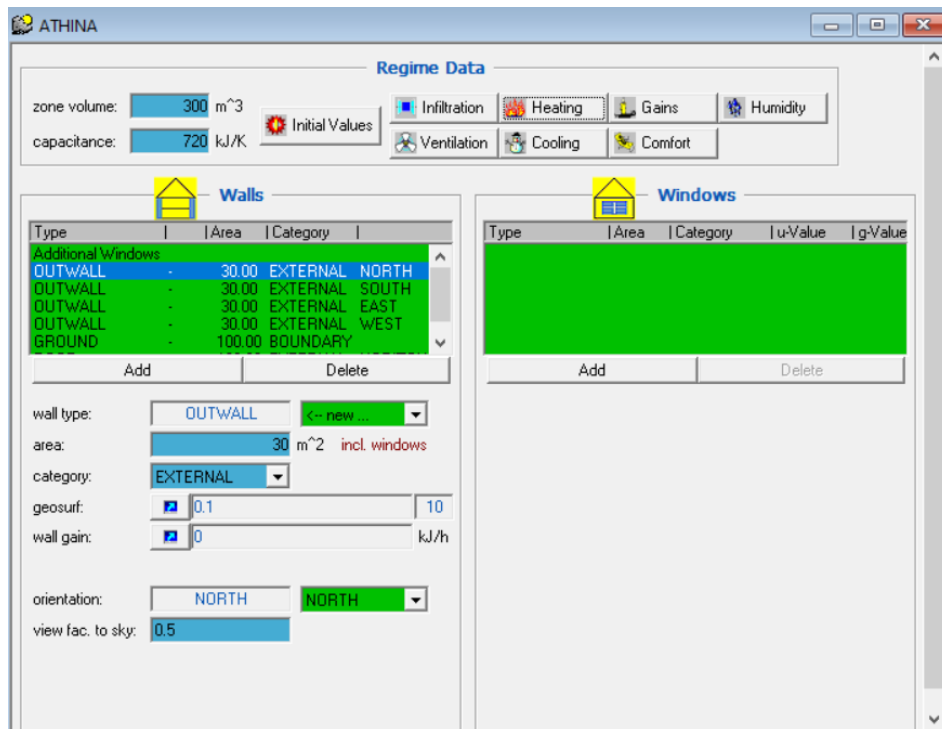
6.5 Το περιβάλλον TRNBuilt

Το TRNBuilt είναι το πρόγραμμα με το οποίο εισάγουμε τα δεδομένα και τις παραμέτρους ενός πολυζωνικού κτιρίου. Δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει λεπτομερώς όλα τα υλικά κατασκευής του κτιρίου, τους υαλοπίνακες, καθώς επίσης και το πρόγραμμα ψύξης και θέρμανσης που εφαρμόζεται στο κτίριο. Παρακάτω παρουσιάζονται τα κυριότερα εργαλεία του TRNBuilt :

- ❖ **Wall type manager:** Με το εικονίδιο αυτό, εισάγουμε τα δεδομένα για τους τοίχους του κτιρίου. Αρχικά, επιλέγεται το είδος του τοίχου (έδαφος, οροφή, εξωτερικός, εσωτερικός ή παρακείμενος σε άλλη ζώνη) από την επιλογή Wall type. Ακολούθως, προσδιορίζονται τα στρώματα κατασκευής του τοίχου καθώς επίσης και το πάχος του καθενός. Υπάρχει η δυνατότητα επιλογής μιας σειράς υλικών που προσφέρει το TRNSYS όπως πλίνθο, σκυρόδεμα, πέτρα, σοβά, γύψο και μόνωση. Επιλέγοντας τη ζώνη που επιθυμούμε να επεξεργαστούμε, μπορούμε να ορίσουμε το συντελεστή θέασης του τοίχου από τον ουρανό, το συντελεστή κατανομής της εισερχόμενης ακτινοβολίας (geosurf) και άλλα φορτία του τοίχου.



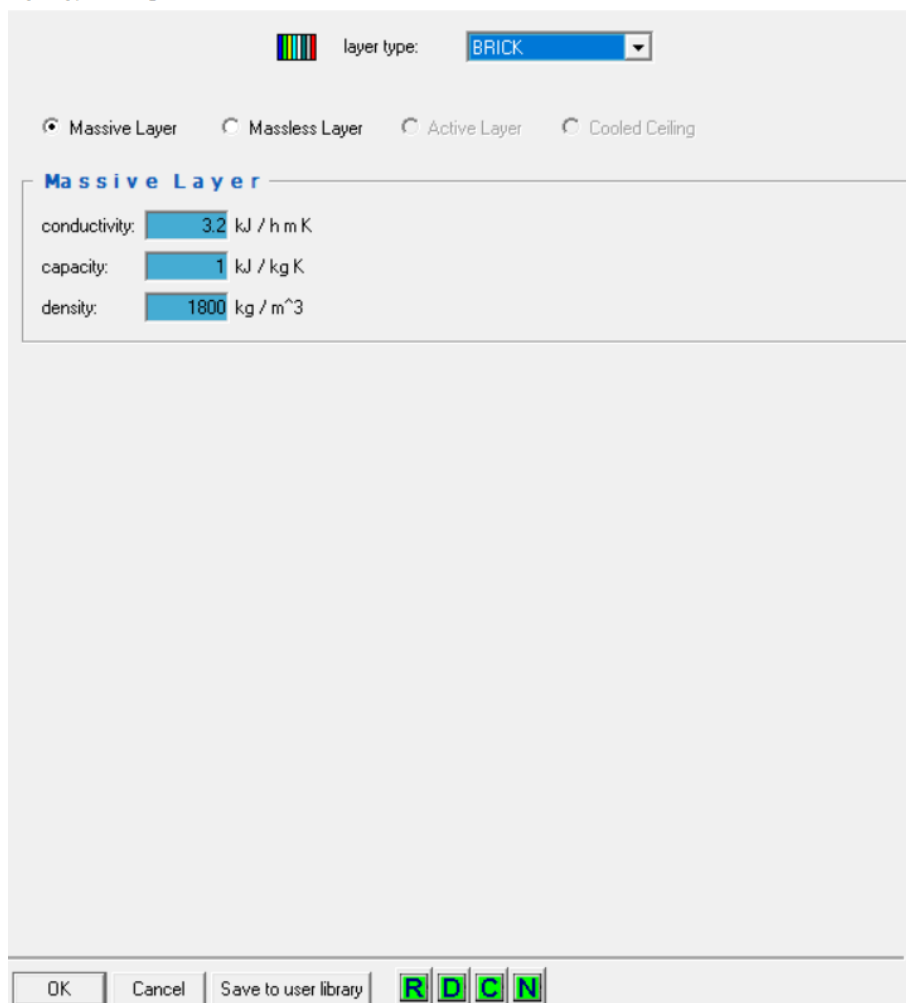
Εικόνα 6.10: Εισαγωγή υλικών τοίχων



Εικόνα 6.11: Επεξεργασία τοίχων

- ❖ **Layer type manager:** Το TRNBuild δίνει τη δυνατότητα ορισμού ενός νέου υλικού, αρκεί φυσικά να γνωρίζουμε τις φυσικές του ιδιότητες. Έτσι, προσδιορίζοντας τη θερμική αγωγιμότητα (conductivity), τη θερμοχωρητικότητα (capacity) και την πυκνότητα (density) του υλικού και τέλος ονομάζοντας το, έχουμε τη δυνατότητα να το χρησιμοποιήσουμε για την κατασκευή του κτιρίου. Για παράδειγμα, ένα νέο υλικό προς χρήση θα μπορούσε να είναι το τούβλο. Το υλικό αυτό ονομάστηκε BRICK και είναι έτοιμο προς χρήση.


Layer Type Manager



Εικόνα 6.12: Εισαγωγή νέου υλικού

- ❖ **Window type manager:** Αποτελεί τον επεξεργαστή των υαλοπινάκων του κτιρίου. Συγκεκριμένα υπάρχει η δυνατότητα επιλογής διπλών υαλοπινάκων, του είδους του γυαλιού ανάμεσα σε 125 δυνατές επιλογές της βιβλιοθήκης του TRNSYS, του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή, του μεγέθους του πλαισίου του υαλοπίνακα, καθώς επίσης και άλλες προαιρετικές ρυθμίσεις όπως σκίαση, αντανάκλαση κλπ. Στη συνέχεια επιλέγοντας τη ζώνη που μας ενδιαφέρει, ορίζουμε το μέγεθος του υαλοπίνακα, το είδος του, τον προσανατολισμό, το συντελεστή geosurf κ.α.

New Window Type

 new window type: **DOUBLE**

Glazing

ID number: WinID:

slope of window: degree

For 1 glazing module width: m height: m

u - value: W/m²K Entered values are used for display only

g - value: %/100

ID spacer:

Convective Heat Transfer Coefficient of Window

Front (inside)

userdefined internal calculation

kJ/h m² K

Back (outside)

userdefined internal calculation

kJ/h m² K

Optional Properties of Shading Devices

Additional Heat Resistance

internal device: h m² K/kJ

external device: h m² K/kJ

Reflection Coefficient of Internal Device

towards window: % / 100

towards zone: % / 100

Fraction of abs. Solar Radiation to Zone Air Node (CCISHADE)

% / 100

Frame

area frame/window: % / 100

u - value (1/ R): kJ/h m² K

solar absorptance:

Εικόνα 6.13: Επιλογή είδους υαλοπίνακα και πλαισίου

ATHINA

Regime Data

zone volume: m³

capacitance: kJ/K

Walls

Type	Area	Category
Additional Windows		
OUTWALL	30.00	EXTERNAL NORTH
OUTWALL	30.00	EXTERNAL SOUTH
OUTWALL	30.00	EXTERNAL EAST
OUTWALL	30.00	EXTERNAL WEST
GROUND	100.00	BOUNDARY

Add Delete

wall type:

area: m² incl. windows

category:

geosurf: 10

wall gain: kJ/h

orientation:

view fac. to sky:

Windows

Type	Area	Category	u-Value	g-Value
DOUBLE	0.10	EXTERNAL	1.4	0.589

Add Delete

window type:

area: m²

category:

geosurf: 19

gain: kJ/h

orientation:

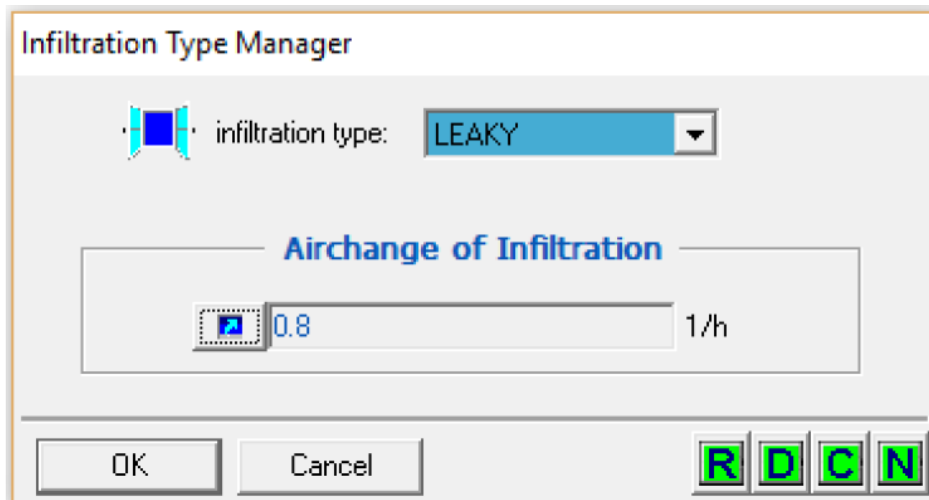
view fac. to sky:

internal shad. factor:

external shad. factor:

Εικόνα 6.14: Επεξεργασία μεγέθους υαλοπινάκων

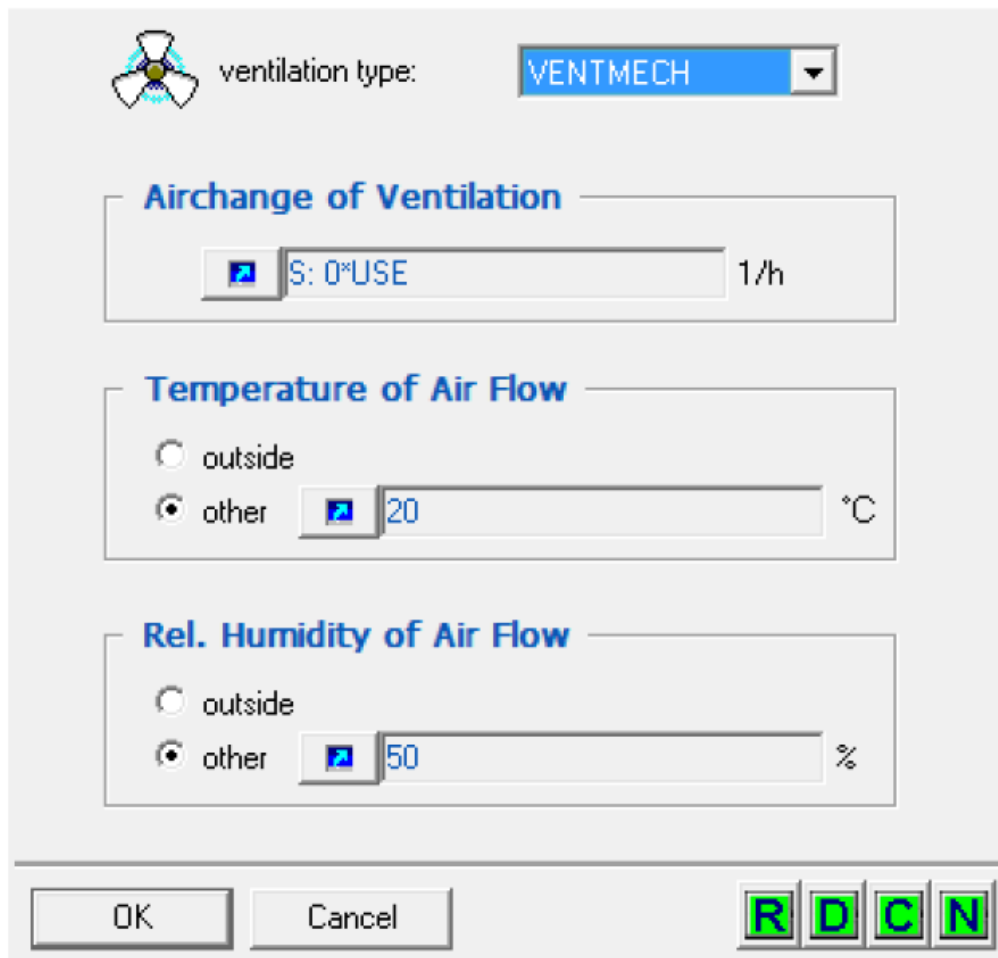
- ❖ **Infiltration type manager:** Από το εικονίδιο αυτό, καθορίζεται η διείσδυση του αέρα μέσα στη ζώνη του κτιρίου που έχουμε επιλέξει. Να σημειωθεί ότι η ρύθμιση αυτή είναι προαιρετική και αρχικά είναι απενεργοποιημένη. Απαραίτητη προϋπόθεση για την λειτουργία αυτή είναι να γνωρίζουμε το ρυθμό εναλλαγών του αέρα περιβάλλοντος που θα διεισδύσει στο κτίριο μας.



Εικόνα 6.15: Ρύθμιση διείσδυσης αέρα

- ❖ **Ventilation type manager:** Με τον επεξεργαστή αυτόν ορίζεται επίσης προαιρετικά ο αερισμός του κτιρίου. Για να ρυθμίσουμε πλήρως αυτή την παράμετρο, αρκεί να γνωρίζουμε το ρυθμό εναλλαγών του αέρα, τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία του.

Ventilation Type Manager



ventilation type: **VENTMECH**

Airchange of Ventilation

S: 0*USE 1/h

Temperature of Air Flow

outside

other °C

Rel. Humidity of Air Flow

outside

other %

OK Cancel **R D C N**

Εικόνα 6.16: Επεξεργασία αερισμού κτιρίου

- ❖ **Heating type manager:** Με το εικονίδιο αυτό επιλέγουμε με ποιο τρόπο θα γίνει η θέρμανση στο κτίριο μας. Συγκεκριμένα προσδιορίζεται η επιθυμητή θερμοκρασία δωματίου κάτω από την οποία θα λειτουργεί η θέρμανση, τη μέγιστη ισχύ που μπορεί να παραχθεί για θέρμανση (αν θα είναι απεριόριστη ή αν θα τίθεται κάποιο όριο) και το αν θα υπάρχει υγραποίηση του αέρα (humidification). Παρόλα αυτά, η ρύθμιση του heating είναι προαιρετική, καθώς μπορούμε να μοντελοποιήσουμε το μηχανισμό θέρμανσης και εξωτερικά του περιβάλλοντος TRNBuild, στέλνοντας ως εισόδους στο Building τη θερμοκρασία, την υγρασία και τις εναλλαγές αέρα.

Heating Type Manager

heating type: HEAT1

Room Temperature Control

set temperature: S: 7*SETOFF+15 °C

Heating Power

heating power:

unlimited

limited 9000 kJ / h

radiative part: 0 % / 100

Humidification

off

on

OK Cancel R D C N

Εικόνα 6.17: Επεξεργασία θέρμανσης κτιρίου

- ❖ **Cooling type manager:** Παρόμοια λειτουργία με το Heating type manager, μόνο που εδώ αναφερόμαστε σε ψύξη του κτιρίου και πιο συγκεκριμένα της επιλεγμένης ζώνης αυτού. Συγκεκριμένα ρυθμίζουμε τη θερμοκρασία πάνω από την οποία θα τίθεται σε λειτουργία το σύστημα ψύξης, τη μέγιστη παρεχόμενη ισχύ για ψύξη καθώς επίσης και το αν επιθυμούμε αφύγρανση του αέρα.

Να σημειωθεί ότι τόσο στη θέρμανση όσο και στην ψύξη, υπάρχει η δυνατότητα ορισμού ενός χρονοδιαγράμματος λειτουργίας, θέτοντας την επιθυμητή θερμοκρασία στο χώρο κάθε χρονική στιγμή.

Cooling Type Manager

cooling type: **COOL1**

Room Temperature Control

set temp.: °C

Cooling Power

unlimited

limited kJ / h

Dehumidification

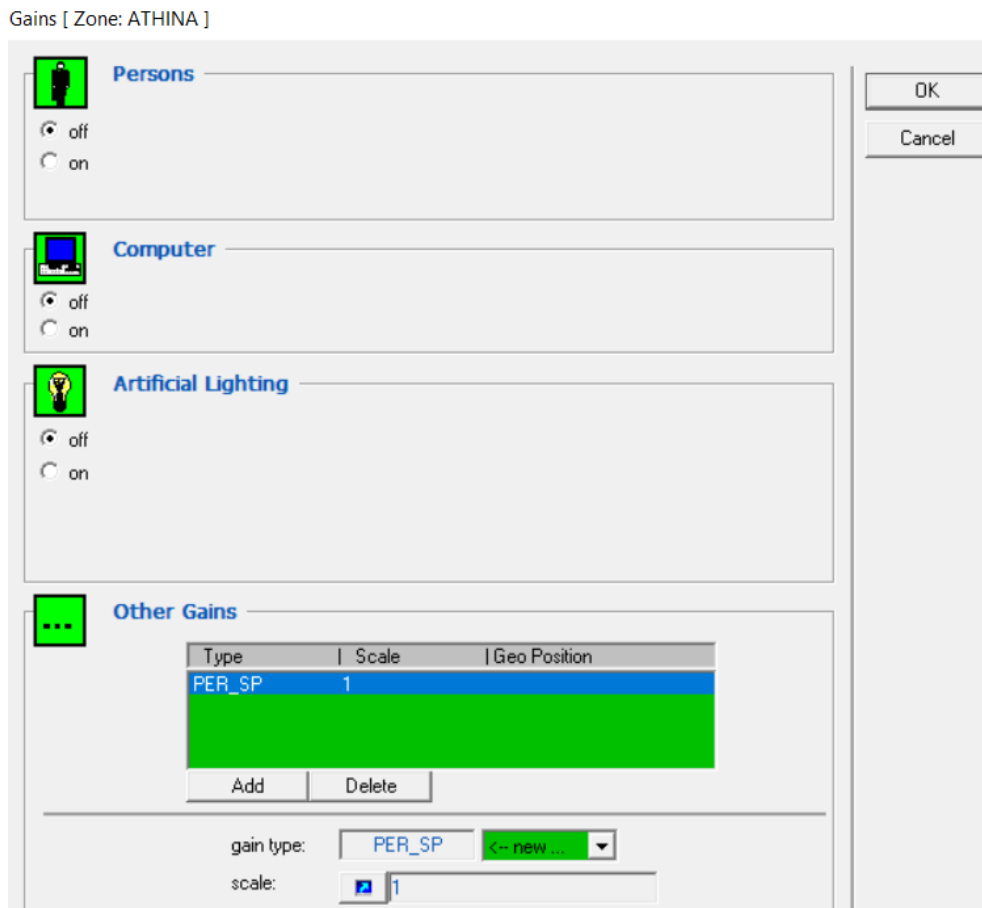
off

on

OK Cancel **R D C N**

Εικόνα 6.18: Επεξεργασία ψύξης κτιρίου

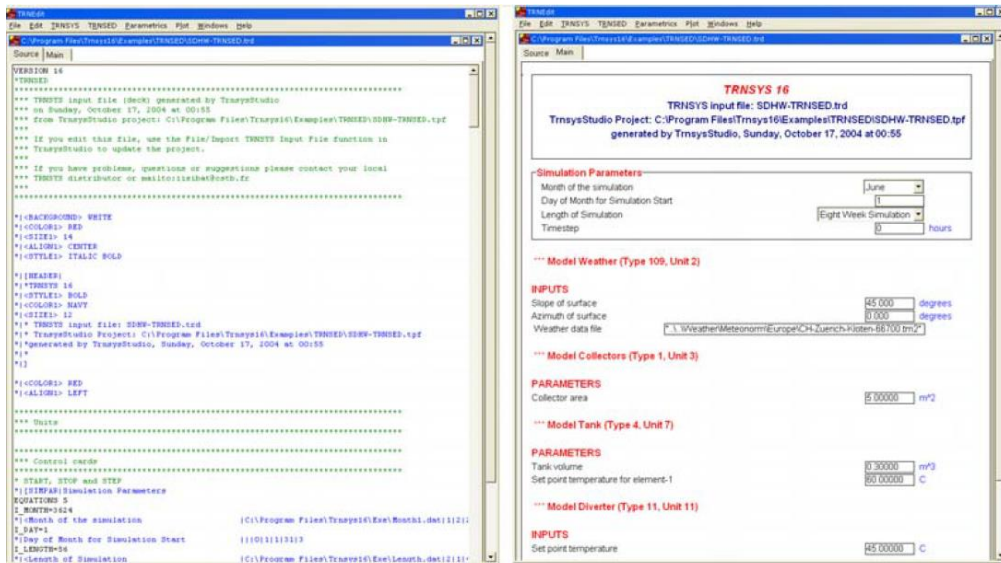
- ❖ **Εσωτερικά φορτία (Gains):** Επιλέγοντας την επιθυμητή ζώνη και το εικονίδιο Gains, μας δίδεται η δυνατότητα να επεξεργαστούμε τα εσωτερικά φορτία του κτιρίου, τα οποία αποτελούν οι άνθρωποι που βρίσκονται στο χώρο (persons), οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές (computer), ο φωτισμός (artificial lighting), καθώς και άλλα θερμικά κέρδη που μπορούμε να ορίσουμε με την επιλογή other gains. Η παρουσία των ατόμων, ρυθμίζεται σύμφωνα με τις προδιαγραφές ISO 7730 ή VDI 2078 ανάλογα με τη συμπεριφορά τους στο χώρο. Για τους υπολογιστές, υπάρχει δυνατότητα επιλογής της ισχύος τους και του αριθμού τους, ενώ για το φωτισμό επιλέγεται 0 για κλειστά φώτα και 1 για ανοιχτά στη ρύθμιση scale ή ακόμα και κάποιο πρόγραμμα φωτισμού ανάλογα με τις ανάγκες του κτιρίου [6.5].



Εικόνα 6.19: Καθορισμός εσωτερικών φορτίων κτιρίου

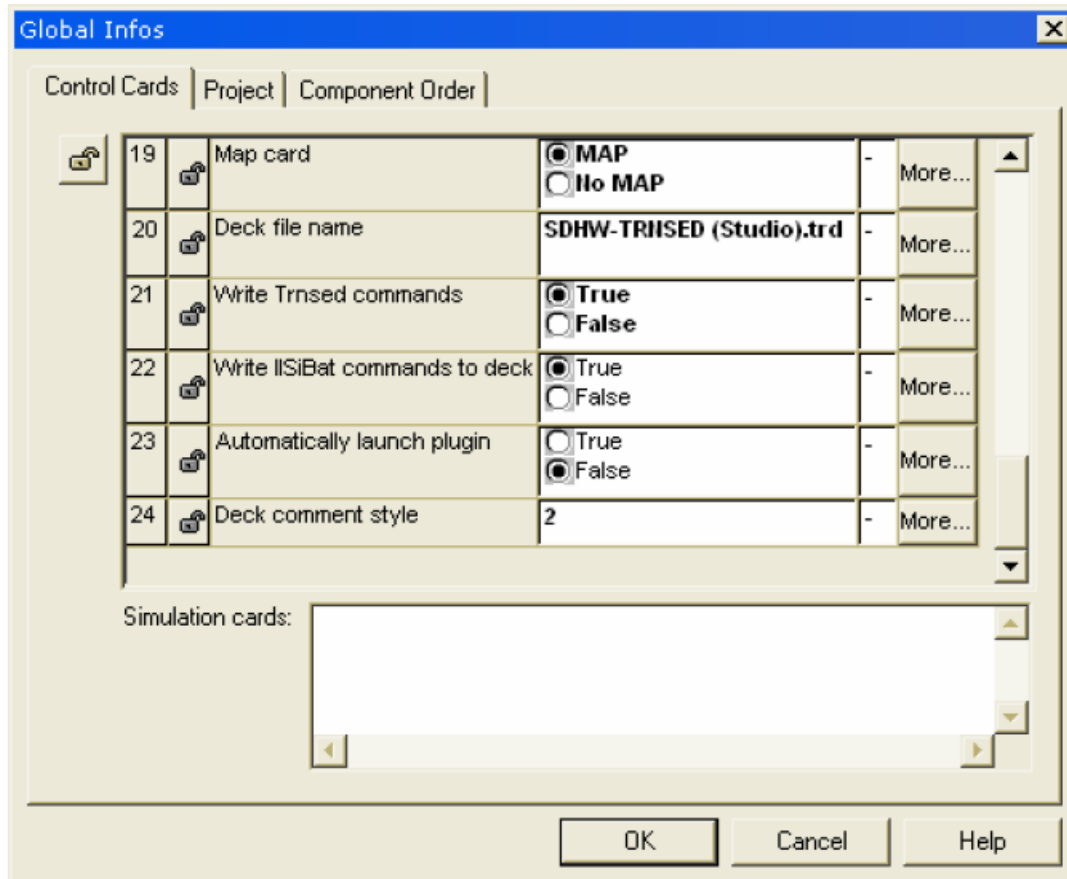
6.6 Οι εφαρμογές TRNSED και TRNEdit

Το πρόγραμμα TRNEdit είναι ένας εξειδικευμένος επεξεργαστής που χρησιμοποιείται για την τροποποίηση των αρχείων εισόδου του TRNSYS. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία αυτόνομων εφαρμογών, οι οποίες ονομάζονται TRNSED εφαρμογές. Υπάρχει η δυνατότητα ελεύθερης διανομής αυτών των εφαρμογών μεταξύ χρηστών που δεν έχουν άδεια χρήσης του TRNSYS, με σκοπό να έχουν στη διάθεση τους ένα απλοποιημένο εργαλείο προσομοίωσης. Το πρόγραμμα TRNEdit παρέχεται με ένα κατάλληλο γραφικό περιβάλλον στο οποίο ο χρήστης μπορεί να τροποποιήσει το αρχείο εισόδου του TRNSYS εισάγοντας ειδικές εντολές, ώστε να προστεθούν στο πρόγραμμα που κατασκευάζεται, στοιχεία όπως πολλαπλά παράθυρα και ενεργές εικόνες. Το περιβάλλον TRNEdit αποτελείται από δυο καρτέλες. Στην πρώτη εμφανίζεται ο κώδικας του αρχείου εισαγωγής και στην άλλη το γραφικό αποτέλεσμα που αποτελεί την TRNSED εφαρμογή [6.7].



Εικόνα 6.20: Καρτέλα του κώδικα του TRNEdit και η μορφή της Trnsed εφαρμογής [6.8]

Για να είναι δυνατή η δημιουργία TRNSED εφαρμογών θα πρέπει από την καρτέλα ελέγχου στο στούντιο προσομοίωσης να αλλαχθεί η επέκταση του αρχείου εισόδου του TRNSYS από *.dck σε *.trd και θέτοντας την τιμή “True” στην επιλογή “Write Trnsed commands”. Έπειτα, επιλέγονται οι είσοδοι και οι παράμετροι των μοντέλων που χρησιμοποιούνται στην προσομοίωση των οποίων οι τιμές θα μπορούν να επεξεργαστούν μέσω του προγράμματος TRNEdit και θα αποτελούν αργότερα παραμέτρους της Trnsed εφαρμογής. Αυτό γίνεται κάνοντας διπλό κλικ σε όλα τα μοντέλα της προσομοίωσης και επιλέγοντας “lock” σε κάθε μεταβλητή που δεν επιθυμούμε να αποτελεί παράμετρο της Trnsed εφαρμογής. Τέλος επιλέγουμε να γραφτεί το αρχείο εισόδου και το ανοίγουμε μέσω του προγράμματος TRNEdit όπου και τροποποιείται περεταίρω [6.8].



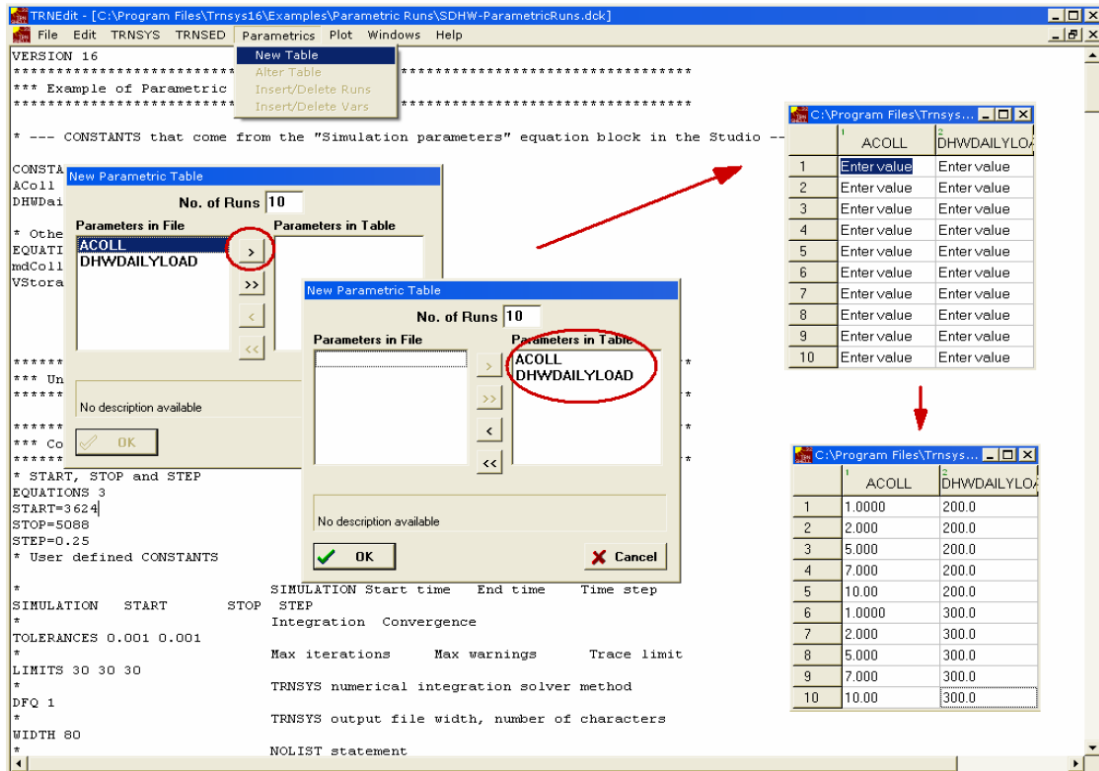
Εικόνα 6.21: Καρτέλα ελέγχου της προσομοίωσης [6.8]

Με το πρόγραμμα TRNEdit παρέχονται οι ακόλουθες δυνατότητες εισάγοντας τις κατάλληλες εντολές:

- Ορισμός σταθερών του προγράμματος ως μεταβλητές και αντίστροφα.
- Αλλαγή των τιμών σταθερών, μεταβλητών και παραμέτρων.
- Ορισμός των εξωτερικών αρχείων που χρησιμοποιούν τα μοντέλα του προγράμματος (π.χ. μετεωρολογικά δεδομένα, αρχείο περιγραφής κτηρίου κτλ).
- Καθορισμός γραφικών παραμέτρων όπως δημιουργία πολλαπλών παραθύρων, ενεργών εικόνων, εισαγωγή εικόνων
- Ρύθμιση των Trnsed εφαρμογών έτσι ώστε να μπορούν να επιλεγθούν οι τιμές άμεσα ή από λίστα ή από καθοριζόμενο αρχείο και εισαγωγή αποκλειστικών και μη αποκλειστικών επιλογών.
- Παραμετρικές εκτελέσεις της προσομοίωσης.

Οι παραμετρικές εκτελέσεις πραγματοποιούνται δημιουργώντας έναν πίνακα των σταθερών του προγράμματος που επιθυμούμε να οριστούν ως οι παράμετροι των εκτελέσεων με τις τιμές που επιθυμούμε να λάβουν οι σταθερές αυτές σε κάθε εκτέλεση. Για να δημιουργηθεί ο πίνακας αυτός, επιλέγεται από το άνω μέρος του παραθύρου "Parametric" και "new table". Στο παράθυρο που ανοίγει ορίζουμε τον αριθμό των παραμετρικών εκτελέσεων και επιλέγονται από τη λίστα οι σταθερές βάσει των οποίων θέλουμε να γίνει η παραμετροποίηση. Τέλος συμπληρώνονται οι

επιθυμητές τιμές στον πίνακα έτσι ώστε κάθε γραμμή του πίνακα να περιέχει τον επιθυμητό συνδυασμό των τιμών των παραμέτρων που θα χρησιμοποιηθούν σε κάθε εκτέλεση. Η παραμετρική μελέτη εκκινεί επιλέγοντας “run table” από το μενού “Trnsys” στο άνω μέρος του παραθύρου του προγράμματος TRNEdit [6.2].



Εικόνα 6.22: Παραμετρική μελέτη [6.8]

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 6^{ου} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

[6.1] S. A. Klein, "TRNSYS 17: A Transient System Simulation Program," *Sol. Energy Lab. Univ. Wisconsin, Madison, USA*, vol. 1, pp. 1–5, 2010.

[6.2] Διπλωματική Εργασία (Δυναμική μοντελοποίηση τυπικών κτηρίων σε Ελλάδα και Κύπρο. Εφαρμογή στη μελέτη συστήματος θέρμανσης με ηλιακή υποβοήθηση) Νάστας Αλέξανδρος-Χρυσοβαλάντης.

[6.3] G. Started, "Trnsys 17," vol. 5, pp. 1–79, 2013.

[6.4] Solar Energy Laboratory, "Trnsys 17," *Univ. Wisconsin-Madison*, vol. 2, pp. 1–29, 2012.

[6.5] ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Προσομοίωση κτιρίου μηδενικής ενέργειας με το λογισμικό TRNSYS Δήμτσας Δημήτριος

[6.6] G. Started, "Trnsys 17," vol. 5, pp. 1–79, 2013.

[6.7] web.mit.edu/parmstr/Public/Documentation/01-GettingStarted.pdf

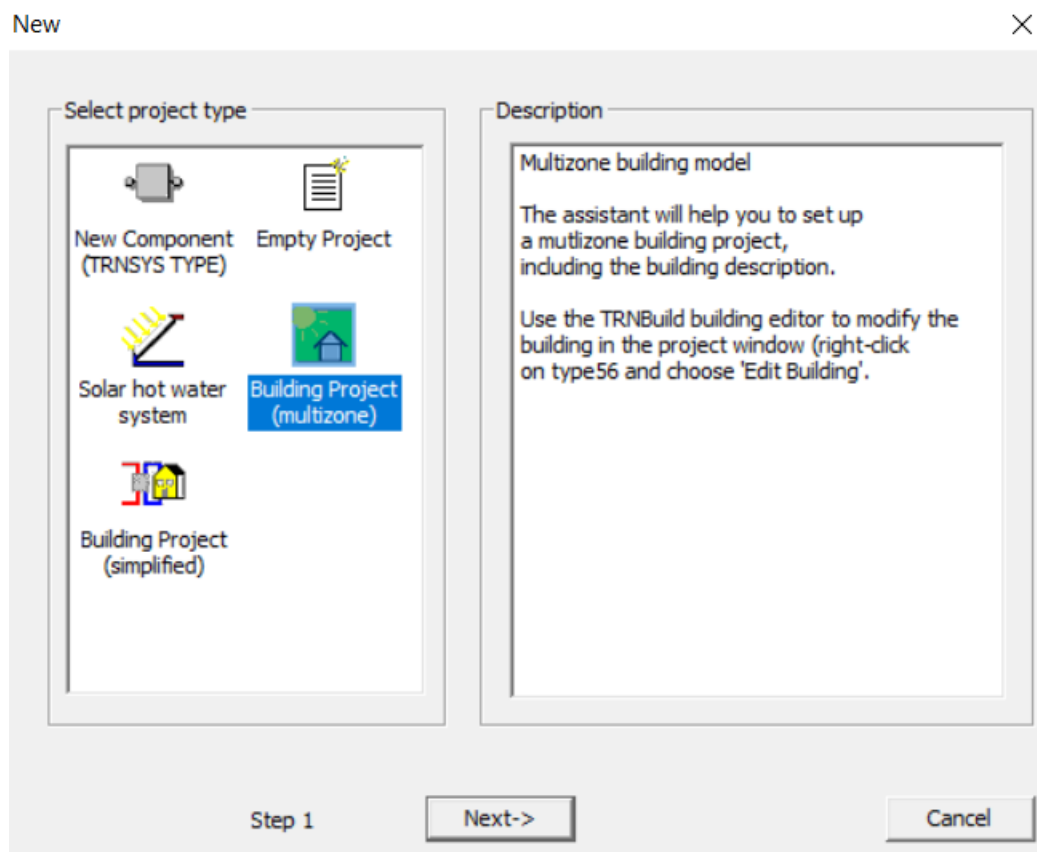
[6.8] Παραμετρική μελέτη θέρμανσης χώρων με εποχιακή αποθήκευση με χρήση του προγράμματος TRNSYS Παναγιώτης Δ. Τσεκούρας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Προσομοίωση της εγκατάστασης μου στο TRNSYS Simulation Studio

7.1 Βήματα σχεδιασμού του κτιρίου στο TRNSYS Studio

Βήμα 1^ο

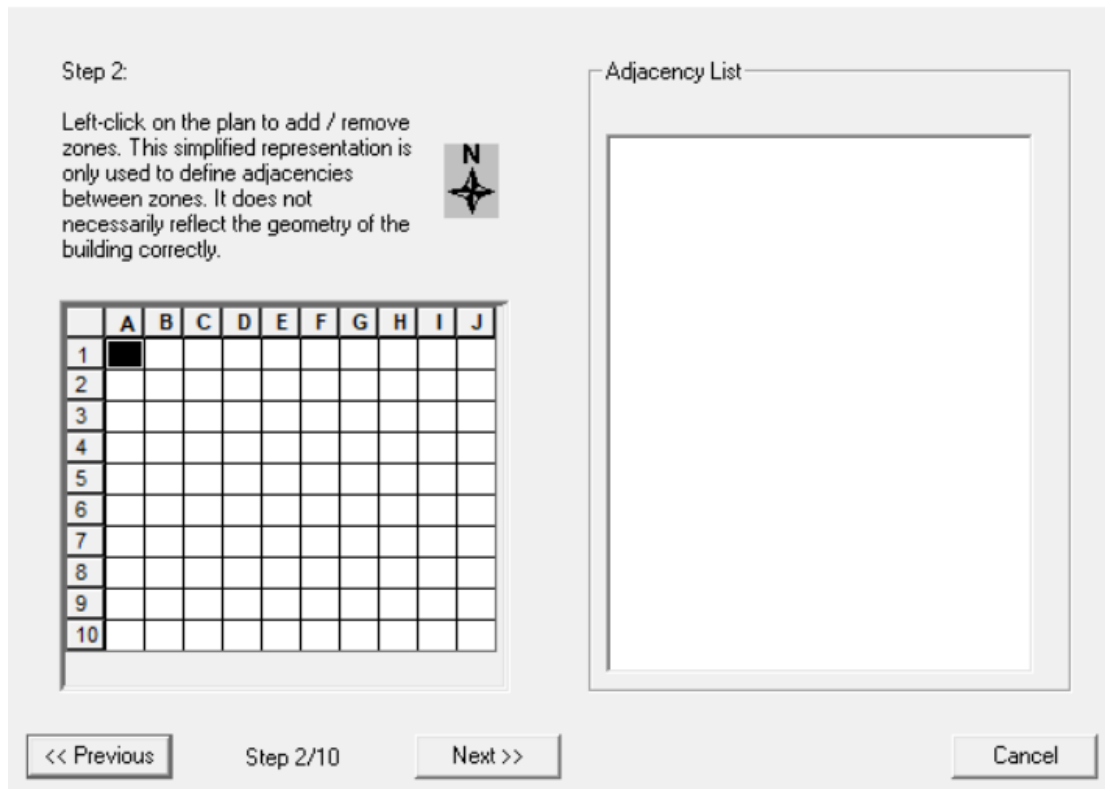
Αφού ανοίξουμε το πρόγραμμα Trnsys Studio, επιλέγουμε το εικονίδιο New και εν συνεχεία το εικονίδιο Building Project (multizone).



Εικόνα 7.1: Δημιουργία πολυζωνικού μοντέλου κτιρίου

Βήμα 2^ο

Σε αυτό το σημείο καλούμαστε να επιλέξουμε τον αριθμό των ζωνών του κτιρίου μας. Στη μελέτη μας χρησιμοποιήσαμε μια ενεργειακή ζώνη.



Εικόνα 7.2: Επιλογή αριθμού ζωνών κτιρίου

Βήμα 3^ο

Στο βήμα αυτό γίνεται η επιλογή των διαστάσεων για κάθε ζώνη του κτιρίου μας. Εμείς θα χρησιμοποιήσουμε μια ζώνη, με τις διαστάσεις ενός τυπικού κτιρίου 100 m². και συγκεκριμένα:

- Μήκος: 10 m
- Πλάτος: 10 m
- Ύψος: 3 m

Step 3: Define zone dimensions

Select the zone you want to modify in the plan and edit the values below.

Name

Zone dimension

Height [m] ·

Width [m] -->

Depth [m] ^

Volume [m³]

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										

<< Previous Step 3/10 Next >> Cancel

Εικόνα 7.3: Επιλογή διαστάσεων ζωνών κτιρίου

Βήμα 4^ο

Η επόμενη ρύθμιση αφορά το ποσοστό των υαλοπινάκων επί του τοίχου για κάθε μία από τις τέσσερις κατευθύνσεις (Βορρά, Νότο, Δύση, Ανατολή). Την οποία όμως καθορίσαμε σε δεύτερη φάση και όχι από αυτό το βήμα. Επίσης επιλέγεται η τοποθεσία του κτιρίου, για την οποία επιλέξαμε την Αθήνα, ενώ υπάρχει δυνατότητα για ακριβή προσδιορισμό του προσανατολισμού του κτιρίου, όμως δεν χρησιμοποιήθηκε αυτή η ρύθμιση και παρέμεινε η default τιμή των 0 μοιρών.

The dialog box is titled "Windows, orientation and location" and contains the following elements:

- Fraction of windows in external walls [%]:** A central compass rose with four input fields: North (0.0), West (0.0), East (0.0), and South (0.0).
- Building rotation:** A diagram showing a building footprint rotated relative to a North arrow. A red arrow indicates the rotation direction. The text "Rotation (North to East = positive)" is next to an input field containing "0" and "[deg.]".
- Location:** A text field containing ".\Weather\Meteorom\Europe\GR-AthinaI-16714C" and a "Browse" button.
- Navigation:** Buttons for "<< Previous", "Step 4/10", "Next >>", and "Cancel".

Εικόνα 7.4: Επιλογή ανοιγμάτων, προσανατολισμού, μετεωρολογικών δεδομένων

Βήμα 5^ο

Από εδώ καθορίζεται η διείσδυση του αέρα και ο αερισμός. Ενώ δεν ενεργοποιήσαμε τον αερισμό, είτε το φυσικό είτε το μηχανικό, σε αυτό το βήμα.

Infiltration (valid for all zones)

Leakage [1/h]

Mecanical ventilation

Natural ventilation

<< Previous Step 5/10 Next >> Cancel

Εικόνα 7.5: Επιλογή παραμέτρων αερισμού χώρου

Βήμα 6^ο


Επόμενο βήμα η επιλογή της θέρμανσης (Heating) και της ψύξης (Cooling) για το κτίριο μας. Δεν έγινε κάποια ενέργεια εδώ, καθώς θα γίνει χρήση συγκεκριμένου συστήματος θέρμανσης-ψύξης στη συνέχεια.



Εικόνα 7.6: Επιλογή θέρμανσης και ψύξης κτιρίου

Βήμα 7^ο

Στο σημείο αυτό υπάρχει η δυνατότητα προσδιορισμού των εσωτερικών φορτίων του κτιρίου, τα οποία προκύπτουν από την παρουσία ανθρώπων μέσα στο χώρο, από τη χρήση ηλεκτρονικών συσκευών και φυσικά από τα φώτα. Αποφασίστηκε ωστόσο η ρύθμιση να γίνει σε δεύτερη φάση με τη βοήθεια του TRNBuild όπου ρυθμίζονται πιο αναλυτικά οι παράμετροι και με μεγαλύτερη ακρίβεια. Έτσι στο βήμα αυτό δεν μεταβάλλαμε τις default τιμές.



Internal gains	
Specific gains	14 [W/m ²]
Person density	0.1 [1/m ²]

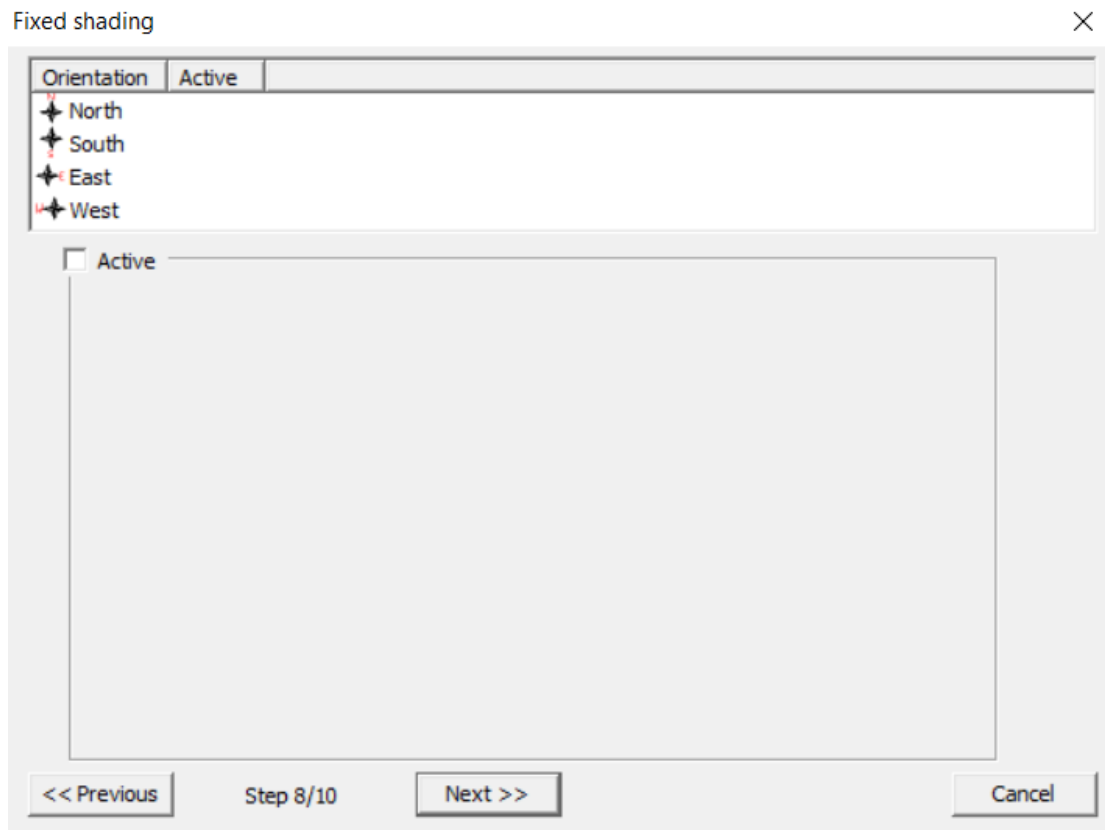
Lighting	
Light ON if total horizontal rad <	120 [W/m ²]
Light OFF if total horizontal rad >	200 [W/m ²]
Specific light	10 [W/m ²]

<< Previous Step 7/10 Next >> Cancel

Εικόνα 7.7: Επιλογή θερμικών κερδών κτιρίου από ανθρώπους, φωτισμό και συσκευές

Βήμα 8^ο και 9^ο

Στα βήματα αυτά παρέχεται η δυνατότητα ρύθμισης της σκίασης (Fixed και Movable) καθώς επίσης και του προσανατολισμού με τον οποίο γίνεται. Δεν μεταβλήθηκαν ούτε εδώ οι default τιμές. Σε επόμενη φάση θα επιλεγθεί ο συντελεστής σκίασης.

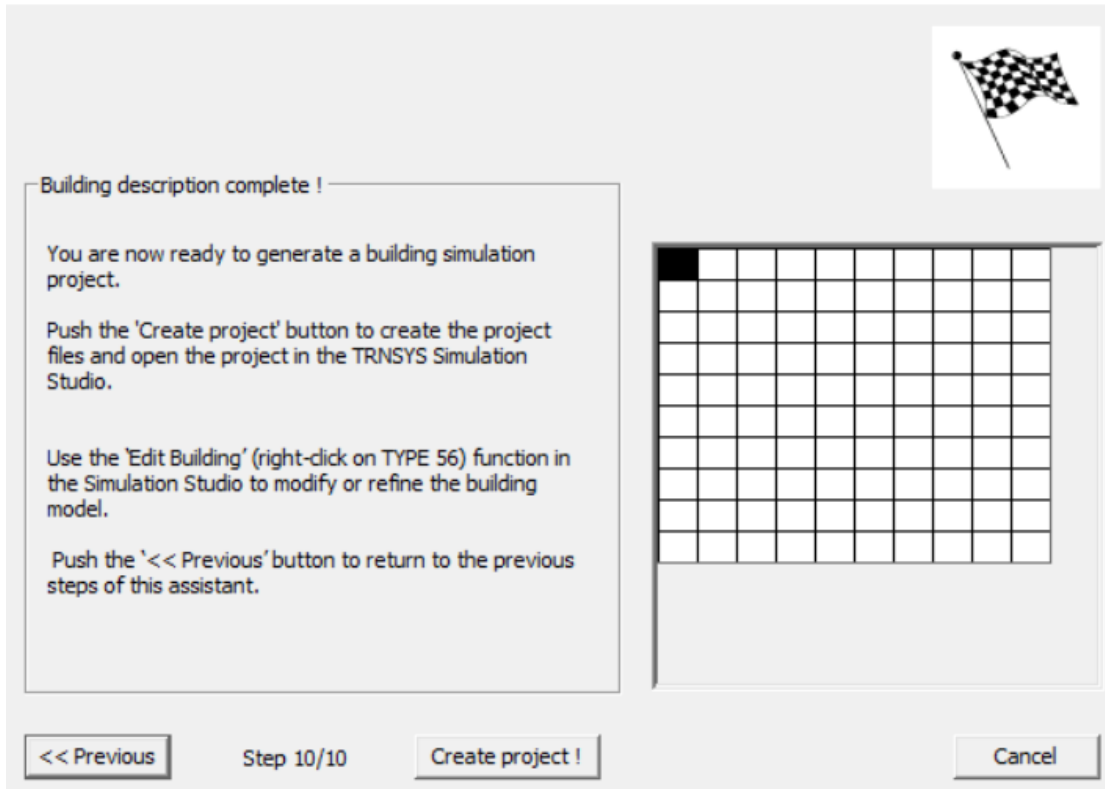


Εικόνα 7.8: Επιλογή σκίασης κτιρίου

Βήμα 10^ο

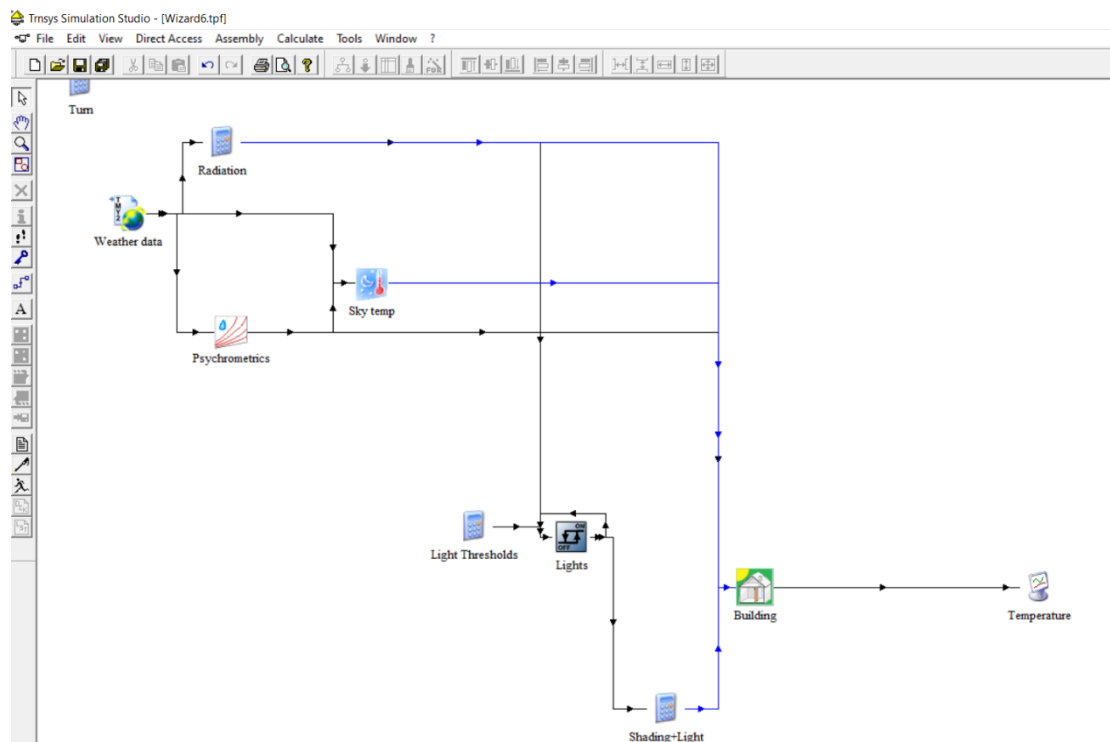
Το τελευταίο βήμα σχεδιασμού το οποίο έχει χαρακτήρα επικύρωσης. Επιλέγουμε το εικονίδιο Create Project και ολοκληρώνουμε το σχεδιασμό του κτιρίου μας [7.1].

Description complete



Εικόνα 7.9: Ολοκλήρωση σχεδιασμού κτιρίου

Στη συνέχεια, στο Simulation Studio εμφανίζεται η εγκατάσταση του κτιρίου προς μελέτη:



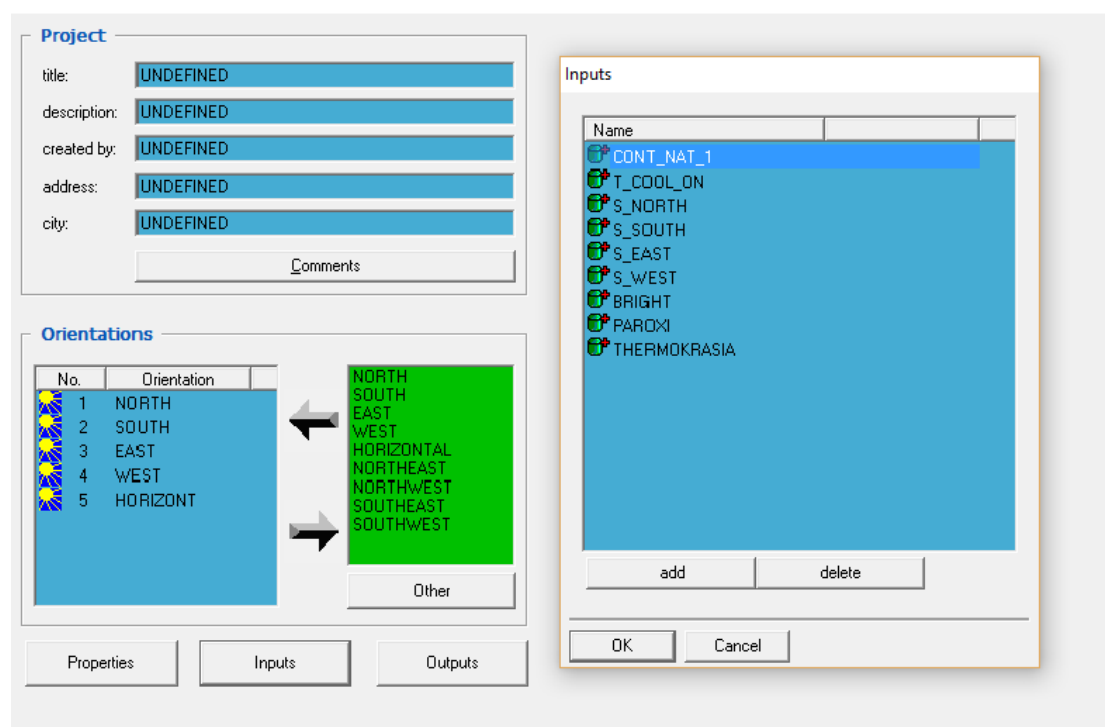
Εικόνα 7.10: Το κτίριο συνδεδεμένο με τα στοιχεία του Simulation Studio

7.2 Ρύθμιση παραμέτρων του κτιρίου

Έχοντας δημιουργήσει το μοντέλο του κτιρίου μας, είμαστε σε θέση να το επεξεργαστούμε σύμφωνα με τις ανάγκες της μελέτης μας. Έτσι, επιλέγουμε το εικονίδιο Building, κάνουμε δεξί κλικ και επιλέγουμε Edit Building. Αυτόματα μεταβαίνουμε στο περιβάλλον TRNBuild [7.1].

Δεδομένα εισόδου στο κτίριο

Επιλέγουμε το εικονίδιο Project και στη συνέχεια το Inputs, για να προσδιορίσουμε τις μεταβλητές που θα σταλούν ως εισοδοί στο κτίριο μας. Οι μεταβλητές αυτές θα είναι η μεταβλητή THERMOKRASIA που αναφέρεται στη θερμοκρασία του αέρα του συστήματος θέρμανσης που θα χρησιμοποιηθεί, και η μεταβλητή PAROXI που αναφέρεται στην παροχή του αέρα του συστήματος θέρμανσης. Στην περίπτωση μας, το σύστημα θέρμανσης θα αποτελείται από μια αντλία θερμότητας, όπως θα δούμε αναλυτικότερα στη συνέχεια [7.1].



Εικόνα 7.11: Εισαγωγή μεταβλητών εισόδου στο κτίριο

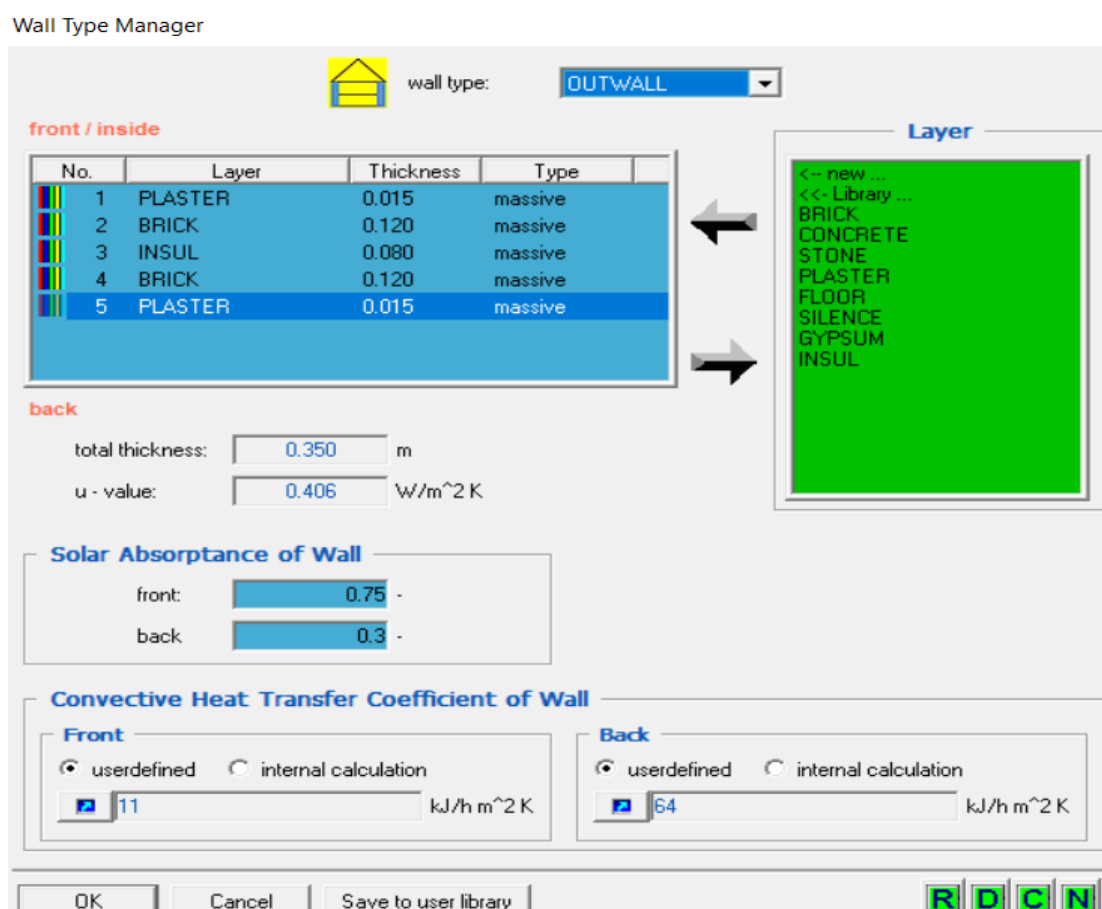
Δομικά στοιχεία κτιρίου

Αμέσως επόμενο βήμα, είναι η επεξεργασία των δομικών στοιχείων του κτιρίου, δηλαδή του δαπέδου, της οροφής και των εξωτερικών τοίχων του κτιρίου. Βρισκόμαστε στο περιβάλλον TRNBuild, οπότε επιλέγουμε το εικονίδιο Wall type manager για να προσδιορίσουμε τα υλικά από τα οποία θα αποτελείται ο κάθε τοίχος καθώς επίσης και το πάχος του καθενός.

Εξωτερικοί τοίχοι

Οι 4 εξωτερικοί τοίχοι του κτιρίου μας, θα αποτελούνται από 5 διαφορετικά στρώματα υλικών τα οποία αναφέρονται παρακάτω, ενώ θα έχουν συνολικό πάχος 0,35 m. Η τιμή του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας είναι $0.406 \text{ W/m}^2\text{K}$, όπως φαίνεται και στην εικόνα που ακολουθεί.

- Σοβάς: 0,015 m
- Τούβλο: 0,12 m
- Μόνωση: 0,08 m
- Τούβλο: 0,12 m
- Σοβάς: 0,015 m



Εικόνα 7.12: Επιλογή υλικών εξωτερικών τοίχων κτιρίου

Οροφή

Η οροφή του κτιρίου μας, θα αποτελείται από 3 διαφορετικά στρώματα υλικών τα οποία αναφέρονται παρακάτω, ενώ θα έχει συνολικό πάχος 31,5 cm. Η τιμή του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας θα είναι $0.360 \text{ W/m}^2\text{K}$.

- Οπλισμένο Σκυρόδεμα: 0,2 m
- Μόνωση: 0,1 m
- Σοβάς: 0,015 m

Wall Type Manager

wall type: ROOF

front / inside

No.	Layer	Thickness	Type
1	CONCRETE	0.200	massive
2	INSUL	0.100	massive
3	PLASTER	0.015	massive

back

total thickness: 0.315 m

u - value: 0.360 W/m² K

Solar Absorptance of Wall

front: 0.35

back: 0.75

Convective Heat Transfer Coefficient of Wall

Front

userdefined internal calculation

11 kJ/h m² K

Back

userdefined internal calculation

64 kJ/h m² K

Layer

- <- new ...
- <<- Library ...
- BRICK
- CONCRETE
- STONE
- PLASTER
- FLOOR
- SILENCE
- GYPSUM
- INSUL

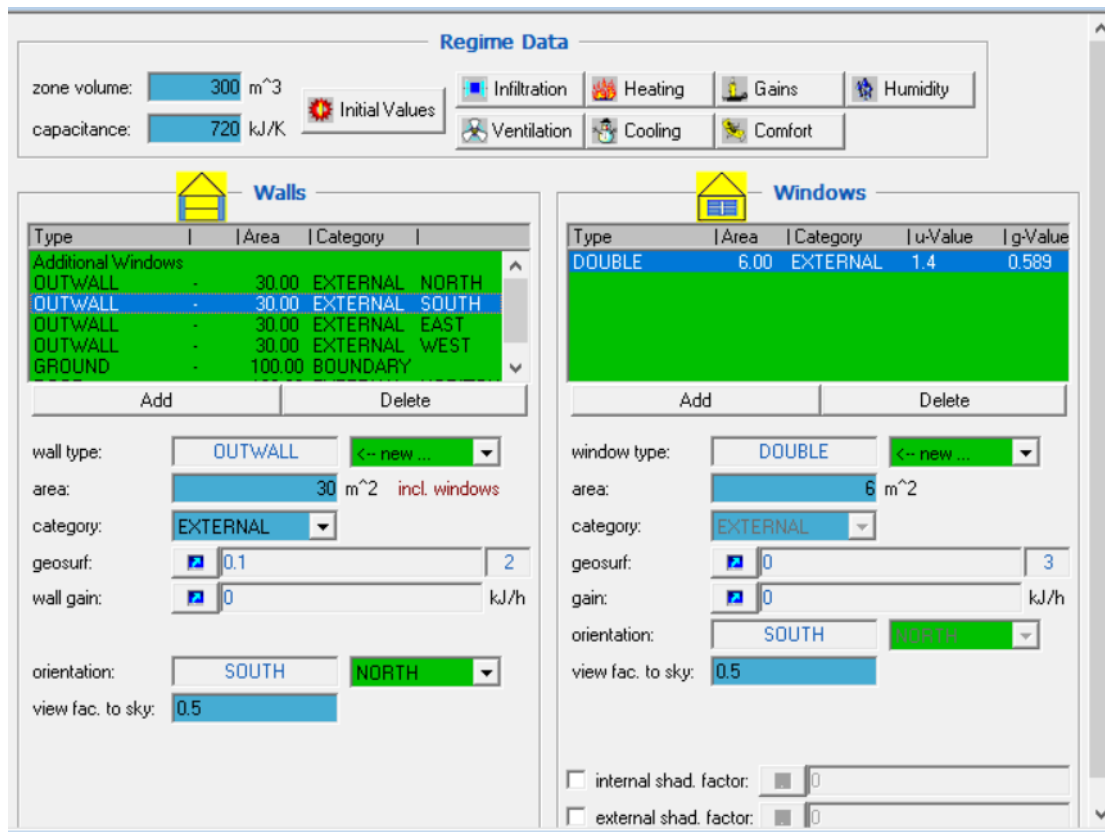
OK Cancel Save to user library RDCN

Εικόνα 7.13: Επιλογή υλικών οροφής

Υαλοπίνακες κτιρίου

- Βόρεια πλευρά: 0 m²
- Νότια πλευρά: 6 m²
- Ανατολική πλευρά: 3 m²
- Δυτική πλευρά: 3 m²

Για να εισάγουμε αυτές τις τιμές, επιλέγουμε το εικονίδιο ATHINA και εργαζόμαστε στη δεξιά στήλη Windows. Τέλος, και οι 3 υαλοπίνακες, επιλέξαμε να είναι διπλοί, με την επιλογή DOUBLE



Εικόνα 7.14: Επεξεργασία υαλοπινάκων

Αερισμός του χώρου

Επόμενο στάδιο της μελέτης μας, είναι η ρύθμιση του αερισμού του χώρου. Για το σκοπό αυτό, θα χρησιμοποιηθεί το εικονίδιο Ventilation type manager. Οι παράμετροι που πρέπει να οριστούν εδώ για να τεθεί σε λειτουργία το σύστημα αερισμού, είναι ο αριθμός των εναλλαγών αέρα, την παροχή του αέρα και τη σχετική υγρασία του. Για τις εναλλαγές του αέρα θα χρησιμοποιηθεί η μεταβλητή PAROXI που ορίσθηκε προηγουμένως ως εξής:

$$\frac{\text{εναλλαγές}}{\text{hr}} = \frac{V \left[\frac{\text{m}^3}{\text{hr}} \right]}{V [\text{m}^3]} = \frac{m}{V} = \frac{m}{\rho V} = \frac{m}{1.18 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] * 300 [\text{m}^3]} = 0.0028 * m \quad (7.1)$$

Όπου η τιμή 1.18 kg/m^3 αναφέρεται στην πυκνότητα του αέρα, ενώ η τιμή 300 m^3 αναφέρεται στον όγκο του κτιρίου μας.

Η μεταβλητή m προφανώς αναφέρεται στην παροχή του αέρα της αντλίας θερμότητας και θα αντικατασταθεί από τη μεταβλητή PAROXI που θα συνδέεται σαν είσοδος στο κτίριο. Επομένως στο παράθυρο Airchange of Ventilation θα ορίσουμε τη συνάρτηση $0.0028 \times \text{PAROXI}$.

Στη συνέχεια, η θερμοκρασία θα είναι ίση με τη μεταβλητή THERMOKRASIA η οποία αναφέρεται στην θερμοκρασία του αέρα της αντλίας θερμότητας, άρα στο παράθυρο Temperature of Air Flow ορίζεται η συνάρτηση $1 \times \text{THERMOKRASIA}$, ενώ για τη σχετική υγρασία, στο παράθυρο Relative Humidity of Air Flow, επιλέγεται μια τυπική τιμή της τάξεως του 50%.

Ventilation Type Manager

ventilation type: **VENTMECH**

Airchange of Ventilation

0.0028*PAROXI 1/h

Temperature of Air Flow

outside

other 1*THERMOKRASIA °C

Rel. Humidity of Air Flow

outside

other 50 %

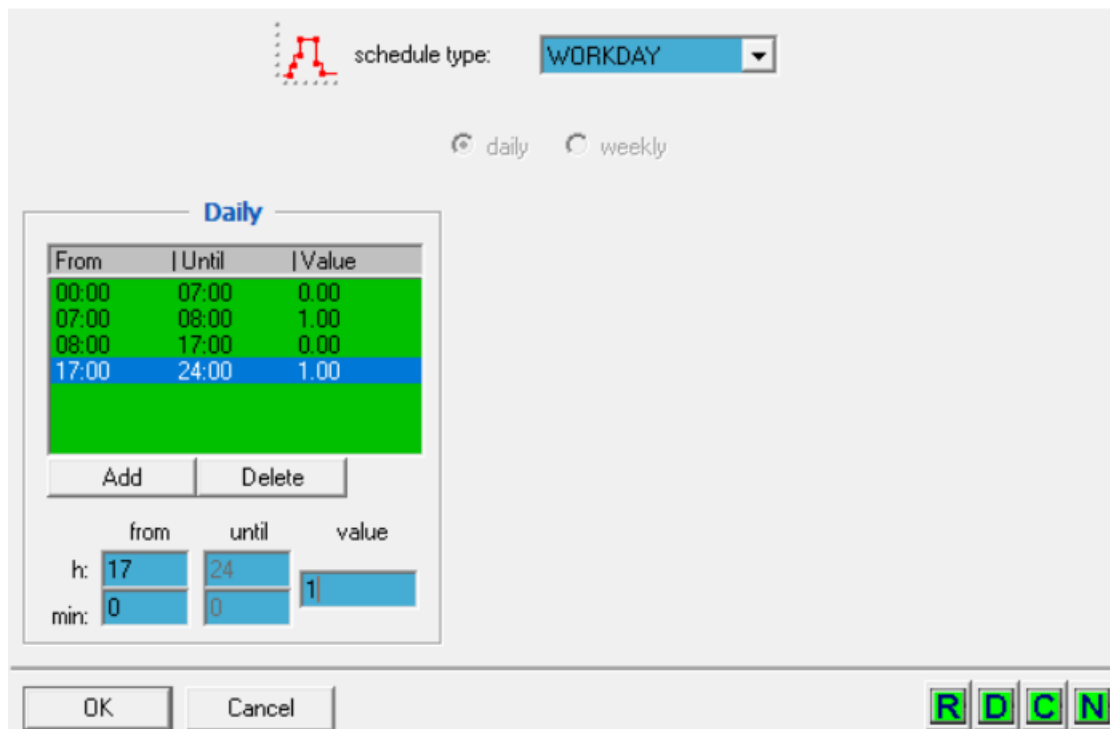
OK Cancel **R D C N**

Εικόνα 7.15: Επεξεργασία αερισμού κτιρίου

Ωράριο Λειτουργίας Κτιρίου

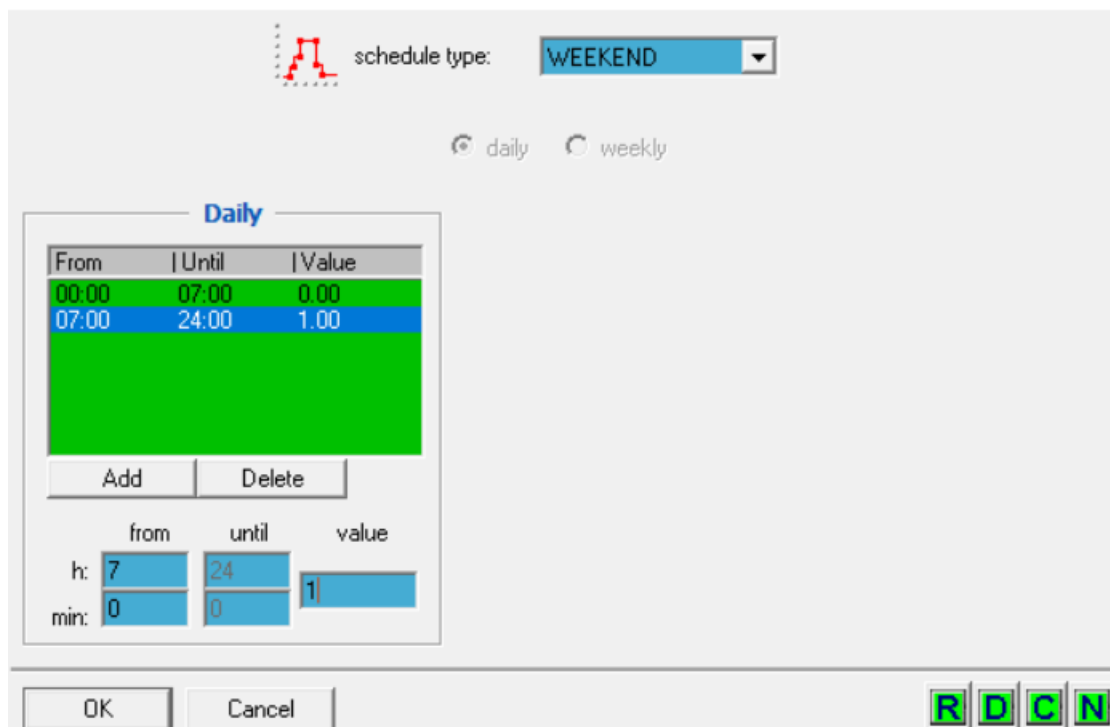
Για να ρυθμίσουμε το ωράριο λειτουργίας του κτιρίου μας, χρησιμοποιούμε το εικονίδιο Schedule type manager. Επειδή, το κτίριο μας αναφέρεται σε ιδιόκτητη κατοικία, ορίζουμε το ωράριο από τις 07:00 έως τις 08:00 το πρωί και από τις 17:00 το απόγευμα μέχρι τις 00:00 το βράδυ (καθημερινές), δηλαδή 8 ώρες και από τις 07:00 το πρωί μέχρι τις 00:00 το βράδυ (σαββατοκύριακα), δηλαδή 17 ώρες.

Schedule Type Managerxxx



Εικόνα 7.16: Επεξεργασία ωραρίου λειτουργίας κτιρίου τις καθημερινές

Schedule Type Managerxxx



Εικόνα 7.17: Επεξεργασία ωραρίου λειτουργίας κτιρίου τα σαββατοκύριακα

Εσωτερικά φορτία κτιρίου

Τελευταίο βήμα πριν την ολοκλήρωση της επεξεργασίας του κτιρίου, είναι ο καθορισμός των εσωτερικών φορτίων που προκύπτουν από την κίνηση των ατόμων στο χώρο, από τις ηλεκτρονικές συσκευές που χρησιμοποιούν και από το φωτισμό του χώρου. Συγκεκριμένα, στην κατοικία θα βρίσκονται 3 άτομα με το βαθμό δραστηριότητας τους να είναι Seated, very light writing κατά ISO 7730, δηλαδή σε καθιστή θέση. Το σπίτι θα διαθέτει τις απαιτούμενες ηλεκτρικές συσκευές ενώ τα φώτα θα λειτουργούν τις ώρες που δεν υπάρχει ήλιος με μια τυπική ισχύ 10 W/m².

Persons

degree of activity: Seated, very light writing

ISO 7730 (selected) | VDI 2078

scale: 3

Computer

off (selected) | on

Artificial Lighting

related floor area: 100 m²

total heat gain: 10 W/m²

convective part: 70 %

control strategy: 1

scale: 1

Other Gains

Type	Scale	Geo Position
PER_SP	S: 100*USE	
LIGHT_SP	S: 100*LIGHT	
GAIN_SP	S: 100*USE	

gain type: PER_SP

scale: S: 100*USE

Εικόνα 7.18: Επεξεργασία ατόμων, λοιπών φορτίων και φωτισμού κτιρίου

Μετά την περάτωση και αυτού του βήματος, ολοκληρώθηκε η επεξεργασία του κτιρίου μας. Αποθηκεύουμε τις ρυθμίσεις που πραγματοποιήσαμε, κλείνουμε το περιβάλλον TRNBuild και επιστρέφουμε στο Simulation Studio για να ασχοληθούμε με τις συνδέσεις των διαφόρων εξαρτημάτων που συνθέτουν την εγκατάσταση μας.

7.3 Μοντέλα προσομοίωσης

Ψυχομετρικό διάγραμμα

Το μοντέλο αυτό καλεί στο TRNSYS την υπορουτίνα 'Psychometrics'. Έχει ως εισόδους:

- Θερμοκρασία ξηρού βολβού και μια ακόμα ιδιότητα αναλόγως την ορισμένη λειτουργία του μοντέλου. Η ιδιότητα αυτή μπορεί να είναι: θερμοκρασία υγρού βολβού, σχετική υγρασία, θερμοκρασία σημείου δρόσου, λόγος υγρασίας, ενθαλπία.
- Λόγος υγρασίας και ενθαλπία. Οι έξοδοι του μοντέλου είναι οι ακόλουθες ιδιότητες: λόγος υγρασίας, θερμοκρασία υγρού βολβού, ενθαλπία, πυκνότητα του μείγματος αέρα-νερού, πυκνότητα ξηρού αέρα, ποσοστό σχετικής υγρασίας, θερμοκρασία ξηρού βολβού και θερμοκρασία σημείου δρόσου.

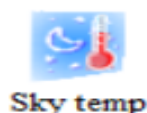
Η πρώτη παράμετρος του μοντέλου καθορίζει πιο ζευγάρι ιδιοτήτων θα αποτελέσουν είσοδο στο μοντέλο. Η δεύτερη παράμετρος καθορίζει το αν θα πρέπει να υπολογιστεί ή όχι η θερμοκρασία υγρού βολβού. Ο υπολογισμός της θερμοκρασίας υγρού βολβού απαιτεί επαναληπτική διαδικασία η οποία μπορεί να είναι χρονοβόρα. Αν δεν απαιτείται ο υπολογισμός της τότε η δεύτερη παράμετρος πρέπει να είναι 0. Η τρίτη παράμετρος είναι η λειτουργία σφάλματος (error mode). Αν η παράμετρος τεθεί ίση με 1, αναφέρεται μόνο μια ειδοποίηση ανά σφάλμα. Αν η παράμετρος λάβει την τιμή 2, εκτυπώνεται ειδοποίηση σε κάθε χρονικό βήμα που εμφανίζεται σφάλμα [7.2].



Εικόνα 7.19: Ψυχομετρικό διάγραμμα type33

Αντιπροσωπευτική θερμοκρασία ουρανού

Το μοντέλο αυτό υπολογίζει μια αντιπροσωπευτική θερμοκρασία για τον ουρανό. Με βάση αυτήν την θερμοκρασία υπολογίζεται η συναλλαγή ακτινοβολίας μεγάλου μήκους από τις εξωτερικές επιφάνειες ενός κτηρίου με το περιβάλλον [7.2].



Εικόνα 7.20: Αντιπροσωπευτική θερμοκρασία ουρανού type 69

Δημιουργία άμεσων Διαγραμμάτων

Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιείται για να παρουσιάσει στην οθόνη επιλεγμένες μεταβλητές σε καθορισμένες χρονικές στιγμές ταυτόχρονα με την εκτέλεση της προσομοίωσης. Το μοντέλο αυτό είναι πολύ χρήσιμο καθώς επιτρέπει στον χρήστη τον άμεσο έλεγχο των υπό μελέτη μεταβλητών κατά την εξέλιξη της προσομοίωσης. Επίσης τα διαγράμματα των διαφόρων μεταβλητών εμφανίζονται σε διαφορετικά παράθυρα στην οθόνη.

Με το μοντέλο αυτό υπάρχει επίσης η δυνατότητα δημιουργίας αρχείου με όλες τις τιμές των μεταβλητών που εκτυπώνονται. Αυτό είναι δυνατόν ορίζοντας την παράμετρο 10 του μοντέλου ίση με έναν θετικό αριθμό. Επίσης, ο εκτυπωτής μπορεί να τεθεί εκτός λειτουργίας χωρίς να διαγραφεί το μοντέλο από το πρόγραμμα της προσομοίωσης θέτοντας την παράμετρο 9 ίση με -1. Αν όλοι οι online plotters έχουν τεθεί εκτός λειτουργίας στην οθόνη εμφανίζεται η προκαθορισμένη μπάρα προόδου της προσομοίωσης αντί των διαγραμμάτων. Αν έχει επιλεγεί να παράγεται αρχείο εξόδου, αυτό δημιουργείτε ακόμα και αν ο εκτυπωτής έχει τεθεί εκτός λειτουργίας.

Παρατηρήσεις

- Σε μία προσομοίωση μπορούν να υπάρχουν έως 5 online plotters
- Κάθε εκτυπωτής μπορεί να έχει από 1 έως 20 εισόδους. (10 στον αριστερό άξονα και 10 στον δεξιό)
- Στην καρτέλα εισόδων πρέπει να ορισθούν οι ονομασίες των μεταβλητών. Οι ονομασίες μπορούν να έχουν 25 το πολύ χαρακτήρες και διαχωρίζονται η μία από την άλλη με κόμμα ή κενό.
- Απαιτείται κάρτα ταμπελών για να ορισθούν οι μονάδες των μεταβλητών και οι επικεφαλίδες των διαγραμμάτων. Συγκεκριμένα πρέπει να ορισθούν 3 ταμπέλες. Η πρώτη αναφέρεται στον τίτλο του αριστερού άξονα y, η δεύτερη στον τίτλο του άξονα x και η τρίτη στον τίτλο του διαγράμματος
- Ο αριθμός εισόδων είναι ίσος με το άθροισμα των δύο πρώτων παραμέτρων [7.2].



Εικόνα 7.21: Δημιουργία άμεσων διαγραμμάτων type 65

Συνδυασμένο μοντέλο ανάγνωσης μετεωρολογικών δεδομένων και επεξεργασίας της ηλιακής ακτινοβολίας

Το μοντέλο αυτό εξυπηρετεί το γενικό σκοπό ανάγνωσης μετεωρολογικών δεδομένων ανά τακτά χρονικά διαστήματα από ένα αρχείο δεδομένων, τα μετατρέπει στο επιθυμητό σύστημα μονάδων και υπολογίζει την άμεση και διάχυτη ακτινοβολία για έναν αυθαίρετο αριθμό επιφανειών με αυθαίρετο προσανατολισμό και κλίση. Το μοντέλο 109 διαβάσει ορισμένα αρχεία με γνωστή μορφοποίηση καθώς επίσης και αρχεία με μορφοποίηση που καθορίζεται από τον χρήστη.

Υπάρχουν 4 διαφορετικές λειτουργίες για την διαχείριση μορφοποιημένων αρχείων:

- Η λειτουργία 1 στην οποία ο καθορισμός μορφοποίησης γίνεται από τον χρήστη και αναφέρεται σε αυθαίρετα μετεωρολογικά δεδομένα.
- Η λειτουργία 2 η οποία διαβάζει αρχεία με μορφοποίηση TMY2
- Η λειτουργία 3 η οποία διαβάζει αρχεία με τη γερμανική μορφοποίηση TRY.
- Η λειτουργία 4 η οποία διαβάζει αρχεία VDI 91x και 92x σύμφωνα με τον γερμανικό κώδικα VDI 2078

Επίσης, το μοντέλο αυτό μπορεί να διαβάσει γενικά αρχεία δεδομένων, τα οποία δεν έχουν απαραίτητα μετεωρολογικά δεδομένα, μετατρέποντάς τα στο επιθυμητό σύστημα μονάδων.

Το μοντέλο 109 υποστηρίζει αρχεία ελεύθερης μορφοποίησης καθορισμένης από τον χρήστη. Κάθε τιμή πρέπει να διαχωρίζεται από την προηγούμενη με κενό ή κόμμα για τις λειτουργίες 0 και 1.

Παρατηρήσεις

- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως 5 μοντέλα 109 σε μία προσομοίωση.
- Τα δεδομένα από γραμμή σε γραμμή πρέπει να απέχουν σταθερά χρονικά διαστήματα.
- Στην λειτουργία 0 όπου η μορφοποίηση των δεδομένων καθορίζεται από τον χρήστη, τα δεδομένα εξάγονται με την ίδια σειρά που εμφανίζονται στο αρχείο δεδομένων. Σε όλες τις λειτουργίες διαχείρισης δεδομένων, οι έξοδοι έχουν την ίδια προκαθορισμένη σειρά εξόδου έτσι ώστε να διευκολύνεται η διαδικασία.
- Στην λειτουργία 0, μπορούν να υπάρχουν ως 20 γραμμές με σχόλια πριν τις γραμμές με τα δεδομένα. Οι γραμμές με τα σχόλια δεν πρέπει να ξεκινούν με αριθμό.
- Στα δεδομένα μπορεί ή όχι να εφαρμόζεται παρεμβολή ανάμεσα στα χρονικά βήματα αναλόγως με τις καθορισμένες παραμέτρους.
- Αν η προσομοίωση λήγει με τα δεδομένα να δίνουν ακτινοβολία $\neq 0$, η τιμή της ακτινοβολίας ορίζεται 0 για την τελευταία ώρα της προσομοίωσης [7.2]



Εικόνα 7.22 Συνδυασμένο μοντέλο ανάγνωσης μετεωρολογικών δεδομένων και επεξεργασίας της ηλιακής ακτινοβολίας type 109

Ποσοτικός ολοκληρωτής

Το μοντέλο αυτό είναι ανάλογο με κάποιο μηχανισμό σε ένα φυσικό σύστημα το οποίο ολοκληρώνει μία ποσότητα σε μία περίοδο. Για παράδειγμα ένας μετρητής

kWh που συνεχώς αθροίζει την ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται.

Το μοντέλο 24 μπορεί να ολοκληρώσει μέχρι και 250 μεταβλητές και δεν υπάρχει περιορισμός στον αριθμό των μοντέλων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μία προσομοίωση [7.2].



Εικόνα 7.23: Ποσοτικός ολοκληρωτής type 24

Κτήριο

Το πολυζωνικό κτήριο προσομοιώνεται με το μοντέλο 56 του προγράμματος TRNSYS. Στο μοντέλο αυτό κάθε ζώνη περιγράφεται από την θερμοχωρητικότητα της, τον όγκο αέρα που περικλείει και την θερμοχωρητικότητα των στοιχείων που βρίσκονται σε αυτήν (π.χ. επίπλωση). Κάθε ζώνη αποτελεί ένα ξεχωριστό υπολογιστικό κόμβο στον οποίο η θερμοχωρητικότητα και ο όγκος της ζώνης αποτελούν ξεχωριστές εισόδους [7.2].

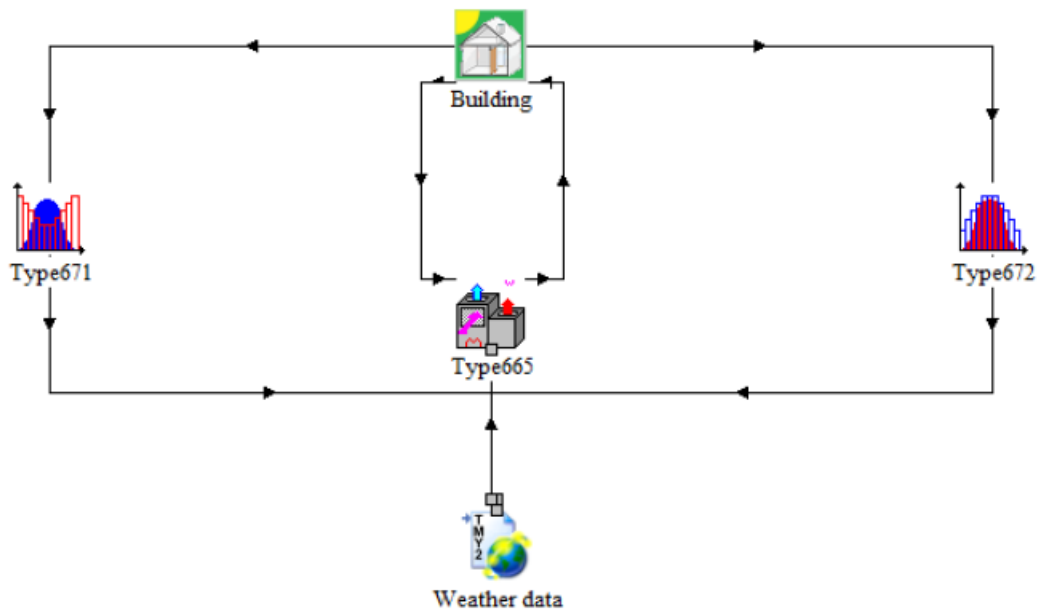


Εικόνα 7.24: Κτήριο type 56

7.4 Ανάλυση της συνδεσμολογίας των στοιχείων της βασικής εγκατάστασης

Σύστημα θέρμανσης και Ψύξης της εγκατάστασης

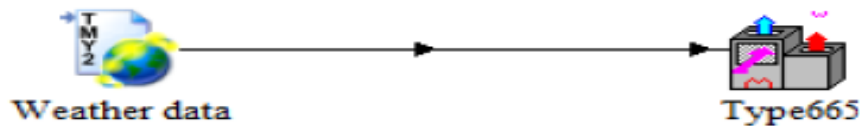
Για τη θέρμανση και την ψύξη του κτιρίου μας, θα χρησιμοποιήσουμε αντλία θερμότητας αέρα-αέρα. Επίσης θα χρησιμοποιηθούν δυο θερμοστάτες, ο ένας για το σύστημα ψύξης και ο άλλος για το σύστημα θέρμανσης [7.1].



Εικόνα 7.25: Σύνδεση μετεωρολογικών δεδομένων -αντλίας θερμότητας

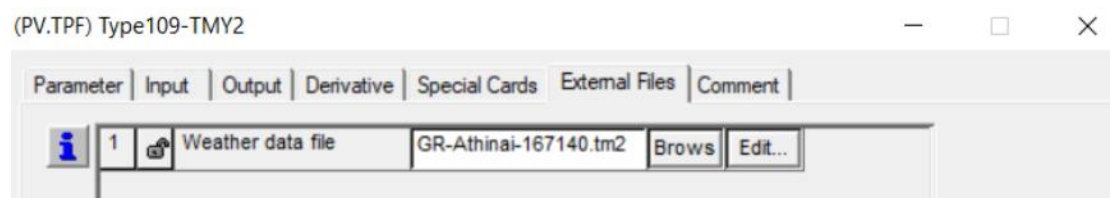
Στη συνέχεια περιγράφονται αναλυτικά οι συνδέσεις των επιμέρους στοιχείων μεταξύ τους.

Σύνδεση μετεωρολογικών δεδομένων-αντλίας θερμότητας



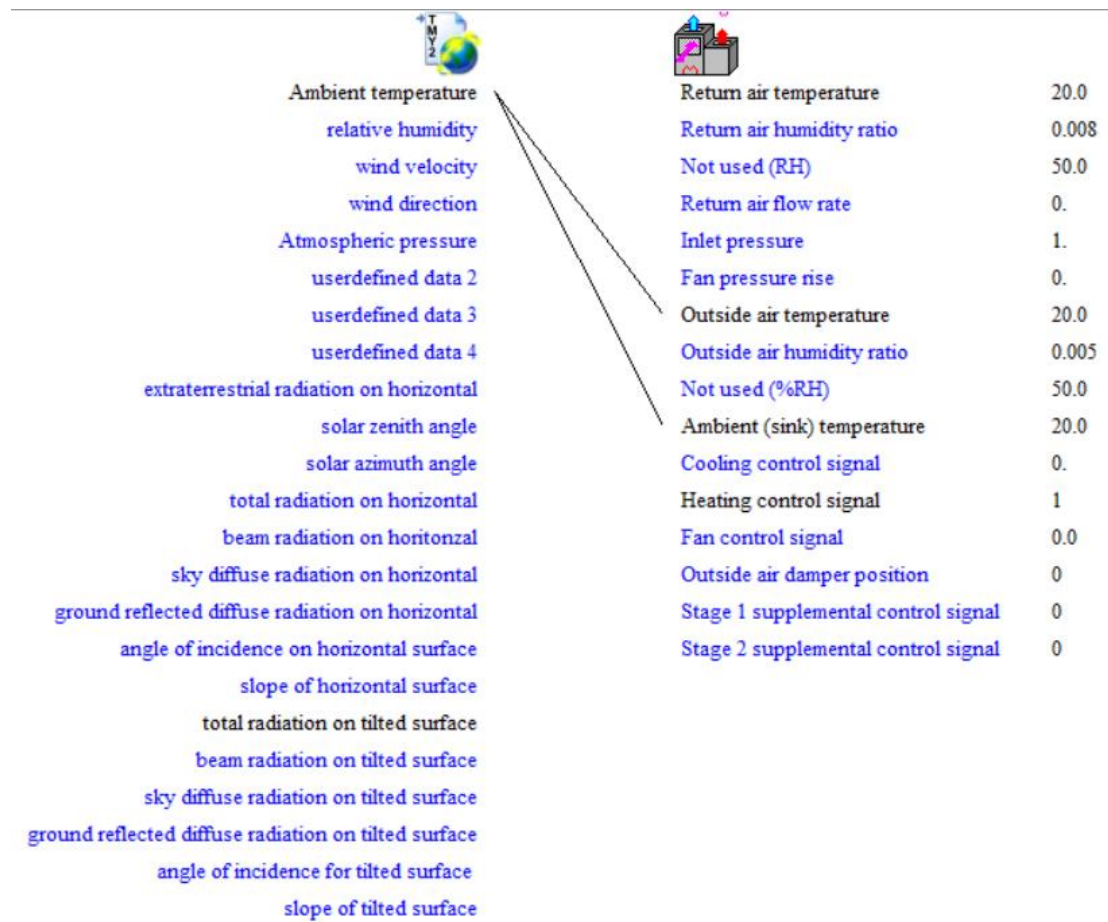
Εικόνα 7.26: Σύνδεση Weather data-Heat Pump

Αρχικά, στα External Files του εικονιδίου Weather Data, επιλέγουμε τα μετεωρολογικά δεδομένα για την πόλη της Αθήνας.



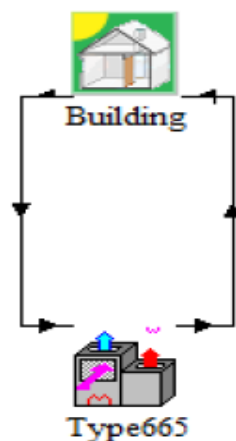
Εικόνα 7.27: Επιλογή μετεωρολογικών δεδομένων

Η αντλία θερμότητας πρέπει να παίρνει ως είσοδο τη θερμοκρασία του αέρα περιβάλλοντος, οπότε πραγματοποιώ την ανάλογη σύνδεση στο Connections:



Εικόνα 7.28: Συνδεσμολογία Weather data -Heat Pump

Σύνδεση κτίριου-αντλίας θερμότητας





Εικόνα 7.29: Σύνδεση Building- Heat Pump

Η σύνδεση αυτή είναι αμφίδρομη. Η αντλία θερμότητας στέλνει αέρα συγκεκριμένης θερμοκρασίας και παροχής στο κτίριο, ενώ το κτίριο στέλνει ως δεδομένο στην αντλία την εσωτερική θερμοκρασία του κτιρίου. Οι συνδέσεις φαίνονται παρακάτω:

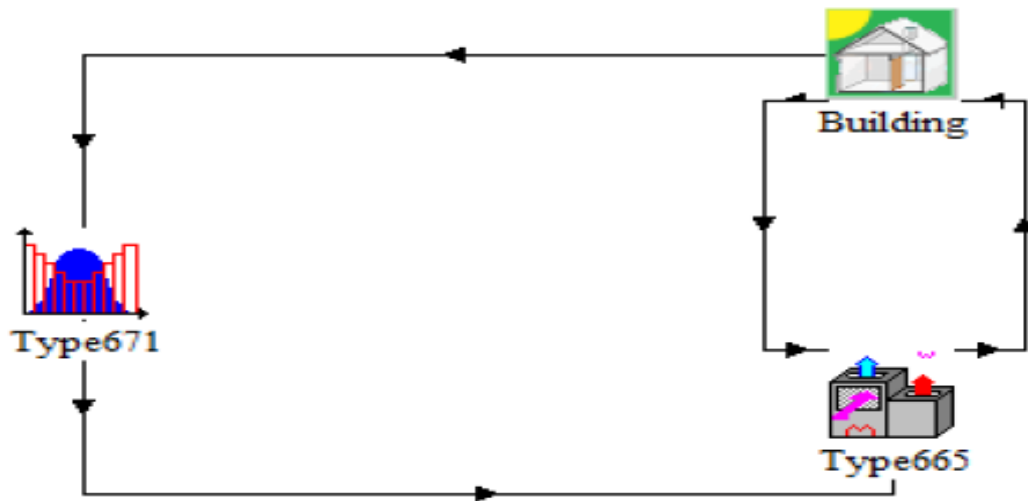
			
Outlet air temperature	1- TAMB (AMBIENT TEMPERATURE)		0
Outlet air humidity ratio	2- ARELHUM (RELATIVE AMBIENT HUMIDITY)		0
Outlet air %RH	3- TSKY (FIKTIVE SKY TEMPERATURE)		0
Outlet air flow rate	4- ITNORTH (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION NORTH)		0
Outlet air pressure	5- ITSOUTH (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION SOUTH)		0
Total cooling rate	6- ITEAST (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION EAST)		0
Sensible cooling rate	7- ITWEST (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION WEST)		0
Latent cooling rate	8- ITHORIZONT (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION HORIZONT)		0
Total heating rate	9- IBNORTH (INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION NORTH)		0
Heat rejection rate	10- IBSOUTH (INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION SOUTH)		0
Heat absorption rate	11- IBEAST (INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION EAST)		0
Auxiliary heating rate	12- IBWEST (INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION WEST)		0
Heat pump power	13- IBHORIZONT (INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION HORIZONT)		0
C.O.P.	14- AINORTH (ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION NORTH)		0
EER	15- AISOUTH (ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION SOUTH)		0
Indoor fan power	16- AIEAST (ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION EAST)		0
Outdoor fan power	17- AIWEST (ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION WEST)		0
Compressor power	18- AIHORIZONT (ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION HORIZONT)		0
Total energy input	19- CCONT_NAT_ (INPUT)		0
Condensate temperature	20- T_COOL_ON (INPUT)		0
Condensate flow rate	21- S_NORTH (INPUT)		0
	22- S_SOUTH (INPUT)		0
	23- S_EAST (INPUT)		0
	24- S_WEST (INPUT)		0
	25- BRIGHT (INPUT)		0
	26- TEMP (INPUT)		0
	27- FLOW (INPUT)		0

Εικόνα 7.30: Συνδεσμολογία Heat Pump- Building

			
1- (air temperature of zone) TAIR 1	Return air temperature		20.0
	Return air humidity ratio		0.008
	Not used (RH)		50.0
	Return air flow rate		0.
	Inlet pressure		1.
	Fan pressure rise		0.
	Outside air temperature		20.0
	Outside air humidity ratio		0.005
	Not used (%RH)		50.0
	Ambient (sink) temperature		20.0
	Cooling control signal		0.
	Heating control signal		1
	Fan control signal		0.0
	Outside air damper position		0
	Stage 1 supplemental control signal		0
	Stage 2 supplemental control signal		0

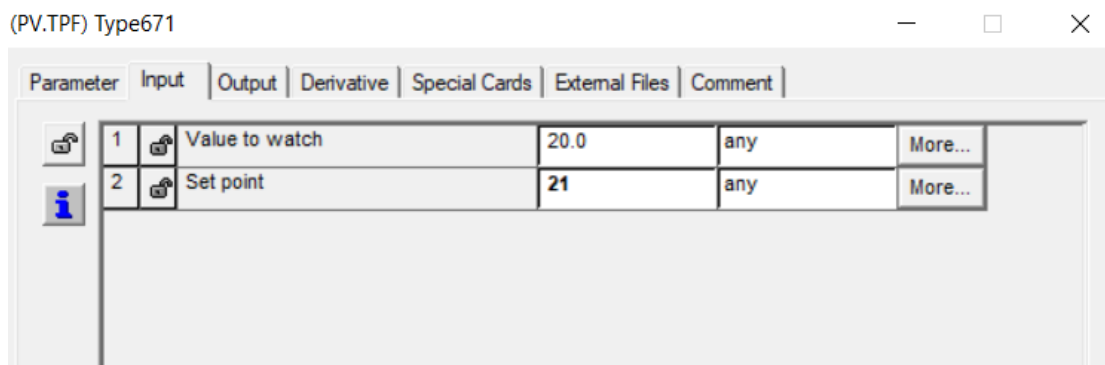
Εικόνα 7.31: Συνδεσμολογία Building -Heat Pump

Σύνδεση θερμοστάτη θέρμανσης-κτιρίου-αντλίας θερμότητας



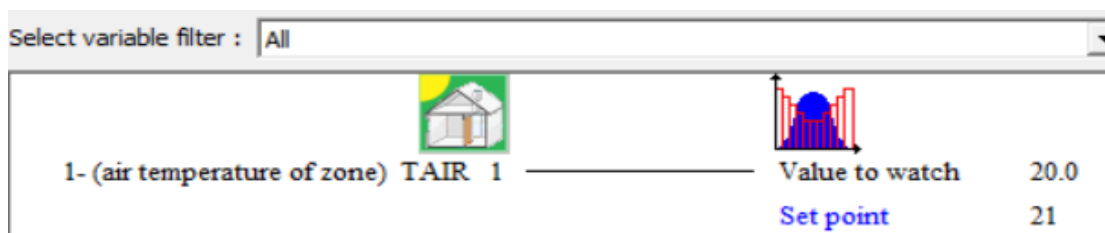
Εικόνα 7.32: Σύνδεση θερμοστάτη θέρμανσης-Building

Στο σημείο αυτό παρουσιάζεται η σύνδεση του θερμοστάτη θέρμανσης στο σύστημα. Ρόλος του στοιχείου Type 671 είναι να ορίζει από ποια θερμοκρασία και κάτω θα ενεργοποιείται το σύστημα θέρμανσης του κτιρίου, δηλαδή η αντλία θερμότητας. Ορίσαμε τη θερμοκρασία αυτή (set point) στους 21°C .



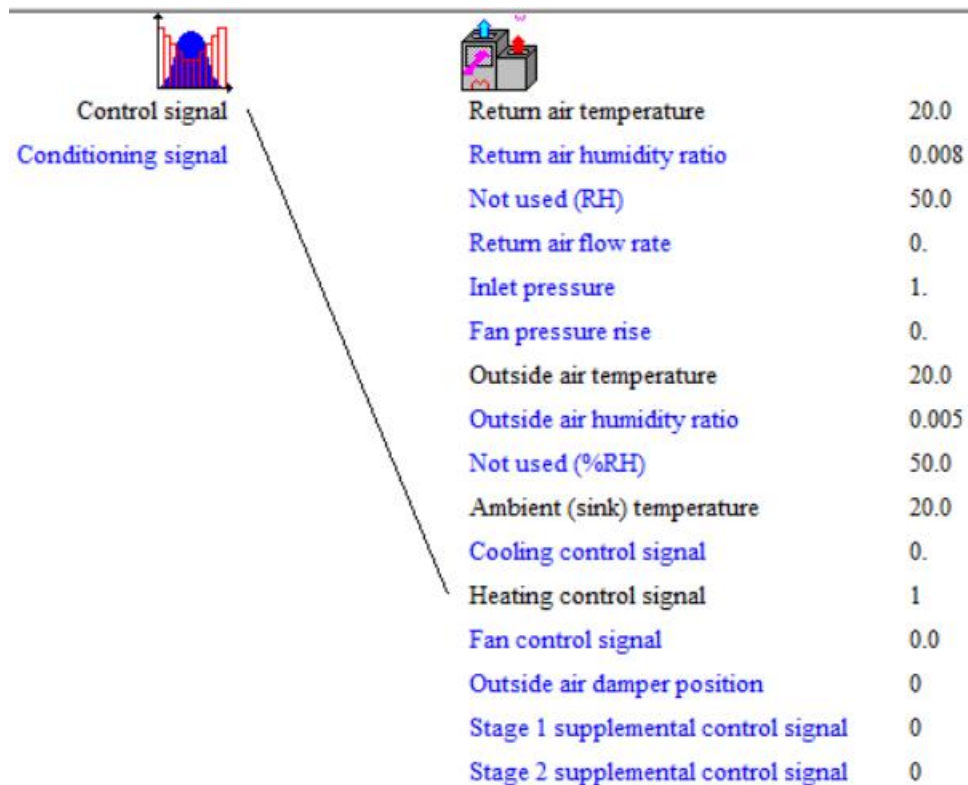
Εικόνα 7.33: Ρύθμιση παραμέτρων θερμοστάτη θέρμανσης

Στη συνέχεια συνδέουμε το θερμοστάτη με το κτίριο, ώστε να παρακολουθεί συνεχώς τη θερμοκρασία που επικρατεί στο εσωτερικό.



Εικόνα 7.34: Συνδεσμολογία Building-θερμοστάτη θέρμανσης

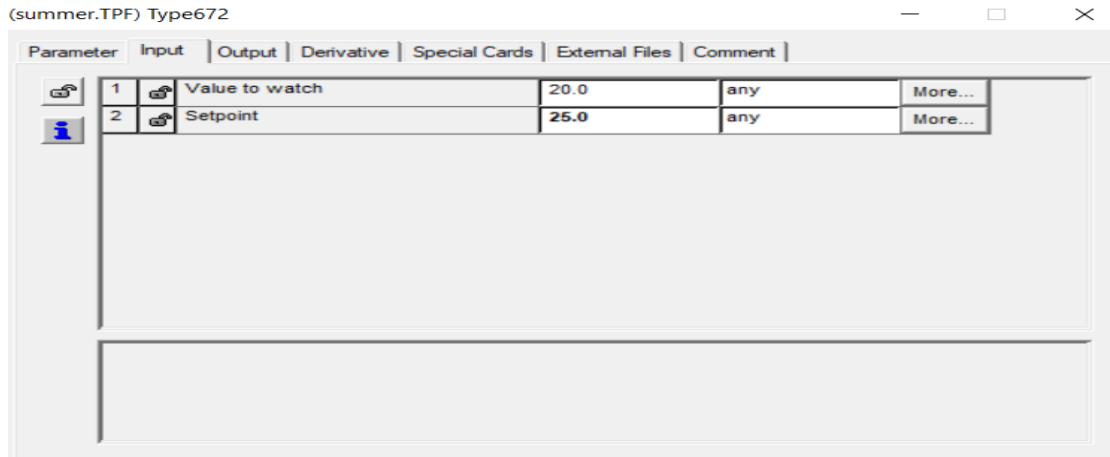
Ύστερα συνδέουμε το θερμοστάτη με την αντλία, ώστε να στέλνει σήμα για την ενεργοποίηση της θέρμανσης όταν αυτό κριθεί απαραίτητο.



Εικόνα 7.35: Συνδεσμολογία θερμοστάτη θέρμανσης-Heat Pump

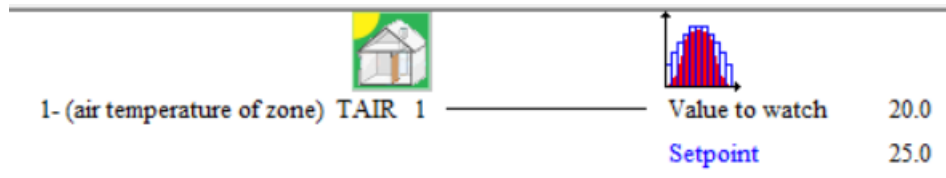
Σύνδεση θερμοστάτη ψύξης-κτιρίου-αντλίας θερμότητας

Καθώς η αντλία θερμότητας θα λειτουργεί και για ψύξη εκτός από θέρμανση, πρέπει να συνδεθεί και θερμοστάτης ψύξης, ο οποίος θα ορίσει από ποια θερμοκρασία και πάνω θα τίθεται σε λειτουργία η αντλία θερμότητας για να ψύξει το χώρο. Για το σκοπό αυτό θα χρησιμοποιηθεί το στοιχείο Type 672. Το set point του ορίσθηκε στους 25°C .



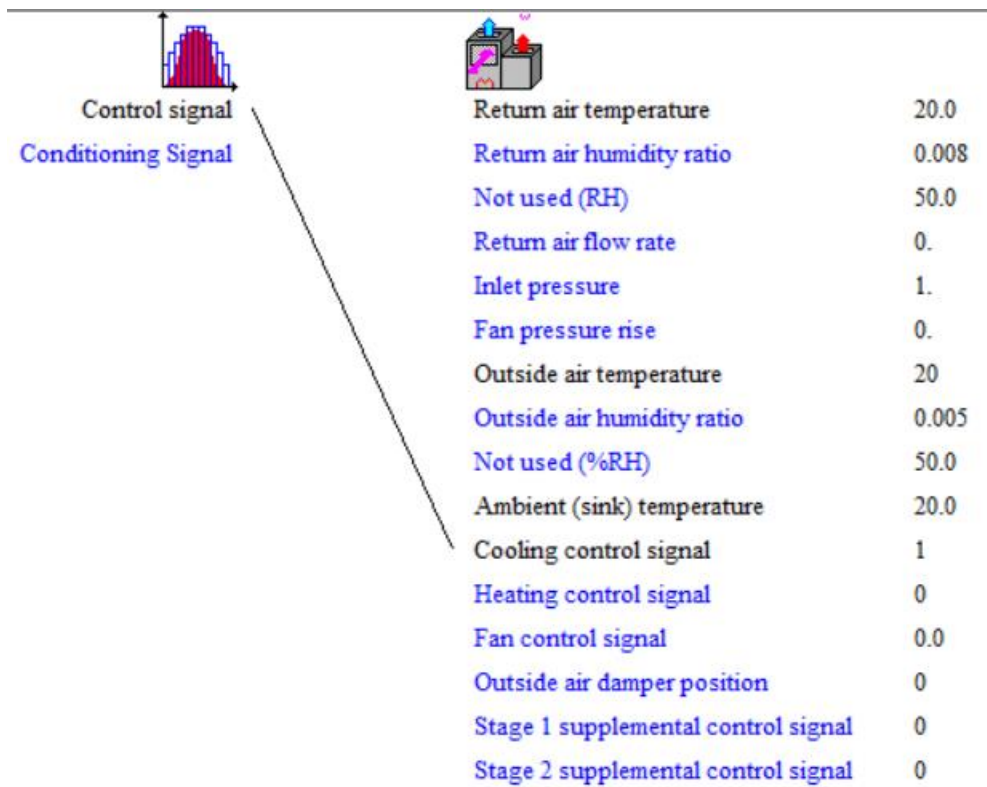
Εικόνα 7.36: Ρύθμιση παραμέτρων θερμοστάτη ψύξης

Στη συνέχεια συνδέουμε το θερμοστάτη με το κτίριο, ώστε να παρακολουθεί συνεχώς τη θερμοκρασία που επικρατεί στο εσωτερικό.



Εικόνα 7.37: Συνδεσμολογία Building-θερμοστάτη ψύξης

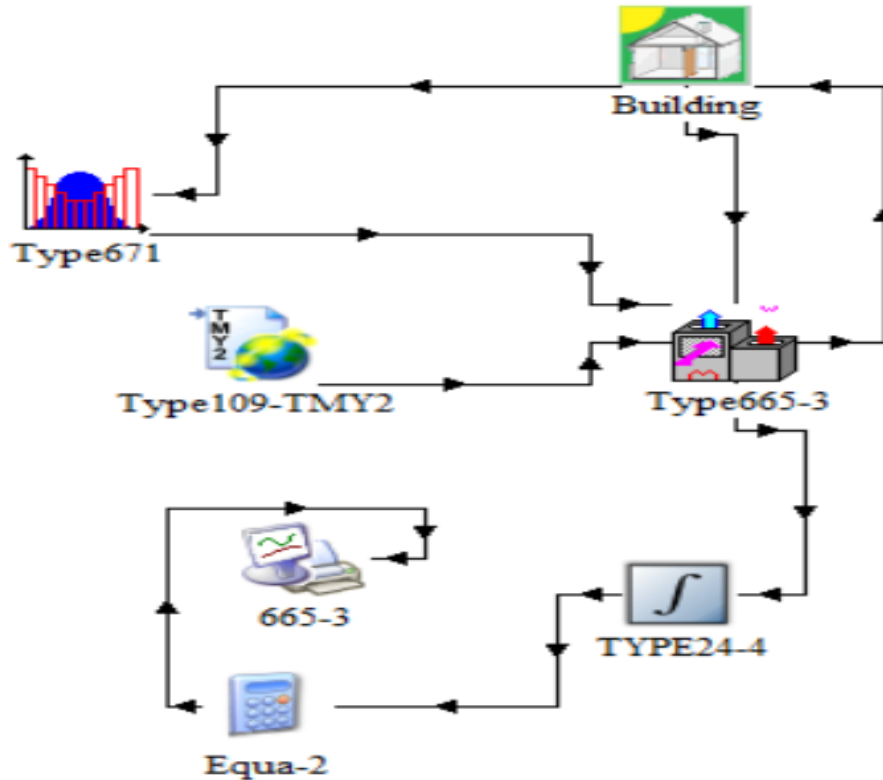
Έπειτα, συνδέουμε το θερμοστάτη με την αντλία, ώστε να στέλνει σήμα για την ενεργοποίηση της ψύξης όταν αυτό κριθεί απαραίτητο.



Εικόνα 7.38: Συνδεσμολογία θερμοστάτη ψύξης -Heat Pump

Σύνδεση ηλεκτρικών καταναλώσεων

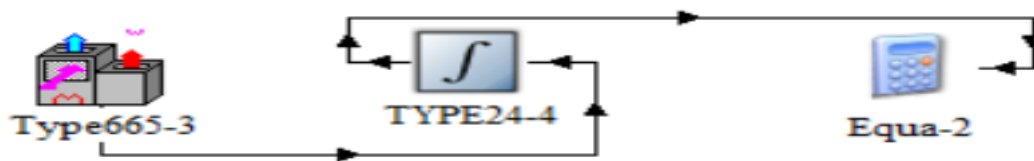
Εδώ θα γίνει περιγραφή της συνδεσμολογίας των ηλεκτρικών καταναλώσεων του κτιρίου. Και συγκεκριμένα η ηλεκτρική κατανάλωση της αντλίας θερμότητας.



Εικόνα 7.39: Σύνδεση ηλεκτρικών καταναλώσεων

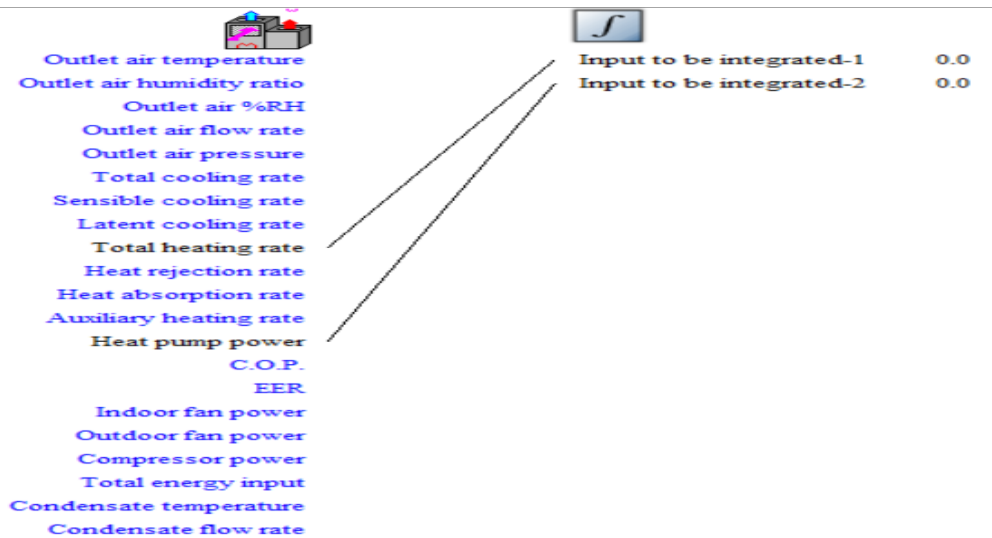
Σύνδεση αντλίας θερμότητας-ποσοτικού ολοκληρωτή-Equa2

Η αντλία θερμότητας στέλνει ως έξοδο την ηλεκτρική ισχύ που καταναλώνει κατά τη λειτουργία της. Σκοπός αυτής της σύνδεσης είναι η μετατροπή μονάδων της ισχύος, από kJh σε kW , καθώς όλα τα φορτία θα υπολογιστούν σε kW .

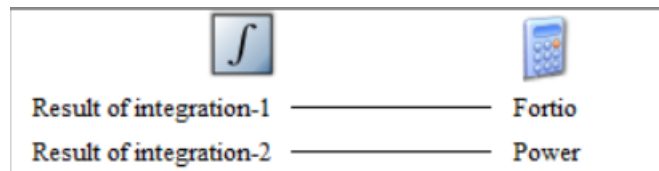


Εικόνα 7.40: Σύνδεση Heat Pump-ποσοτικού ολοκληρωτή-Equa2

Στις συνδέσεις (Connections) συνδέεται η έξοδος Heat Pump Power, της αντλίας θερμότητας, με τη μεταβλητή Fortio και Power που ορίζεται σαν input στο Calculator. μέσω του ποσοτικού ολοκληρωτή

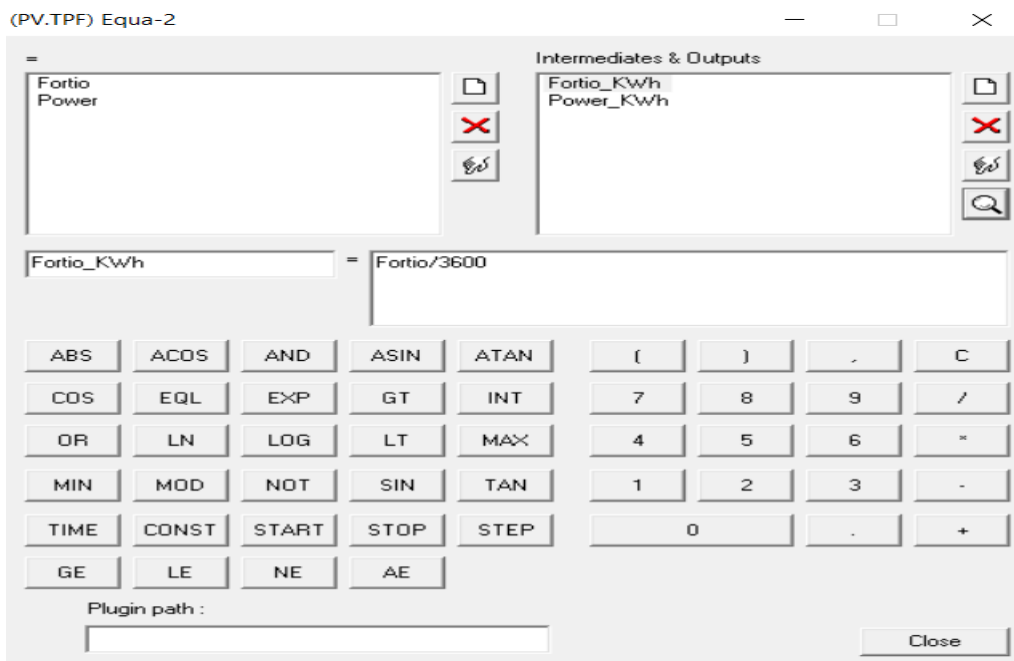


Εικόνα 7.41: Συνδεσμολογία Heat Pump- ποσοτικού ολοκληρωτή



Εικόνα 7.42: Συνδεσμολογία ποσοτικού ολοκληρωτή με Equa2

Στη συνέχεια, με τη βοήθεια του Calculator, μετατρέπονται τα $kJh/$ σε kW .

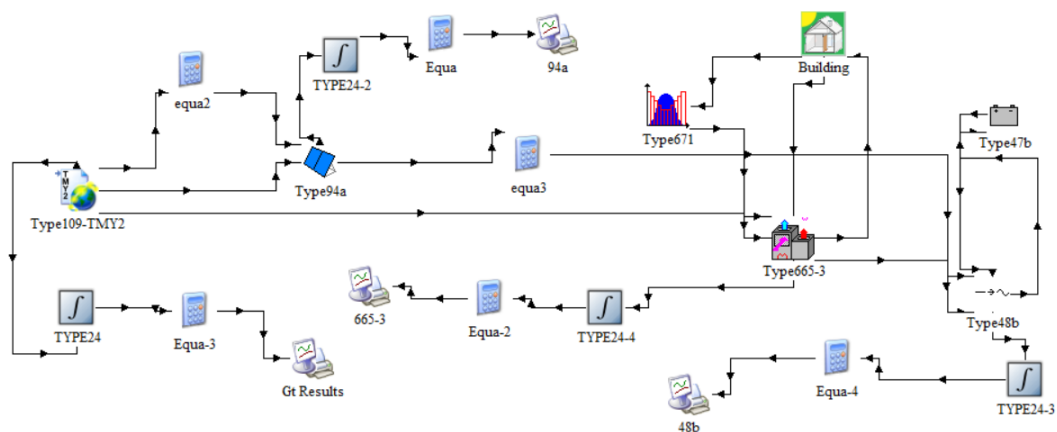


Εικόνα 7.43: Equa2

Στο σημείο αυτό έχει ολοκληρωθεί, η κατασκευή του συστήματος θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου.

7.5 Ανάλυση φωτοβολταϊκών πάνελ με μπαταρία για την κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου

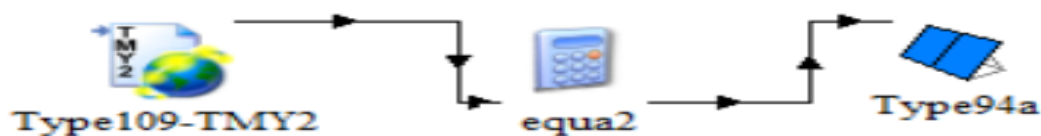
Το σύστημα αυτό, αποτελείται από τα φωτοβολταϊκά πάνελ, το inverter το οποίο είναι απαραίτητο για την μετατροπή του DC ρεύματος που παράγουν τα φωτοβολταϊκά σε AC ρεύμα που θα καταναλώνει το κτίριο και την μπαταρία που χρησιμεύει για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας που δεν αξιοποιείται απευθείας από το δίκτυο.



Εικόνα 7.44: Ολόκληρη η εγκατάσταση

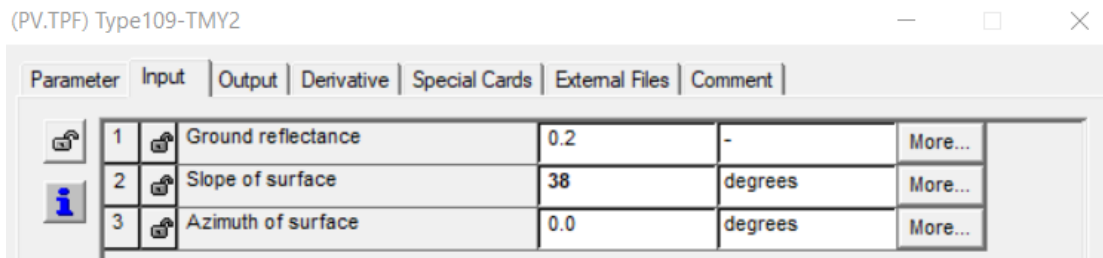
Στη συνέχεια, γίνεται αναλυτική περιγραφή των συνδέσεων των επιμέρους εξαρτημάτων που συνθέτουν την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών.

Σύνδεση μετεωρολογικών δεδομένων και φωτοβολταϊκών

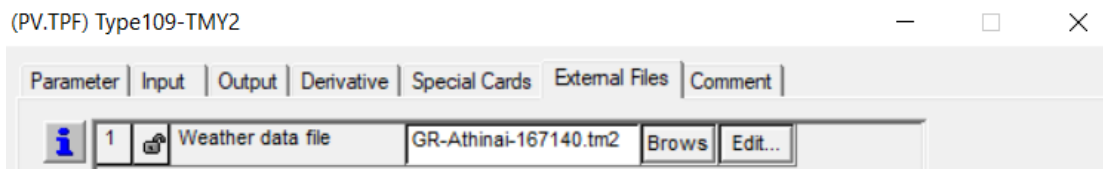


Εικόνα 7.45: Σύνδεση Weather data με type 94a

Αρχικά στο εικονίδιο Weather data, επιλέγουμε στο παράθυρο Input κλίση επιφάνειας 38° για τα φωτοβολταϊκά πάνελ. Επίσης στο παράθυρο External Files επιλέγουμε τα μετεωρολογικά δεδομένα των Αθηνών.

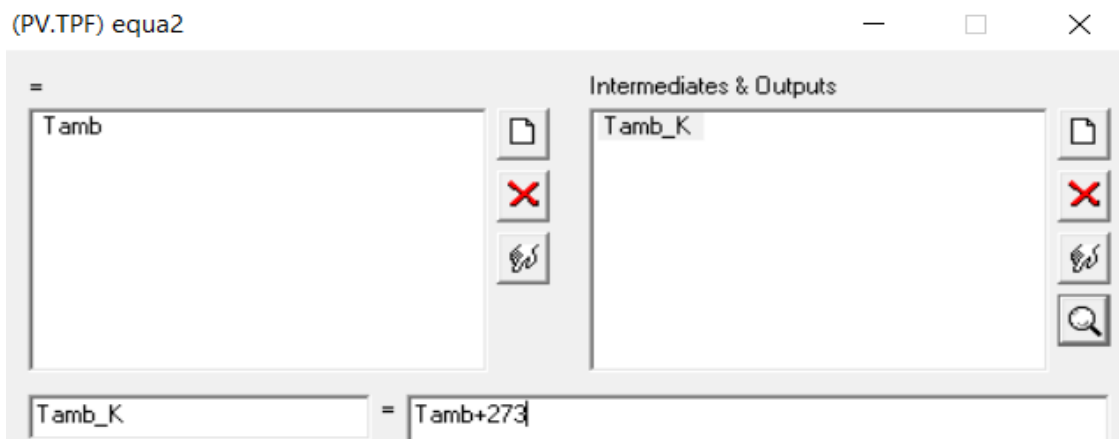


Εικόνα 7.46: Ρύθμιση παραμέτρων Weather data



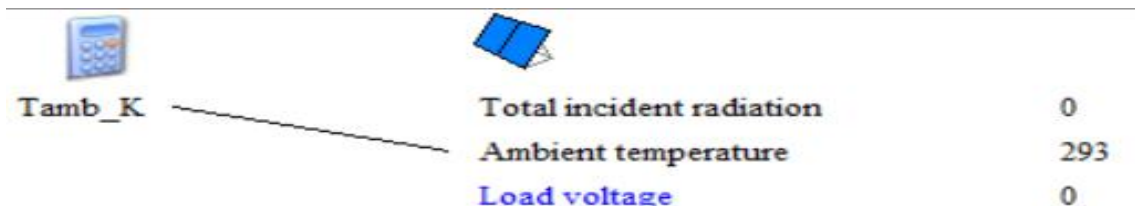
Εικόνα 7.47: Επιλογή μεταβλητών δεδομένων Αθήνας

Εισάγουμε επίσης ένα Calculator, έτσι ώστε να μετατρέπει τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος από Κελσίου σε Kelvin.



Εικόνα 7.48: Μετατροπή μονάδων Calculator Equa2

Ακολουθως, φαίνεται η σύνδεση του Calculator με το στοιχείο Type 94a. Ουσιαστικά, για να λειτουργήσουν τα φωτοβολταϊκά, χρειάζονται ως είσοδο την εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος και την ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία που την δέχεται από το type 109.



Εικόνα 7.49: Συνδεσμολογία Calculator Equa2- type 94a



Εικόνα 7.50: Συνδεσμολογία Weather data-type 94a

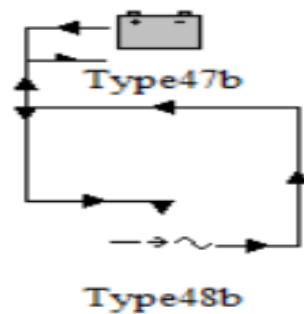
Τέλος γίνεται διαστασιολόγηση των φωτοβολταϊκών και ρύθμιση των παραμέτρων λειτουργίας τους. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούμε 7 σειρές και 5 στήλες, δηλαδή συνολικά 35 πάνελ. Το κάθε πάνελ έχει επιφάνεια 0.89 m^2 .

(PV.TPF) Type94a

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
9	☞	Number of cells wired in series	36	-		More...
10	☞	Number of modules in series	7	-		More...
11	☞	Number of modules in parallel	5	-		More...
12	☞	Module temperature at NOCT	313	K		More...
13	☞	Ambient temperature at NOCT	293	K		More...
14	☞	Insolation at NOCT	800	W/m ²		More...
15	☞	Module area	0.89	m ²		More...
16	☞	tau-alpha product for normal incidence	0.95	-		More...
17	☞	Semiconductor bandgap	1.12	any		More...

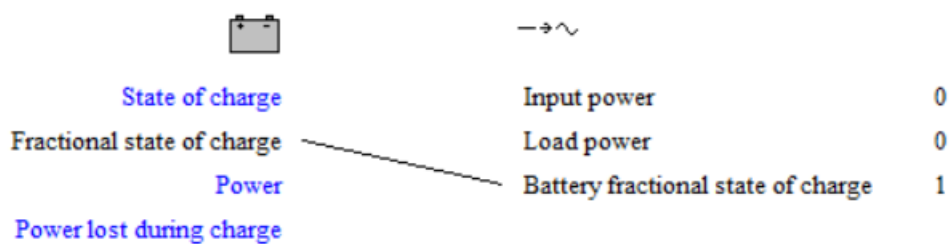
Εικόνα 7.51: Ρύθμιση παραμέτρων φωτοβολταϊκών πάνελ

Σύνδεση μπαταρίας-inverter

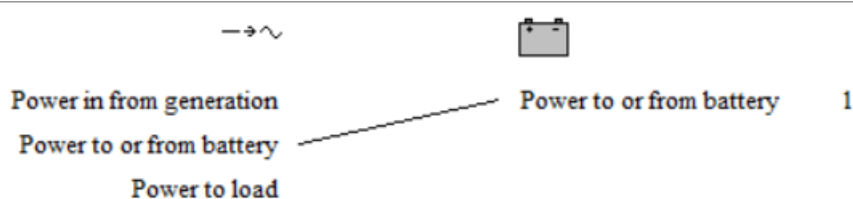


Εικόνα 7.52: Σύνδεση μπαταρίας-inverter

Η συγκεκριμένη είναι μια αμφίδρομη σύνδεση. Η μπαταρία προσομοιώνεται με το στοιχείο Type 47b ενώ το inverter με το στοιχείο Type 48b. Το inverter στέλνει ως δεδομένο στην μπαταρία την ισχύ που προσδίδει ή απορροφά ενώ η μπαταρία ενημερώνει το inverter για το ποσοστό φόρτισης της κάθε χρονική στιγμή.



Εικόνα 7.53: Συνδεσμολογία μπαταρίας-inverter



Εικόνα 7.54: Συνδεσμολογία inverter-μπαταρίας

Στη συνέχεια γίνεται ρύθμιση των παραμέτρων της μπαταρίας και του inverter. Οι τιμές που επιλέχθηκαν, προέκυψαν ύστερα από δοκιμές για την επίτευξη του βέλτιστου αποτελέσματος σε παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος αλλά και κόστος. Η χωρητικότητα της μπαταρίας επιλέχθηκε να είναι 70 Ah και 140 Ah , με συντελεστή απόδοσης 0.9. Επίσης επιλέχθηκε inverter ισχύος 3 kW.

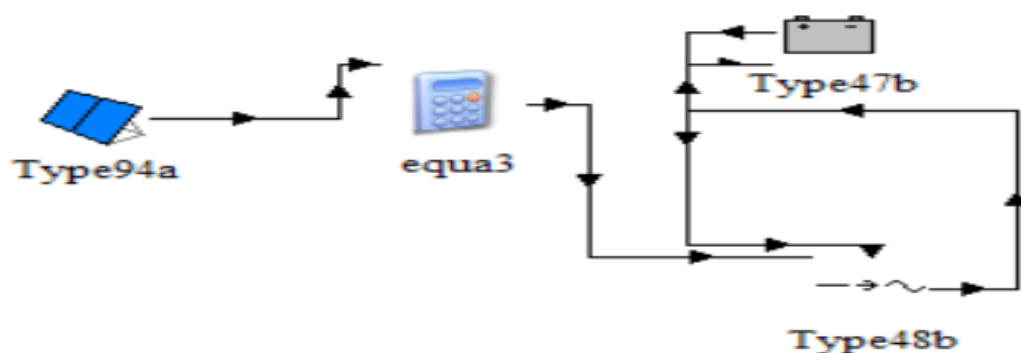
Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
1	Mode	2	-			More...
2	Cell Energy Capacity	70	Ah			More...
3	Cells in parallel	4	-			More...
4	Cells in series	6	-			More...
5	Charging efficiency	0.9	-			More...
6	Max. current per cell charging	3.33	amperes			More...
7	Max. current per cell discharge	-3.33	amperes			More...
8	Max. charge voltage per cell	2.5	V			More...
9	Calculate discharge cutoff voltage	-1	-			More...

Εικόνα 7.55: Ρύθμιση παραμέτρων μπαταρίας

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
1	Mode	1	-			More...
2	Regulator efficiency	0.85	-			More...
3	Inverter efficiency	0.95	-			More...
4	High limit on fractional state of charge (FSOC)	1	-			More...
5	Low limit on FSOC	0	-			More...
6	charge to discharge limit on FSOC	0.85	-			More...
7	Inverter output power capacity	3	kW			More...

Εικόνα 7.56: Ρύθμιση παραμέτρων inverter

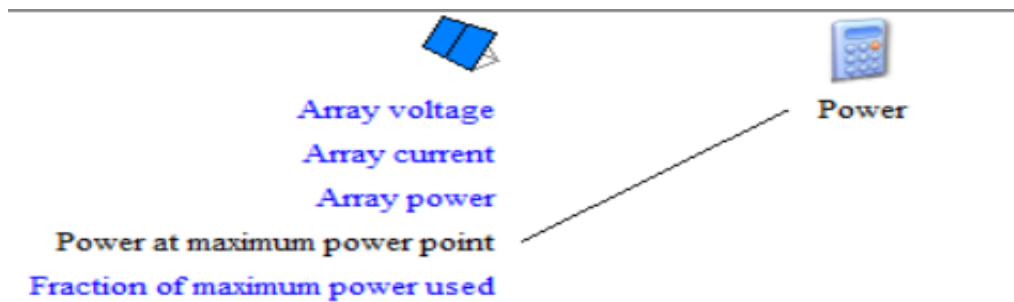
Σύνδεση φωτοβολταϊκών με το σύστημα μπαταρίας-inverter



Εικόνα 7.57: Σύνδεση type 94a-μπαταρίας-inverter

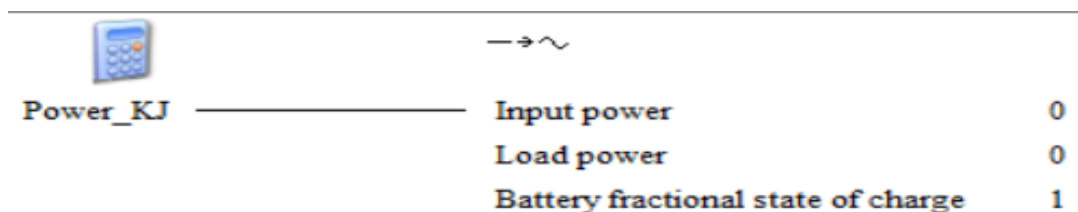
Τα φωτοβολταϊκά πάνελ πρέπει να στέλνουν την συνολική DC ηλεκτρική ισχύ που παράγουν στο inverter προκειμένου να την μετατρέψει σε AC και να τροφοδοτήσει

το κτίριο. Ενδιάμεσα, συνδέουμε ένα Calculator στο οποίο γίνεται μετατροπή μονάδων από Watt σε kJ/hr .



Εικόνα7.58: Συνδεσμολογία type 94a-Calculator input

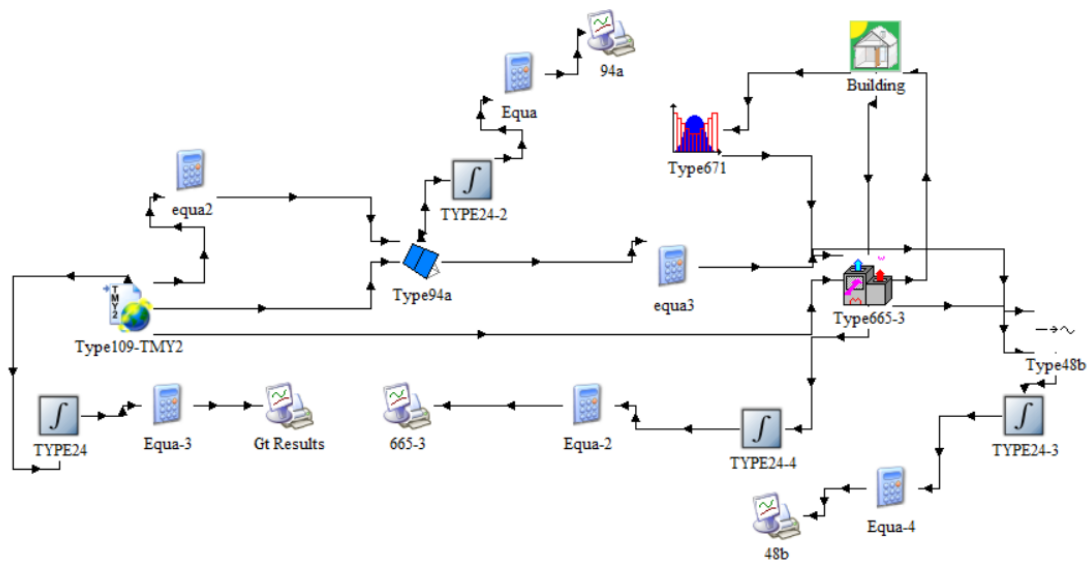
Η έξοδος των φωτοβολταϊκών, η μεταβλητή Power at maximum power point, είναι η ισχύς η οποία στέλνεται σαν είσοδος στο inverter και συνδέεται με τη μεταβλητή input power.



Εικόνα 7.59: Σύνδεση Calculator input-inverter

7.6 Ανάλυση φωτοβολταϊκών χωρίς μπαταρία για την κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου (Net Metering)

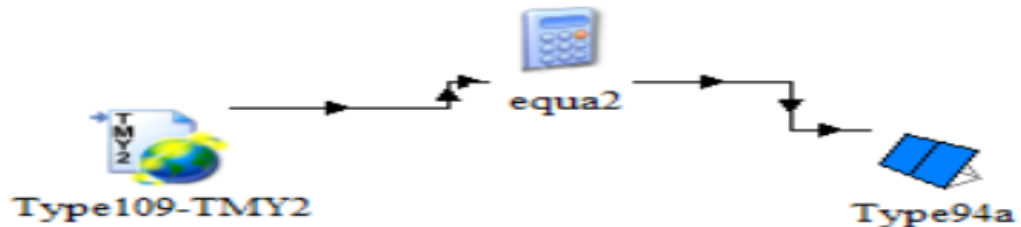
Με το σύστημα αυτό συμψηφίζεται η παραγόμενη ενέργεια με την καταναλισκόμενη, δηλαδή ουσιαστικά ο καταναλωτής παράγει το ρεύμα που χρειάζεται για τις ανάγκες του.



Εικόνα 7.60: Εγκατάσταση Net Metering

Η ουσιώδης διαφορά του συστήματος αυτού, με την προηγούμενη περίπτωση, είναι ότι εδώ δεν γίνεται χρήση μπαταρίας. Η περισσευούμενη ηλεκτρική ενέργεια αντί να αποθηκεύεται, επιστρέφει στο δίκτυο της ΔΕΗ. Παρακάτω παρουσιάζονται οι συνδέσεις της εγκατάστασης αυτής.

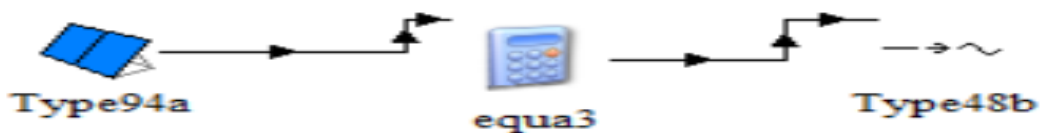
Σύνδεση φωτοβολταϊκών-μετεωρολογικών δεδομένων



Εικόνα 7.61: Σύνδεση Weather data-φωτοβολταϊκών

Οι παράμετροι, οι μετατροπές μονάδων και οι εσωτερικές ρυθμίσεις των συνδέσεων είναι ίδιες με τις προηγούμενες περιπτώσεις, οπότε δεν θα γίνει περαιτέρω αναφορά.

Σύνδεση φωτοβολταϊκών απευθείας με inverter



Εικόνα 7.62: Σύνδεση type 94a-inverter

Με το συγκεκριμένο βήμα, η ισχύς που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά στέλνεται αφού πρώτα μετατραπεί στις κατάλληλες μονάδες με το Calculator eqma3, στον inverter.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 7^{ου} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

[7.1] ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Προσομοίωση κτιρίου μηδενικής ενέργειας με το λογισμικό TRNSYS Δήμτσας Δημήτριος

[7.2] ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Παραμετρική μελέτη θέρμανσης χώρων με εποχιακή αποθήκευση με χρήση του προγράμματος TRNSYS Παναγιώτης Δ. Τσεκούρας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: Αποτελέσματα Μελέτης

8.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που έγινε στο TRNSYS. Η προσομοίωση έγινε για χρονική διάρκεια ενός έτους, για να είναι πιο ρεαλιστική και αντικειμενική η αξιολόγησή της. Αρχικά, γίνεται περιγραφή των δομικών στοιχείων του κτιρίου και των φορτίων ψύξης και θέρμανσης. Για τη θέρμανση και την ψύξη του χώρου που μελετήθηκε, αποφασίσθηκε να χρησιμοποιηθεί αντλία θερμότητας. Στη συνέχεια, γίνεται αναφορά στις ηλεκτρικές καταναλώσεις του κτιρίου, που προκύπτουν αφενός από τη λειτουργία της αντλίας θερμότητας και αφετέρου από τον φωτισμό του χώρου και τις ηλεκτρικές συσκευές. Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας, ήταν η κάλυψη όσο το δυνατόν μεγαλύτερου ποσοστού του ηλεκτρικού φορτίου από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν φωτοβολταϊκά πάνελ με ή χωρίς μπαταρία. Στην περίπτωση των μπαταριών εξετάσαμε δύο περιπτώσεις μπαταριών, ύστερα από παραμετροποίηση που έγινε για την καλύτερη επιλογή και καταλήξαμε στην επιλογή μιας μικρής μπαταρίας 70 Ah και μιας μεγάλης μπαταρίας 140 Ah. Η διαστασιολόγηση των παραπάνω στοιχείων της εγκατάστασης έγινε με κριτήριο τόσο την ελαχιστοποίηση της χρήσης του δικτύου για την κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου, όσο και την βελτιστοποίηση του κόστους. Παρουσιάζονται αναλυτικά, οι τρεις περιπτώσεις που εξετάστηκαν και εν συνεχεία γίνεται η αξιολόγηση και σύγκρισή τους, ώστε να βρεθεί η βέλτιστη, ενεργειακά και οικονομικά, λύση. Στο τέλος γίνεται μια οικονομική μελέτη για αυτές τις περιπτώσεις ανάλογα με την διακύμανση της τιμής της κιλοβατώρας.

8.2 Ανάλυση και περιγραφή του κτιρίου

Το κτίριο αποτελείται από το πάτωμα (GROUND), την οροφή (ROOF) και τους τέσσερις εξωτερικούς τοίχους (OUTWALL). Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς επίσης και οι θερμοφυσικές τους ιδιότητες παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Είδος υλικού	k (W/m*K)	Cp (kJ/kg*k)	ρ (kg/m³)
Πάτωμα (Floor)	0,07	1	800
Πέτρα (Stone)	1,389	1	2000
Ηχομόνωση (Silence)	0,05	1,44	80
Σκυρόδεμα (Concrete)	2,1	0,8	2400
Θερμομόνωση (Insul)	0,04	0,8	40
Σοβάς (Plaster)	1,39	1	2000
Τούβλο (Brick)	0,89	1	1800

Πίνακας 8.1: Ιδιότητες υλικών κτηρίου (συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, ειδική θερμοχωρητικότητα, πυκνότητα)

Στη συνέχεια με τη βοήθεια του TRNSYS, υπολογίζονται αυτόματα οι τιμές της θερμικής διαπερατότητας καθώς επίσης και το πάχος του κάθε τοίχου. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Είδος τοίχου	Πάχος (m)	U (W/m ² *K)
Δάπεδο (Ground)	0,425	0,313
Εξωτερικός (Outwall)	0,35	0,406
Οροφή (Roof)	0,315	0,36

Πίνακας 8.2: Πάχος και θερμική διαπερατότητα τοίχων

Ακολουθεί ο πίνακας, στον οποίο παρουσιάζονται συνοπτικά οι παράμετροι του κτιρίου.

Παράμετρος	Μονάδες
Εμβαδό	100 m ²
Ύψος	3 m
Ανατολικό παράθυρο	3 m ²
Δυτικό παράθυρο	3 m ²
Νότιο παράθυρο	6 m ²

Πίνακας 8.3: Παράμετροι κατασκευής κτιρίου

Επόμενο βήμα ο υπολογισμός των ετήσιων φορτίων θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου, από την επιλογή Calculations του TRNSYS.

- Το φορτίο θέρμανσης βρέθηκε $Q_{\text{heating}} = 4482$ kWh
- Το φορτίο ψύξης βρέθηκε $Q_{\text{cooling}} = 4238$ kWh

Επίσης, υπολογίζεται η ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση της αντλίας για θέρμανση και ψύξη χωριστά:

- Κατανάλωση για θέρμανση $Q_{\text{el,heat}} = 1494$ kWh
- Κατανάλωση για Ψύξη $Q_{\text{el,cool}} = 1530$ kWh

Ο συντελεστής συμπεριφοράς της αντλίας θερμότητας για θέρμανση και ψύξη είναι:

$$COP_{\text{heating}} = \frac{Q_{\text{heating}}}{Q_{\text{el,heat}}} = 3 \quad (8.1)$$

$$COP_{\text{cooling}} = \frac{Q_{\text{cooling}}}{Q_{\text{el,cool}}} = 2,77 \quad (8.2)$$

Όπως ήταν αναμενόμενο, ο συντελεστής θερμικής συμπεριφοράς για θέρμανση είναι μεγαλύτερος από τον συντελεστή θερμικής συμπεριφοράς για ψύξη.

Οι υπολογισμοί θα γίνουν και σε μηνιαία βάση, προκειμένου να διαπιστωθεί σε ποιο χρονικό σημείο του έτους, αυξάνονται ή μειώνονται οι ανάγκες του κτιρίου για θέρμανση και ψύξη. Τα φορτία θέρμανσης και ψύξης, για κάθε ένα μήνα του έτους, παρουσιάζονται αναλυτικά στους παρακάτω πίνακες.

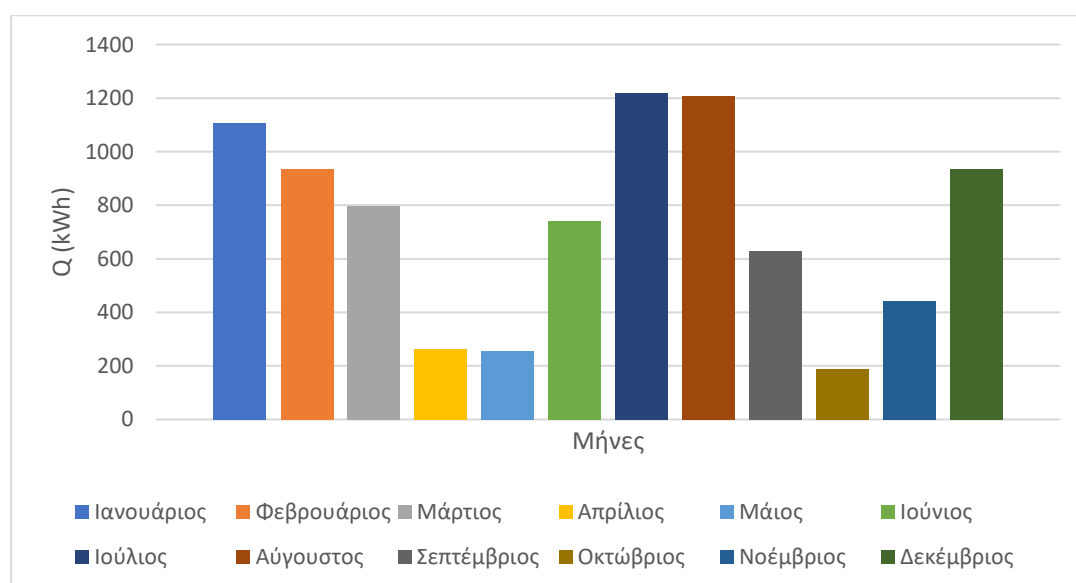
Μήνας	Φορτίο θέρμανσης (kWh)
Νοέμβριος	442,05
Δεκέμβριος	935,75
Ιανουάριος	1107,75
Φεβρουάριος	936,35
Μάρτιος	798,25
Απρίλιος	262,25

Πίνακας 8.4: Μηνιαία φορτία θέρμανσης κτιρίου

Μήνας	Φορτίο ψύξης (kWh)
Μάιος	253,95
Ιούνιος	741,05
Ιούλιος	1218,05
Αύγουστος	1208,05
Σεπτέμβριος	629,15
Οκτώβριος	187,75

Πίνακας 8.5: Μηνιαία φορτία ψύξης κτιρίου

Γίνεται εύκολα αντιληπτό, ότι για τη θέρμανση το μέγιστο φορτίο παρουσιάζεται τον Ιανουάριο, ενώ για την ψύξη, το μέγιστο φορτίο παρουσιάζεται τον Ιούλιο. Ακολουθεί διάγραμμα, στο οποίο απεικονίζονται τα παραπάνω φορτία ανά μήνα.



Διάγραμμα 8.1: Μηνιαία φορτία θέρμανσης και Ψύξης κτιρίου

Επόμενο βήμα, ο υπολογισμός των ηλεκτρικών καταναλώσεων, οι οποίες προκύπτουν από την αντλία θερμότητας, από τις ηλεκτρικές συσκευές και το φωτισμό του κτιρίου. Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται όλες οι ηλεκτρικές καταναλώσεις του κτιρίου.

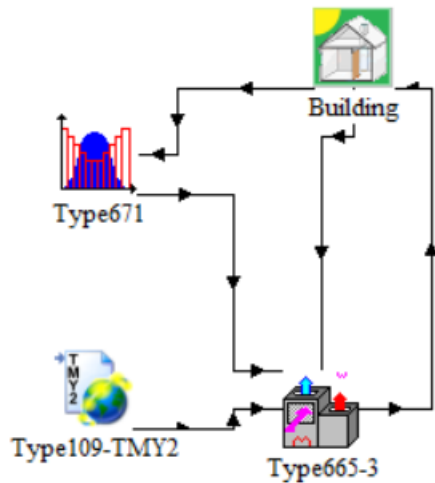
Συσκευες	(kwh/έτος)
ψυγείο	115
πληντήριο ρούχων	371
εστίες με απορροφητήρα	70
τηλεόραση	500
φούρνος	328,5
πληντήριο πιάτων	262
βραστήρας	81
καφετιέρα	33
σίδερο	462
ηλεκτρική σκούπα	36
μπλέντερ	2,5
τοστιέρα	24
υπολογιστής	146
ηχοσύστημα	33,48
Σύνολο συσκευών	2464,48
φωτισμός τυπική τιμή (10w/m²)	1650
Σύνολο φωτισμού και συσκευών	4114,48
Αντλία θερμότητας	3024
Σύνολο ηλεκτρικών καταναλώσεων	7138,48

Πίνακας 8.6: Ετήσιες καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας

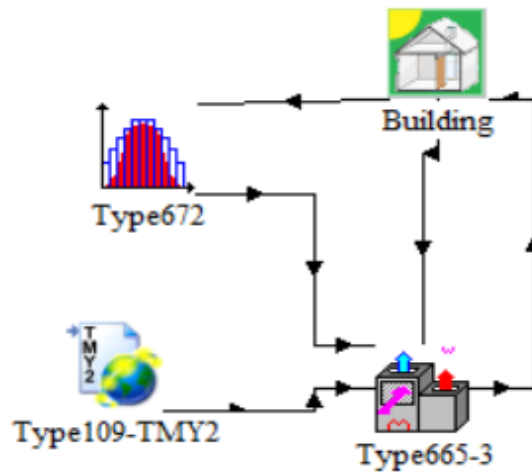
Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι το ηλεκτρικό φορτίο της αντλίας θερμότητας που είναι 3024 KWh, να καλύπτεται όσο το δυνατόν περισσότερο από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και η χρήση του δικτύου να είναι η ελάχιστη δυνατή. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τρεις περιπτώσεις με τις οποίες πραγματοποιείται αυτό, και γίνεται αξιολόγηση και σύγκριση τους.

8.3 Χρήση Αντλίας θερμότητας αέρα-αέρα για την θέρμανση και την ψύξη του κτιρίου

Η εγκατάσταση της αντλίας θερμότητας είναι η ακόλουθη:



Εικόνα 8.1 Σύστημα θέρμανσης κτιρίου



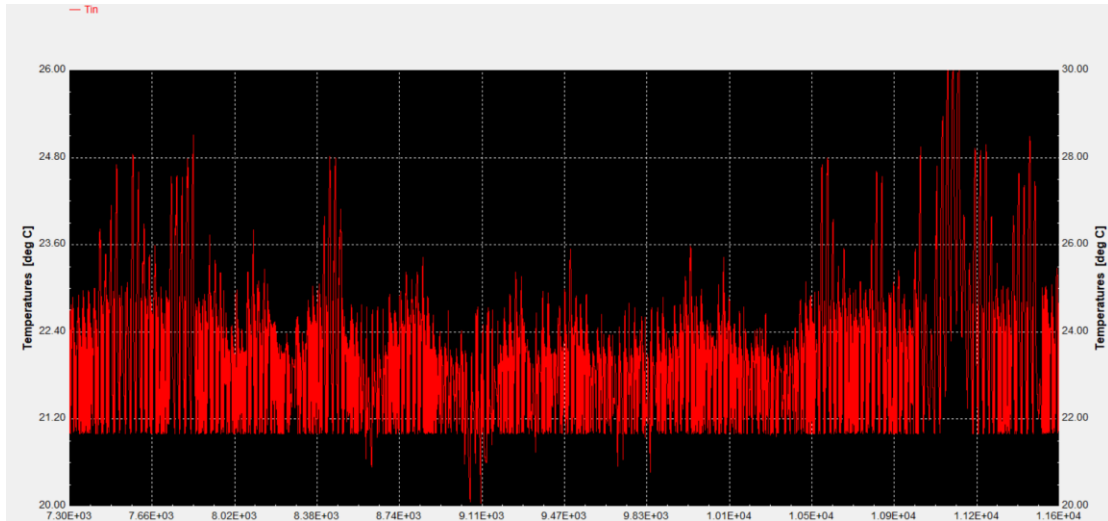
Εικόνα 8.2 Σύστημα ψύξης κτιρίου

Όπως έχει προαναφερθεί, η αντλία θερμότητας θα λειτουργεί το χειμώνα για θέρμανση και το καλοκαίρι για ψύξη του χώρου. Η διάταξη περιλαμβάνει ένα θερμοστάτη θέρμανσης και ένα θερμοστάτη ψύξης. Ο πρώτος ενεργοποιεί το σύστημα θέρμανσης όταν κριθεί απαραίτητο, ενώ ο δεύτερος το σύστημα ψύξης. Στον πίνακα που ακολουθεί συνοψίζονται οι παράμετροι και τα χαρακτηριστικά λειτουργίας της αντλίας και των θερμοστατών.

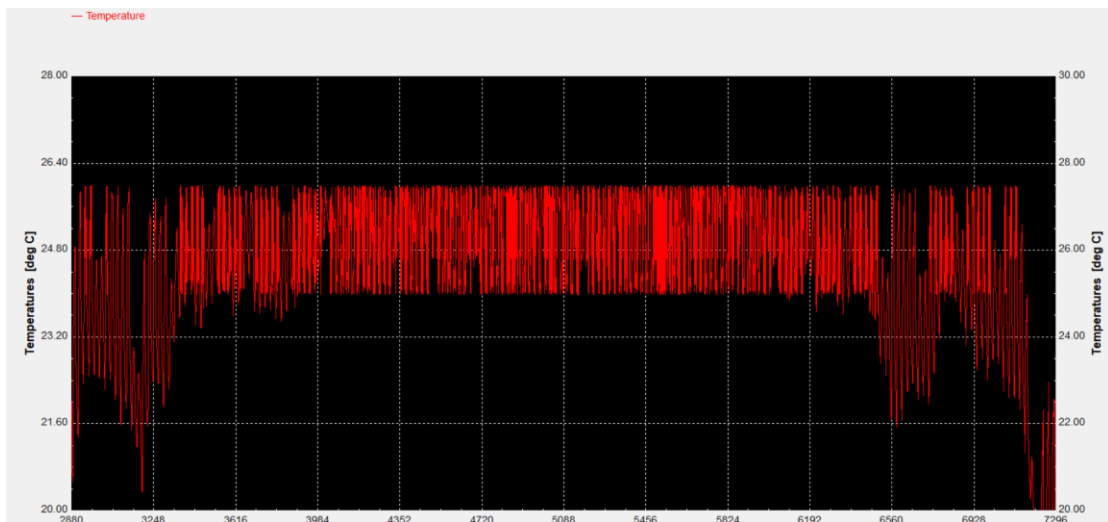
Αντλία θερμότητας	
Συνολική παροχή αέρα (m ³ /s)	0,7
Ονομαστική ισχύς εσωτερικού ανεμιστήρα (kW)	0,18
Ονομαστική ισχύς εξωτερικού ανεμιστήρα (kW)	0,2
Θερμοστάτες	
Θερμοκρασία ενεργοποίησης θέρμανσης (βαθμούς κέλβιν)	294
Θερμοκρασία ενεργοποίησης ψύξης (βαθμούς κέλβιν)	298

Πίνακας 8.7: Παράμετροι λειτουργίας αντλίας θερμότητας και θερμοστατών

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το θερμοκρασιακό προφίλ στο εσωτερικό του κτιρίου για όλη τη διάρκεια του έτους, ενώ έχει τεθεί πλέον σε λειτουργία το σύστημα θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου. Στόχος της απεικόνισης αυτής, είναι να φανεί το μέγεθος της επίδρασης της αντλίας θερμότητας στο θερμοκρασιακό προφίλ τόσο τους χειμερινούς μήνες όσο και τους καλοκαιρινούς.

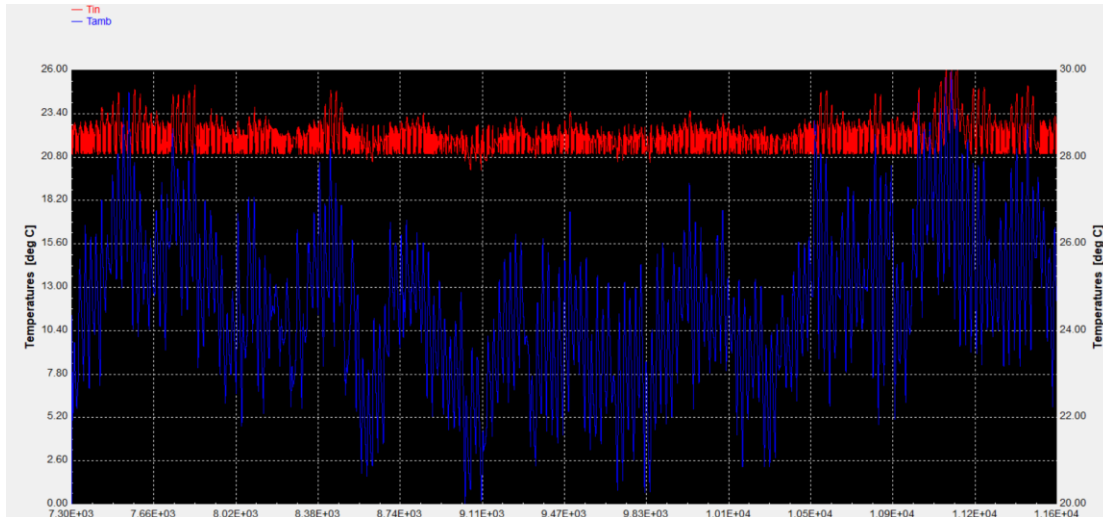


Εικόνα 8.3: Θερμοκρασιακό προφίλ στο εσωτερικό του χώρου με αντλία θερμότητας σε λειτουργία (χειμώνας)



Εικόνα 8.4: Θερμοκρασιακό προφίλ στο εσωτερικό του χώρου με αντλία θερμότητας σε λειτουργία (καλοκαίρι)

Ενδιαφέρον έχει και η απεικόνιση του θερμοκρασιακού προφίλ στο εσωτερικού χώρου, συναρτήσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Είναι εμφανής η διατήρηση συνθηκών θερμικής άνεσης στο εσωτερικού χώρου, παρά τις ακραίες θερμοκρασιακές συνθήκες του περιβάλλοντος τους χειμερινούς μήνες.



Εικόνα 8.5: Θερμοκρασιακό προφίλ στο εσωτερικό του χώρου συναρτήσει της εξωτερικής θερμοκρασίας (amb), με αντλία θερμότητας σε λειτουργία (χειμώνας).

8.4 Χρήση φ/β συστήματος με μπαταρία για την θέρμανση και την ψύξη του κτηρίου

Η συγκεκριμένη εγκατάσταση αποτελεί μια επένδυση η οποία εξετάζεται τόσο από ενεργειακή όσο και από οικονομική σκοπιά, προκειμένου να βρεθεί η βέλτιστη λύση. Από ενεργειακής απόψεως, ο αντικειμενικός στόχος είναι το ετήσιο ηλεκτρικό φορτίο των 3024 kWh, να καλύπτεται σε ένα πολύ υψηλό ποσοστό (της τάξεως του 90% και πάνω) από τα φωτοβολταϊκά πάνελ. Όπως είναι φυσιολογικό, η αύξηση της συλλεκτικής επιφάνειας των φωτοβολταϊκών οδηγεί σε αύξηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, κάτι που σε πρώτη φάση φαίνεται ικανοποιητικό καθώς μας οδηγεί σε ελαχιστοποίηση της χρήσης του δικτύου. Όμως η απεριόριστη αύξηση της συλλεκτικής επιφάνειας, αποτελεί μια ουτοπία καθώς αυξάνει σημαντικά το κόστος, κατά κύριο λόγο εξαιτίας των πάνελ, αλλά και των υπόλοιπων εξαρτημάτων όπως η μπαταρία και το inverter. Οπότε κρίνεται αναγκαίο να βρεθεί μια χρυσή τομή ανάμεσα στην ενεργειακή και την οικονομική βελτιστοποίηση. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι μέθοδοι με τις οποίες έγινε αυτή η διερεύνηση.

Αρχικά κάναμε μια παραμετροποίηση όσον αφορά την χωρητικότητα της μπαταρίας που θα χρησιμοποιήσουμε. Καταλήξαμε στην επιλογή μιας μικρής μπαταρίας 70 Ah και μιας μεγάλης 140 Ah τις οποίες τις συγκρίναμε τόσο από πλευράς ενεργειακής κάλυψης όσο και από οικονομικής πλευράς, με σκοπό να καταλήξουμε στην καλύτερη επιλογή. Στην συνέχεια του κεφαλαίου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα.

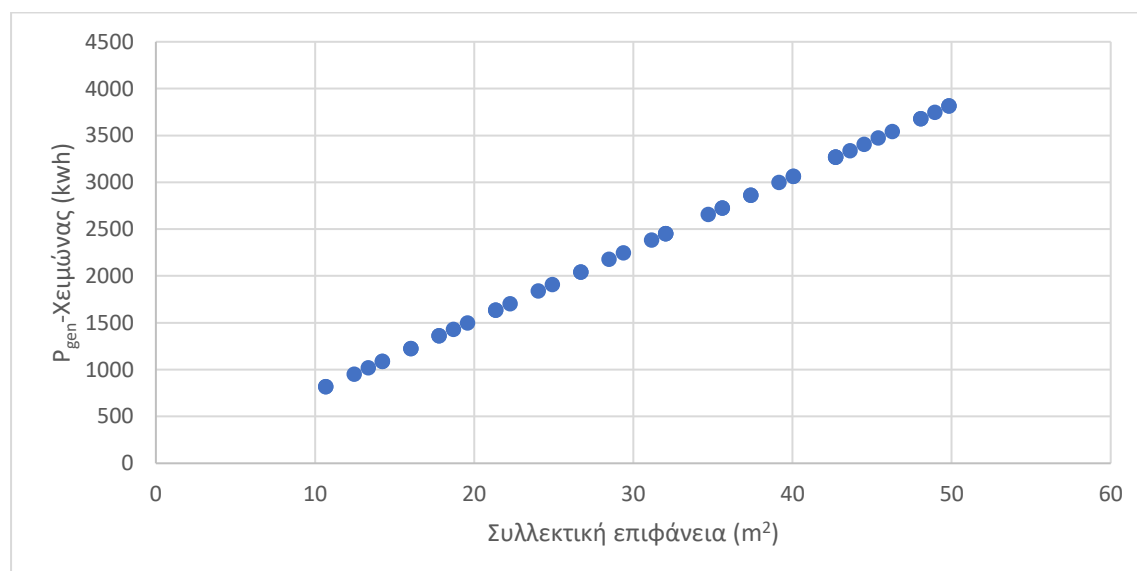
Έπειτα, στόχος ήταν η εύρεση της συλλεκτικής επιφάνειας με την οποία επιτυγχάνεται μικρό ποσοστό χρήσης δικτύου. Η διερεύνηση έγινε για τις συλλεκτικές επιφάνειες των 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, και 50 m².

Στους πίνακες που ακολουθούν φαίνεται η ηλεκτρική ενέργεια που λαμβάνεται από τα φωτοβολταϊκά Qgen και η ηλεκτρική ενέργεια που λαμβάνεται από το δίκτυο

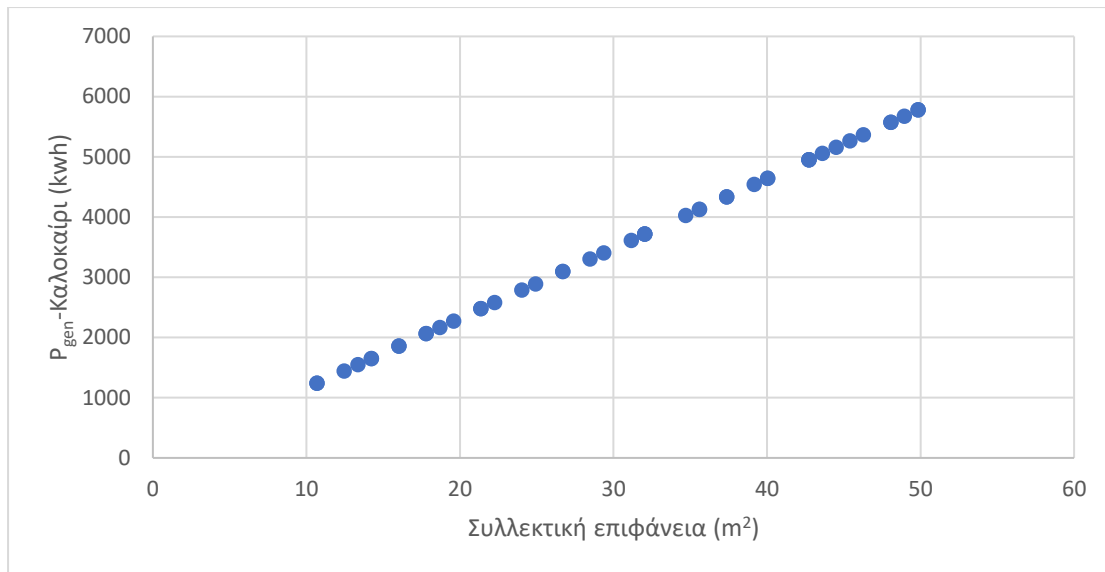
Q_{grid} , για τις διάφορες συλλεκτικές επιφάνειες τόσο κατά την διάρκεια του χειμώνα και του καλοκαιριού όσο και συνολικά κατά την διάρκεια του έτους .

A_c (m ²)	Q_{gen} χειμώνας (kwh)	Q_{gen} καλοκαίρι (kwh)
10	817,6	1239
15	1090	1651
20	1499	2271
25	1908	2890
30	2385	3612
35	2725	4128
40	3066	4644
45	3407	5160
50	3815	5780

Πίνακας 8.8: Ηλεκτρική ενέργεια από φωτοβολταϊκά για διάφορες συλλεκτικές επιφάνειες κατά την διάρκεια του χειμώνα και του καλοκαιριού .



Διάγραμμα 8.2: Ηλεκτρική ενέργεια που λαμβάνεται από τα Φ/Β συναρτήσει της συλλεκτικής επιφάνειας κατά την διάρκεια του χειμώνα.

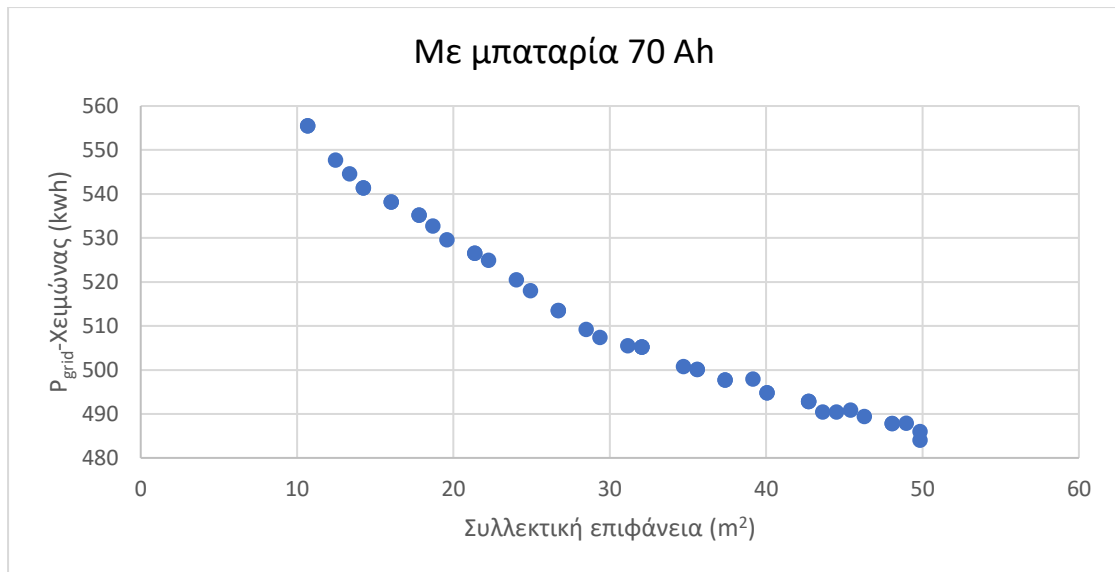


Διάγραμμα 8.3: Ηλεκτρική ενέργεια που λαμβάνεται από τα Φ/Β συναρτήσει της συλλεκτικής επιφάνειας κατά την διάρκεια του καλοκαιριού.

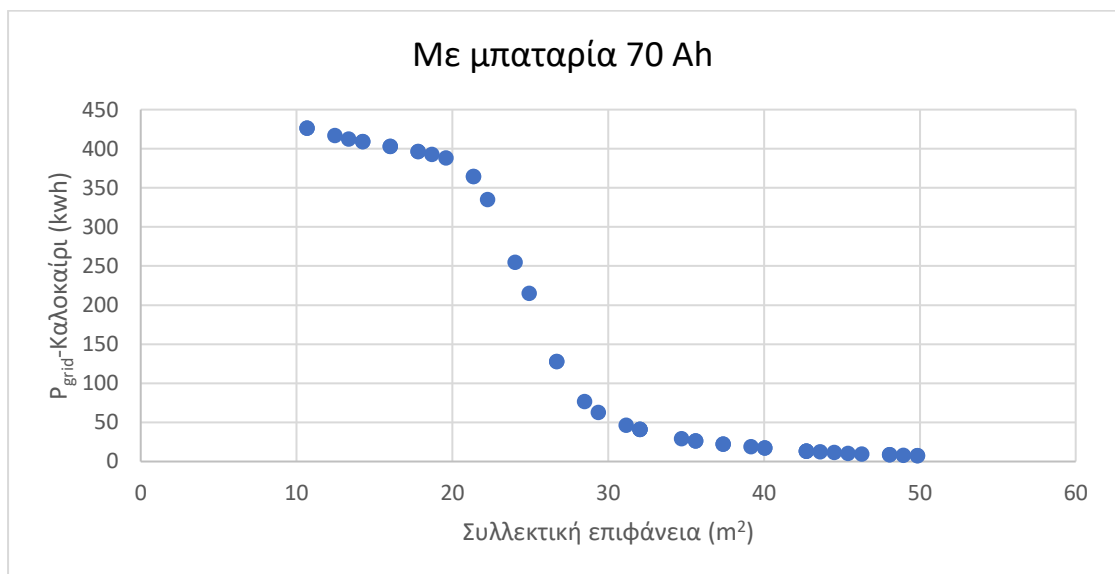
Παρατηρούμε ότι η ηλεκτρική ενέργεια που λαμβάνεται από τα Φ/Β συστήματα είναι μεγαλύτερη την περίοδο του καλοκαιριού και επιπλέον αυξάνεται όσο αυξάνεται η συλλεκτική επιφάνεια κάτι που είναι πολύ λογικό.

Ac (m ²)	Qgrid χειμώνας (kwh)	Qgrid καλοκαίρι (kwh)
10	555,5	426,2
15	541,4	408,9
20	529,6	388,3
25	518	215
30	505,5	46,28
35	500,1	26,43
40	494,8	17,37
45	490,4	11,62
50	486	7,288

Πίνακας 8.9: Ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο για διάφορες συλλεκτικές επιφάνειες κατά την διάρκεια του χειμώνα και του καλοκαιριού για χωρητικότητα μπαταρίας 70 Ah .



Διάγραμμα 8.4: Ηλεκτρική ενέργεια που λαμβάνεται από το δίκτυο συναρτήσει της συλλεκτικής επιφάνειας κατά την διάρκεια του χειμώνα για χωρητικότητα μπαταρίας 70 Ah.



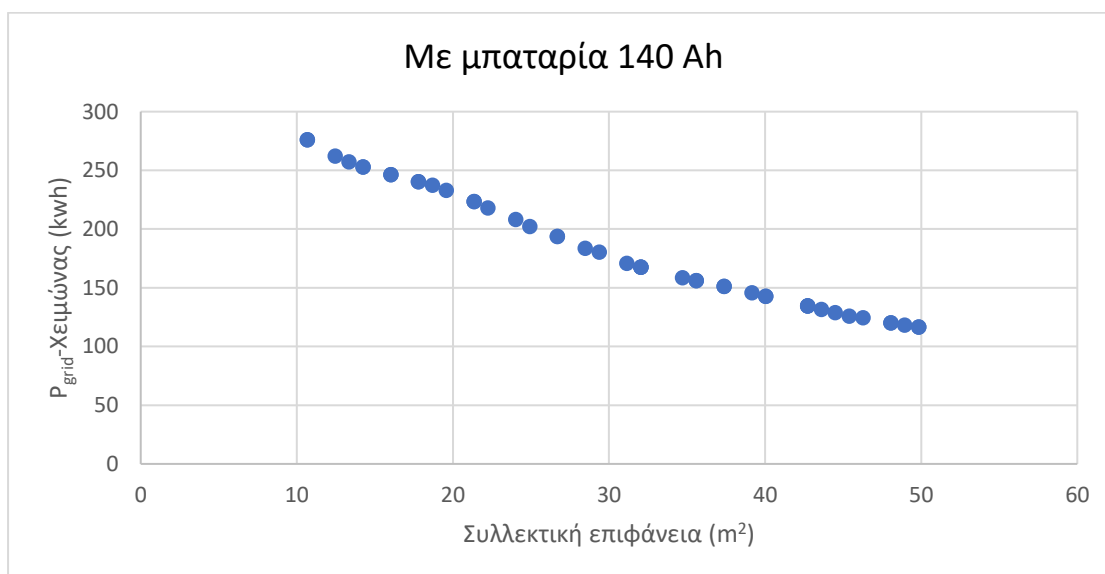
Διάγραμμα 8.5: Ηλεκτρική ενέργεια που λαμβάνεται από το δίκτυο συναρτήσει της συλλεκτικής επιφάνειας κατά την διάρκεια του καλοκαιριού για χωρητικότητα μπαταρίας 70 Ah.

Παρατηρούμε από τα διαγράμματα (8.4) και (8.5) ότι η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται από το δίκτυο (Qgrid) είναι μικρότερη την περίοδο του καλοκαιριού συγκριτικά με την περίοδο του χειμώνα, κάτι που είναι πολύ λογικό καθώς το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερο. Επίσης μπορούμε να δούμε ότι αύξηση της συλλεκτικής επιφάνειας επιφέρει μείωση της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται από το δίκτυο. Πέρα όμως από αυτό μπορεί να γίνει ευδιάκριτο από τα διαγράμματα, κυρίως σε αυτό που αφορά την περίοδο του καλοκαιριού (8.5), ότι από κάποια στιγμή και μετά, επιπλέον αύξηση της συλλεκτικής επιφάνειας δεν επιφέρει

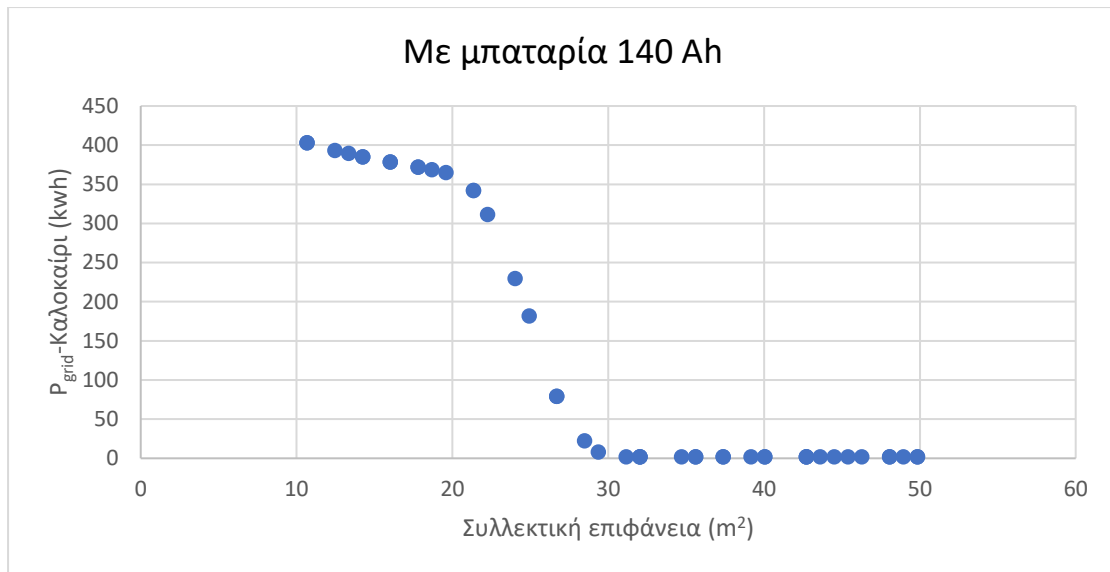
ιδιαίτερα οφέλη, πράγμα που είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για την οικονομική μελέτη που θα κάνουμε στη συνέχεια. Έτσι για την περίπτωση της μικρής μπαταρίας (70 Ah) συλλεκτική επιφάνεια άνω των 35 m² δεν έχει νόημα καθώς όπως βλέπουμε και από το διάγραμμα (8.5) η καμπύλη πάει να ευθυγραμμιστεί.

Ac (m ²)	Qgrid χειμώνας (kwh)	Qgrid καλοκαίρι (kwh)
10	275,8	403
15	258,8	385,1
20	232,9	365,1
25	202	181,8
30	170,6	1,734
35	156	1,734
40	142,7	1,734
45	128,8	1,734
50	116,5	1,734

Πίνακας 8.10: Ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο για διάφορες συλλεκτικές επιφάνειες κατά την διάρκεια του χειμώνα και του καλοκαιριού για χωρητικότητα μπαταρίας 140 Ah .



Διάγραμμα 8.6: Ηλεκτρική ενέργεια που λαμβάνεται από το δίκτυο συναρτήσει της συλλεκτικής επιφάνειας κατά την διάρκεια του χειμώνα για χωρητικότητα μπαταρίας 140 Ah.



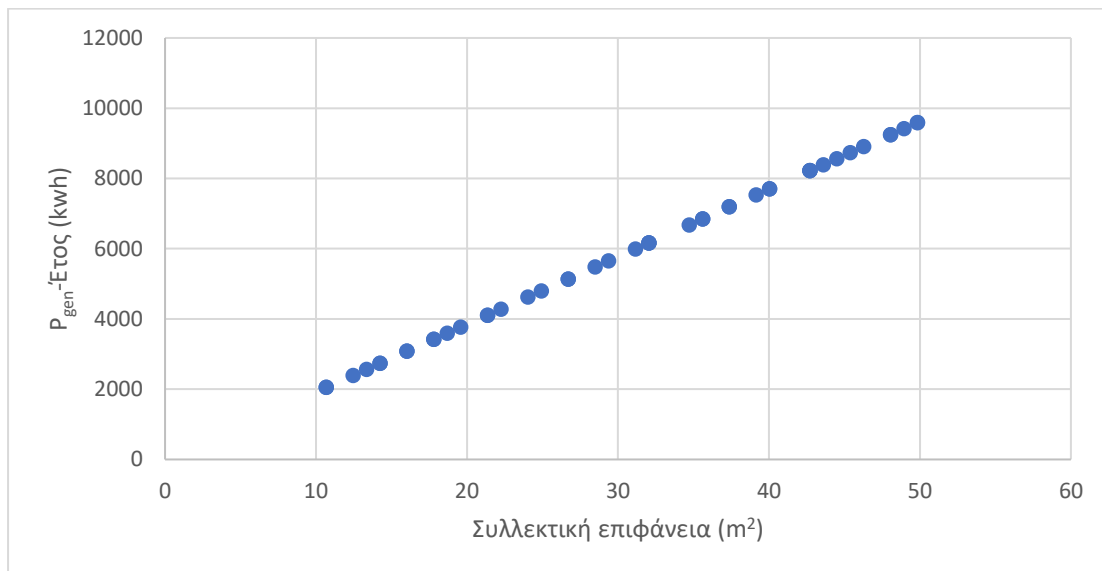
Διάγραμμα 8.7: Ηλεκτρική ενέργεια που λαμβάνεται από το δίκτυο συναρτήσει της συλλεκτικής επιφάνειας κατά την διάρκεια του καλοκαιριού για χωρητικότητα μπαταρίας 140 Ah.

Στην περίπτωση της μεγάλης μπαταρίας (140 Ah) όπως προκύπτει και από τα διαγράμματα (8.6) και (8.7) η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται από το δίκτυο είναι μεγαλύτερη το καλοκαίρι για συλλεκτικές έως και 20 m², ενώ από εκεί και πέρα γίνεται μικρότερη συγκριτικά με την χειμερινή περίοδο και μάλιστα για συλλεκτικές επιφάνειες από 30 έως 50 m² σχεδόν μηδενίζεται. Πέρα όμως από αυτό μπορεί να γίνει ευδιάκριτο και σε αυτή την περίπτωση από τα διαγράμματα, κυρίως σε αυτό που αφορά την περίοδο του καλοκαιριού (8.7), ότι από κάποια στιγμή και μετά, επιπλέον αύξηση της συλλεκτικής επιφάνειας δεν επιφέρει ιδιαίτερα οφέλη, πράγμα που είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για την οικονομική μελέτη που θα κάνουμε στη συνέχεια. Έτσι για την περίπτωση της μεγάλης μπαταρίας (140 Ah) συλλεκτική επιφάνεια άνω των 30 m² δεν έχει νόημα καθώς όπως βλέπουμε και από το διάγραμμα (8.7) η καμπύλη πάει να ευθυγραμμιστεί.

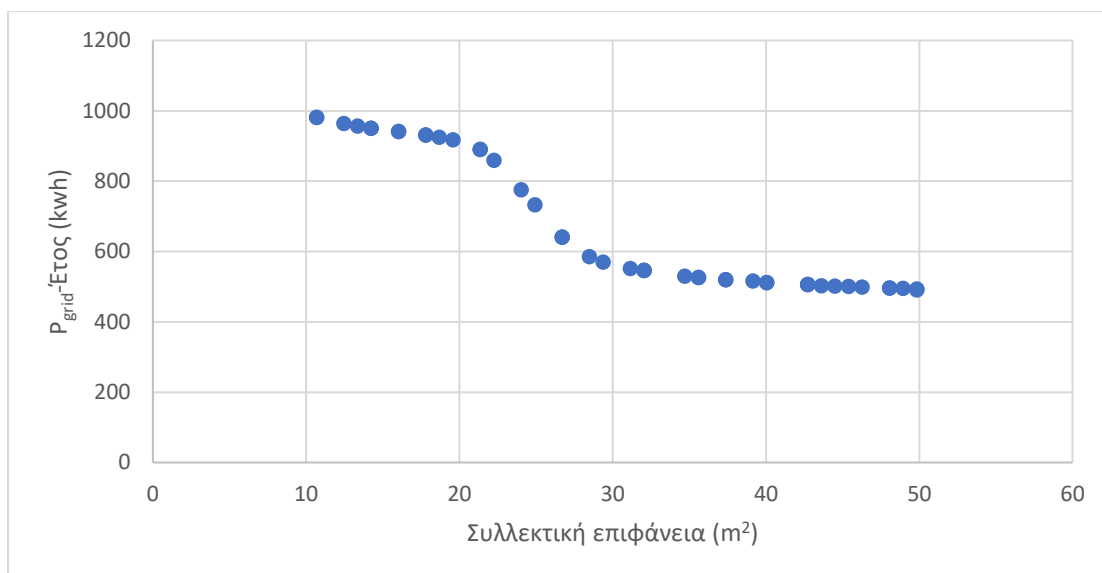
Ac (m ²)	Qgen total (kwh)	Qgrid total(kwh) για 70 Ah	Qgrid total(kwh) για 140 Ah
10	2056,6	981,7	678,8
15	2741	950,3	637,9
20	3770	917,9	598
25	4798	733	383,8
30	5997	551,78	172,334
35	6853	526,53	157,734
40	7710	512,17	144,434
45	8567	502,02	130,534
50	9595	491,288	118,234

Πίνακας 8.11: Ετήσια ηλεκτρική ενέργεια από φωτοβολταϊκά και δίκτυο για διάφορες συλλεκτικές επιφάνειες και χωρητικότητα μπαταρίας.

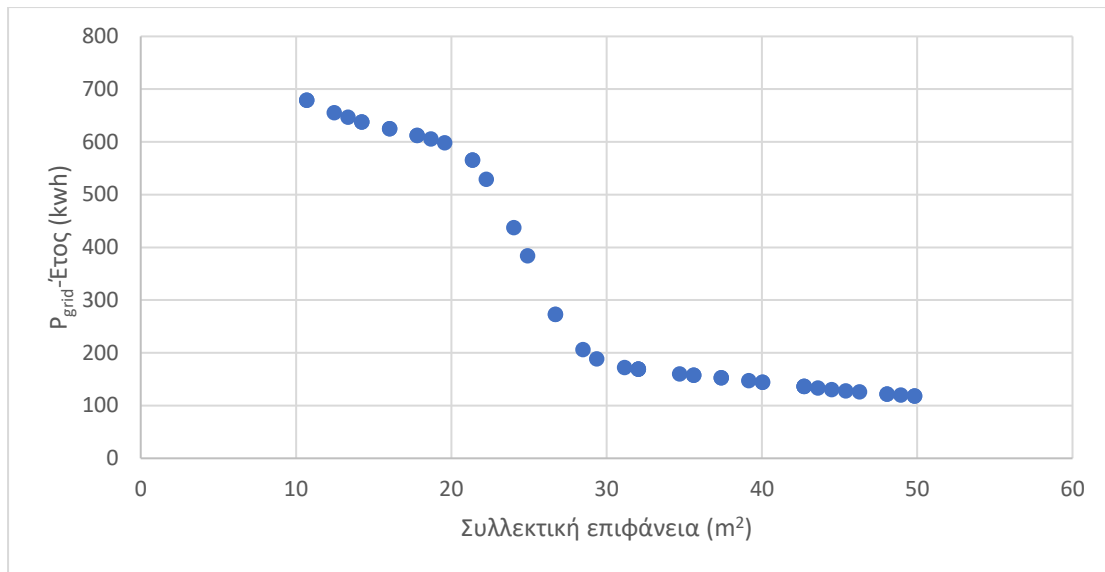
Όπως διαπιστώνεται και από τα ετήσια διαγράμματα (8.8) και (8.9) που ακολουθούν, η ηλεκτρική ενέργεια που λαμβάνεται από το δίκτυο, μειώνεται όσο μεγαλύτερη είναι η συλλεκτική επιφάνεια των φωτοβολταϊκών που χρησιμοποιούνται. Επιπλέον όσο μεγαλύτερη είναι η χωρητικότητα της μπαταρίας τόσο λιγότερη είναι η απαίτηση από το δίκτυο.



Διάγραμμα 8.8: Ετήσια ηλεκτρική ενέργεια που λαμβάνεται από τα Φ/Β συναρτήσει της συλλεκτικής επιφάνειας.



Διάγραμμα 8.9: Ετήσια ηλεκτρική ενέργεια που λαμβάνεται από το δίκτυο συναρτήσει της συλλεκτικής επιφάνειας για χωρητικότητα μπαταρίας 70 Ah



Διάγραμμα 8.10: Ετήσια ηλεκτρική ενέργεια που λαμβάνεται από το δίκτυο συναρτήσει της συλλεκτικής επιφάνειας για χωρητικότητα μπαταρίας 140 Ah

Το επόμενο μέγεθος που θα μας απασχολήσει είναι το ποσοστό κάλυψης των αναγκών της εγκατάστασης από τα φωτοβολταϊκά, που θα συμβολιστεί με f .

$$f = \left(1 - \frac{Q_{grid}}{Q_{total}}\right) * 100\% \quad (8.3)$$

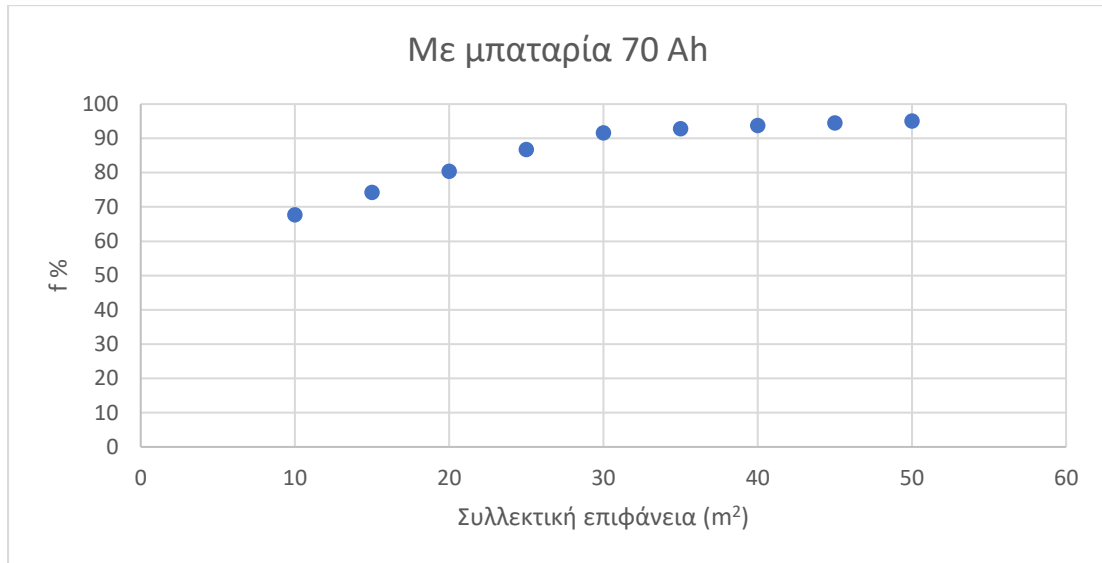
Όπου Q_{total} η συνολική ηλεκτρική ενέργεια από δίκτυο και φωτοβολταϊκά που προορίζεται για την κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου του κτιρίου. Δίνεται από την σχέση:

$$Q_{total} = Q_{grid} + Q_{gen} \quad (8.4)$$

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται το ποσοστό κάλυψης f των αναγκών της εγκατάστασης για διάφορες συλλεκτικές επιφάνειες και χωρητικότητα μπαταρίας.

Ac (m ²)	Q _{total} (kwh)	f (%)
10	3038,3	67,689168
15	3691,3	74,255682
20	4687,9	80,419804
25	5531	86,747424
30	6548,78	91,574308
35	7379,53	92,864993
40	8222,17	93,770866
45	9069,02	94,464452
50	10088,288	95,11029

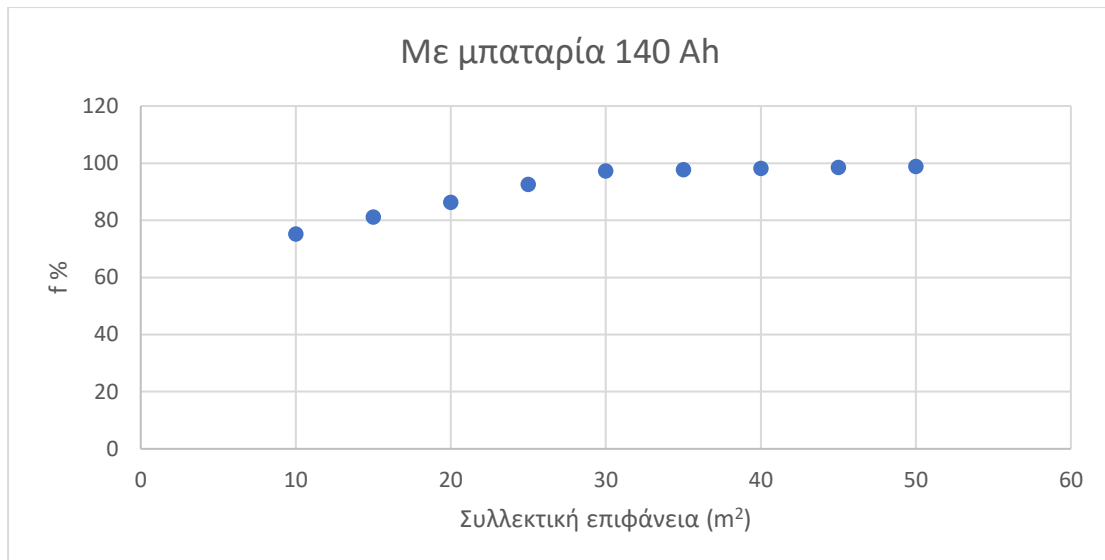
Πίνακας 8.12: Ενεργειακή κάλυψη από Φ/Β συναρτήσει συλλεκτικής επιφάνειας για χωρητικότητα μπαταρίας 70 Ah



Διάγραμμα 8.11: Ποσοστό ενεργειακής κάλυψης από τα Φ/Β συναρτήσει της συλλεκτικής επιφάνειας για χωρητικότητα μπαταρίας 70 Ah

Ac (m²)	Qtotal (kwh)	f (%)
10	2735,4	75,184617
15	3378,9	81,121075
20	4368	86,309524
25	5181,8	92,593307
30	6169,334	97,206603
35	7010,734	97,750107
40	7854,434	98,161115
45	8697,534	98,499184
50	9713,234	98,782754

Πίνακας 8.13: Ενεργειακή κάλυψη από Φ/Β συναρτήσει συλλεκτικής επιφάνειας για χωρητικότητα μπαταρίας 140 Ah



Διάγραμμα 8.12: Ποσοστό ενεργειακής κάλυψης από τα Φ/Β συναρτήσει της συλλεκτικής επιφάνειας για χωρητικότητα μπαταρίας 140 Ah

Όπως ήταν αναμενόμενο, η ενεργειακή κάλυψη από τα φωτοβολταϊκά αυξάνεται, όσο αυξάνεται η συνολική επιφάνεια των συλλεκτών αλλά και η χωρητικότητα της μπαταρίας. Επιπρόσθετα μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι στην περίπτωση της μεγάλης μπαταρίας έχω καλύτερη ενέγειακή κάλυψη που αγγίζει το 98% (πίνακας 8.13) ενώ στη περίπτωση της μικρής το 95% (πίνακας 8.12). Επιπλέον στην περίπτωση της μεγάλης μπαταρίας όπως παρατηρούμε και από το διάγραμμα (8.12) για συλλεκτική επιφάνεια άνω των 30 m² η επιπλέον ενεργειακή κάλυψη είναι μηδαμινή. Κάτι ανάλογο συμβαίνει και στην περίπτωση της μικρής μπαταρίας αλλά για συλλεκτική επιφάνεια άνω των 35 m² (διάγραμμα 8.11).

Από την παραπάνω ενεργειακή μελέτη που αφορά τις δύο περιπτώσεις μπαταριών δηλαδή μιας μικρής 70 Ah και μιας μεγάλης 140 Ah καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η καλύτερη επιλογή συλλεκτικής επιφάνειας για τη περίπτωση της μικρής μπαταρίας είναι 35 m² ενώ για την περίπτωση της μεγάλης 30 m². Στην συνέχεια για αυτές τις δύο επιλεγμένες συλλεκτικές επιφάνειες υπολογίσαμε και αναπαραστήσαμε σε μορφή πινάκων και διαγραμμάτων την ηλιακή ενέργεια που συλλέγει το Φ/Β (Q_{solar}), την ενέργεια που παράγει το Φ/Β (Q_{gen}), την ενέργεια που παίρνω από το Φ/Β (Q_{load}) καθώς και την ενέργεια που χρειάζομαι από το δίκτυο (Q_{grid}) για κάθε μήνα ξεχωριστά. Έτσι λοιπόν έχουμε για

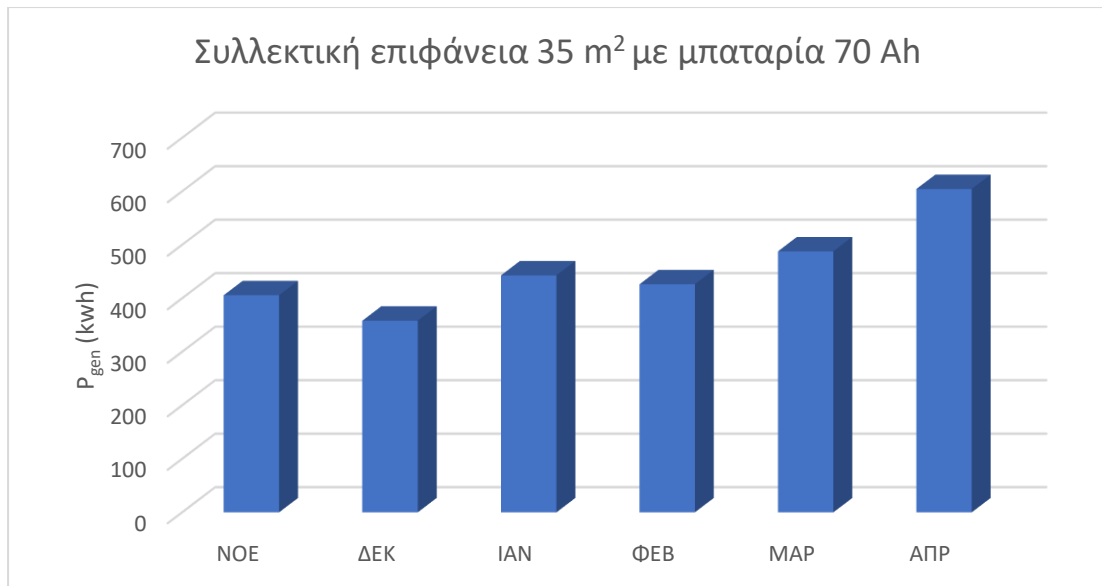
Συλλεκτική επιφάνεια 35 m² και χωρητικότητα μπαταρίας 70 Ah

Μήνες	Qsolar (kWh)	Qgen (kwh)	Qload (kwh)	Qgrid (kwh)
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	3512,296	405,8	118,43	25,32
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	3074,416	358,2	188,13	118,35
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	3798,52	442,9	218,43	158,35
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	3656,12	426,3	197,03	119,25
ΜΑΡΤΙΟΣ	4222,16	487,8	188,33	76,1
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	5286,6	604,3	84,12	2,5

Πίνακας 8.14: Ενεργειακά μεγέθη για κάθε μήνα ξεχωριστά την χειμερινή περίοδο, για επιλεγμένη συλλεκτική επιφάνεια 35 m² και χωρητικότητα μπαταρίας 70 Ah



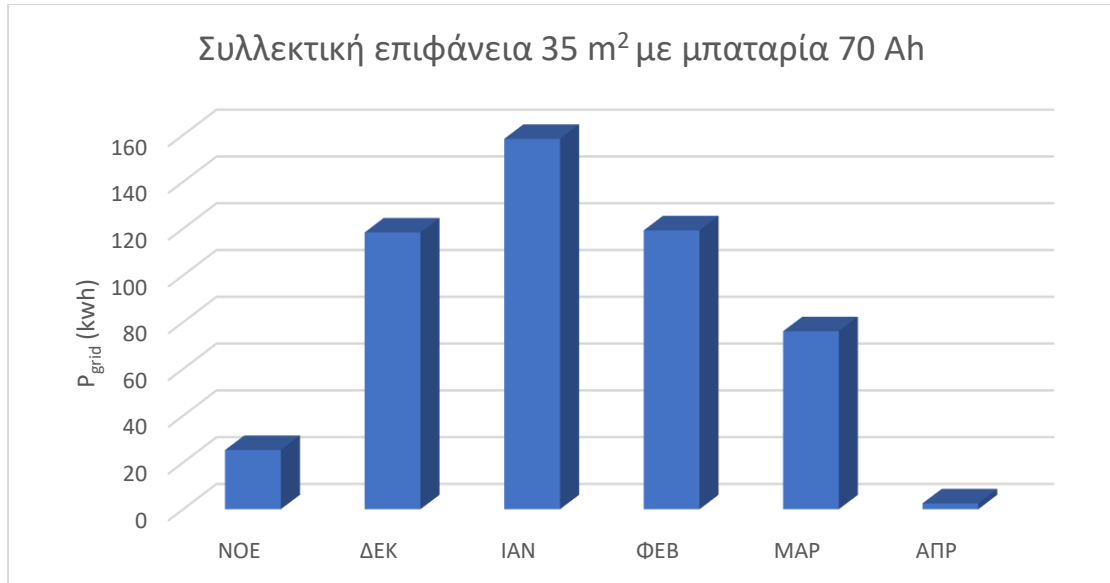
Διάγραμμα 8.13: Ηλιακή ενέργεια που συλλέγει το Φ/Β για κάθε μήνα ξεχωριστά της χειμερινής περιόδου, για επιλεγμένη συλλεκτική επιφάνεια 35 m² και χωρητικότητα μπαταρίας 70 Ah



Διάγραμμα 8.14: Ενέργεια που παράγει το Φ/Β για κάθε μήνα ξεχωριστά της χειμερινής περιόδου, για επιλεγμένη συλλεκτική επιφάνεια 35 m² και χωρητικότητα μπαταρίας 70 Ah



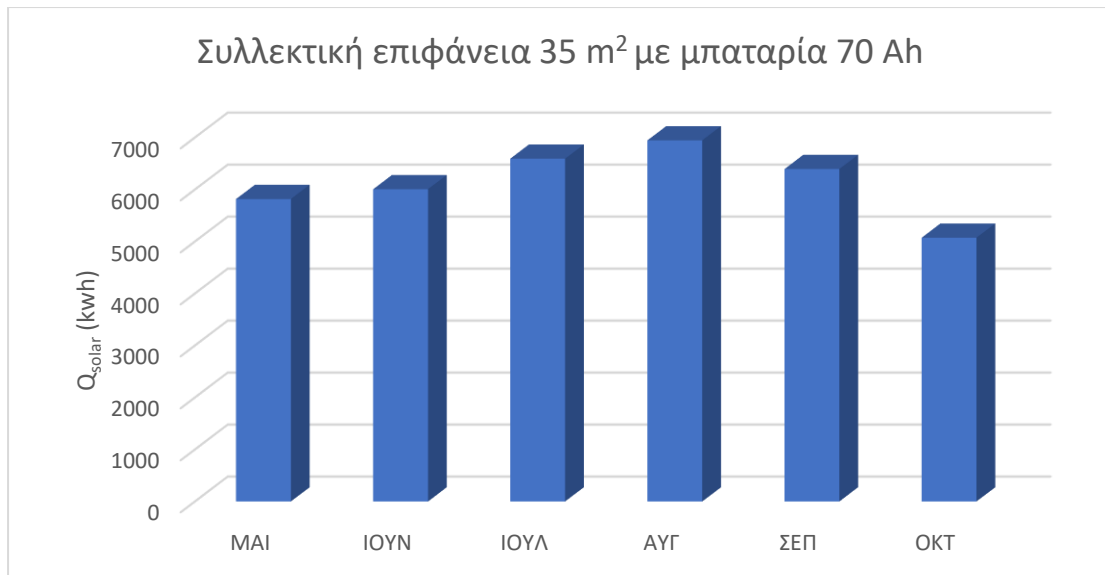
Διάγραμμα 8.15: Ενέργεια που παίρνω από το Φ/Β για κάθε μήνα ξεχωριστά της χειμερινής περιόδου, για επιλεγμένη συλλεκτική επιφάνεια 35 m² και χωρητικότητα μπαταρίας 70 Ah



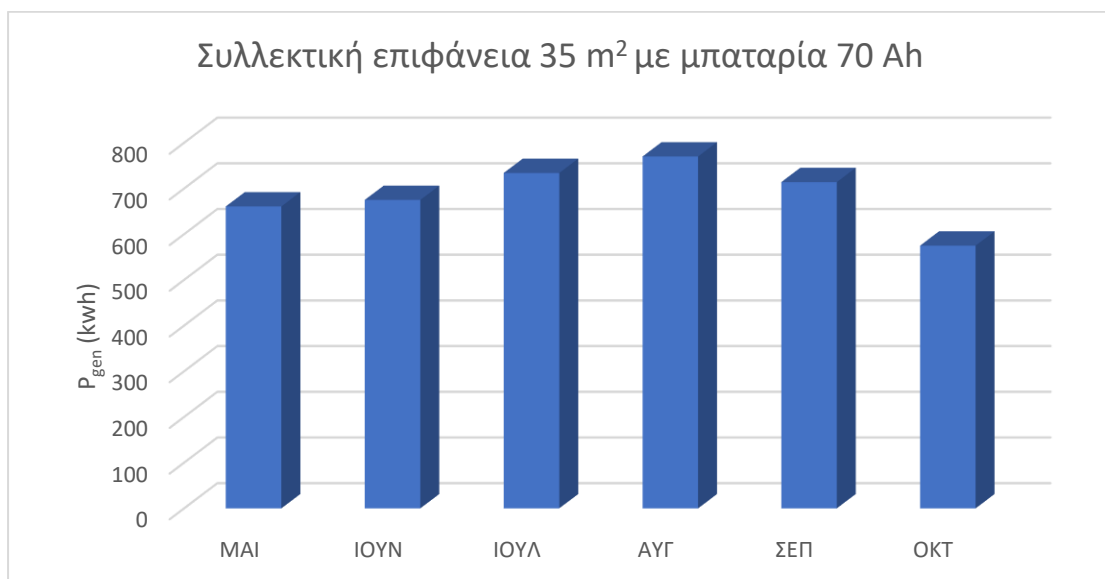
Διάγραμμα 8.16: Ενέργεια που χρειάζεται από το δίκτυο για κάθε μήνα ξεχωριστά της χειμερινής περιόδου, για επιλεγμένη συλλεκτική επιφάνεια 35 m² και χωρητικότητα μπαταρίας 70 Ah

Μήνες	Qsolar (kWh)	Qgen (kwh)	Qload (kwh)	Qgrid (kwh)
ΜΑΙΟΣ	5817,04	660,7	92,08	0
ΙΟΥΝΙΟΣ	6005,72	674,9	264	2,3
ΙΟΥΛΙΟΣ	6593,12	733,9	433,1	15,13
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	6945,56	770	420,7	9,01
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	6393,76	714	226,2	0
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	5073	574,9	68,29	0

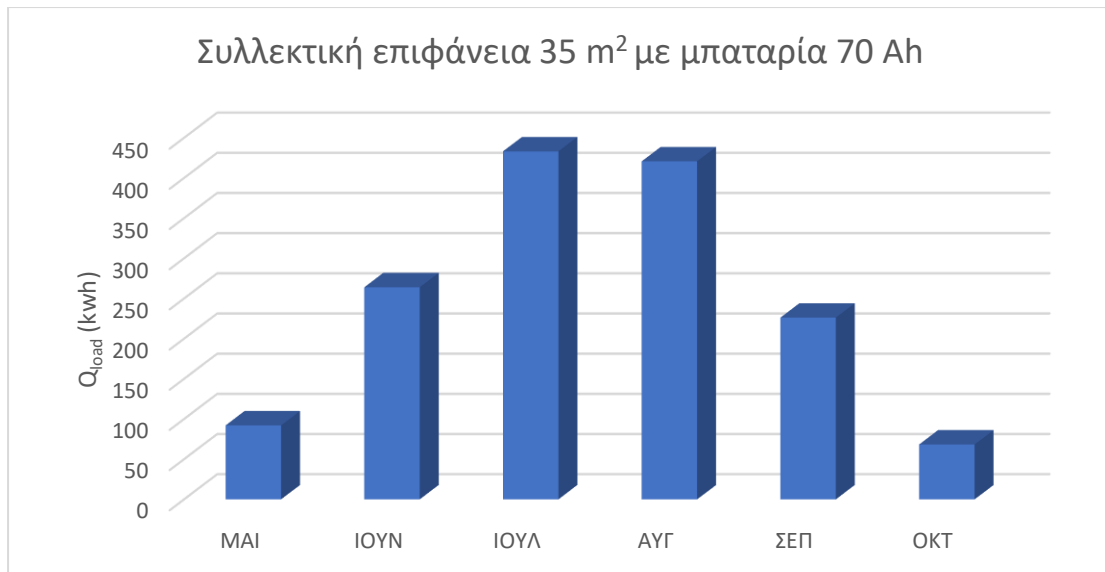
Πίνακας 8.15: Ενεργειακά μεγέθη για κάθε μήνα ξεχωριστά την καλοκαιρινή περίοδο, για επιλεγμένη συλλεκτική επιφάνεια 35 m² και χωρητικότητα μπαταρίας 70 Ah



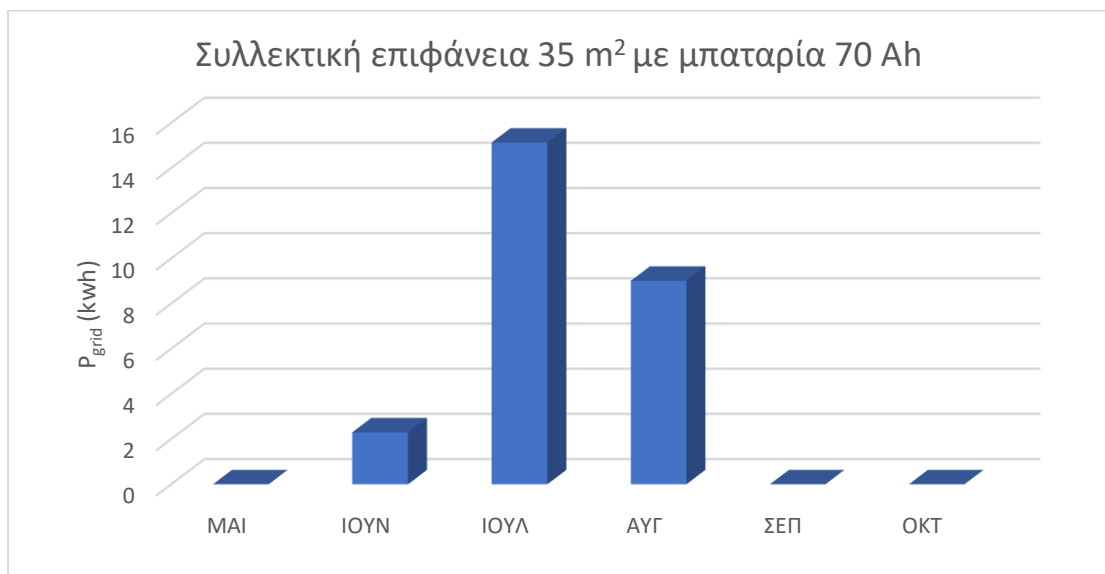
Διάγραμμα 8.17: Ηλιακή ενέργεια που συλλέγει το Φ/Β για κάθε μήνα ξεχωριστά της καλοκαιρινής περιόδου, για επιλεγμένη συλλεκτική επιφάνεια 35 m² και χωρητικότητα μπαταρίας 70 Ah



Διάγραμμα 8.18: Ενέργεια που παράγει το Φ/Β για κάθε μήνα ξεχωριστά της καλοκαιρινής περιόδου, για επιλεγμένη συλλεκτική επιφάνεια 35 m² και χωρητικότητα μπαταρίας 70 Ah



Διάγραμμα 8.19: Ενέργεια που παίρνω από το Φ/Β για κάθε μήνα ξεχωριστά της καλοκαιρινής περιόδου, για επιλεγμένη συλλεκτική επιφάνεια 35 m² και χωρητικότητα μπαταρίας 70 Ah

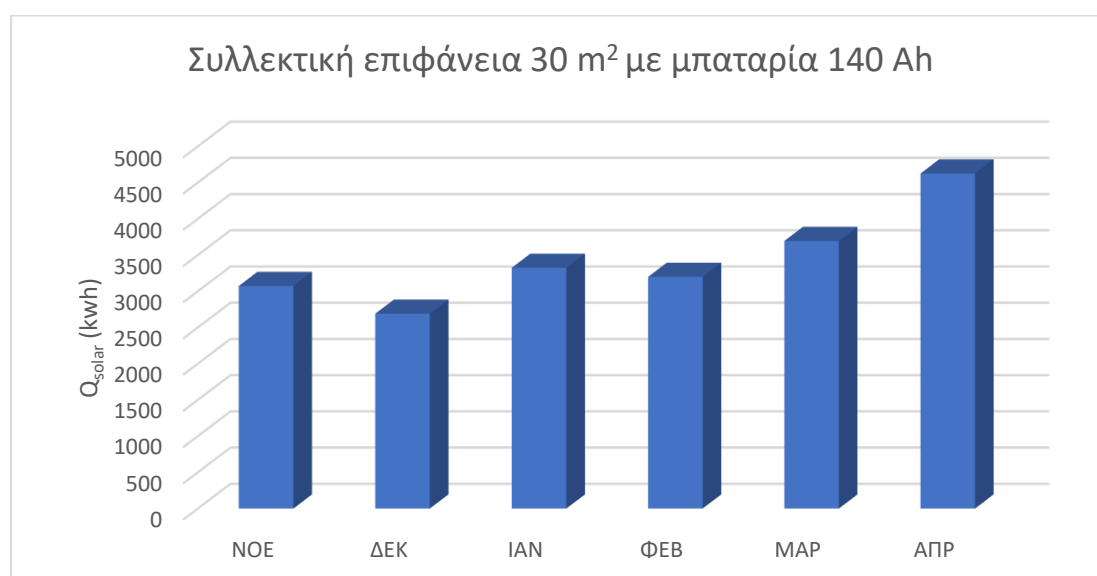


Διάγραμμα 8.20: Ενέργεια που χρειαζόμαστε από το δίκτυο για κάθε μήνα ξεχωριστά της καλοκαιρινής περιόδου, για επιλεγμένη συλλεκτική επιφάνεια 35 m² και χωρητικότητα μπαταρίας 70 Ah

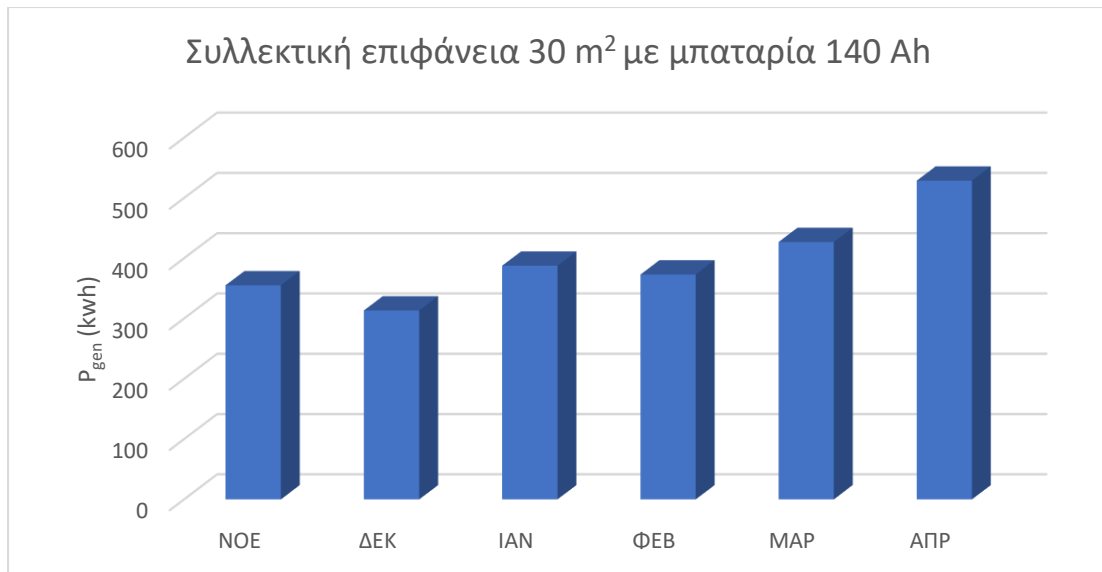
Συλλεκτική επιφάνεια 30 m² και χωρητικότητα μπαταρίας 140 Ah

Μήνες	Q _{solar} (kWh)	Q _{gen} (kwh)	Q _{load} (kwh)	Q _{grid} (kwh)
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	3073,259	355,1	130,07	11,92
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	2690,114	313,4	263,83	41,29
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	3323,705	387,6	318,83	56,07
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	3199,105	373	287,63	28,33
ΜΑΡΤΙΟΣ	3694,39	426,9	229,03	32,97
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	4625,775	528,7	93,96	0

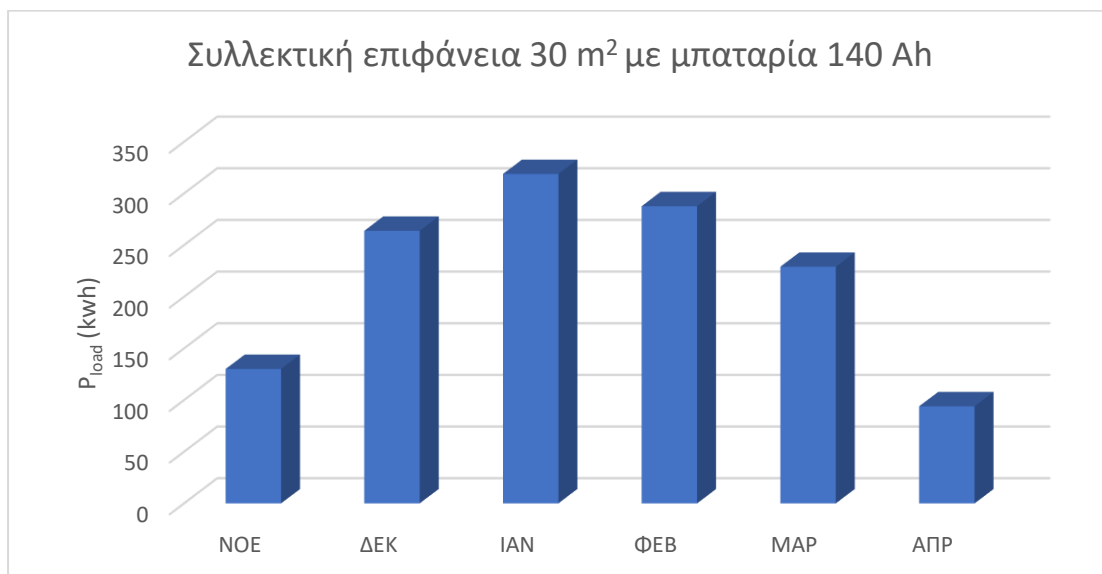
Πίνακας 8.16: Ενεργειακά μεγέθη για κάθε μήνα ξεχωριστά την χειμερινή περίοδο, για επιλεγμένη συλλεκτική επιφάνεια 30 m² και χωρητικότητα μπαταρίας 140 Ah



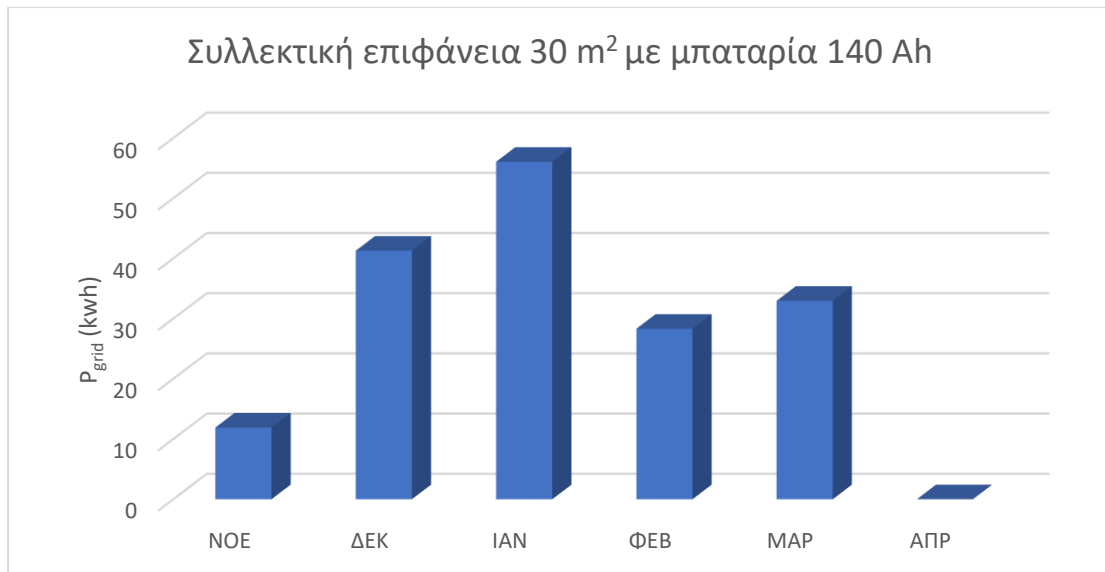
Διάγραμμα 8.21: Ηλιακή ενέργεια που συλλέγει το Φ/Β για κάθε μήνα ξεχωριστά της χειμερινής περιόδου, για επιλεγμένη συλλεκτική επιφάνεια 30 m² και χωρητικότητα μπαταρίας 140 Ah



Διάγραμμα 8.22: Ενέργεια που παράγει το Φ/Β για κάθε μήνα ξεχωριστά της χειμερινής περιόδου, για επιλεγμένη συλλεκτική επιφάνεια 30 m² και χωρητικότητα μπαταρίας 140 Ah



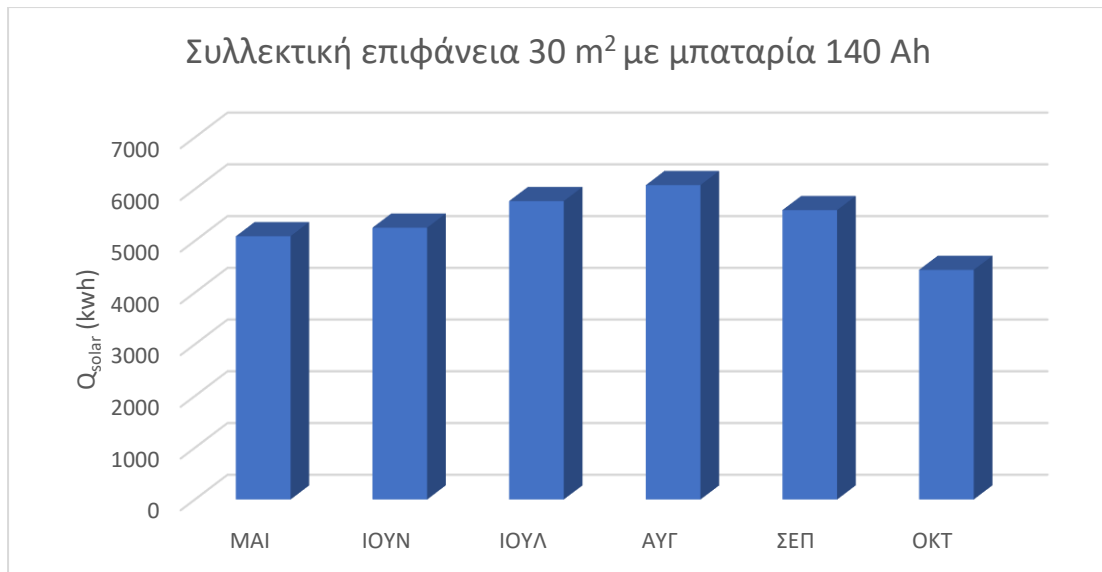
Διάγραμμα 8.23: Ενέργεια που παίρνω από το Φ/Β για κάθε μήνα ξεχωριστά της χειμερινής περιόδου, για επιλεγμένη συλλεκτική επιφάνεια 30 m² και χωρητικότητα μπαταρίας 140 Ah



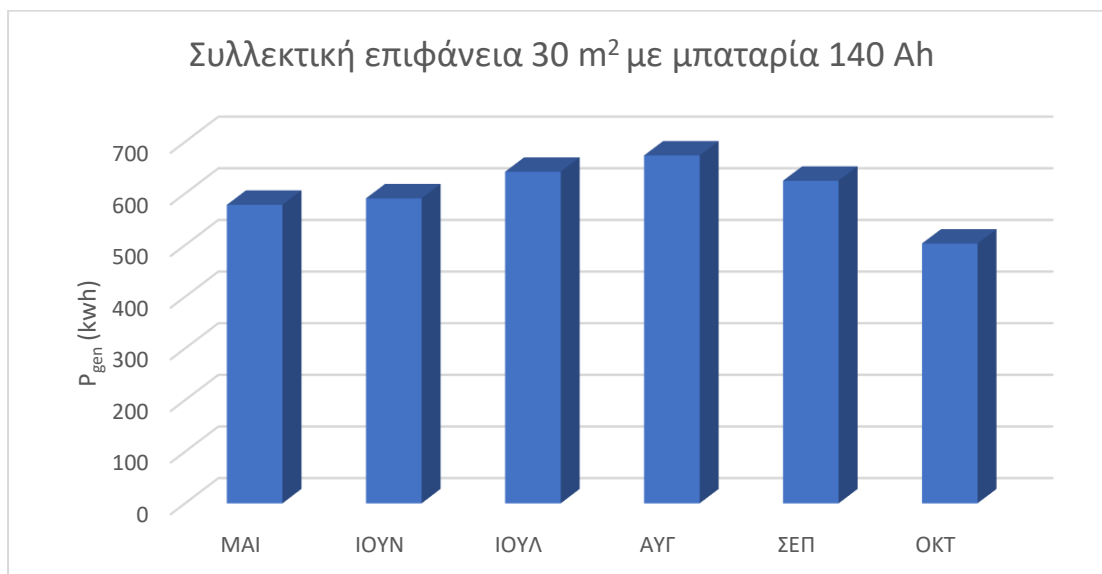
Διάγραμμα 8.24: Ενέργεια που χρειάζομαι από το δίκτυο για κάθε μήνα ξεχωριστά της χειμερινής περιόδου, για επιλεγμένη συλλεκτική επιφάνεια 30 m² και χωρητικότητα μπαταρίας 140 Ah

Μήνες	Q _{solar} (kWh)	Q _{gen} (kwh)	Q _{load} (kwh)	Q _{grid} (kwh)
ΜΑΙΟΣ	5089,91	578,1	97,9	0
ΙΟΥΝΙΟΣ	5255,005	590,6	275,45	0
ΙΟΥΛΙΟΣ	5768,98	642,1	432,85	0,693
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	6077,365	673,7	425,65	1,041
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	5594,54	624,7	220,55	0
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	4438,875	503,1	75,84	0

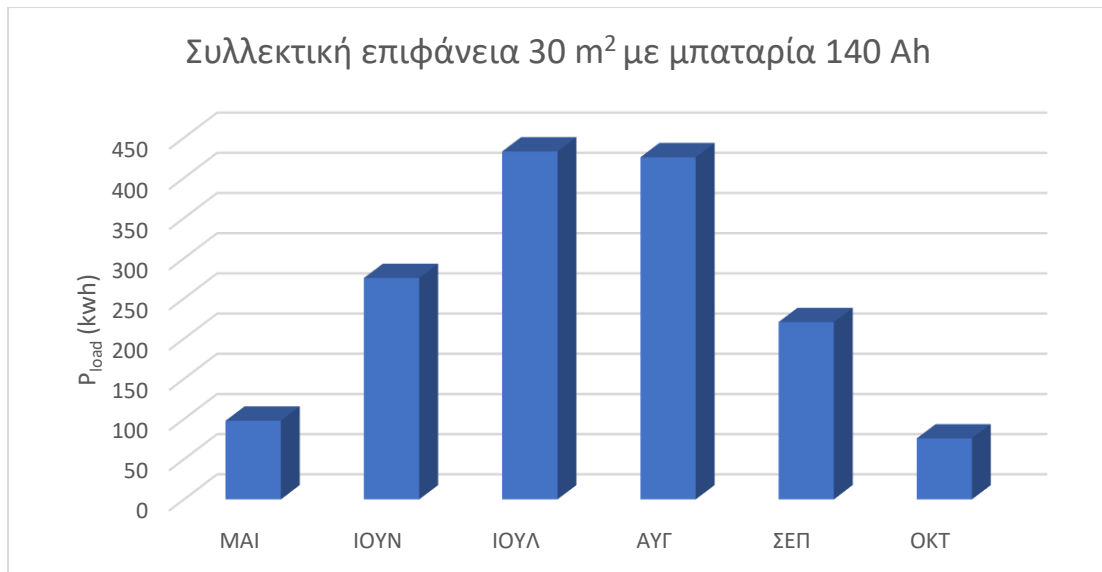
Πίνακας 8.17: Ενεργειακά μεγέθη για κάθε μήνα ξεχωριστά την καλοκαιρινή περίοδο, για επιλεγμένη συλλεκτική επιφάνεια 30 m² και χωρητικότητα μπαταρίας 140 Ah



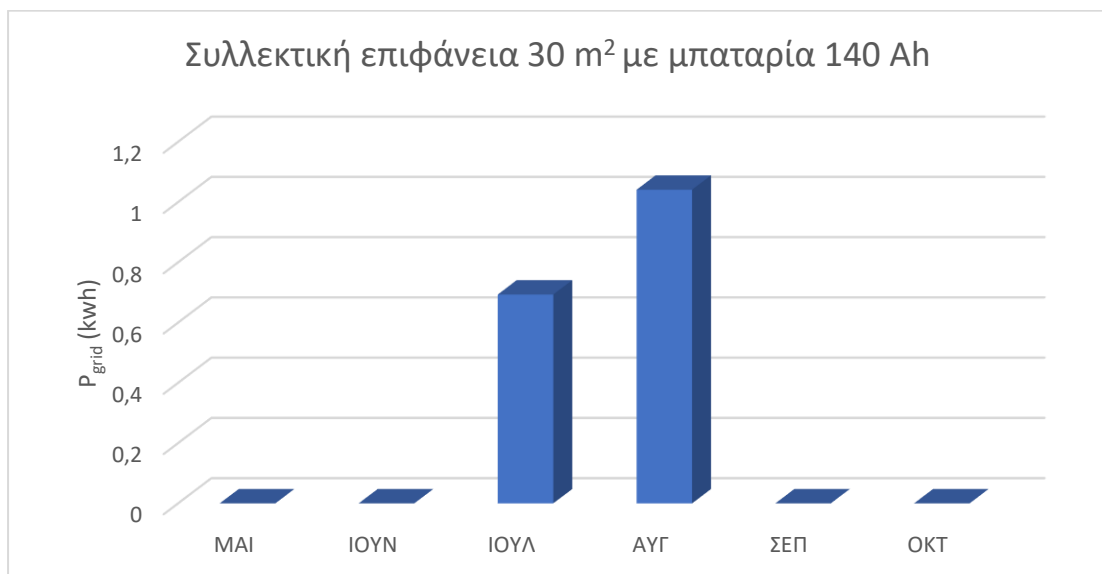
Διάγραμμα 8.25: Ηλιακή ενέργεια που συλλέγει το Φ/Β για κάθε μήνα ξεχωριστά της καλοκαιρινής περιόδου, για επιλεγμένη συλλεκτική επιφάνεια 30 m² και χωρητικότητα μπαταρίας 140 Ah



Διάγραμμα 8.26: Ενέργεια που παράγει το Φ/Β για κάθε μήνα ξεχωριστά της καλοκαιρινής περιόδου, για επιλεγμένη συλλεκτική επιφάνεια 30m² και χωρητικότητα μπαταρίας 140 Ah



Διάγραμμα 8.27: Ενέργεια που παίρνω από το Φ/Β για κάθε μήνα ξεχωριστά της καλοκαιρινής περιόδου, για επιλεγμένη συλλεκτική επιφάνεια 30 m² και χωρητικότητα μπαταρίας 140 Ah



Διάγραμμα 8.28: Ενέργεια που χρειάζομαι από το δίκτυο για κάθε μήνα ξεχωριστά της καλοκαιρινής περιόδου, για επιλεγμένη συλλεκτική επιφάνεια 30 m² και χωρητικότητα μπαταρίας 140 Ah

Από τα παραπάνω διαγράμματα για τις δύο περιπτώσεις μπαταριών κατά την χειμερινή και καλοκαιρινή περίοδο παρατηρούμε τα εξής:

- Και στις δύο περιπτώσεις η μέγιστη ηλιακή ενέργεια (Q_{solar}) που συλλέγεται από το Φ/Β, είναι τον μήνα Απρίλιο και Αύγουστο κατά την χειμερινή και καλοκαιρινή περίοδο αντίστοιχα.

- Και στις δύο περιπτώσεις η ελάχιστη ηλιακή ενέργεια που συλλέγεται από το Φ/Β είναι τον μήνα Δεκέμβριο και Οκτώβριο κατά την χειμερινή και καλοκαιρινή περίοδο αντίστοιχα.
- Και στις δύο περιπτώσεις η μέγιστη ενέργεια που παράγει το Φ/Β (Qgen), είναι τον μήνα Απρίλιο και Αύγουστο κατά την χειμερινή και καλοκαιρινή περίοδο αντίστοιχα.
- Και στις δύο περιπτώσεις η ελάχιστη ενέργεια που παράγει το Φ/Β (Qgen), είναι τον μήνα Δεκέμβριο και Οκτώβριο κατά την χειμερινή και καλοκαιρινή περίοδο αντίστοιχα.
- Και στις δύο περιπτώσεις η ενέργεια που παίρνω από το Φ/Β (Qload) αλλά και από το δίκτυο (Qgrid) είναι μεγαλύτερη τον μήνα Ιανουάριο και Ιούλιο κατά την χειμερινή και καλοκαιρινή περίοδο αντίστοιχα. Κάτι το οποίο είναι και λογικό γιατί είναι ο πιο ψυχρός και αντίστοιχα ο πιο θερμός μήνας, οπότε οι ανάγκες μου για ψύξη και θέρμανση αυξάνονται.
- Και στις δύο περιπτώσεις η ενέργεια που παίρνω από το Φ/Β (Qload) είναι μικρότερη τον μήνα Απρίλιο και Οκτώβριο κατά την χειμερινή και καλοκαιρινή περίοδο αντίστοιχα. Κάτι το οποίο είναι και λογικό γιατί είναι ο λιγότερο ψυχρός και αντίστοιχα ο λιγότερο θερμός μήνας, οπότε οι ανάγκες μου για ψύξη και θέρμανση μειώνονται.
- Στην περίπτωση που έχω μικρής χωρητικότητας μπαταρία (70 Ah) η ενέργεια που παίρνω από το δίκτυο είναι μικρότερη τον μήνα Απρίλιο κατά την χειμερινή περίοδο και μηδενικό για τους μήνες Μάιο, Σεπτέμβριο, Οκτώβριο της καλοκαιρινής περιόδου.
- Στην περίπτωση που έχω μεγάλης χωρητικότητας μπαταρία (140 Ah) η ενέργεια που παίρνω από το δίκτυο είναι μικρότερη τον μήνα Απρίλιο κατά την χειμερινή περίοδο και σχεδόν μηδενικό για τους μήνες της καλοκαιρινής περιόδου.
- Στην περίπτωση της μεγάλης μπαταρίας οι απαιτήσεις από το δίκτυο της ΔΕΗ είναι αισθητά μειωμένες σε σύγκριση με αυτές της μικρής μπαταρίας.
- Η ηλιακή ενέργεια που συλλέγουν (Qsolar) τα Φ/Β αλλά και αυτή που παράγουν (Qgen) στην περίπτωση της μικρής μπαταρίας (70 Ah) είναι μεγαλύτερη συγκριτικά με την περίπτωση της μεγάλης μπαταρίας (140 Ah). Κάτι το οποίο είναι πολύ λογικό γιατί η συλλεκτική επιφάνεια για την περίπτωση της μικρής μπαταρίας είναι 35 m² ενώ για την περίπτωση της μεγάλης μπαταρίας 30 m².

Οικονομική μελέτη της εγκατάστασης για χωρητικότητα μπαταρίας 70 Ah

Για την οικονομική μελέτη της εγκατάστασης χρειάζομαι τα εξής μεγέθη:

LCC: Κόστος κύκλου ζωής (life cycle cost)

Co: Συνολικό κόστος επένδυσης της εγκατάστασης

CF: Ετήσια χρηματοροή (Cash Flow)

R: Συντελεστής μεταβλητότητας του χρήματος

SPP: Απλός χρόνος αποπληρωμής (Simple Payback Period)

Δίνονται από τις εξής σχέσεις:

$$LCC=C_0+CF \cdot R \quad (8.5)$$

$$C_0=K_{\text{συλλεκτών}}+K_{\text{αντλίας}}+K_{\text{inverter}}+K_{\text{μπαταρίας}}+K_{\text{τοποθέτησης}} \quad (8.6)$$

Στον πίνακα που ακολουθεί εμφανίζονται ενδεικτικές τιμές για τα παραπάνω κόστη

κόστος φωτοβολταϊκού/μ ² (ευρώ)	150
κόστος αντλίας αέρα -αέρα (ευρώ)	4000
κόστος μπαταριών (2 φορές) (ευρώ) για χωρητικότητα 70 Ah	850
κόστος inverter (ευρώ)	1500
κόστος τοποθέτησης (ευρώ)	1300

Πίνακας 8.18: Κόστη εγκατάστασης

$$CF=E_{\text{grid}} \cdot K_{\text{el}}+K_{\text{συντήρησης}} \quad (8.7)$$

Όπου E_{grid} : Κιλοβατώρες που χρειάζομαι από την ΔΕΗ ανά έτος (kWh)

K_{el} : Κόστος κιλοβατώρας (€/kWh), στην συγκεκριμένη οικονομική μελέτη το θεωρήσαμε 0,2 €/kWh

$K_{\text{συντήρησης}}$: Για τη συγκεκριμένη μελέτη το θεωρήσαμε 100 €/έτος

$$R = \frac{(r+1)^N - 1}{r(r+1)^N} = 14,88 \quad (8.8)$$

Όπου r : Κόστος χρήματος, το θεωρήσαμε ίσο 3%

N : Χρόνια, το ορίσαμε στα 20 έτη

$$SPP = \frac{C_0(\text{φωτοβολταϊκά}) - C_0(\text{όχι φωτοβολταϊκά})}{CF(\text{όχι φωτοβολταϊκά}) - CF(\text{φωτοβολταϊκά})} \quad (8.9)$$

Όπου $C_0(\text{φωτοβολταϊκά})$: Συνολικό κόστος της εγκατάστασης

$C_0(\text{όχι φωτοβολταϊκά})$: Πρακτικά μόνο το κόστος της αντλίας

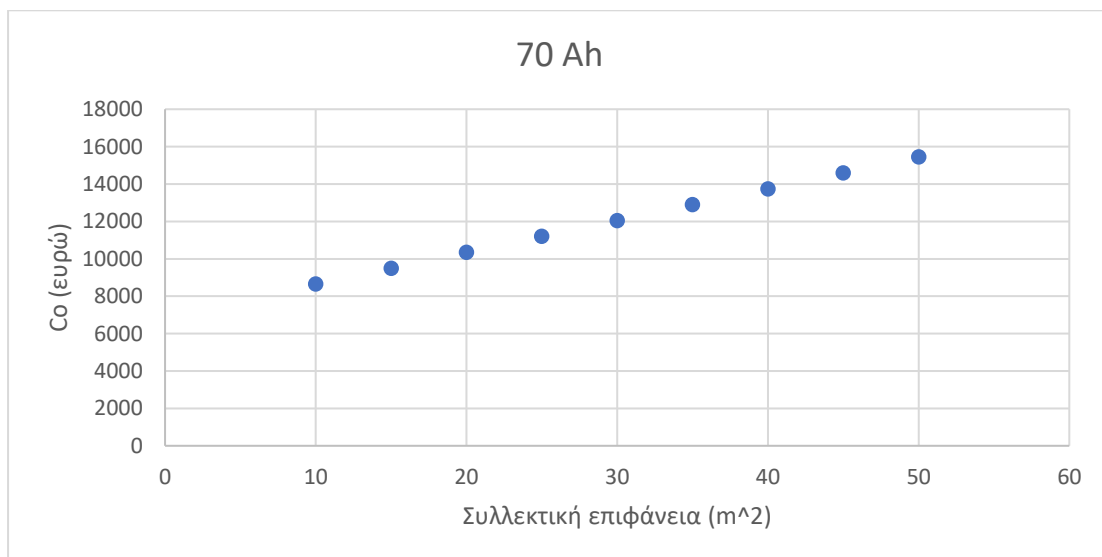
$CF(\text{όχι φωτοβολταϊκά})$: η ετήσια ηλεκτρική ενέργεια που απαιτεί η αντλία

$CF(\text{φωτοβολταϊκά})$: Δίνεται από την σχέση (8.7)

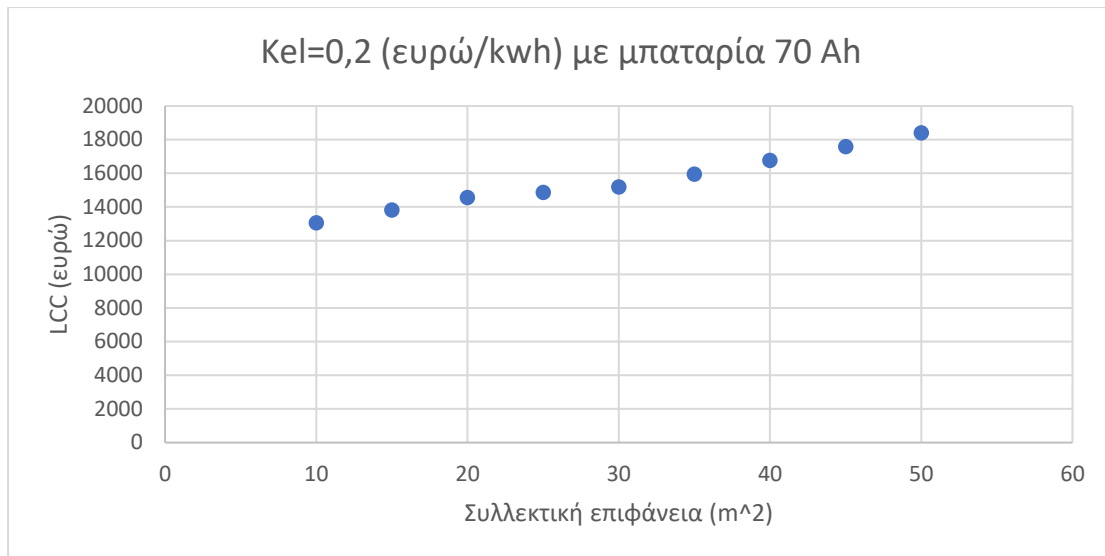
Ac (m ²)	Συνολικο κόστος Co (ευρώ)	LCC	SPP
10	8650	13058,7909	15,07488815
15	9500	13815,36036	17,47474106
20	10350	14568,95432	19,76838304
25	11200	14868,7853	20,10050251
30	12050	15179,5661	20,4084737
35	12900	15954,43485	22,2781819
40	13750	16761,70675	24,23166967
45	14600	17581,50547	26,21193088
50	15450	18405,52345	28,19208238

Πίνακας 8.19: Οικονομικοί δείκτες συναρτήσει της συλλεκτικής επιφάνειας

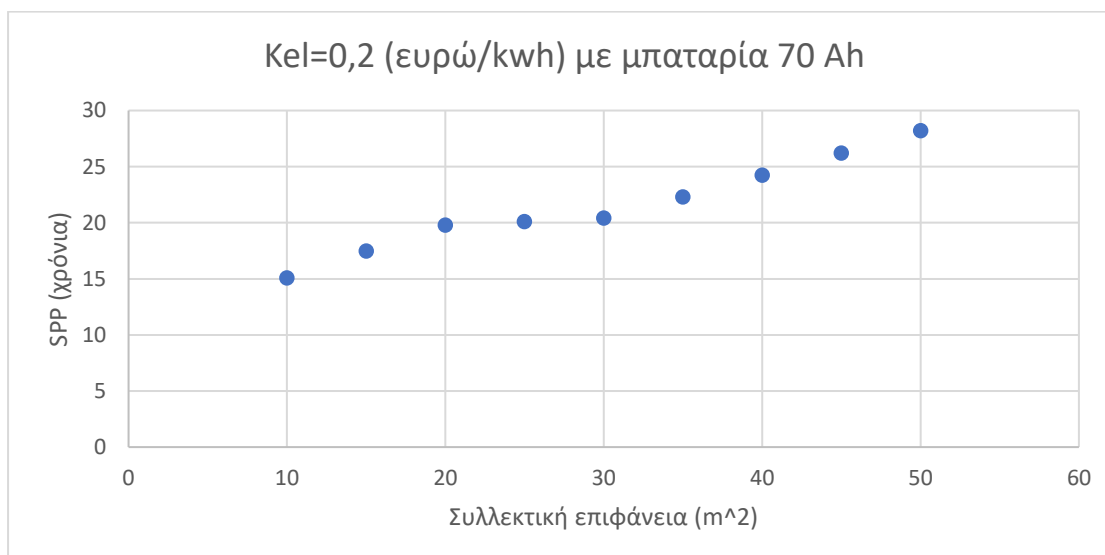
Με βάση λοιπόν τα παραπάνω προέκυψαν τα εξής διαγράμματα



Διάγραμμα 8.29: Συνολικό κόστος επένδυσης της εγκατάστασης συναρτήσει της συλλεκτικής επιφάνειας για χωρητικότητα μπαταρίας 70 Ah και τιμή της κιλοβατώρας 0,2 ευρώ



Διάγραμμα 8.30: Κόστος κύκλου ζωής ανάλογα την συλλεκτική επιφάνεια για χωρητικότητα μπαταρίας 70Ah και τιμή κιλοβατώρας 0,2 ευρώ



Διάγραμμα 8.31: Απλός χρόνος αποπληρωμής συναρτήσει της συλλεκτικής επιφάνειας για χωρητικότητα μπαταρίας 70Ah και τιμή κιλοβατώρας 0,2 ευρώ

Από τα παραπάνω διαγράμματα γίνεται σαφές ότι αύξηση της συλλεκτικής επιφάνειας επιφέρει αύξηση τους συνολικού κόστους της εγκατάστασης (διάγραμμα 8.29) και επιπλέον βλέπουμε ότι για συλλεκτική επιφάνεια άνω των 20 m² η επένδυση μας δεν είναι οικονομικά βιώσιμη καθώς ξεπερνάει τα 20 έτη που έχουν οριστεί ως ο μέγιστος χρόνος αποπληρωμής (διάγραμμα 8.31).

Οικονομική μελέτη της εγκατάστασης για χωρητικότητα μπαταρίας 140 Ah

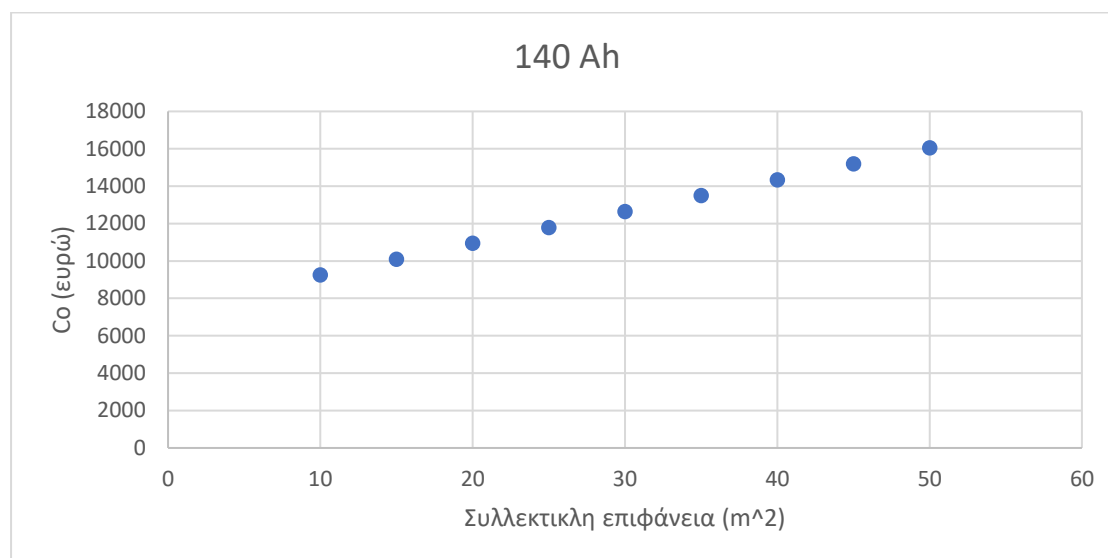
Η μόνη διαφορά της συγκεκριμένης οικονομικής μελέτης από την προηγούμενη από πλευράς κοστολογίου είναι η τιμή της μπαταρίας (2 φορές αλλαγή) η οποία ανέρχεται στα 1450 €.

Κάνοντας λοιπόν την ίδια μελέτη καταλήξαμε στον παρακάτω πίνακα

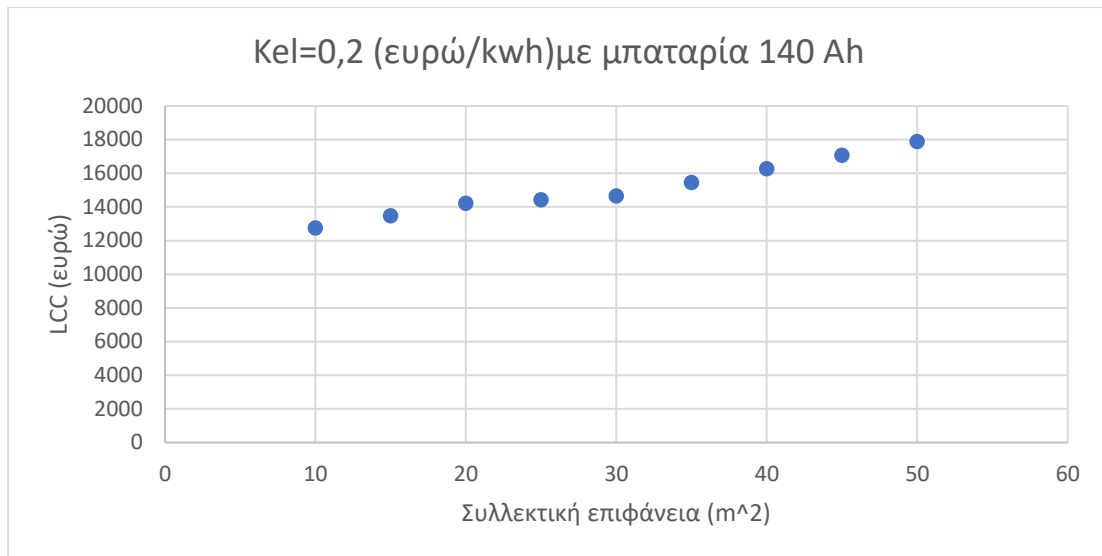
Ac (m ²)	Συνολικο κόστος Co (ευρώ)	LCC	SPP
10	9250	12757,51347	14,22610015
15	10100	13485,81573	16,17093473
20	10950	14217,09348	18,04257529
25	11800	14429,74246	18,22259602
30	12650	14650,52644	18,39121712
35	13500	15457,08421	20,07382095
40	14350	16267,51013	21,74766323
45	15200	17076,15075	23,39703175
50	16050	17889,55216	25,04399846

Πίνακας 8.20 Οικονομικοί δείκτες συναρτήσεως της συλλεκτικής επιφάνειας

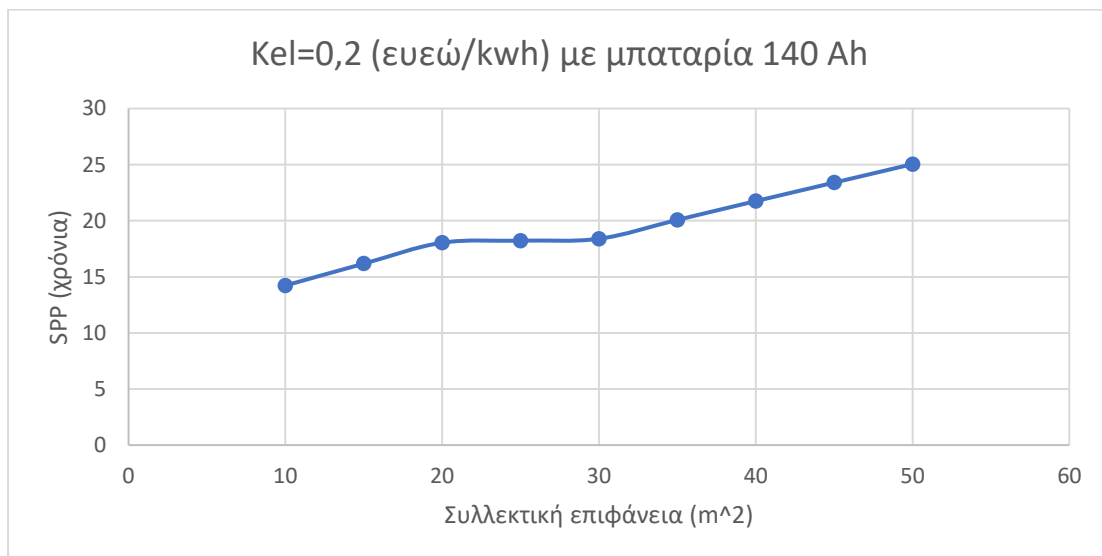
Οι τιμές του οποίου φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα



Διάγραμμα 8.32: Συνολικό κόστος επένδυσης της εγκατάστασης συναρτήσεως της συλλεκτικής επιφάνειας για χωρητικότητα μπαταρίας 140 Ah και τιμή κιλοβατώρας 0,2 ευρώ.



Διάγραμμα 8.33: Κόστος κύκλου ζωής ανάλογα την συλλεκτική επιφάνεια για χωρητικότητα μπαταρίας 140 Ah και τιμή κιλοβατώρας 0.2 ευρώ



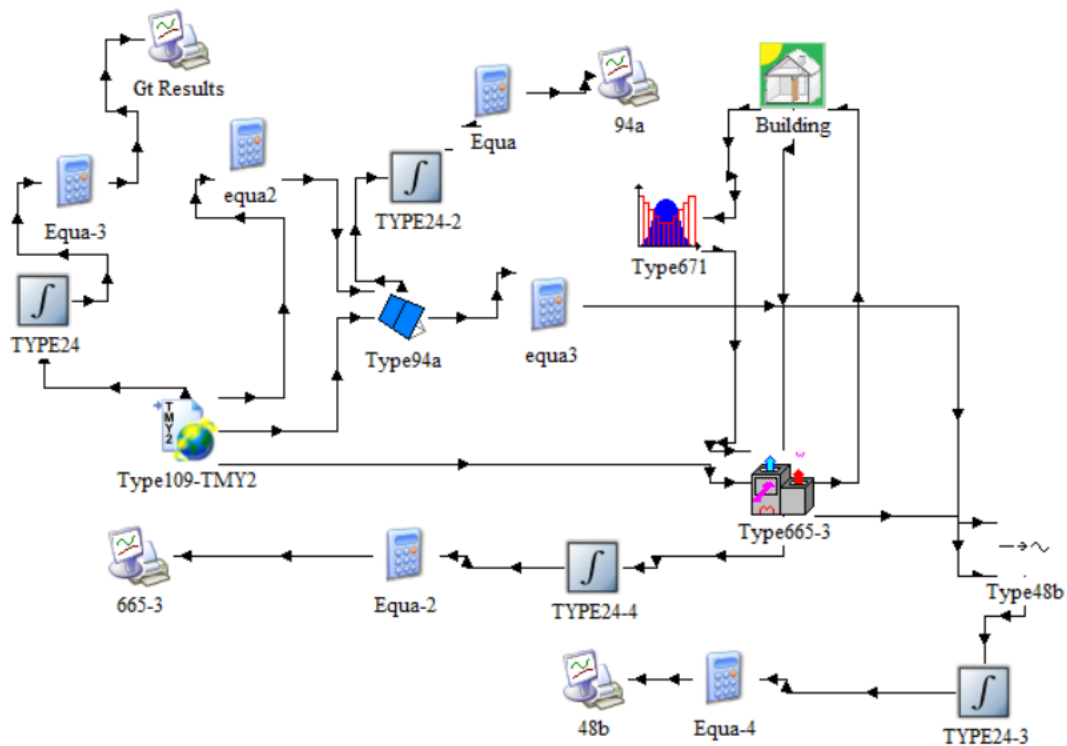
Διάγραμμα 8.34 Απλός χρόνος αποπληρωμής συναρτήσει της συλλεκτικής επιφάνειας για χωρητικότητα μπαταρίας 140 Ah και τιμή κιλοβατώρας 0,2 ευρώ

Και σε αυτήν την περίπτωση της μεγάλης μπαταρίας μπορούμε να παρατηρήσουμε ανάλογα πράγματα με μόνη ουσιαστική διαφορά το γεγονός ότι η εγκαταστάσή μας κρίνεται ακατάλληλη από οικονομικής πλευρας για συλλεκτική επιφάνεια μεγαλύτερη των 30 m² καθώς ο χρόνος αποπληρωμής ξεπερνάει τα 20 έτη (διάγραμμα 8.34).

8.5 Χρήση του συστήματος Net-Metering για την κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου

Η συγκεκριμένη εγκατάσταση αποτελεί ένα σύστημα αυτοπαραγωγής με ενεργειακό συμψηφισμό (Net Metering). Η εγκατάσταση αυτή περιλαμβάνει φωτοβολταϊκά πάνελ με τα οποία παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια, χωρίς όμως την παρουσία

μπαταρίας. Έτσι, στην περίπτωση που η παραγωγή είναι μεγαλύτερη από την κατανάλωση η περισσευούμενη ενέργεια παρέχεται δωρεάν στο δίκτυο. Αν η παραγωγή είναι μικρότερη από την κατανάλωση, η διαφορά καλύπτεται από το δίκτυο ηλεκτροδότησης. Η εγκατάσταση απεικονίζεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Εικόνα 8.6: Διάταξη συστήματος Net Metering

Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, έτσι και εδώ, στόχος είναι η ελαχιστοποίηση της χρήσης δικτύου. Έγινε διερεύνηση για συλλεκτικές επιφάνειες 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, και 50 m². Όπως είπαμε και σε προηγούμενη παράγραφο οι ετήσιες απαιτήσεις για φωτισμό και ηλεκτρικές συσκευές ανέρχονται στις 4114,48 kWh (Qloirpesanages). Με την βοήθεια του προγράμματος TRNSYS καταλήξαμε, ότι η ενέργεια που έχουμε διαθέσιμη για την κάλυψη αναγκών φωτισμού και συσκευών ανάλογα την συλλεκτική επιφάνεια είναι η κάτωθι.

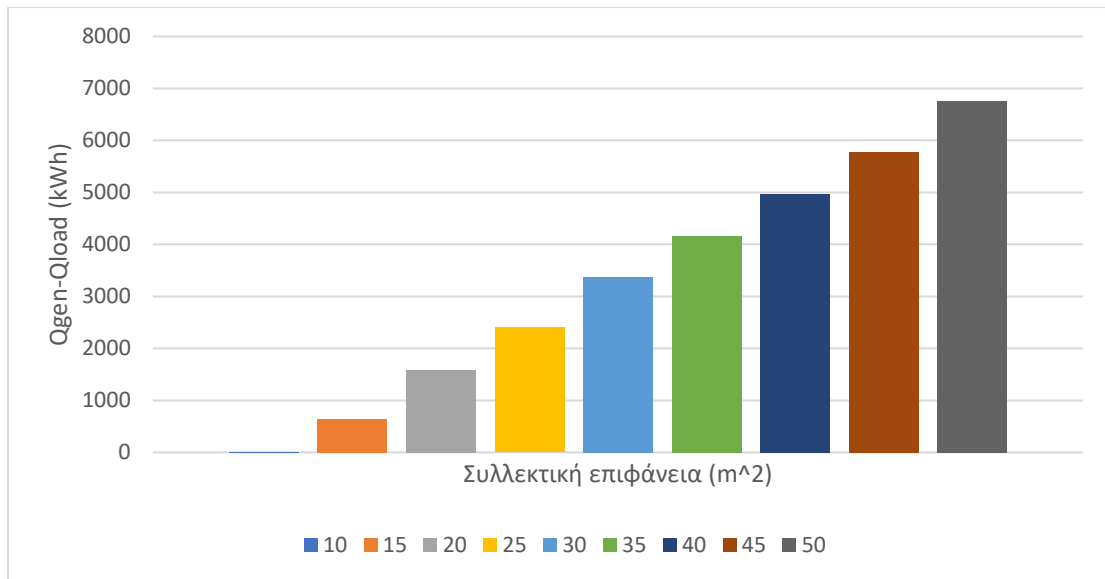
Ac (m²)	(Qgen-Qload)(kwh)
10	15,2
15	669
20	1663,7
25	2507
30	3524,6
35	4356,2
40	5197,9
45	6046
50	7065

Πίνακας 8.21: Ετήσια διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια για την κάλυψη αναγκών φωτισμού και συσκευών συναρτήσεως της συλλεκτικής επιφάνειας

Η οποία πολλαπλασιασμένη με ένα συντελεστή αναγωγής (ΣΑ) της τάξεως 0,9566, γιατί όπως αναλύσαμε και στο κεφάλαιο 3 από το δίκτυο χαμηλής τάσης διοχετεύουμε την ενέργεια στο δίκτυο μέσης τάσης, θα μας δώσει τον ακόλουθο πίνακα

Ac (m²)	(Qgen-Qload) (kWh)
10	14,54032
15	639,9654
20	1591,49542
25	2398,1962
30	3371,63236
35	4167,14092
40	4972,31114
45	5783,6036
50	6758,379

Πίνακας 8.22: Τελική ετήσια διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια για την κάλυψη αναγκών φωτισμού και συσκευών συναρτήσεως της συλλεκτικής επιφάνειας



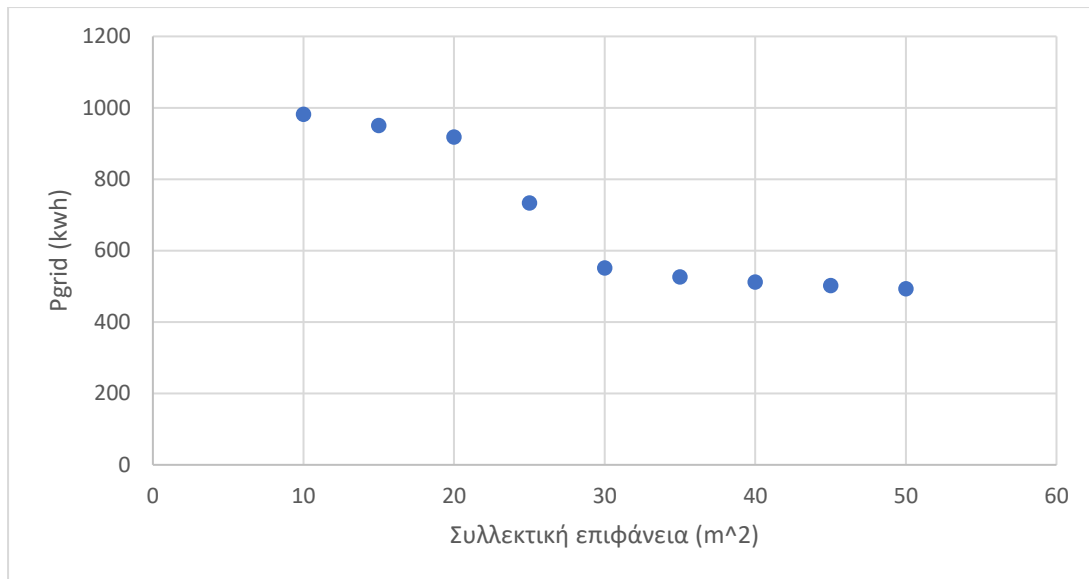
Διάγραμμα 8.35: Τελική διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια για την κάλυψη αναγκών φωτισμού και συσκευών συναρτήσεως της συλλεκτικής επιφάνειας

Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα 8.35 όσο αυξάνεται η συλλεκτική επιφάνεια τόσο αυξάνεται και η διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια για την κάλυψη αναγκών φωτισμού και συσκευών.

Επιπλέον η ετήσια ηλεκτρική ενέργεια που λαμβάνεται από το δίκτυο παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα

Ac (m ²)	Qgrid (kwh)
10	981,7
15	950,3
20	917,9
25	733
30	551,78
35	526,53
40	512,17
45	502,02
50	493,288

Πίνακας 8.23: Ετήσια ηλεκτρική ενέργεια που λαμβάνεται από το δίκτυο



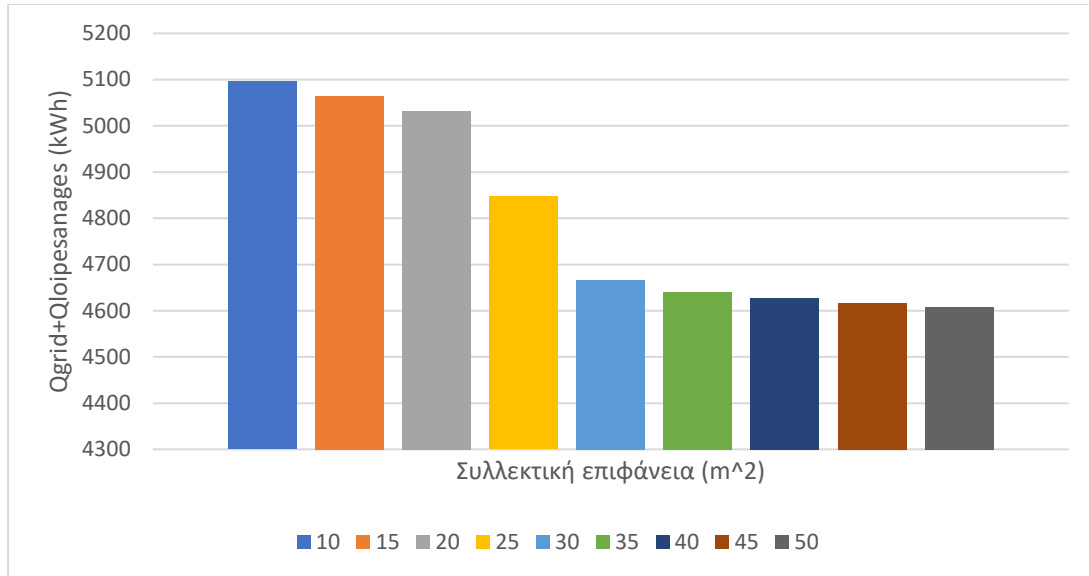
Διάγραμμα 8.36: Ετήσια ηλεκτρική ενέργεια που λαμβάνεται από το δίκτυο

Όπως πολύ καλά φαίνεται και στο διάγραμμα 8.36 η ετήσια ηλεκτρική ενέργεια που λαμβάνεται από το δίκτυο μειώνεται όσο αυξάνεται η συλλεκτική επιφάνεια, ενώ για συλλεκτική επιφάνεια μεγαλύτερη των 30 m² η καμπύλη σχεδόν ευθυγραμίζεται, κάτι το οποίο δείχνει ότι από κάποια στιγμή και μετά όσο και να αυξήσω την συλλεκτική μου επιφάνεια η επιπλέον ενέργεια που θα λαμβάνω από το δίκτυο θα είναι πολύ μικρή, κάτι που είναι πολύ χρήσιμο από οικονομικής πλευράς.

Συνεπώς με βάση τα παραπάνω θα έχουμε

Ac (m ²)	(Qgen-Qload)	Qgrid (kwh)+Qloipesanages (kwh)	χαρακτηρισμός
10	14,54032	5096,18	δεν επαρκεί
15	639,9654	5064,78	δεν επαρκεί
20	1591,49542	5032,38	δεν επαρκεί
25	2398,1962	4847,48	δεν επαρκεί
30	3371,63236	4666,26	δεν επαρκεί
35	4167,14092	4641,01	δεν επαρκεί
40	4972,31114	4626,65	επαρκεί
45	5783,6036	4616,5	επαρκεί
50	6758,379	4607,768	επαρκεί

Πίνακας 8.24: Ενεργειακή κάλυψη ανάλογα την συλλεκτική επιφάνεια



Διάγραμμα 8.37: Ενεργειακή κάλυψη ανάλογα την συλλεκτική επιφάνεια

Οικονομική μελέτη της εγκατάστασης

Για την οικονομική μελέτη της εγκατάστασης χρειαζόμαστε τα εξής μεγέθη:

Co: Συνολικό κόστος επένδυσης της εγκατάστασης

SPP: Απλός χρόνος αποπληρωμής (Simple Payback Period)

Δίνονται από τις εξής σχέσεις:

$$Co = K_{\text{συλλεκτών}} + K_{\text{αντλίας}} + K_{\text{inverter}} + K_{\text{για γραφειοκρατία}} + K_{\text{τοποθέτησης}} + K_{\text{σύδεσης με δίκτυο χαμηλής τάσης}} \quad (8.10)$$

Στον πίνακα που ακολουθεί εμφανίζονται ενδεικτικές τιμές για τα παραπάνω κόστη

κόστος φωτοβολταϊκου/m ² (ευρώ)	150
κόστος αντλίας αέρα -αέρα (ευρώ)	4000
κόστος inverter (ευρώ)	1500
κόστος για γραφειοκρατικά πράγματα (αιτήσεις κτλ) (ευρώ)	150
κόστος τοποθέτησης (ευρώ)	1000
Κόστος σύδεσης φωτοβολταϊκού συστήματος αυτοπαραγωγής με δίκτυο χαμηλής τάσης (ευρώ)	520

Πίνακας 8.25: Κόστη εγκατάστασης

$$SPP = \frac{Co}{\text{Συνολικό κόστος ετήσιων καταναλώσεων}} \quad (8.11)$$

Όπου

$$\text{Συνολικό κόστος ετήσιων καταναλώσεων} = (\text{Ετήσιες καταναλώσεις συσκευών και φωτισμού} + \text{Ετήσιες καταναλώσεις για θέρμανση και ψύξη}) * \text{Κόστος κιλοβατώρας} \quad (8.12)$$

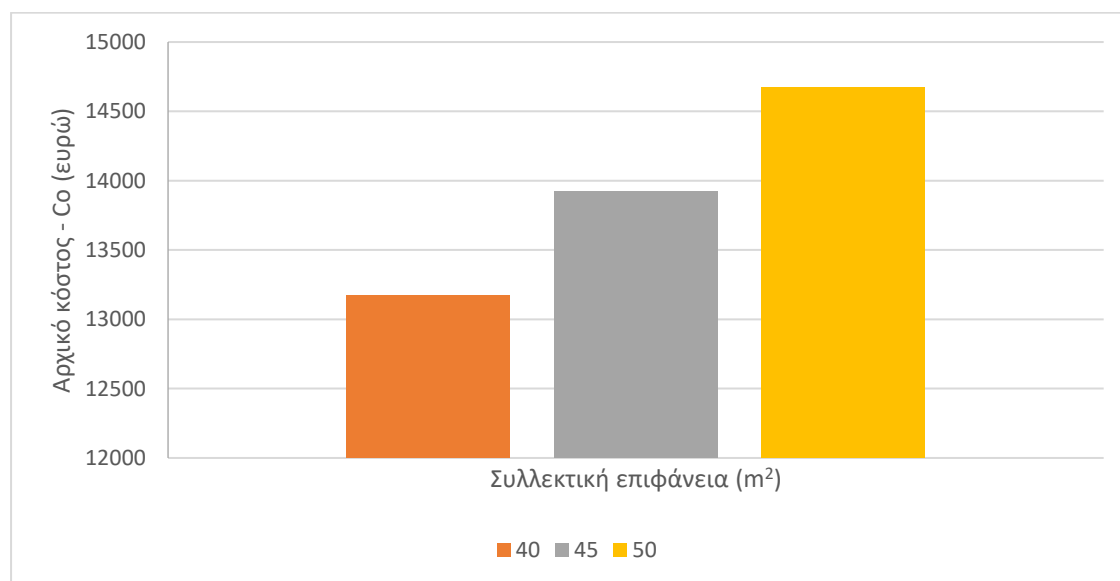
Για την συγκεκριμένη μελέτη, όπως ορίστηκε και σε προηγούμενη παράγραφο οι ετήσιες ηλεκτρικές καταναλώσεις για φωτισμό και ηλεκτρικές συσκευές ανέρχονται στις 4114,48 kWh ενώ οι ηλεκτρικές καταναλώσεις για θέρμανση και ψύξη στις 3024 kWh.

Και σε αυτή την μελέτη ορίσαμε την τιμή της κιλοβατώρας στα 0,2€/kWh, ενώ ως χρόνος αποπληρωμής ορίστηκαν τα 20 έτη.

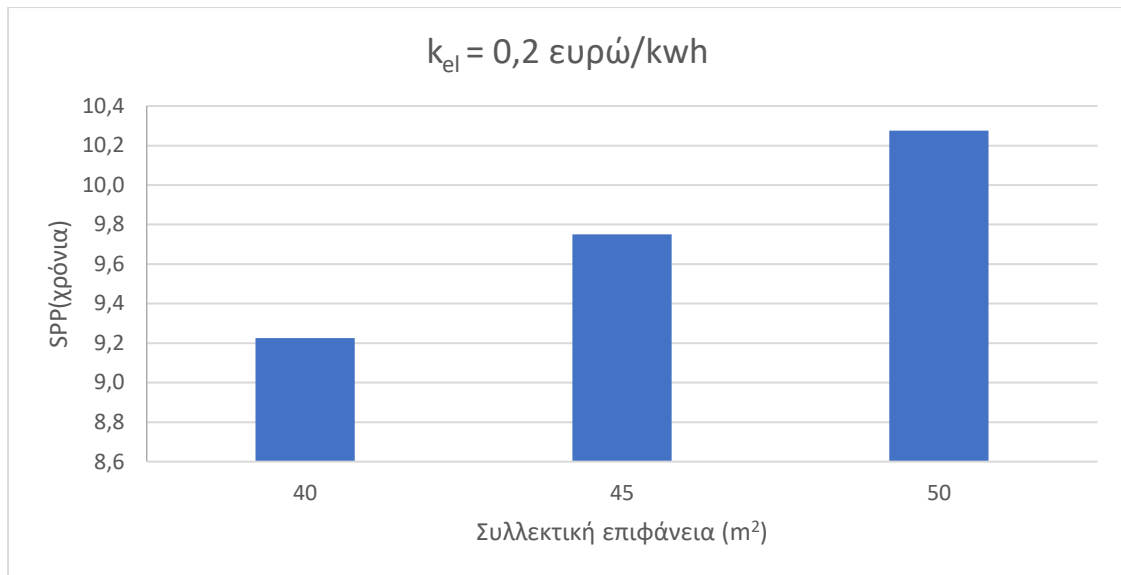
Με δεδομένο ότι από άποψη ενεργειακής κάλυψης όπως προέκυψε προηγουμένως οι καταλληλότερες συλλεκτικές επιφάνειες είναι αυτές των 40, 45, 50 m² παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα οι αντίστοιχοι οικονομικοί δείκτες.

Ac (m ²)	Συνολικό κόστος Co (ευρώ)	SPP
40	13170	9,224652867
45	13920	9,749974785
50	14670	10,2752967

Πίνακας 8.26: Οικονομικοί δείκτες συναρτήσει της συλλεκτικής επιφάνειας



Διάγραμμα 8.38: Συνολικό κόστος επένδυσης της εγκατάστασης συναρτήσει της συλλεκτικής επιφάνειας



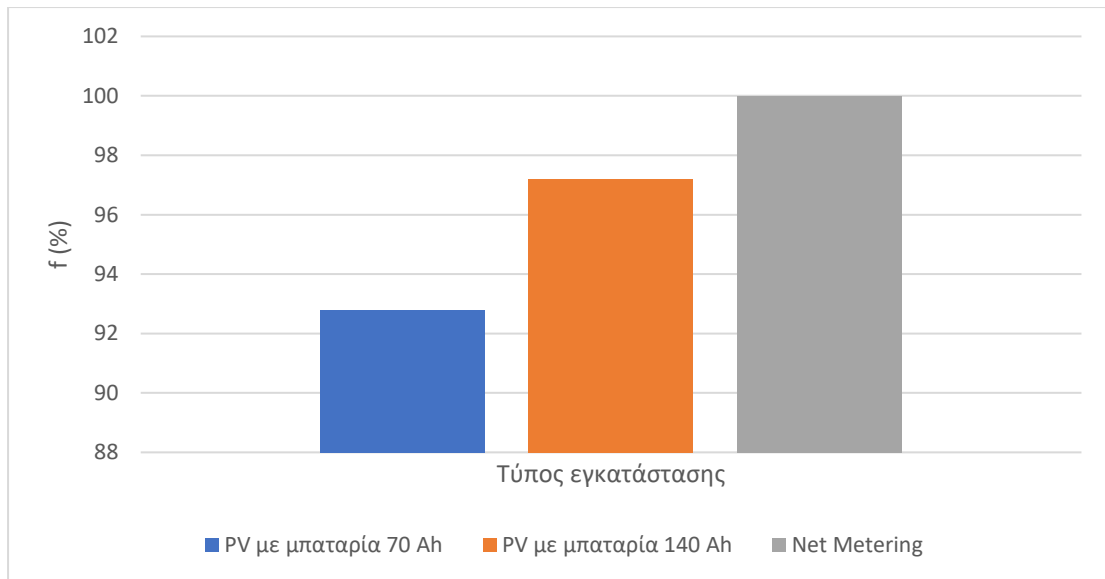
Διάγραμμα 8.39: Απλός χρόνος αποπληρωμής συναρτήσει της συλλεκτικής επιφάνειας

8.6 Ενεργειακή και οικονομική σύγκριση των εγκαταστάσεων

Αρχικά θα γίνει σύγκριση των παραπάνω περιπτώσεων από ενεργειακή σκοπιά. Να σημειωθεί ότι η σύγκριση θα πραγματοποιηθεί ανάμεσα στις βέλτιστες λύσεις της κάθε εγκατάστασης, προκειμένου να ευρεθεί η βέλτιστη όλων. Το μέγεθος που μας ενδιαφέρει κυρίως, κατά την ενεργειακή σύγκριση των περιπτώσεων, είναι το ποσοστό ενεργειακής κάλυψης f .

Τύπος Εγκατάστασης	Επιλεγμένη συλλεκτική επιφάνεια (m ²)	Ενεργειακή κάλυψη (%)
PV με μπαταρία 70 Ah	35	92,8
PV με μπαταρία 140 Ah	30	97,2
Net Metering	40	100

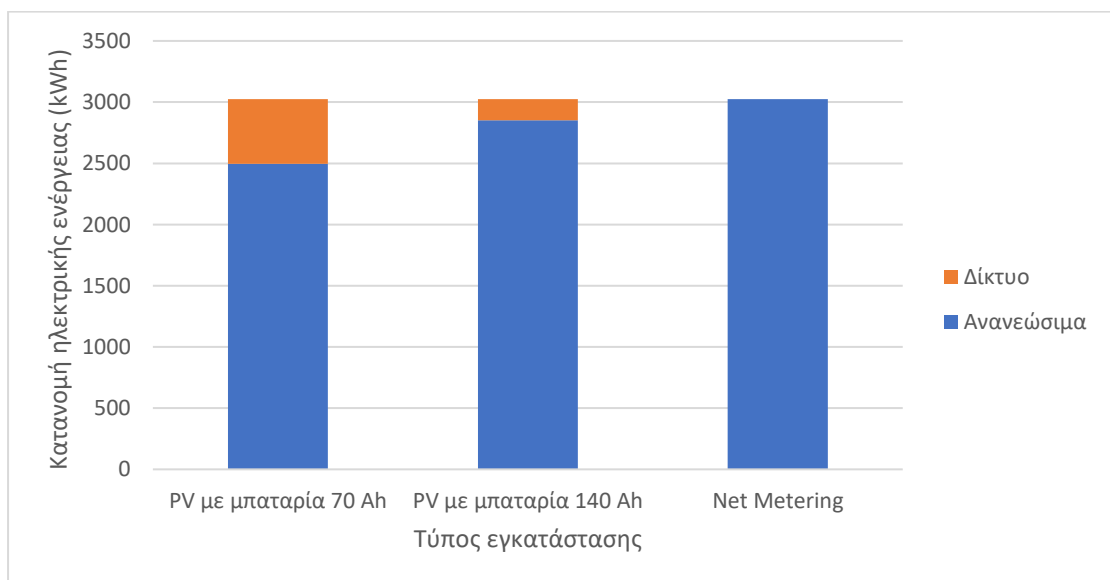
Πίνακας 8.27: Σύγκριση ενεργειακής κάλυψης όλων των εγκαταστάσεων (βέλτιστες περιπτώσεις)



Διάγραμμα 8.40: Σύγκριση ενεργειακής κάλυψης όλων των εγκαταστάσεων (βέλτιστες περιπτώσεις)

Τύπος Εγκατάστασης	Συλλεκτική επιφάνεια (m ²)	Ανανεώσιμα (kWh)	Δίκτυο (kWh)
PV με μπαταρία 70 Ah	35	2496,8	526,53
PV με μπαταρία 140 Ah	30	2852	172,334
Net Metering	40	3024	0

Πίνακας 8.28: Κατανομή ηλεκτρικής ενέργειας όλων των εγκαταστάσεων (βέλτιστες περιπτώσεις)



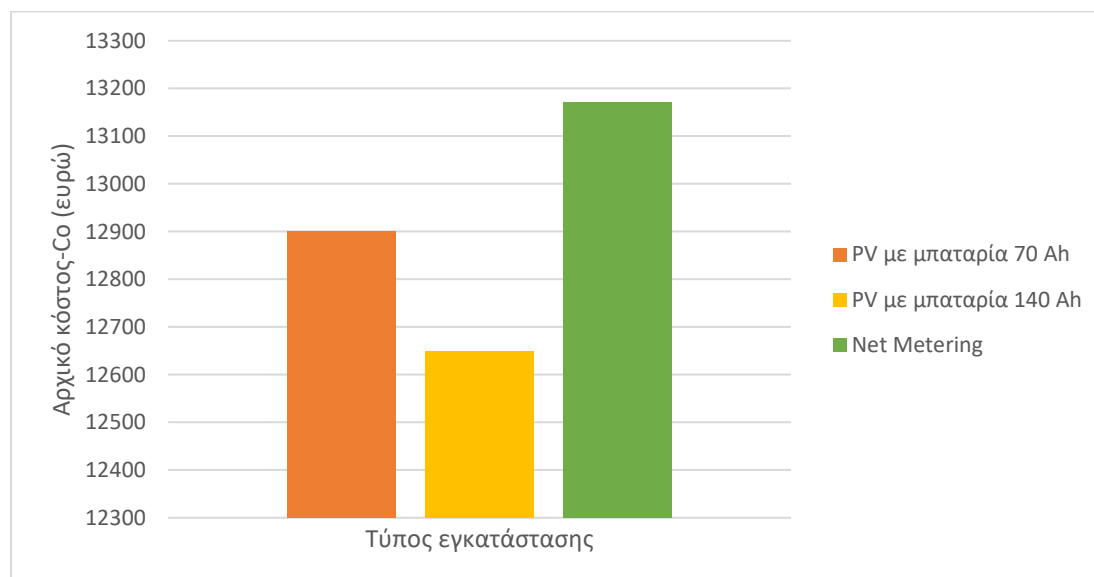
Διάγραμμα 8.41: Κατανομή ηλεκτρικής ενέργειας όλων των εγκαταστάσεων (βέλτιστες περιπτώσεις)

Από τα παραπάνω διαγράμματα 8.40 και 8.41 φαίνεται ξεκάθαρα ότι για τις βέλτιστες περιπτώσεις που επιλέξαμε την καλύτερη ενεργειακή κάλυψη την έχουμε για την περίπτωση του net metering ενώ όπως αναμενόταν η ενέργειά του ξαρτάται εξολοκλήρου από ανανεώσιμα και καθολου από το δίκτυο, γεγονός που εκμηδενίζει το κόστος λειτουργίας. Επιπλέον παρατηρούμε ότι η εγκατάσταση PV με χωρητικότητα μπαταρίας 140 Ah απαιτεί λιγότερη χρήση ενέργειας από το δίκτυο από ότι η εγκατάσταση PV με χωρητικότητα μπαταρίας 70 Ah.

Στη συνέχεια, θα ασχοληθούμε με την σύγκριση των παραπάνω εγκαταστάσεων από οικονομικής σκοπιάς, η οποία έχει και τη μεγαλύτερη βαρύτητα καθώς πρόκειται για μια επένδυση. Στους πίνακες που ακολουθούν εμφανίζονται το κόστος της εγκατάστασης και ο απλός χρόνος αποπληρωμής με τα αντίστοιχα διαγράμματά τους για τις επιλεχθείσες συλλεκτικές επιφάνειες .

Τύπος Εγκατάστασης	Συλλεκτική επιφάνεια (m ²)	Συνολικό κόστος Co (ευρώ)
PV με μπαταρία 70 Ah	35	12900
PV με μπαταρία 140 Ah	30	12650
Net Metering	40	13170

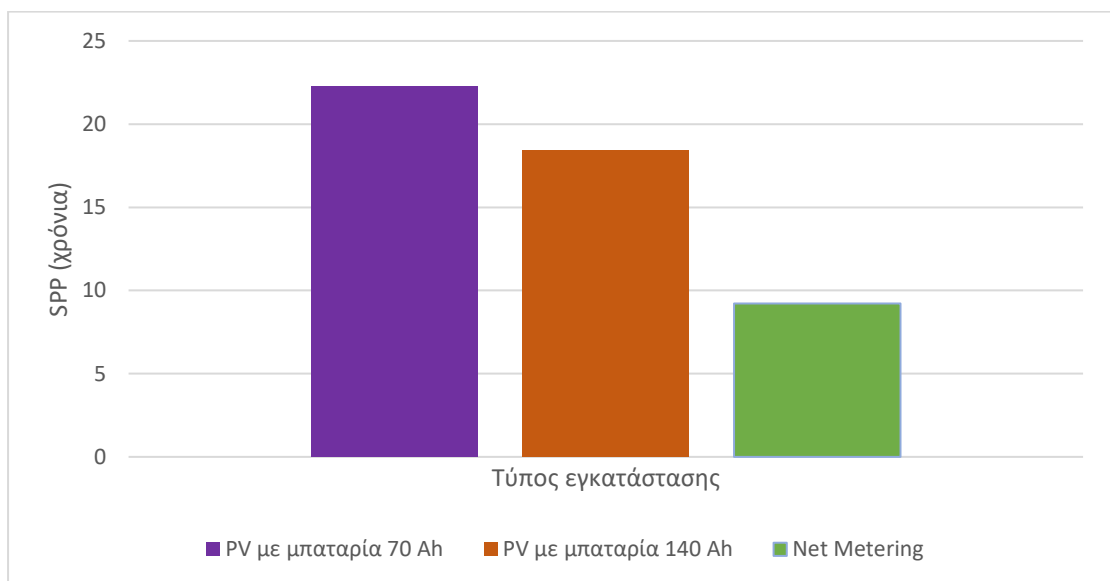
Πίνακας 8.29: Συνολικό κόστος επένδυσης όλων των εγκαταστάσεων (βέλτιστες περιπτώσεις)



Διάγραμμα 8.42: Συνολικό κόστος επένδυσης όλων των εγκαταστάσεων (βέλτιστες περιπτώσεις)

Τύπος Εγκατάστασης	Συλλεκτική επιφάνεια (m ²)	SPP (χρόνια)
PV με μπαταρία 70 Ah	35	22,27
PV με μπαταρία 140 Ah	30	18,39
Net Metering	40	9,22

Πίνακας 8.30: Απλός χρόνος αποπληρωμής όλων των εγκαταστάσεων (βέλτιστες περιπτώσεις)



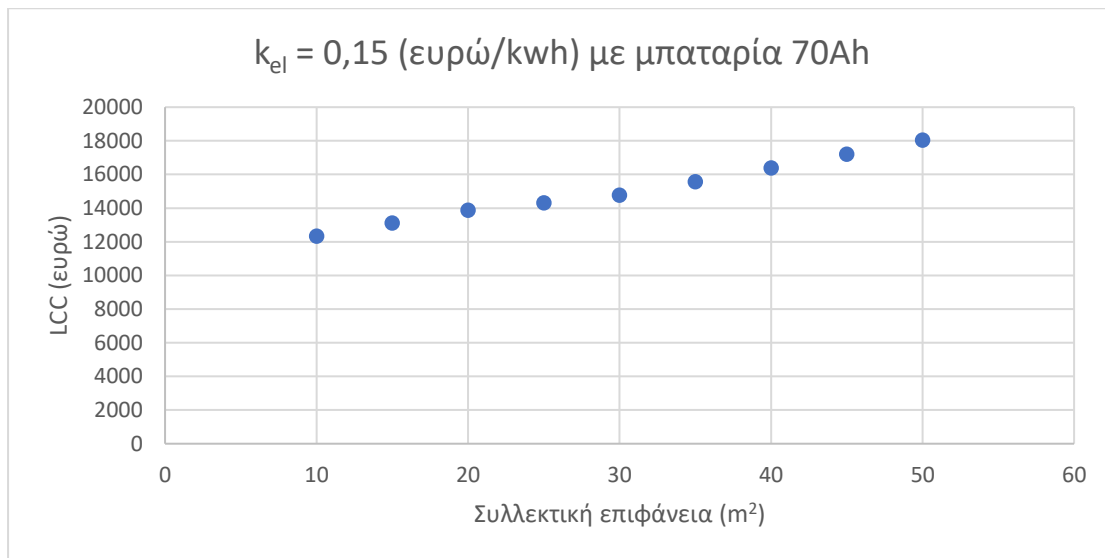
Διάγραμμα 8.43: Απλός χρόνος αποπληρωμής όλων των εγκαταστάσεων (βέλτιστες περιπτώσεις)

Από οικονομικής πλευράς φαίνεται ξεκάθαρα ότι αν και το συνολικό κόστος της εγκατάστασης είναι περίπου ίδιο (διάγραμμα 8.42), ο απλός χρόνος αποπληρωμής διαφέρει κατά πολύ (διάγραμμα 8.43), με εμφανώς, καλύτερη περίπτωση όλων αυτή του net metering που ανέρχεται περίπου στα 9 έτη.

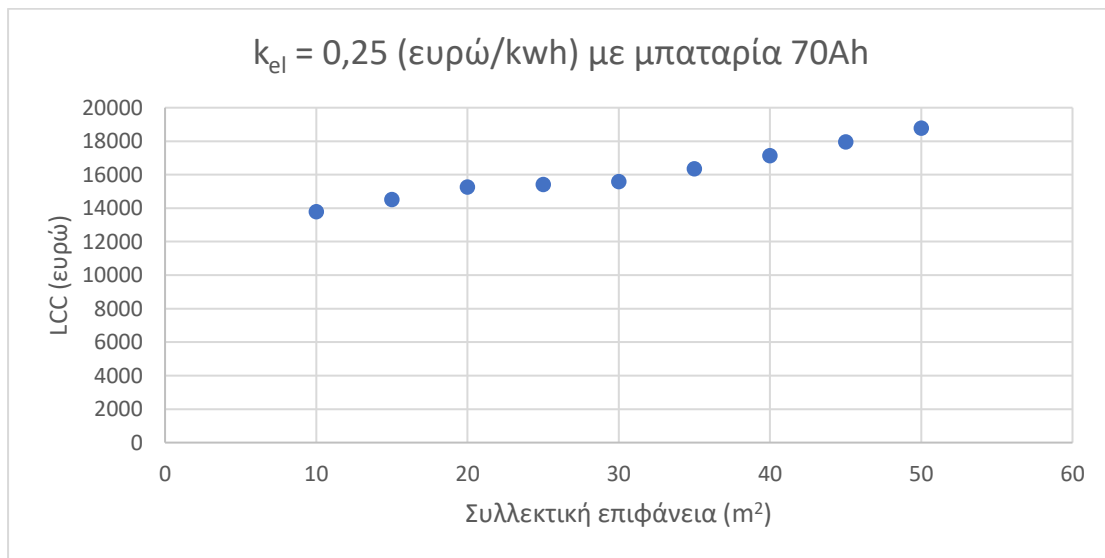
8.7 Οικονομική μελέτη των συστημάτων ανάλογα με την διακύμανση της τιμής της κιλοβατώρας

Στην παράγραφο αυτή αναλύουμε το κόστος κύκλου ζωής (LCC) και τον απλό χρόνο αποπληρωμής (SPP) ανάλογα την τιμή της κιλοβατώρας, για τις δύο περιπτώσεις με τις μπαταρίες που μελετήθηκαν και για συλλεκτικές επιφάνειες 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 m², ενώ παρουσιάζουμε και τα αποτελέσματα του απλού χρόνου αποπληρωμής για την περίπτωση net metering και για συλλεκτικές επιφάνειες 40,45,50 m² οι οποίες είναι και αυτές που καλύπτουν τις απαιτήσεις μου.

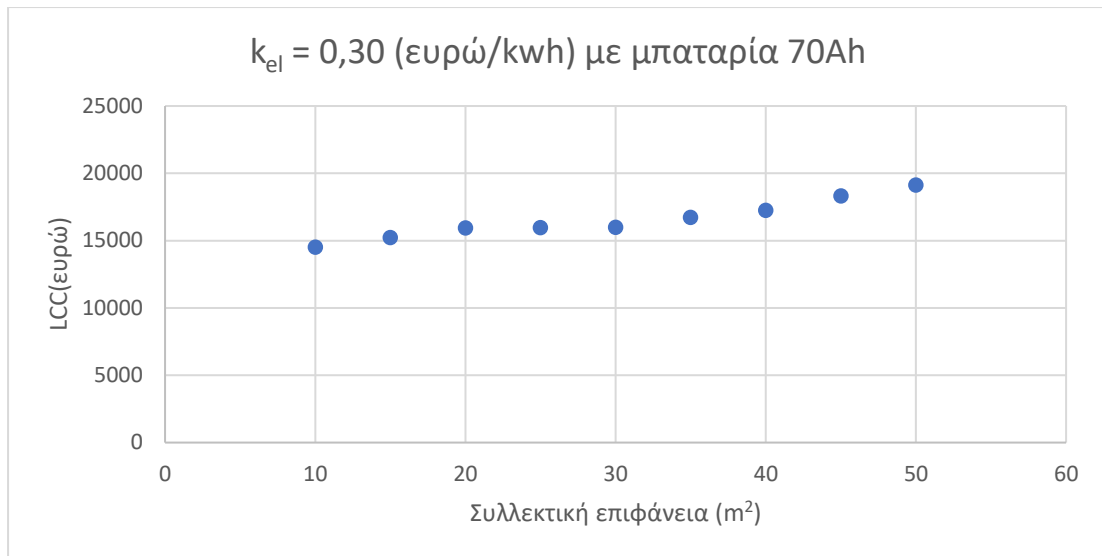
Εγκατάσταση PV με μπαταρία 70 Ah



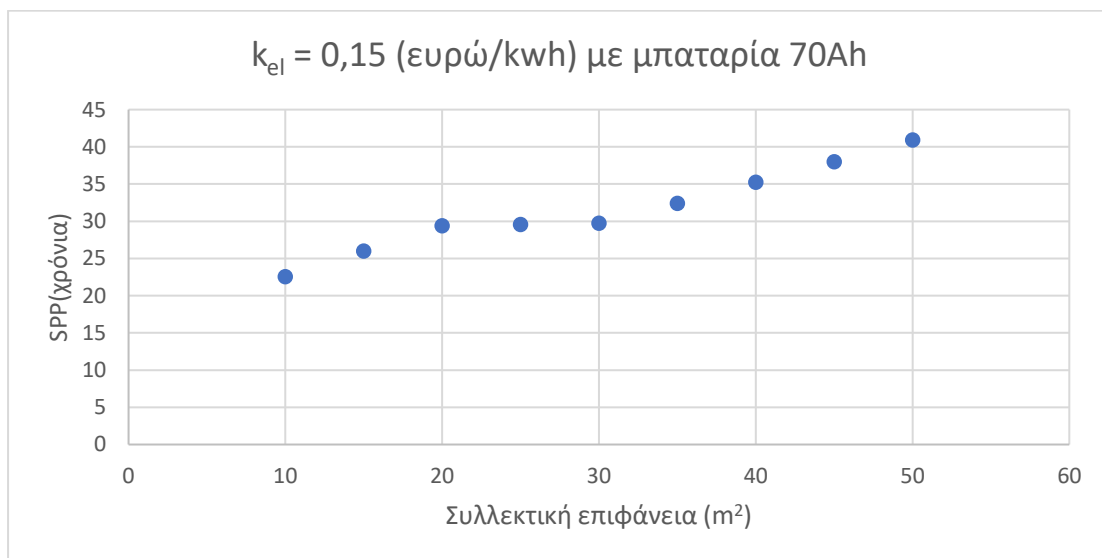
Διάγραμμα 8.44: Κόστος κύκλου ζωής ανάλογα την συλλεκτική επιφάνεια για 0,15 (ευρώ ανά κιλοβατώρα)



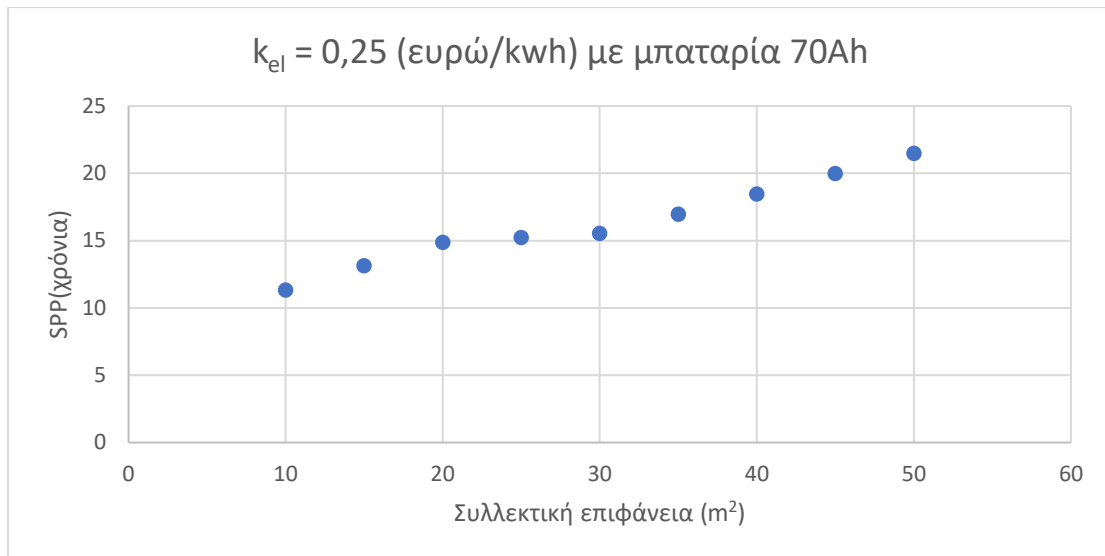
Διάγραμμα 8.45: Κόστος κύκλου ζωής ανάλογα την συλλεκτική επιφάνεια για 0,25 (ευρώ ανά κιλοβατώρα)



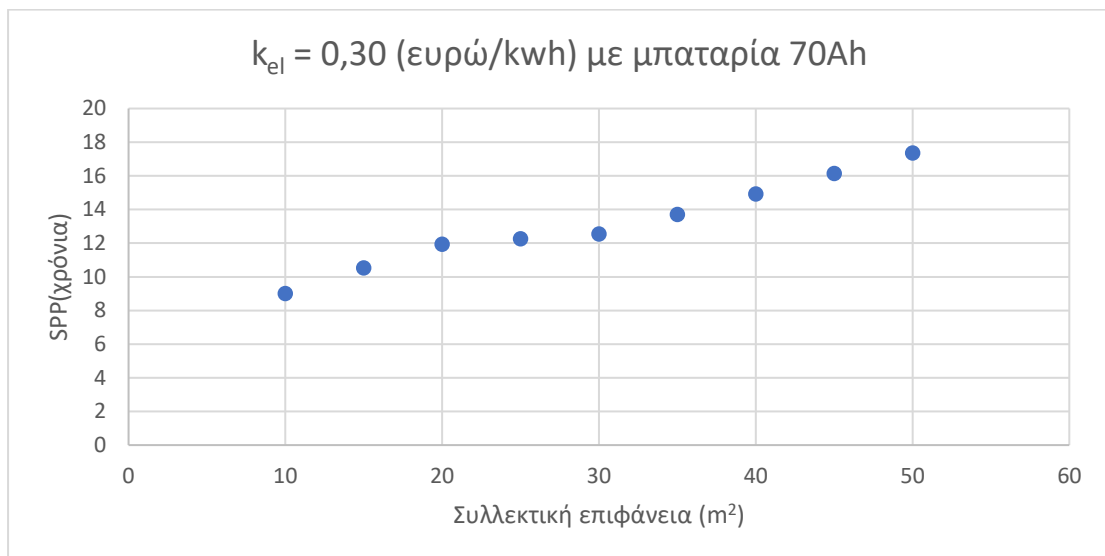
Διάγραμμα 8.46: Κόστος κύκλου ζωής ανάλογα την συλλεκτική επιφάνεια για 0,3 (ευρώ ανά κιλοβατώρα)



Διάγραμμα 8.47: Απλός χρόνος αποπληρωμής ανάλογα την συλλεκτική επιφάνεια για 0,15 (ευρώ ανά κιλοβατώρα)

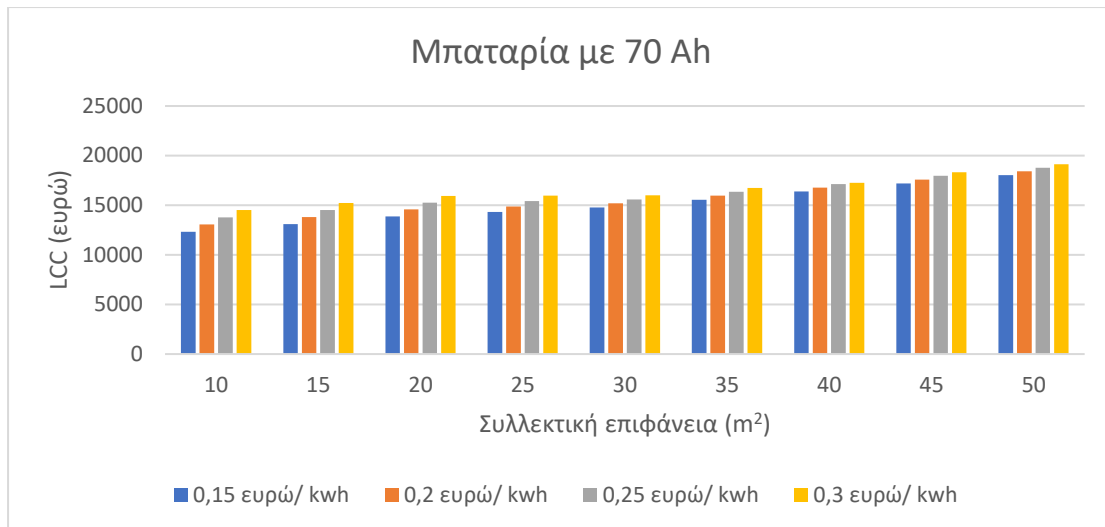


Διάγραμμα 8.48: Απλός χρόνος αποπληρωμής ανάλογα την συλλεκτική επιφάνεια για 0,25 (ευρώ ανά κιλοβατώρα)

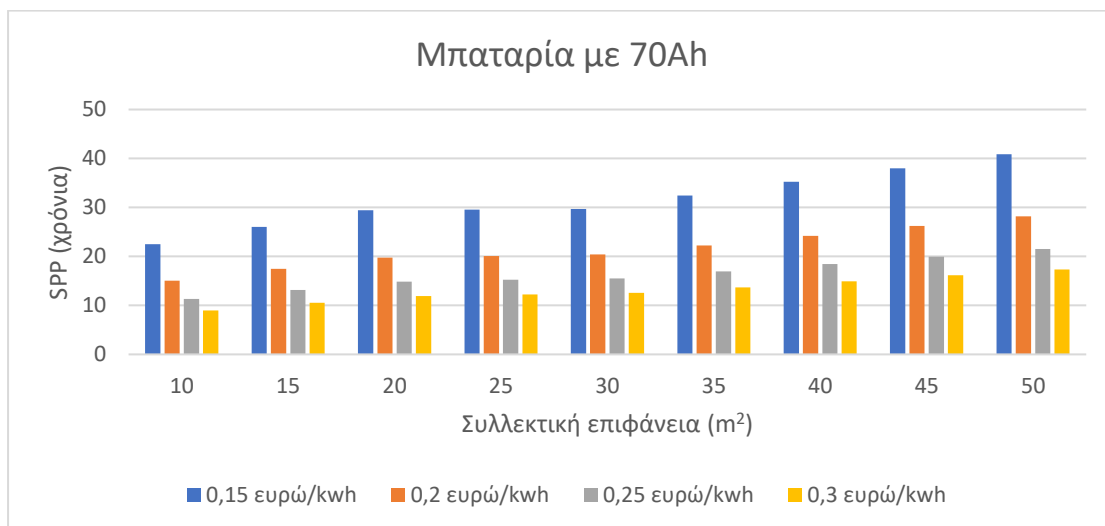


Διάγραμμα 8.49: Απλός χρόνος αποπληρωμής ανάλογα την συλλεκτική επιφάνεια για 0,30 (ευρώ ανά κιλοβατώρα)

Στην συνέχεια παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα παραπάνω αποτελέσματα σε μορφή διαγραμμάτων



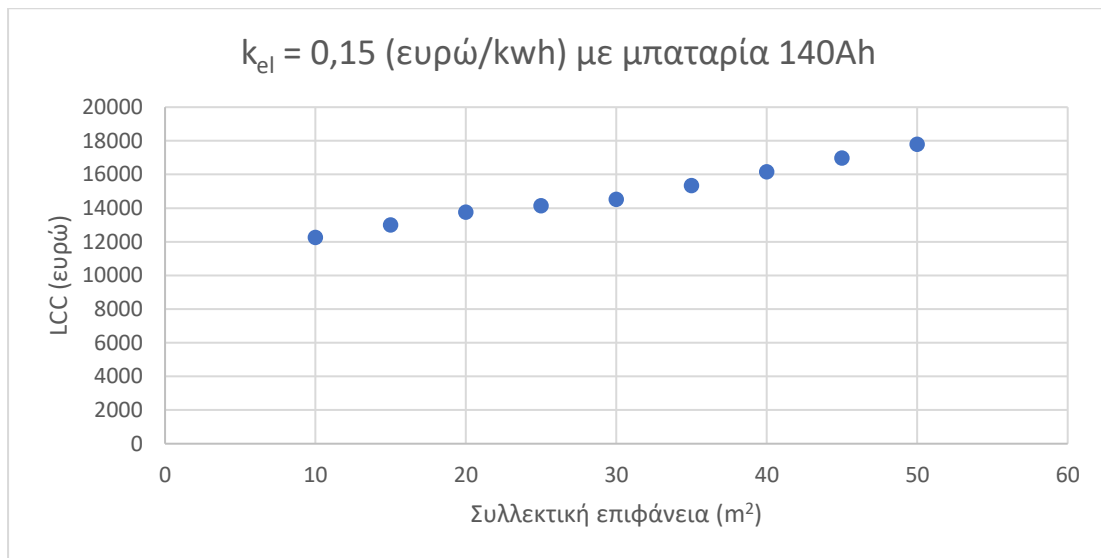
Διάγραμμα 8.50: Συγκεντρωτικό κόστος κύκλου ζωής ανάλογα την συλλεκτική επιφάνεια για διάφορες τιμές της κιλοβατώρας



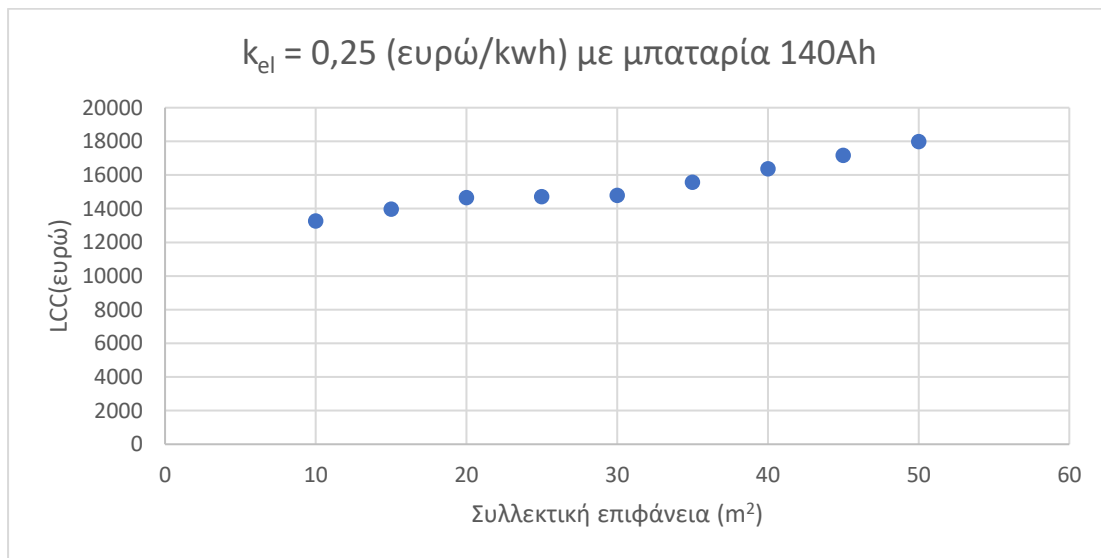
Διάγραμμα 8.51: Συγκεντρωτικό απλό κόστος αποπληρωμής ανάλογα την συλλεκτική επιφάνεια για διάφορες τιμές της κιλοβατώρας

Από το συγκεντρωτικό διάγραμμα 8.51 διαπιστώνεται ότι για να θεωρηθεί μία εγκατάσταση αυτού του είδους, τόσο ενεργειακά όσο και οικονομικά αποδεκτή, πρέπει η τιμή της κιλοβατώρας να ανέρχεται τουλάχιστον στα 0,25 €, καθώς δεν θέλω να ξεπερνάω τα 20 έτη.

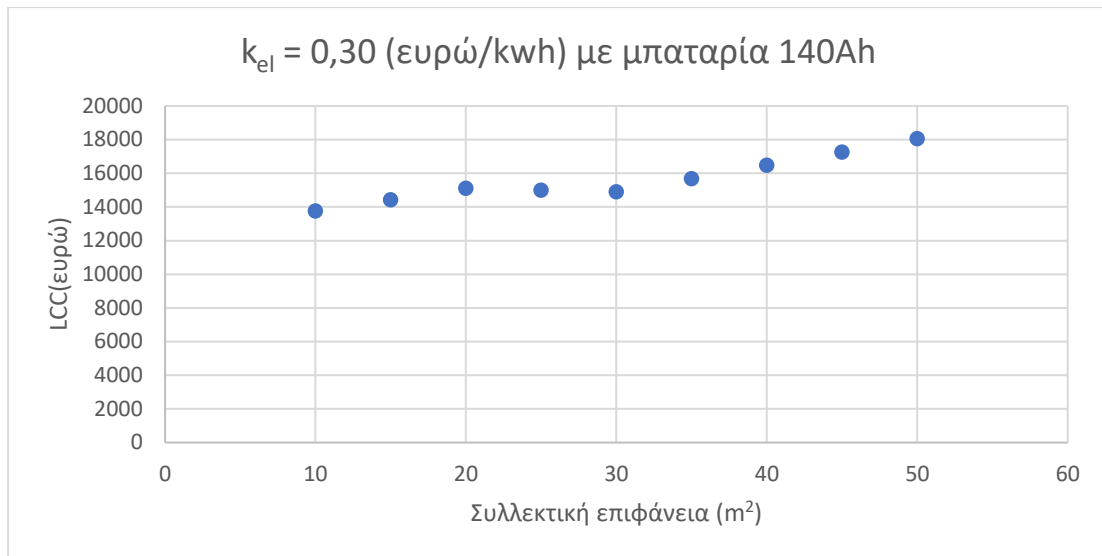
Εγκατάσταση PV με μπαταρία 140 Ah



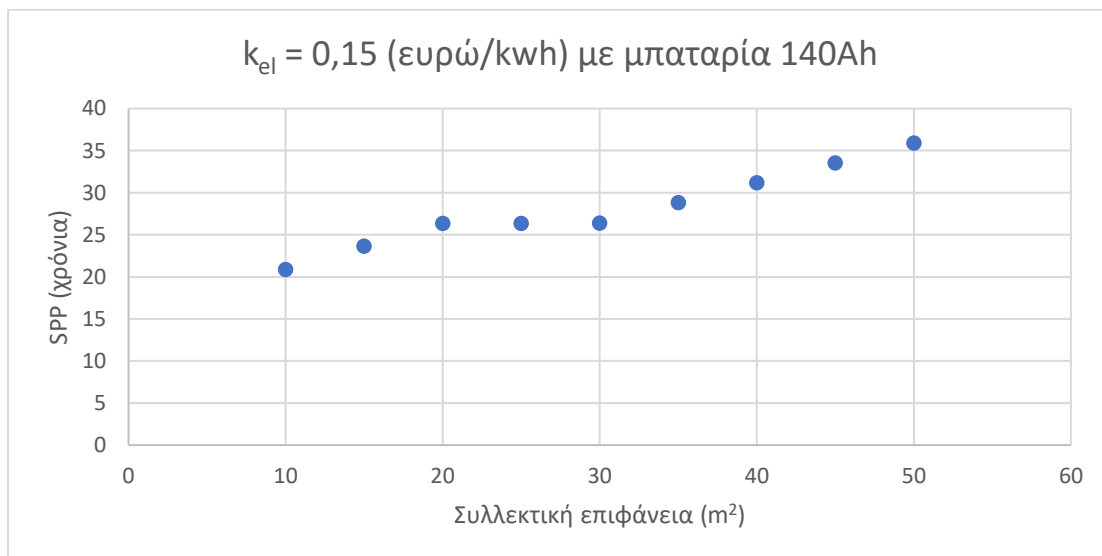
Διάγραμμα 8.52: Κόστος κύκλου ζωής ανάλογα την συλλεκτική επιφάνεια για 0,15 (ευρώ ανά κιλοβατώρα)



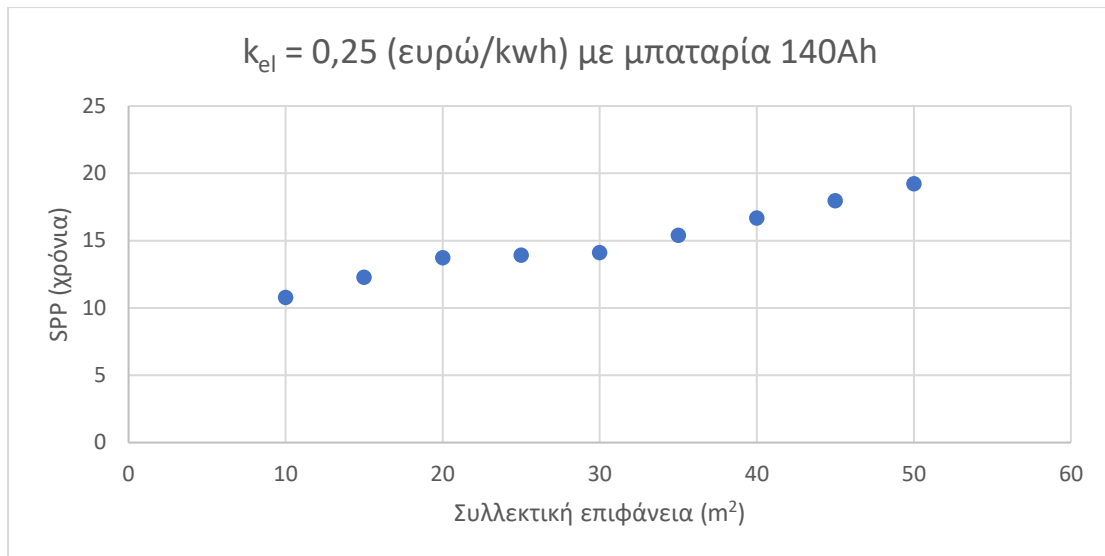
Διάγραμμα 8.53: Κόστος κύκλου ζωής ανάλογα την συλλεκτική επιφάνεια για 0,25 (ευρώ ανά κιλοβατώρα)



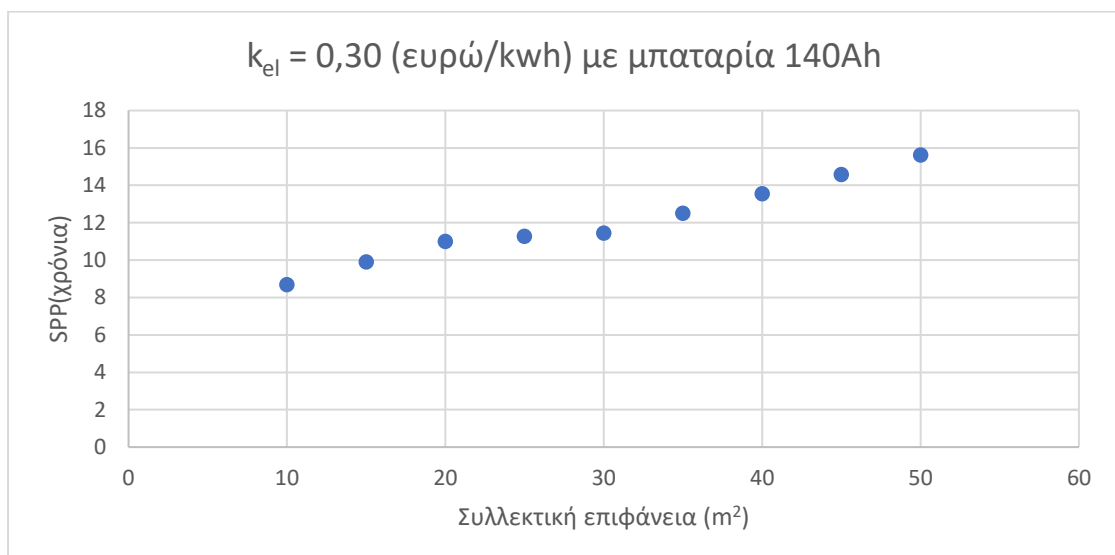
Διάγραμμα 8.54: Κόστος κύκλου ζωής ανάλογα την συλλεκτική επιφάνεια για 0,30 (ευρώ ανά κιλοβατώρα)



Διάγραμμα 8.55: Απλός χρόνος αποπληρωμής ανάλογα την συλλεκτική επιφάνεια για 0,15 (ευρώ ανά κιλοβατώρα)

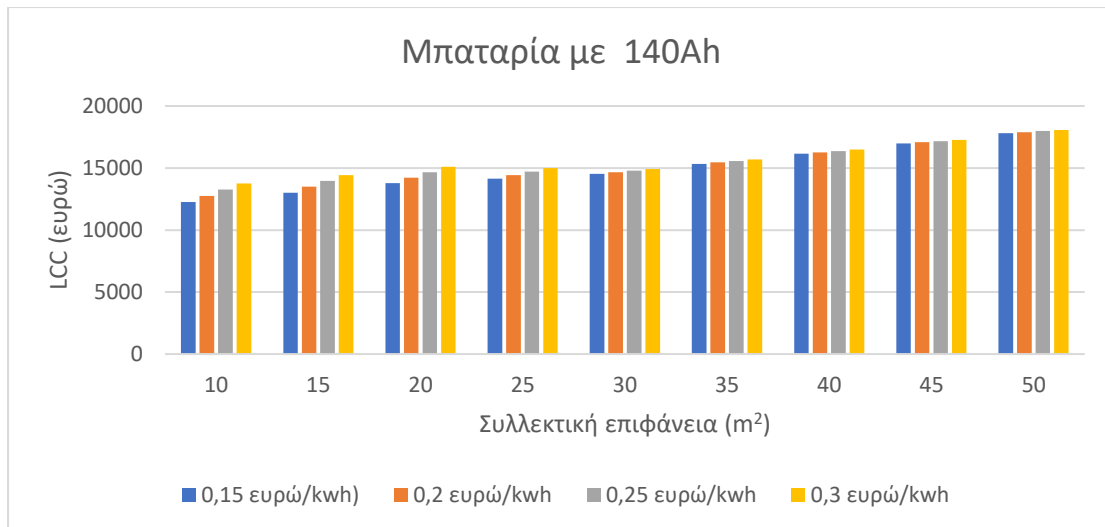


Διάγραμμα 8.56: Απλός χρόνος αποπληρωμής ανάλογα την συλλεκτική επιφάνεια για 0,25 (ευρώ ανά κιλοβατώρα)

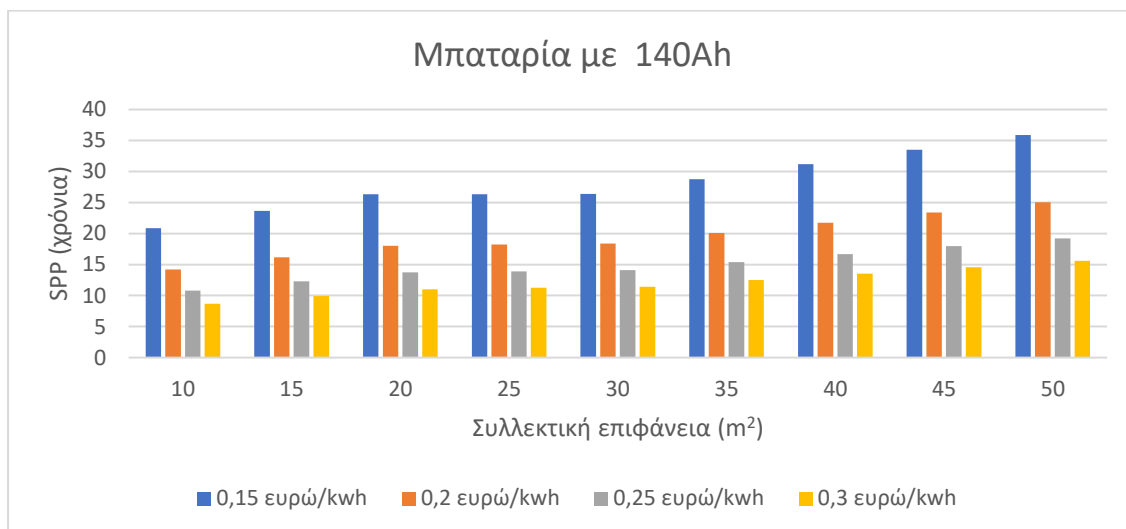


Διάγραμμα 8.57: Απλός χρόνος αποπληρωμής ανάλογα την συλλεκτική επιφάνεια για 0,30 (ευρώ ανά κιλοβατώρα)

Στην συνέχεια παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα παραπάνω αποτελέσματα σε μορφή διαγραμμάτων



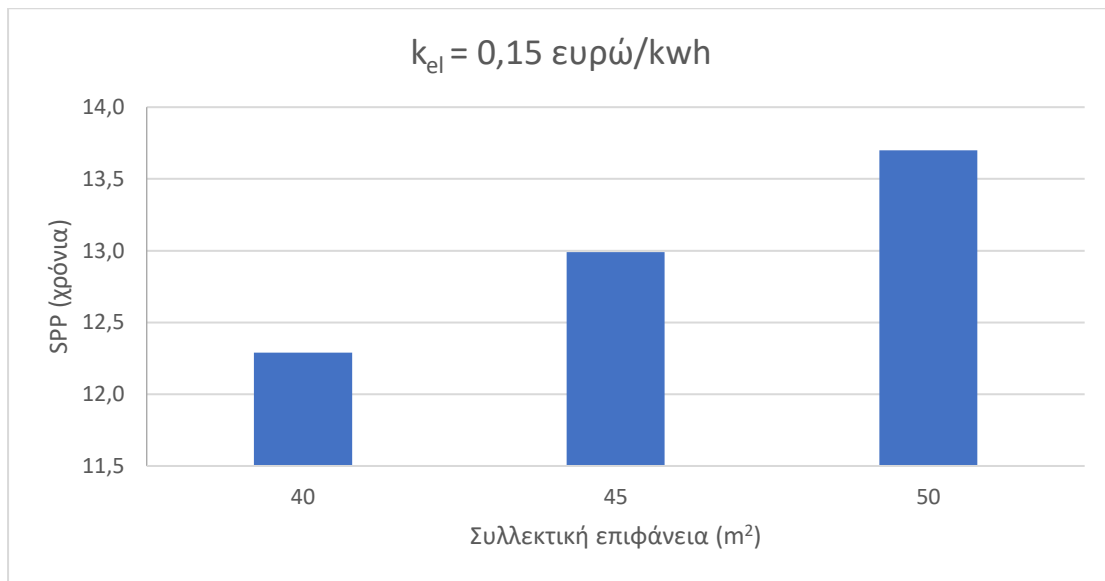
Διάγραμμα 8.58: Συγκεντρωτικό κόστος κύκλου ζωής ανάλογα την συλλεκτική επιφάνεια για διάφορες τιμές της κιλοβατώρας



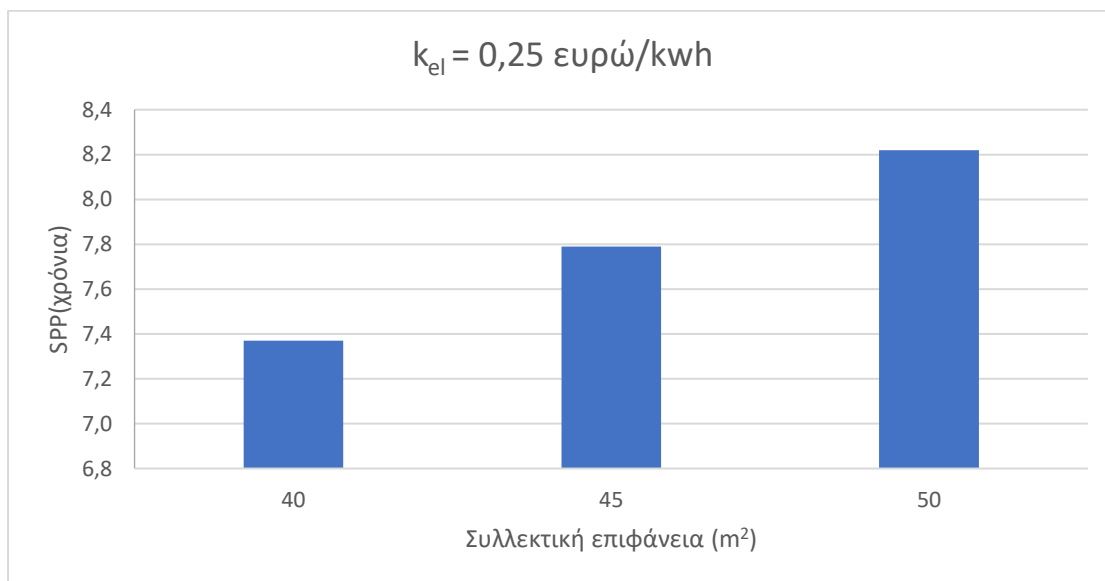
Διάγραμμα 8.59: Συγκεντρωτικό απλό κόστος αποπληρωμής ανάλογα την συλλεκτική επιφάνεια για διάφορες τιμές της κιλοβατώρας

Από το συγκεντρωτικό διάγραμμα 8.59 διαπιστώνεται ότι για να θεωρηθεί μία εγκατάσταση αυτού του είδους, τόσο ενεργειακά όσο και οικονομικά αποδεκτή, πρέπει η τιμή της κιλοβατώρας να ανέρχεται τουλάχιστον στα 0,2 €, καθώς δεν θέλω να ξεπερνάω τα 20 έτη.

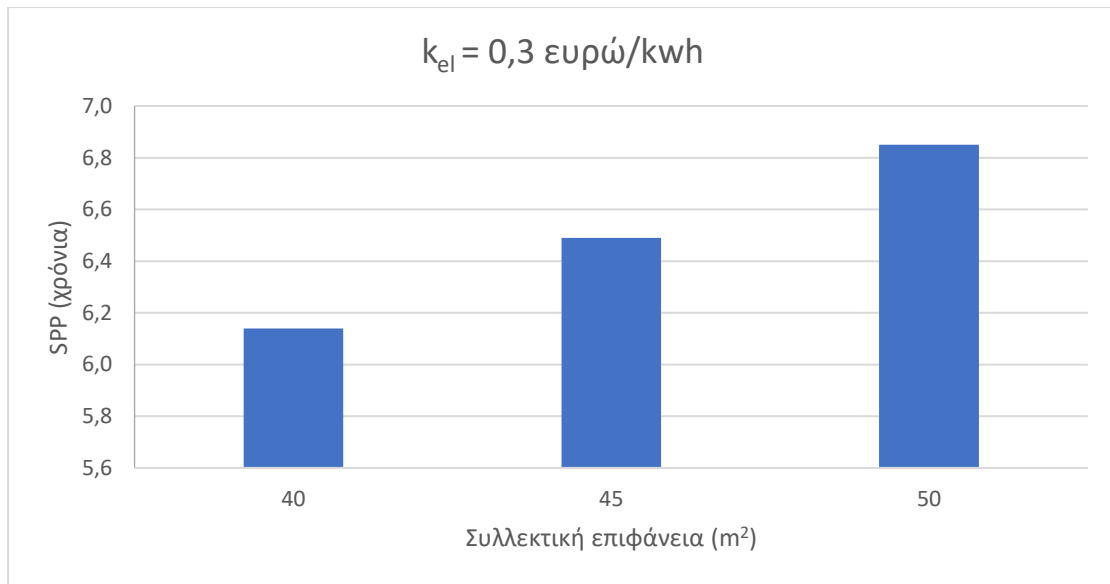
Εγκατάσταση Net Metering



Διάγραμμα 8.60: Απλός χρόνος αποπληρωμής ανάλογα την συλλεκτική επιφάνεια για 0,15 (ευρώ ανά κιλοβατώρα)

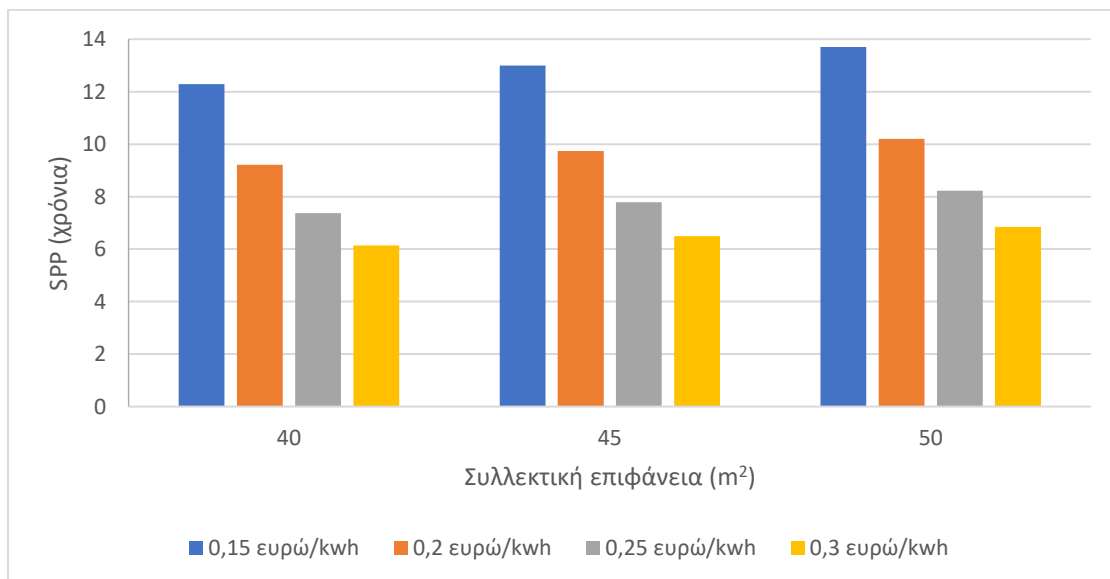


Διάγραμμα 8.61: Απλός χρόνος αποπληρωμής ανάλογα την συλλεκτική επιφάνεια για 0,25 (ευρώ ανά κιλοβατώρα)



Διάγραμμα 8.62: Απλός χρόνος αποπληρωμής ανάλογα την συλλεκτική επιφάνεια για 0,3 (ευρώ ανά κιλοβατώρα)

Στην συνέχεια παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα παραπάνω αποτελέσματα σε μορφή διαγραμμάτων



Διάγραμμα 8.63: Συγκεντρωτικό απλό κόστος αποπληρωμής ανάλογα την συλλεκτική επιφάνεια για διάφορες τιμές της κιλοβατώρας

Από το συγκεντρωτικό διάγραμμα 8.63 διαπιστώνεται ότι η εγκατάσταση αυτού του είδους, είναι τόσο ενεργειακά όσο και οικονομικά αποδεκτή, ανεξάρτητα από την τιμή της κιλοβατώρας καθώς βλέπουμε ότι σε καμιά των περιπτώσεων δεν ξεπερνά τα 20 έτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

9.1 Εισαγωγή

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, εξετάσθηκε ένα κτίριο διαστάσεων 100 m² στην πόλη της Αθήνας, το οποίο πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ως ιδιόκτητη κατοικία στην οποία θα μένουν τρία (3) άτομα. Στόχος της εργασίας ήταν το κτίριο αυτό να είναι ενεργειακά αυτόνομο από πλευράς θέρμανσης και ψύξης. Για την θέρμανση και την ψύξη του χώρου χρησιμοποιήθηκε αντλία θερμότητας αέρα-αέρα, της οποίας η ηλεκτρική κατανάλωση αποφασίσθηκε να καλυφθεί όσο το δυνατόν περισσότερο, από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως ο ήλιος. Χρησιμοποιήθηκαν για αυτό το λόγο, φωτοβολταϊκά πάνελ με μιας μικρής και μιας μεγάλης χωρητικότητας μπαταρία καθώς και μια περίπτωση με φωτοβολταϊκά πάνελ χωρίς την χρήση μπαταρίας (net metering). Συγκεκριμένα οι περιπτώσεις στις οποίες καταλήξαμε ύστερα από αναλυτική διερεύνηση, ήταν οι εξής και αφορούσαν μια επένδυση διάρκειας 20 ετών:

- ✓ Φωτοβολταϊκά πάνελ με μικρής χωρητικότητας μπαταρία (70 Ah), συνολικής συλλεκτικής επιφάνειας 35 m², τα οποία παρέχουν ενεργειακή κάλυψη 92,8% και το συνολικό κόστος τους εκτιμάται σε 12900€.
- ✓ Φωτοβολταϊκά πάνελ με μεγάλης χωρητικότητας μπαταρία (140Ah), συνολικής συλλεκτικής επιφάνειας 30 m², τα οποία παρέχουν ενεργειακή κάλυψη 97,2% και το συνολικό κόστος τους εκτιμάται σε 12650€.
- ✓ Φωτοβολταϊκά πάνελ αυτοπαραγωγής χωρίς μπαταρία (Net Metering), συνολικής συλλεκτικής επιφάνειας 40 m², τα οποία παρέχουν ενεργειακή κάλυψη 100% και το συνολικό κόστος τους εκτιμάται σε 13170€.

9.2 Κυριότερα συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν, ήταν τα ακόλουθα:

- Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάνελ πετυχαίνει αρκετά υψηλό ποσοστό ενεργειακής κάλυψης, της τάξεως του 90% και φαίνεται ότι αποτελούν μια αρκετά αξιόπιστη ανανεώσιμη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάνελ με μικρή χωρητικότητα μπαταρία (70 Ah) ξεπερνάει τον χρόνο αποπληρωμής που έχουμε ορίσει παραπάνω, δηλαδή τα 20 έτη, καθώς η αποπληρωμή του γίνεται περίπου στα 22 έτη και συνεπώς η τοποθέτηση του κρίνεται μάλλον ακατάλληλη από οικονομικής πλευράς. Από την άλλη πλευρά η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάνελ με μεγάλη χωρητικότητα μπαταρία (140 Ah) δεν ξεπερνάει αυτό το όριο των 20 ετών αλλά βρίσκεται πολύ κοντά σε αυτό, περίπου 18 έτη. Και σε αυτή την περίπτωση η τοποθέτηση κρίνεται μάλλον ακατάλληλη από οικονομικής πλευράς καθώς μια επένδυση για να είναι οικονομικά αποδεκτή ο απλός χρόνος αποπληρωμής πρέπει να κυμένεται γύρω στα 10 έτη.
- Η περίπτωση των φωτοβολταϊκών πάνελ για αυτοπαραγωγή (Net Metering) κρίνεται η βέλτιστη ενεργειακά καθώς καθιστά το κτίριο ενεργειακά αυτόνομο (100% ενεργειακή κάλυψη).

- Σε περίπτωση ενεργειακής αναβάθμισης του κτιρίου (πχ φυτεμένη οροφή, σκίαστρα, τοίχος θερμικής αποθήκευσης) τα φορτία θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου θα μειωθούν με αποτέλεσμα την δυνατότητα χρήσης αντλίας μικρότερης ισχύος το οποίο θα βοηθούσε στην μείωση της ηλεκτρικής κατανάλωσης της αντλίας και κατ' επέκταση των ηλεκτρικών καταναλώσεων του κτιρίου.
- Η περίπτωση με το σύστημα Net Metering στο κτίριο, κρίνεται βέλτιστη τόσο ενεργειακά, καθώς προσφέρει 100% ενεργειακή κάλυψη δηλαδή πλήρη αυτονομία, όσο και οικονομικά καθώς το κόστος ανέρχεται σε 13170€.
- Με ρύθμιση του θερμοστάτη στους 21° C τον χειμώνα καταφέρνω η εσωτερική θερμοκρασία του κτιρίου κατά την διάρκεια του χειμώνα να είναι στους 22° C με κάποιες μικρές διακυμάνσεις τους μήνες Νοέμβριο και Απρίλιο, όπου η εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι γενικά υψηλή με αποτέλεσμα στο εσωτερικό του κτιρίου να αγγίζω τους 23,5°C.
- Με ρύθμιση του θερμοστάτη στους 25° C το καλοκαίρι καταφέρνω η εσωτερική θερμοκρασία του κτιρίου στο μεγαλύτερο διάστημα της να διατηρείται σταθερή στους 26° C με μια μικρή εξαίρεση κάποιες ημέρες του Μαΐου όπου η θερμοκρασία κατεβαίνει στους 25° C και ένα μέρος του Οκτωβρίου όπου υπάρχει μία πτώση εντός του χώρου στους 23° C.
- Η σχετικά μεγάλη πτώση εντός του χώρου την περίοδο του Οκτωβρίου οφείλεται στο γεγονός ότι τα ψυκτικά και θερμικά φορτία το μήνα αυτό είναι περίπου ίδια με τα ψυκτικά όμως να είναι ελαφρώς περισσότερα. Αυτός είναι και ο βασικός λόγος που για χάρην ευκολίας τοποθετήσαμε τον μήνα αυτό στην περίοδο των θερμών μηνών
- Η μικρή διαφορά θερμοκρασίας που υπάρχει μεταξύ θερμοστάτη και χώρου οφείλεται σε τυχόν αποκλήσεις που ενδέχεται να έχει αυτή η συσκευή, αλλά και στην τοποθέτησή του στον χώρο.
- Από πλευρά ενεργειακής κάλυψης και οικονομικής μελέτης συμφέρει η εγκατάσταση μιας μεγάλης μπαταρίας (140 Ah) με συλλεκτική επιφάνεια 30 m² έναντι μιας μικρής μπαταρίας (70 Ah) με συλλεκτική επιφάνεια 35 m² . Καθώς η μεν πρώτη έχει ενεργειακή κάλυψη 97,2 % έναντι 92,8 % που έχει η δεύτερη, και επιπλέον στην πρώτη περίπτωση το κόστος ανέρχεται σε 12650 € ενώ στη δεύτερη 12900 €.
- Το συνολικό κόστος (Co) της εγκατάστασης στην περίπτωση του net metering ανέρχεται σε 13170 € δηλαδή είναι ελαφρώς υψηλότερο από τις δύο περιπτώσεις των μπαταριών αλλά συμφέρει πολύ περισσότερο καθώς ο απλός χρόνος αποπληρωμής υπολογίζεται στα 9,2 έτη, γεγονός που κάνει αυτού του είδους την επένδυση συμφέρουσα.
- Από την οικονομική μελέτη που κάναμε σχετικά με την διακύμανση της τιμής της κιλοβατώρας παρατηρήσαμε ότι όσο αυξάνεται η τιμή της κιλοβατώρας τόσο μειώνεται ο απλός χρόνος αποπληρωμής (SPP). Με δεδομένο λοιπόν αυτό, οικονομικά συμφέρουσα επένδυση στην περίπτωση της μικρής μπαταρίας είναι όταν η τιμή της κιλοβατώρας θα ανέρχεται στα 0,3 €/kWh όπου τότε ο απλός χρόνος αποπληρωμής θα είναι τα 13,7 έτη. Στην περίπτωση της μεγάλης μπαταρίας οικονομικά συμφέρουσα επένδυση θεωρείται όταν η τιμή της κιλοβατώρας θα ανέρχεται στα 0,25 €/kWh και 0,3 €/kWh όπου τότε ο απλός χρόνος αποπληρωμής θα είναι τα 14,1 και 11,4 έτη αντίστοιχα. Τέλος

στην περίπτωση της εγκατάσης net metering για όλες τις τιμές της κλοβατώρας που υπολογίσαμε η επένδυση συμφέρει.

- Όσον αφορά το κόστος κύκλου ζωής (LCC) αλλά και τον απλό χρόνο αποπληρωμής (SPP) παρατηρούμε ότι στην περίπτωση των μπαταριών για συλλεκτικές επιφάνειες από 20 m² έως 30 m² παραμένουν περίπου σταθερά ενώ για συλλεκτικές επιφάνειες από 30 m² έως 50 m² έχουν συνεχώς αυξητική τάση κάτι το οποίο δείχνει ότι από οικονομικής πλευράς η επιλογή τους θεωρείται μη συμφέρουσα. Στην περίπτωση του net metering παρατηρούμε ότι για τις περιπτώσεις που η εγκατάσταση, μας καλύπτει ενεργειακά, δηλαδή για 40 m² έως 50 m² ο απλός χρόνος αποπληρωμής αυξάνεται αλλά με πολύ μικρότερο βήμα σχεδόν αμελητέο.
- Από τα διαγράμματα ηλεκτρικής ενέργειας που λαμβάνεται από το δίκτυο (Qgrid) συναρτήσει των συλλεκτικών επιφανειών τόσο κατά την χειμερινή-καλοκαιρινή περίοδο όσο και συνολικά για το έτος, παρατηρούμε ότι για μπαταρία χωρητικότητας 70 Ah δεν χρειάζεται να βελτιστοποιήσουμε την συλλεκτική μας επιφάνεια άνω των 35 m² καθώς βλέπουμε ότι το διάγραμμα μας παύει να ευθυγραμμιστεί. Το ίδιο συμβαίνει και στην περίπτωση της μεγάλης μπαταρίας (140Ah), με την μόνη διαφορά ότι δεν χρειάζεται να βελτιστοποιήσουμε την συλλεκτική μας επιφάνεια άνω των 30 m². Ο λόγος για τον οποίο δεν βελτιστοποιούμε παραπάνω είναι για να αποφύγουμε το περιττό κόστος χωρίς ιδιαίτερα αποτελέσματα.

Συνεπώς, η λύση που κρίνεται βέλτιστη τόσο ενεργειακά όσο και οικονομικά είναι η χρήση της τεχνολογίας Net Metering, η οποία καθιστά το κτίριο 100% αυτόνομο ενεργειακά και ταυτόχρονα είναι η πιο βιώσιμη οικονομικά λύση. Αντίθετα την περίπτωση εγκατάστασης Φ/Β πάνελ με μικρή χωρητικότητα μπαταρία θα την χαρακτηρίζαμε ως την λιγότερο βέλτιστη όλων τόσο από ενεργειακή άποψη όσο και από οικονομικής πλευράς.

9.3 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Θα ήταν σκόπιμο στο σημείο αυτό να γίνουν κάποιες ενδεικτικές προτάσεις για έρευνα στο μέλλον, σχετικά με το τρέχον αντικείμενο:

- Χρήση θερμικών ηλιακών με δοχείο ζεστού ή κρύου νερού για μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων.
- Χρήση υποβοηθούμενης αντλίας θερμότητας για μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων. Συγκεκριμένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ηλιακοί συλλέκτες ή γεωθερμία για την τροφοδότηση της αντλίας θερμότητας.
- Χρήση καινοτόμων συστημάτων συμπαραγωγής ή τριπαραγωγής για κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου με μειωμένο κόστος και περιβαλλοντικά οφέλη.
- Χρήση φυτεμένων τοίχων (living walls), τοίχων θερμικής προστασίας (τοίχος Trombe, τοίχος νερού) , στέγη θερμικής αποθήκευσης ή οροφή νερού στα πλαίσια του βιοκλιματικού σχεδιασμού του κτιρίου.
- Χρήση Φ/Β πλαισίων με παρακολούθηση τροχιάς του ήλιου για παραγωγή μέγιστης ποσότητας ενέργειας.